

# **AKADÉMIAI DOKTORI ÉRTEKEZÉS**

**A durumbúzadara sikerindexének és Minolta b\* értékének  
környezeti és genetikai meghatározottsága**

**VIDA GYULA**  
**Mezőgazdaság-tudomány Ph.D.**

**AGRÁRTUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT**  
**MEZŐGAZDASÁGI INTÉZET**

**2022**

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés .....	1
2. Irodalom .....	3
2.1. A durumbúza eredete .....	3
2.2. A durumbúza taxonómiai besorolása .....	7
2.3. A durumbúza sikérerőssége .....	11
2.3.1. Sikérfehérjék és szerepük a tészta tulajdonságainak alakításában .....	11
2.3.2. Sikér erősségének meghatározása és a sikerindex .....	17
2.3.3. A sikerindex genetikai meghatározottsága durumbúzában .....	18
2.4. A durumbúza sárgapigment-tartalma .....	19
2.4.1. A durumbúza szemtermésében található sárgapigmentek .....	19
2.4.2. A sárgapigment-tartalom mérési módszerei .....	21
2.4.3. A durumbúza sárgapigment-tartalmának öröklődése és genetikai háttere .....	25
2.5. A környezet hatása a durumbúza minőségére .....	29
2.6. Agronómiai kezelések hatása a durumbúza sikerminőségére és sárgapigment-tartalmára .....	32
3. Anyag és módszer .....	35
3.1. A sikerindexet és a Minolta b* értéket meghatározó meteorológiai faktorok azonosítása .....	36
3.2. Agronómiai kezeléskombinációk hatása durumbúzafajták sikerindexére és Minolta b* értékére .....	37
3.3. Széles genetikai bázisú őszi- és fakultatív durumbúza genotípuskör vizsgálata .....	38
3.4. A Minolta b* értéket és a sikerindex nagyságát meghatározó genetikai háttér vizsgálata kétszülős térképezési populációval .....	41
3.5. A sikerindex és a Minolta b* érték javítására irányuló szelekció eredményeinek bemutatására használt módszerek .....	44
3.6. Technológiai minőségvizsgálat .....	44
4. Eredmények és megvitatásuk .....	45
4.1. A meteorológiai tényezők és az évjárat hatása durumbúzafajták sikerindexére és Minolta b* értékére .....	45
4.1.1. Az évjárat hatása őszi durumbúzafajták sikerindexére és a Minolta b* értékére .....	45
4.1.2. A sikerindexet és a Minolta b* értéket meghatározó meteorológiai faktorok azonosítása .....	52
4.2. Agronómiai kezeléskombinációk hatása durumbúzafajták sikerindexére és Minolta b* értékére .....	58
4.3. Széles genetikai bázisú őszi- és fakultatív durumbúza genotípus kör vizsgálata .....	62
4.4. A Minolta b* értéket és a sikerindexet meghatározó genetikai faktorok azonosítása kétszülős térképező populációban .....	72
4.4.1. A szülő- és a térképezési populációt alkotó törzsek fenotípusos vizsgálata .....	72
4.4.2. A kétszülős térképezési populáció molekuláris szintű vizsgálata .....	75
4.5. A sikerindex és a Minolta b* érték javítására irányuló szelekció eredményei .....	89
5. Új tudományos eredmények .....	96
6. Záró gondolatok .....	98
Köszönetnyilvánítás .....	100
Irodalomjegyzék .....	101
Mellékletek .....	133

## 1. Bevezetés

A durum búza a második legnagyobb területen termesztett *Triticum* faj, a világpiacon értékesített termény mennyisége 1991 óta évente 26,2 és 41,0 millió tonna között változik (az International Grains Council adatai; cit. Le Lamer és Rousselin 2011, Bryant-Erdmann 2017). Szemtermését elsődlegesen a száraztésztá-ipar dolgozza fel (Troccoli et al. 2000). Európában, Amerikában és Ausztráliában a teljes mennyiség 94-98%-ából olasz típusú száraztésztá (*pasta*) készül (Impiglia et al. 2000), melyből a világon előállított teljes mennyiség 2019-ben megközelítőleg 16,5 millió tonna volt (IPO 2020).

Magyarországon a durum búza nem tartozik a hagyományosan termesztett növényfajok közé. Bár már az 1920-as évektől kezdődően kísérleteztek a faj meghonosításával hazánkban (Odry 1929, Veneny 1930), ez a munka nem hozott eredményt. Az 1980-as évek elején szegedi nemesítők áttörést értek el e területen (Beke és Barabás 1981), majd az 1996-tól kezdődően Martonvásáron nemesített őszi durum búzafajták is megjelentek a hazai gabonatermesztésben (Szunics et al. 1998). Azóta a faj megtalálta helyét a hazai vetésszerkezetben. Vetésterülete 2018-ig folyamatosan növekedett, ekkor 44.280 ha-on termesztették. Azóta termőterülete csökkent, de még jelenleg is meghaladja a 25.000 ha-t (Eurostat 2021). A Magyarországon termelt durum búza értékes alapanyaga a hazai malmok és száraztésztá készíttéssel foglalkozó cégek számára, de emellett fontos exportcikk is. Elsődleges kereskedelmi partnereink Olaszország, Németország és Ausztria (WITS 2019).

A száraztésztá és a durum búzából készülő egyéb termékek relatíve egyszerű feldolgozási folyamat eredményeként készülnek, melynek során kevés egyéb összetevőt használnak (legtöbb esetben kizárólag víz), vagy még azt sem (pl. bulgur), ezért a termény technológiai minőségének kiemelkedően fontos hatása van a végtermék fogyasztói értékére. A modern durum búza nemesítési programokban a technológiai minőség javítása prioritást élvez (Hare, 2017). A durum búza több kedvező tulajdonsága is előnyt jelent a feldolgozási folyamat során. A főterméket jelentő dara, az ún. szemolina nagy mennyiségű sárgapigmentet (karotinoidokat) tartalmaz, ami a tészta készítési- és főzési tulajdonságokat nem, vagy csak igen kis mértékben befolyásolja, ugyanakkor a tojás felhasználása nélkül készített tészta esztétikai értékét, szalmonella mentességét, tárolhatóságát és ezen keresztül értékesíthetőségét, exportálhatóságát alapvetően meghatározza (Dexter et al. 1981). Fehérjetartalma nagy, de emellett még a sikérszerkezete is különleges. Az erős sikérváz a feldolgozás, majd a főzés során képes visszatartani a keményítő molekulákat (Feillet 1984) és ennek következtében a tészta felülete nem nyálkásodik, nem ragad, alakját stabilan megőrzi (Dexter és Matsuo 1980). Ez alapján megállapítható, hogy a durum búza technológiai minőségének értékelésekor kiemelkedő jelentőségű a sárgapigment-tartalom és a sikérerősség. Ez a két tulajdonság az, ami a jelen akadémiai doktori disszertáció témáját jelenti. A sárgapigment-tartalom és a sikérerősség többféle módszerrel határozható meg. Napjainkra a vegyszermentes és gyors Minolta b\* érték mérése elterjedt módszerré vált a sárga színanyag mennyiségének meghatározására. Ugyancsak széles körben alkalmazzák a sikérerősség minősítésére a sikérindex mérést. A nagy Minolta b\* érték és a kiváló sikérindex kombinációja az értékes malomipari alapanyag jellemzője. E két technológiai tulajdonság a martonvásári durum búza nemesítési programban is kiemelkedő jelentőséggel bír, és az utóbbi években született Mv fajták bizonyítják, hogy őszi durum búzák is alkalmasak kiváló minőségű alapanyag előállítására.

Ez azonban nem egy öröktől fogva létező állapot. Az őszi durum búza fajhibridnek tekinthető, hiszen az első valódi őszi típusú fajtákat durum búza és kenyérbúza keresztezésével hozták létre (Dorofjev et al. 1987). Akkor az elsődleges szempont megfelelő termésstabilitással rendelkező, hidegtűrő genotípusok létrehozása volt. A célt viszonylag rövid időn belül sikerült elérni, azonban ezzel párhuzamosan az első fajták technológiai minősége

meg sem közelítette a valódi tavaszi típusúakét. Mikor az 1990-es évek közepén csatlakoztam a durumbúza nemesítéssel foglalkozó csoporthoz az egyetlen szelekciós módszer a szemtípus (nagyság és üvegeesség) alapján történő kiválogatás volt. Korábbi, lisztlaborban szerzett tapasztalataimat hasznosítva, és nem kevésbé a nemesítési program akkori vezetője, Dr. Szunics László teljes támogatását élvezve rövid időn belül elindulhatott a Minolta b\* érték és a sikerindex alapján végzett szelekció. A két és fél évtizedes munka eredményei alátámasztják a döntés helyességét. A martonvásári őszi durumbúzafajták 2020-ban piacvezetők voltak Magyarországon (NÉBIH 2020).

Az elmúlt 25 évben komplex és részletes vizsgálatokat folytattunk a sikerindex és a Minolta b\* érték genetikai és környezeti meghatározottsága területén. Tanulmányoztuk a meteorológia faktorok és agronómiai kezelések hatását, valamint felmértük az őszi- és járó típusú fajtakörben a rendelkezésre álló genetikai variabilitás nagyságát. Őszi durumbúzában egyedülálló térképezési populációt hoztunk létre és QTL analízissel a két technológiai minőségi tulajdonsággal kapcsolt kromoszómaregiókat azonosítottunk. Végül, de nem utolsósorban durumbúzafajtákat állítottunk elő, melyeknek a gabonatermesztők igényein kívül a feldolgozóipar elvárásainak is meg kell felelni. E dolgozat a durumbúza kutatás és -nemesítés területén két és fél évtized alatt elért jelentősebb eredményeket tartalmazza.

## 2. Irodalom

### 2.1. A durumbúza eredete

A búzafajok létrejötte a természet és az emberiség nagy rejtélyei közé tartozik. Szinte elképzelhetetlen, hogyan alakulhattak ki a Termékeny Félhold területén élő fűfajokból spontán kereszteződések útján a ma ismert csodálatos kalászosok, melyek napjainkban a legnagyobb területen vetett növények csoportját alkotják. Az idők folyamán a természetett fajokból eltűnt a kalászsorsó törékenysége és a dormanciára való hajlam, a szemek szabadon csépelhetővé váltak (megjelent a csupasz jelleg), a szemméret pedig jelentősen megnőtt (Salamini et al. 2002).

Molekuláris kormeghatározás alapján az első fűfajok 100 millió évvel ezelőtt jelenhettek meg a Földön, 10-14 millió éve vált el az árpa fajok és a többi kalászos faj törzsfajlódása és 3 millió évvel ezelőtti időpontra tehető a *Triticum* fajok őseinek keletkezése (Murphy, 2007). Az első BBAA genommal rendelkező tetraploid búzafaj „mindössze” 500.000 éves (Levy és Feldman, 2004). Az emberiség és a tetraploid búzafajok közös története azonban még ennél is sokkal később kezdődött. A Galileai-tenger partjáról, az Ohalo II ásatási területről előkerült leletek alapján a durumbúza őse, a *Triticum dicoccoides* megközelítőleg 23.000 évvel (kalibrált radiokarbon kormeghatározás alapján; Weiss et al. 2004) ezelőtt már táplálékforrásként szolgált a vadászó-gyűjtögető életmódot folytató emberek számára („hagyományos”  $^{14}\text{C}$  vizsgálat alapján ez az időpont 19.000 évvel ezelőttre datálható; Kislev et al. 1992). A búzafajok domesztikációja feltételezhetően 12.000–7.600 évvel ezelőtt mehetett végbe. A növénytermesztés kezdetének időszakából származó leletekben még a törékeny kalászsorsójú változatok találhatóak meg, melyeket lépésről lépésre váltottak fel a szilárd kalászsorsóval rendelkező fajok. Kezdetben még éretlen állapotban gyűjtötték be a termést – ezért nem jelentett gondot a kalászsorsó törékenysége – és 10.000 évvel ezelőttre eredeztethető a gabona érett állapotban történő betakarítása, ami már feltételezte az agronómiailag előnyösebb változatok termesztésbe vonását, a domesztikáció elindulását (Hillman és Davies 1990). Bar-Yosef (1998) a szilárd kalászsorsó megjelenését a Közel-Kelet Levante régiójában a késői kőkorszak időszakára (kb. 9.000 évvel ezelőtt) teszi. A szilárd kalászsorsójú változatok kialakulása és elterjedése évszázadokon át tarthatott, ezen időszak alatt a törékeny kalászsorsójú változattal keverten termesztették.

A termesztésbe vonás folyamata közel egy időben, a paleolitikum késői és a neolitikum korai szakaszában, négy fajjal kezdődhetett el (Feldman 2001): 1. *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* (subsp. *boeoticum*; Heun et al. 1997); 2. *T. turgidum* subsp. *dicoccoides*; 3. *T. timofeevii* subsp. *armeniicum*; 4. *T. urartu*. Míg az első három fajból termesztett, szilárd kalászsorsóval rendelkező változatok jöttek létre (alakor, tönke és *T. timofeevii* subsp. *timofeevii* sorrendben), addig a *T. urartu* faj mindvégig megtartotta az agronómiailag kedvezőtlen jelleget, a törékeny kalászsorsót, és nem is terjedt el.

A jelenlegi ismeretek alapján az első termesztésbe vont gabonaféle az alakor lehetett (*T. monococcum*), maradványai már a késő-őskőkorszakból (epi-paleolitikum, 12.500 évvel ezelőtt) származó lelőhelyeken megtalálhatók. A feltételezést (Harlan és Zohary 1966), miszerint az alakor a *T. monococcum* subsp. *boeoticum* alfajból jöhetett létre molekuláris vizsgálatok eredményei is alátámasztották. AFLP markerekkel bizonyították (Heun et al. 1997), hogy a termesztett faj a dél-törökországi Karaca Dağ hegységben élő vad alfaj egyedeivel áll legközelebbi rokonságban, így feltételezhetően itt és ebből a populációból történt meg a faj domesztikációja.

A következő jelentős lépést a búzafajok evolúciójában a tetraploid (BBAA genom) tönke (*T. turgidum* subsp. *dicoccum*) faj megjelenése jelentette. Mivel ez a faj tekinthető a disszertáció témáját jelentő durumbúza őseinek, kialakulásának történetét részletesebben ismertetem. A korai neolitikum időszakából származó növényi maradványok alapján feltételezhető, hogy a

kor emberei a vad tönkét (*T. turgidum* subsp. *dicoccoides*) még csak lokálisan és kis mennyiségben gyűjtögettek (Feldman 2001). Ez a faj hosszú évezredekken át ismeretlen maradt a tudomány számára. Az első rövid közlemény a vad tönkéről egy tudományos ülés jegyzőkönyvéből származik, melyben Körnicke (1889) egy Kotschy által 1855-ben az Antilibanon hegységben, 4.000 láb magasságban begyűjtött növényt *T. vulgare* Vill. var. *dicoccoides* fajként, mint a termesztett búzafajták őseit mutatta be. További hosszú évek teltek el még addig, míg természetes élőhelyén – a Hermon-hegy környékén – ismét sikerült a fajt megtalálni (Aaronsohn és Scweinfurth 1906, Aaronsohn 1910).

A legkorábbi, már bizonyíthatóan termesztésbe vont tönke leletek (Kislev 1984) 10.800 évvel ezelőtti időszakból származnak (Tell Aswad; van Zeist és Bakker-Heeres 1985). Megközelítőleg kétezer évvel később e fajt már kiterjedt területen termesztették. A Kerámia Előtti Neolitikus Kultúra B (angol szakirodalomban *Pre-Pottery Neolithic B*, rövidítése PPNB) szakaszában (i.e. 7.300–5.900) a közel-keleten mindenütt megtalálható volt (Helmer et al. 1998). A tönke volt az ősi Egyiptom legfontosabb gabonája (Helbaek 1956), de a világ több régiójában mind a mai napig termesztik.

Az első csépelhető tetraploid változat is ugyanebben az időszokban jelenhetett meg. Szíriában (Tell Aswad és Ramad; van Zeist és Bakker-Heeres 1985), valamint Dél-Anatóliában végzett ásatások (Hillman 1996) során 8.200–8.900 évvel ezelőtti korból származó *T. turgidum* subsp. *parvicoccum* leletek találtak. Ez a faj napjainkra már kihalt, de jelenleg ezt tartják az első csupaszszerű kalászosnak (Kislev 1980). Egykor a Közel-Keleten és a Balkán-félszigeten termesztették, az ókori görögöknél egészen i.e. 300-ig megtalálható volt. Az e korra datálható leletek alapján a tönkével együtt fordult elő, azonban kérdéses, hogy keverékként, vagy egymástól elkülönítve termesztették (Kislev 1981).

A durumbúza legkorábbi leleteiről Hillman (1978) számolt be, aki a törökországi Can Hassan III ásatási terület (i.e. 5.500–4.500) legfelső két rétegéből származó mintákban azonosított durumbúza kalászsorsó maradványokat. Mindössze i.e. III. évezred közepére terjedt el nagyobb területen, ezután viszont rövid időn belül leváltotta az agronómiailag kedvezőtlenebb tulajdonságú tönkét. A faj kialakulásának magyarázatára két teória létezik. Morris és Sears (1967) szerint tönkéből, több egymást követő mutáció következményeként jöhetett létre. Kislev (1980) ennél egyszerűbb eredetet valószínűsít, szerinte a tönke és a *T. parvicoccum* kereszteződéséből alakult ki ez a nagy szemű, szabadon csépelhető gabonaféle. A faj létrejötte és elterjedésének időpontja közötti hosszú idő feltehetően annak következménye, hogy a *T. parvicoccum* jobban alkalmazkodott a szemiárid éghajlati körülményekhez a durumbúzánál, így az újabb faj nehezen tudta kiszorítani a termesztésből (Kislev 1980).

A szabadon csépelhető búzafajok előfordulását az i.e. 8.000–2.900 közötti időszakból származó ásatási leletekben Maier (1996) összegezte. A Kaukázustól a Pireneusi-félszigetig terjedő területen mindenhol megtalálható volt a búza csépelhető változata, azonban a tetraploid és a hexaploid fajok elkülönítése az elszenesedett maradványok alapján még nem volt elvégezhető. Schlumbaum et al. (1998) morfológiai és DNS-szintű vizsgálatokkal egyértelműen bizonyította, hogy a két ploidisztű faj már i.e. 4.000 éve együttesen fordult elő a jelenlegi Svájc területén. Morfológiai tulajdonságai alapján azonban az e korból származó csépelhető tetraploid faj még különbözött a durumbúzától (Maier 1996).

A durumbúza a mediterrán térségben kiemelt fontosságú gabonanövényé vált (Zohary et al. 2012), azonban terjedésének útvonaláról és a fontosabb lépések időpontjáról nagyon kevés információ áll rendelkezésre. Zohary (1982) az Ótestamentumban megjelenő búzát a durumbúzával azonosítja, eszerint az i.e. I évezredben a Közel-Keleten már termesztették. Egyiptomba Nagy Sándor hódítását követően jutott el – így a hellenisztikus kultúrában már i.e. IV. században elterjedt növényfaj volt –, és a Ptolemaioszok uralkodása alatt teljesen

kiszorította a pelyvás tönkét a természetből (Bowman 1996). Kevésbé ismert, hogy a durumbúza hogyan, milyen úton hódította meg a Földközi-tenger mellett elhelyezkedő területeket. Elterjedésének ütemére a belőle készített tészta régi iratokban fellelhető említése alapján lehet következtetni (Davidson 2014). Az i.sz. V. században keletkezett Jeruzsálemi Talmudban a vízben kifőzött tésztát a zsidó étkezési törvényeknek megfelelő ételként említik. Arab nyelvű szövegekben már a X. században írnak az *itriyah* nevű ételről, ami még napjainkban is megvásárolható metélt száraztészta. Az arab földrajztudós, Al-Idrisi a XII. századi beszámolójában arról írt, hogy a szicíliai Palermo városában élő emberek hosszúkás alakú, *trii*-nek nevezett tésztát készítettek. Az európai kontinensen a durumbúzából készült tészta első említése 1279-ből egy katona hagyatéki leltárában található meg. Giovanni Boccaccio a Dekameronban (1349-1353) ír Bengodiról (Révay József 1961-ben készült fordításában a Haslagok országának Dínom-Dánom vidékéről), ahol a reszelt parmezán hegy tetején élő helyiek „egyebet sem tesznek, mint makarónit és húsos derelyét” (eredeti nyelven *raviouli*) készítenek. Eszerint a durumbúza termesztése és annak feldolgozása a XIII.-XIV. századi Itáliában már teljesen elterjedt volt. Franciaországba XVI. Lajos uralkodása idején (1774-1792) jutott el (Antal 2005). Desfontaines (1798) a durumbúzát Berberföldről származó fajként írta le („*Colitur in Barbaria*”). A XIX. századig Berberföldnek (Barbaria, vagy Berberia) Afrika észak-nyugati részét nevezték, amely magában foglalta a jelenlegi Marokkó, Tunézia, Algéria és Líbia Földközi-tenger közelében fekvő területeit (Halász 1995). A XIX. század végére Olaszországban a száraztészta fogyasztása olyan méretet öltött, hogy a helyi alapanyag termesztés már nem volt elegendő. Oroszországból, az Azovi-tenger partján fekvő Taganrog környékéről importáltak nagymennyiségű és kiváló minőségű durumbúzát (Davidson 2014).

A Földközi-tenger medencéjének elfoglalása után a durumbúza a XIX. és XX. században új termőterületeket hódított meg több kontinensen. Észak-Amerika kiemelt jelentőségű, hiszen jelenleg a legtöbb durumbúza Kanadában terem (2017-ben 7,8 millió tonna; International Grains Council 2018), de az Egyesült Államok is szerepel a legnagyobb termelők listáján. Közép-Amerikában Mexikó, Dél-Amerikában pedig Argentína rendelkezik a legnagyobb vetésterülettel. Ázsiában Kazahsztán és India állít elő 1 millió tonnát meghaladó mennyiséget belőle, de Ausztráliában is félmillió tonna terem (International Grains Council cit. Ranieri 2015).

A faj sikerének elsődleges forrása a növény habitusának gyökeres megváltoztatásában rejlik, ami a növénynemesítők tevékenységének következménye. A nemesítés folyamata, más fajokhoz hasonlóan, a kedvező változatok szelekciójával kezdődött tájfajtákból. A XX. század első évtizedeiben ezen a területen kiemelkedő eredményeket ért el Nazareno Strampelli olasz nemesítő. Legsikeresebb fajtája, az észak-afrikai Jean Retifah tájfajtából szelektált 'Senatore Cappelli' ('Cappelli') 1927-ben került köztermesztésbe (Scarascia Mugnoza 2005), 1934 és 1940 között Olaszországban évente több mint 700.000 hektáron vetették (Bianchi 1998). A 'Cappelli' fajtát világszerte génforrásként hasznosították a nemesítési programokban, főként a mediterrán országokban és a CIMMYT-nél (Kukorica és Búzakutatói Központ, Mexikó; Bozzini et al. 2012). A keresztezéssel előállított fajták azonban továbbra is magasak és megdőlésre érzékenyek voltak. Igazi áttörést a féltörpe változatok előállítása jelentette, melyek a CIMMYT-nél folytatott munka eredményeként váltak elérhetővé. Miután Lebsock (1963) sikeresen beépítette az *Rht1* gént a 'Norin 10' kenyérbúzafajtából, lehetségessé vált alacsony, korai, nappalhosszal szemben érzéketlen típusú fajták nemesítése, melyek jó körülmények között nagy termés elérésére voltak képesek (Bozzini et al. 2012). A CIMMYT-től származó törzset használva állították elő az 1974-ben minősített 'Creso' fajtát Olaszországban, amely a termés mennyiségét tekintve már méltó vetélytársává vált a kenyérbúzafajtáknak (Royo et al. 2009).

Az intenzív, alacsony fajták kiválóan alkalmazkodtak a meleg mediterrán időjáráshoz, azonban ezek termesztése nem jelentett megoldást a kelet-európai országok számára. Oroszország Azovi-tengerhez közeli területein természetük a durumbúzát, azonban a helyiek megfigyelése alapján a járó típusú fajták a tavasszal vetettekhez képest kétszeres mennyiségű termés elérésére voltak képesek (Nalivkin 1953). Ezért e területeken fontos céllá vált a hidegtűrés erősítése. A tulajdonság javítására kézenfekvő megoldást jelentett a kenyérbúzaafajták bevonása a keresztezési programokba. Sikeres keresztezést őszi búza és tavaszi durumbúza szülők között a világon elsőként Kobaltova végzett Szamarában az 1920-as években, ezt követően Lukjanyenko Krasznodárban 1931-től már rutinszerűen alkalmazható módszert dolgozott ki a búza × durumbúza hibridek létrehozására (Scsipák et al. 2012). Az első, már gazdasági értékkel is bíró, bőtermő, télálló fajtákat az odesszai Szövetségi Mezőgazdasági Kutatóintézetben nemesítették (Dorofejev et al. 1987). A valódi őszi típusú durumbúzaafajták közül elsőként a 'Micsurinka' 1960-ban kapott állami elismerést a volt Szovjetunióban, majd ezt követte a 'Novomicsurinka' 1964-ben (Kiricsenko és Makszimenko 1967). A későbbiekben e fajták agronómiai tulajdonságait további kenyér- és intenzív durumbúzaafajtákkal javították ('Krasznodári 1' és 'Candeal 18'). E program eredményeként született meg a megdőlés-ellenálló, bőtermő 'Parusz' (Dorofejev et al. 1987), amelyet számos őszi durumbúza nemesítési programban forrásként használtak új kombinációk létrehozására. A jelenleg elismert hazai fajták egy része az ebbe a fajtakörbe sorolható források génjeit is hordozza (Beke és Matuz 1996, Szunics et al. 1998). Az őszi durumbúza egy speciális genotípus kört képvisel a durumbúzák között, termesztése elsősorban a kelet- és közép-kelet európai országokra korlátozódik (Palamarchuk, 2005).

A durumbúza magyarországi meghonosításával kapcsolatos kutatásokat és próbálkozásokat Szunics (1986) foglalta össze. A hazai szakirodalomban elsőként az 1900-as évek első évtizedében említik a faj nevét közleményekben. Paikert (1908) a faj sikeres honosításáról írt az Egyesült Államokban, Grabner (1908) pedig olyan „fajtának” tartotta, melynek „hazai viszonyaink között nincsen gyakorlati értéke”. Két évtizeddel később, Odry Pál (1929) és Veneny Lajos (1930) már Magyarország területén végzett kutatások eredményeiről számolt be, de ezek gyakorlati hasznosítására nem került sor. Az első, köztermesztésbe került fajták a szegedi Gabonakutató Intézetben születtek 1981-ben (Beke és Barabás 1981). E fajtákat ('GK Basa' és 'GK Minaret') a CIMMYT törökországi intézetéből származó hasadó utódpopulációból szelektálták, és fakultatív (járó) életformájúak voltak. Martonvásáron 1982-ben indult el az a durumbúza nemesítési program, melynek célja a hazai teleket jól tűrő és a feldolgozóipar számára megfelelő alapanyagot biztosító őszi fajták előállításának volt (Szunics et al. 1998). Első eredményként 1996-ban két honosított ('Odmadur 1' és 'Odmadur 2'), valamint két saját nemesítésű durumbúzaafajta ('Martondur 1' és 'Martondur 2') részesült állami elismerésben.

A durumbúza napjainkban már jelentős területet foglal el az ország szántóterületéből. Vetésterületének nagysága a Központi Statisztikai Hivatal adatai szerint 2018-ban megközelítette a 45.000 hektárt. A Nemzeti Fajtajegyzéken (NÉBIH 2020) 9 hazai nemesítésű őszi durumbúzaafajta szerepel, de a 2020. évi adatok alapján az országban 18 őszi vagy járó típusú fajta vetőmagjának előállítását végezték (NÉBIH 2020).



## 2.2. A durumbúza taxonómiai besorolása

A növények első rendszertani besorolását a görög Teofraszosz készítette, feltehetően ie. 350 és 287 közötti időszakban (Hort 1916 angol fordítása alapján). Művében a búza több típusát ismerteti, bár az elkülönítésüket egyszerűen a termőhelyük alapján végezte. A *Triticum* nemzetség elnevezése latin eredetű, a *triturare* = csépelni szóból ered és már az ókori római szerzőktől [Cato  $\approx$ ie. 160 (Goetz szerkesztésében 1922), Varro  $\approx$ ie. 36 (Goetz szerkesztésében 1912), Columella  $\approx$ 62 (Ash fordításában 1961)] származó írásokban is ezt a megnevezést használták a szabadon csépelhető búzára. Dioszkoridész (I. sz.; Osbaldeston és Wood fordításában 2000) több kalászos fajt is felsorol, köztük a kenyérbúzát (pürosz) és a pelyvás fajokat (*zea*), melyek között különbséget tesz az egy- (alakor) és a kétmagvú (tönke) változat között. Caius Plinius Secundus i.sz. 79-ben írt *Naturalis Historia* című munkájának XVIII. könyvében (Hoffmann Zsuzsanna fordításában 2009) már vetésidejük alapján csoportosította a gabonaféléket. Írásában több búzafajról tesz említést, melyeket a Római Birodalom tartományaiban termesztettek és egyértelműen elkülöníti a pelyvás búzafajokat (*far*) a csupasz szemű változatoktól (*triticum*). A középkorban született, növényrendszertannal foglalkozó művek többsége az ókori szerzők munkáján alapult (pl. Ruel 1537), de a botanika tudományának előrehaladtával egyre több és több faj jelent meg a leírásokban. Hyeronimus Bock (1539) a kenyérbúza (*Weyssen*) mellett már a tönkölyről (*Speltz/Dinckel*) és tönkéről (*Ammel korn*) is említést tesz. Pena és L'Obel 1571-ben felvázolta a kismagvú gabonafélék rendszertanát, melyben a *Tritici* (beleértve a jelenlegi *Triticum*, *Secale* és *Hordeum* fajokat), valamint a *Zea* nemzetség szerepelt (ide sorolta a pelyvás gabonaféléket, többek között a tönkölyt és tönkét, továbbá az *Avena* fajokat is). Az első hazai vonatkozású közlés 1584-ből származik, ekkor Carolus Clusius (Charles de L'Écluse) összeállította a Magyarországon általa megfigyelt fajok listáját és ezek magyar nevét is közölte. A kiadványban mindössze a *Triticum* nemzetségnév és az ehhez rendelt „búza” megnevezés szerepel. Az eddig megjelent művek szinte mindegyike terjedős botanikai leírást tartalmazott az ismertett fajokról, gyakran a termesztésre és gyógyászati célú felhasználásra vonatkozó ismereteket is közölve. Bauhin 1596-ban *Φυτοπιναξ* (*Phytopinax*) címmel megjelent műve (Linné előtt 159 évvel!), valódi áttörést hozott a növényrendszertan tudományában. A nemzetségről szóló rövid ismertető után már kizárólag fajok neveit sorolta fel és közölte a korábban használt megnevezés(ek)e)t is. Könyvében a *Triticum* nemzetség 8 *Triticum* és 3 *Zea* fajt tartalmazott. A kötetben sajnos nem található képek és a leírás alapján a durumbúzát még nem lehet azonosítani a felsorolt fajok között (a *Triticum aestivum* megnevezés viszont már megjelent!). Bauhin nyomdokain haladva készítette el Tournefort (1694) átfogó művét, azonban ő mindössze négy búzafajt különített el, melyek között a durumbúza még mindig nem azonosítható. Linné *Species Plantarum* című könyve (1753) meghatározó jelentőségű a növénytaxonómia területén. Nem egyszerűen csak a fajok felsorolását tartalmazza, a botanikai hasonlóságok alapján már a rokonsági viszonyokra is következtethet az olvasó, emellé pedig a részletes morfológiai leírás lehetővé teszi a kötet növényhatározóként történő használatát. Linné a „*Tritica*” nemzetségbe tartozó fajokat egyéves és évelő változatokra osztotta. Az egyévesek között öt fajt nevezett meg: *T. aestivum*, *T. hybernum*, *T. turgidum*, *T. Spelta* és *T. monococcum*. A durumbúza őse, a *T. turgidum* megjelenik, de a durumbúza még ekkor sem szerepel a leírt fajok között. A *Triticum durum* elnevezés és a durumbúza leírása René Louich Desfontaines (1798) francia botanikusnak tulajdonítható. Körnicke 1885-ben már e fajnevet használta rendszertani kategóriaként és a faj 24 változatát (*varietas*) írta le. Hugo Wernerrel közösen elkészített kétkötetes összefoglaló művük második kötetében Werner (1885) már a durumbúza 59 tájfajtáját is felsorolta. Kizárólag a botanikai bélyegek alapján történő csoportosítással eddig lehetett eljutni és a XIX. század végén e rendszertan elkészítése kiemelkedő tudományos teljesítménynek számított. Linné munkásságától az 1800-as évek végéig tartó időszakban a búzafajok taxonómiai besorolásában bekövetkezett fontosabb változások Percival (1921) könyvében részletesen

nyomon követhetők, azonban egy, a durumbúza rendszertani kategorizálásának tekintetében lényeges forrás hiányzik e műből: Husnot (1896-1899) elsőként nevezte meg a *T. turgidum* alfajaként („*Sous-esp.*”) a *T. durum*-ot.

A XX. század második évtizede igazi áttörést hozott a *Triticum* fajok tudományos alapú rendszerezése területén. Schulz (1913) részletes morfológiai vizsgálatokat végzett az ismert búzafajokon és ezeket három csoportba sorolta: alakor, tönke és tönköly sorozatba. A sorozatokon belül a fajokat tovább osztályozta, elkülönítette az „ősi” fajokat, valamint a természetett fajokat pelyvás és csupasz szemű – ezen belül normál és eltorzult – típusokra osztotta (1. táblázat). Besorolása alapján a durumbúza a tönke sorozat csupasz szemű faja.

1. táblázat. A *Triticum* nemzetség fajainak taxonómiai besorolása Schulz (1913) alapján.

	Stammart (1)	Kulturformengruppen (2)		
		Spelzweizen (3)	Nacktweizen (4)	
			normal (5)	mißbildet (6)
Einkorn- reihe (7)	<i>Tr.</i> <i>aegilopoides</i>	<i>Tr.</i> <i>monococcum</i>	wohl nicht gezüchtet (8)	wohl nicht gezüchtet (8)
Emmer- reihe (9)	<i>Tr.</i> <i>dicoccoides</i>	<i>Tr.</i> <i>dicoccum</i>	<i>Tr. durum</i> → <i>Tr. turgidum</i> →	<i>Tr. polonicum</i> nicht bekannt (10)
Dinkel- reihe (11)	nicht bekannt (10)	<i>Tr.</i> <i>Spelta</i>	<i>Tr. compactum</i> <i>Tr. vulgare</i> <i>Tr. compactum</i> × <i>vulgare</i> = <i>capitatum</i>	nicht bekannt (10)

Megjegyzés: (1) Ősi faj, (2) Kultúrforma csoportok, (3) Pelyvás búzák, (4) Csúasz szemű búzák, (5) Szabályos, (6) Eltorzult, (7) Alakor sorozat, (8) Valószínűleg nem jött létre, (9) Tönke sorozat, (10) Nem ismert, (11) Tönköly sorozat.

A botanika után az erőteljesen fejlődő új tudományágon, a genetikán volt a fajok közötti kapcsolatok tisztázásának lehetősége és terhe. Tschermak (1914) tesztkeresztezéseket végzett a különböző csoportokba sorolt fajokkal és eredményei teljes mértékben alátámasztották a rokonsági viszonyokat, vagyis az azonos sorozatba tartozó fajokkal létrehozott keresztezések fertilis utódokat eredményeztek. Az eltérő sorozatba tartozó fajok közötti keresztezések utódai sterilek lettek, vagy fertilitásuk csak részleges volt. A durumbúza és a tönke keresztezéséből is termékeny utódok születtek, így bizonyította közös leszármazásukat. Vavilov (1913 és 1915) a búzafajok és kórokozói (levélrozsda és lisztharmat) kapcsolatának tanulmányozásával támasztotta alá a korábbi eredményeket. Kísérleteiben levélrozsdával szemben a tönköly sorozat fajai fogékonyak, a tönke sorozatba tartozók rezisztensek, míg az alakor teljesen immunis volt. A tönköly sorozat tagjai lisztharmattal is fertőződtek, míg a tönke sorozat fajai és az alakor rezisztensnek bizonyultak (bár a *T. dicoccum* fajt a vizsgálatra használt rasszok egy része képes volt megfertőzni).

A morfológiai, a hibridizációs kísérletekből származó adatok, a gazdanövény-kórokozó kölcsönhatás-, valamint szerológiai vizsgálatok (Zade 1914) eredményei alapján Thellung (1918) szintetizálta az addig összegyűjtött tudást és javaslatot tett a *Triticum* fajok nomenklatúrájának egységesítésére. A *Triticum* nemzetség tagjait három fajba sorolta (*T. monococcum*, *T. turgidum*, *T. aestivum*), és a fajokon belül alfajokat nevezett meg. A *T.*

*turgidum* fajba 4 alfajt sorolt: I. *dicoccoides*, II. *dicoccum*, III. *sementivum* (ezen belül két rasszt különített el *durum* és *turgidum* megnevezéssel) és IV. *polonicum*. Az általa kialakított rendszertani besorolás már nagyon közel áll a napjainkban elfogadott változatokhoz.

Sakamura 1918-ban megjelent rövid közleménye óta ismert tény, hogy a különböző sorozatba tartozó *Triticum* fajok kromoszómaszáma eltérő és ezek poliploid sort alkotnak. Az alakor sorozat fajai diploidok ( $2n = 14$ ), a tönke sorozatot tetraploid ( $2n = 28$ ), míg a tönköly sorozatot hexaploid ( $2n = 42$ ) fajok alkotják. A durumbúzában 28 kromoszóma jelenlétét azonosította, így ez a megfigyelés is alátámasztotta a faj besorolását a tönke sorozat tagjai közé. Sakamura kérésére (Tsunewaki 2015) Hitoshi Kihara (1924) tanulmányozni kezdte a korábban előállított pentaploid és a további vizsgálatokhoz létrehozott triplod búza fajhibrideket és megállapította, hogy a kromoszómák hetes csoportokra tagolódnak, így a haploid genomot a tönke sorozatban  $2 \times 7 = 14$ , a tönköly sorozatban pedig  $3 \times 7 = 21$  kromoszóma alkotja. A géneket ekkor már A, B és D (*Dinkel* = tönköly szóból eredeztetve) kromoszómákon lokalizáltként kezelte, de elmélete csak Winkler (1920) munkásságának megismerését követően vált teljessé. Winkler alkotta meg a genom fogalmát, miszerint ez „az a haploid kromoszóma készlet, amely a hozzá tartozó protoplazmával együtt az adott rendszertani egység materiális alapját jelenti”. Munkájában megjelent az auto- (azonos genomból többszörös mennyiséget tartalmazó, „*homogenomisch*”) és az allopoliploidia (több különböző genomot tartalmazó, „*heterogenomisch*”) fogalmának megfelelő kifejezés. Kihara 1930-ban megjelent tanulmányában megállapította, hogy az általa vizsgált tetraploid búzafajok allopoliploidok, genomképletük AABB.

A búzafajok genomi felépítése alapján történő besorolása még hosszú évekig nem jelent meg a *Triticum* nemzetség rendszertanáról szóló munkákban (Komarov et al. 1934, Fljakszberger 1935, Jakubziner 1959). Bowden (1959) munkája új alapokra helyezte a búzafajok csoportosítását. Míg a korábbi szerzők a részletes elkülönítésre törekedtek, addig Bowden a genetikai és citológiai ismereteket szintetizálva három alcsoportba sorolta a korábban *Triticum* és *Aegilops* nemzetségekbe tartozó fajokat: I. diploidok; II. allopoliploidok; III. egyéb interspecifikus hibridek. A durumbúza az általa kidolgozott rendszer szerint a II. csoport *T. turgidum* L. emend. fajon belül egyike lett az AABB genommal rendelkező, természetett allotetraploid búzák 8 „fajtacsoportjának”. Morris és Sears (1967) citogenetikai vizsgálatok eredménye alapján tovább pontosították Bowden rendszerét, a *T. turgidum* fajon belül 8 helyett már csak 5 fajtacsoportot különítettek el, melyek egyike a *durum* volt.

A búzafajok taxonómiai besorolása – mint az előbbi felsorolásból kiolvasható – időről időre változott. Jelenleg is több rendszertan létezik, amit a tudományos közösség elfogad. Ezek között van, amelyik részletesebb bontásban tartalmazza a taxonómiai egységeket és létezik olyan is, amelyik csak néhány fajt sorol fel, de közös bennük, hogy valamennyi genomi összetétel alapján csoportosítja a fajokat. A jelenleg is elfogadott rendszertanok közül a legrégebbit és egyben legrészletesebbet Dorofejev et al. (1979) állították össze. Eszerint a durumbúza a *Triticum* subgenus *Dicoccoides* Flaksb. szekció Csupaszszemű fajtacsoportjának elkülönített faja *T. durum* Desf. néven, melyben A<sup>u</sup> és B genomok találhatóak (már ekkor elkülönítette az A<sup>u</sup>-t és az A<sup>b-t</sup>!). Kimber és Sears (1983) ezzel szemben a végletekig leegyszerűsítették a kategóriákat, az A és B genomot hordozó tetraploid, korábban elkülönítetten kezelt fajok mindegyikét a *T. turgidum* fajba integrálták, még alfajokat sem különítettek el. Így a durumbúza a *T. carthlicum*, *T. dicoccoides*, *T. dicoccon*, *T. polonicum* és a *T. turgidum* fajjal együtt azonos fajba került. Löve (1984), annak ellenére, hogy a genomi összetételnél feltüntette az A és B genomot is, a durumbúzát a *Gigachilon polonicum* (L.) Seidl alfajaként, ssp. *durum* (Desf.) Á. Löve néven írta le. Mac Key (1988) genetikai, citológiai és taxokémiai információk alapján építette fel rendszerét, melyben *T. turgidum* L. emend. Thell ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) Mk. megnevezést használt a durumbúzára. Az 1994-ben van

Slageren által összeállított rendszertan napjainkban talán a leginkább elterjedt változat, eszerint a durumbúza *T. turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn., a genom típusa: BBAA. Ezt a rendszertani változtatást Mac Key (2005) is elfogadta és néhány fajjal kiegészítve, de a korábbi neveket megtartva adta közre a *Triticum* L. nemzetség felosztását. Publikációjában a durumbúza elnevezése: *T. turgidum* (L.) Thell ssp. *durum* (Desf.) Husn., genomképlete BB.AA. Goncharov et al. (2009) a Dorofejev et al. (1979) által kialakított taxonokat használva építette fel új rendszerét. Az A<sup>u</sup> és az A<sup>b</sup> genomot hordozó diploid fajokat a *Monococcon* Dum. szekcióban egyesítette, néhány fajjal bővítette a listát, de a *Dicoccoides* Flaksb. szekcióból mindössze a *T. jakubzineri* fajt távolította el. Így a durumbúzát továbbra is *T. durum* Desf. néven, és BA<sup>u</sup> genomképlettel írta le. A jelenleg legelterjedtebben használt osztályozási rendszereket és ezek összehasonlítását a Wheat Genetic and Genomic Resources Center (2019) honlapján található 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A jelenleg leginkább elfogadott *Triticum* rendszertanok összehasonlítása (Wheat Genetic and Genomic Resources Center 2019)

Genom	Rendszertan			
	Dorofejev et al. 1979	Kimber és Sears 1983	Mac Key 1988	van Slageren 1994
A <sup>u</sup>	<i>T. urartu</i>	<i>T. monococcum</i>	<i>T. urartu</i>	<i>T. urartu</i>
A <sup>b</sup>	<i>T. boeoticum</i>	<i>T. monococcum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>boeoticum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>aegilopoides</i>
A <sup>b</sup>	<i>T. monococcum</i>	<i>T. monococcum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>
A <sup>b</sup>	<i>T. sinskajae</i>	—	—	—
BA	<i>T. aethiopicum</i>	—	—	—
BA	<i>T. carthlicum</i>	<i>T. turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>carthlicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>carthlicum</i>
BA	<i>T. dicoccoides</i>	<i>T. turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccoides</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccoides</i>
BA	<i>T. dicoccum</i>	<i>T. turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccum</i>
BA	<i>T. durum</i>	<i>T. turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> conv. <i>durum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>
BA	<i>T. ispahanicum</i>	—	—	—
BA	<i>T. jakubzineri</i>	—	—	—
BA	<i>T. karamyshevii</i>	—	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>georgicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>paleocolchicum</i>
BA	<i>T. polonicum</i>	<i>T. turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>polonicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>polonicum</i>
BA	<i>T. turanicum</i>	—	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> conv. <i>turanicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turanicum</i>
BA	<i>T. turgidum</i>	<i>T. turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> conv. <i>turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i>
GA	<i>T. araraticum</i>	<i>T. timopheevii</i>	<i>T. timopheevii</i> subsp. <i>armeniicum</i>	<i>T. timopheevii</i> subsp. <i>armeniicum</i>
GA	<i>T. militinae</i>	—	—	—
GA	<i>T. timopheevii</i>	<i>T. timopheevii</i>	<i>T. timopheevii</i> subsp. <i>timopheevii</i>	<i>T. timopheevii</i> subsp. <i>timopheevii</i>
BAD	<i>T. aestivum</i>	<i>T. aestivum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>
BAD	<i>T. compactum</i>	<i>T. aestivum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>compactum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>compactum</i>
BAD	<i>T. macha</i>	<i>T. aestivum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>macha</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>macha</i>
BAD	<i>T. petropavlovskii</i>	—	—	—
BAD	<i>T. spelta</i>	<i>T. aestivum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>spelta</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>spelta</i>
BAD	<i>T. sphaerococcum</i>	<i>T. aestivum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>sphaerococcum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>sphaerococcum</i>
BAD	<i>T. vavilovii</i>	<i>T. aestivum</i>	—	—
GAA	<i>T. zhukovskii</i>	<i>T. zhukovskii</i>	<i>T. zhukovskii</i>	<i>T. zhukovskii</i>

A korántsem teljes felsorolásból kiolvasható, hogy a *Triticum* fajok taxonómia besorolása nem egységes és várható, hogy a jövőben még több változás is történhet ezen a területen. A változtatásokat a genomvizsgálatra alkalmazott módszerek fejlődése is indokolhatja. Talán már a közeljövőben szekvencia szinten ismertté válhat valamennyi rokon faj genomja, ami új alapokra helyezheti a besorolást. Ez a folyamat a kenyérbúzánál már elkezdődött. Luo et al. 2017-ben jelentették be, hogy elkészült a D genom donorjaként ismert *Aegilops tauschii* genomjának szekvenálása. Az IWGSC (International Wheat Genome Sequencing Consortium)

2018-ban ismertette a búza teljes mértékben annotált referencia genomját. Az A<sup>u</sup> és a B kromoszómákra vonatkozó információk a tetraploid fajokban, így a durumbúzában is hozzájárulhatnak a genetikai szabályozás jobb megértése mellett a rokonsági viszonyok pontosításához is.

A továbbiakban a durumbúza tudományos elnevezését van Slageren (1994) alapján *T. turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn. változatban használok. Tsunewaki et al. (1976) eredményeinek közzlése óta ismert, hogy a durumbúza sejteinek citoplazmája a B genom donor fajától származik, továbbá Dvorak et al. (1988) bizonyította, hogy a durumbúza A genomja valóban *T. urartu* eredetű. Ezek alapján a durumbúza genomjának képlete: BBA<sup>u</sup>A<sup>u</sup>.

### 2.3. A durumbúza sikérerőssége

A durumbúza értékes technológiai minőségi tulajdonsága az erős sikérmátrix, ami a feldolgozás, majd a főzés során képes kötött formában tartani a keményítő molekulákat (Feillet 1984), és ennek következtében a tészta főzés közben alaktartó lesz.

A száraztészta főzési tulajdonságait és érzékszervi értékét több tényező együttesen határozza meg. Az alapanyag megválasztása döntő fontosságú. A fehérje mennyisége és minősége, valamint a keményítő állapota is hatást gyakorol a végtermék tulajdonságaira (Dexter és Matsuo 1977 és 1980, Malcolmson et al. 1993). A megfelelő alapanyag mellett az alkalmazott tésztaipari technológia és az elkészítés módja is befolyásolja a főtt tészta élvezeti értékét és emészthetőségét (Petitot et al. 2009; Bruneel et al. 2010). Elektron mikroszkópos vizsgálatok eredménye bizonyítja (Cunin et al. 1995), hogy főzés közben a sikérmátrix és a keményítő között létrejövő kölcsönhatás meghatározza a tészta felszínére jutó keményítő mennyiségét és ennek következtében a tészta ragacsosságát.

#### 2.3.1. Sikérfehérjék és szerepük a tészta tulajdonságainak alakításában

Az emberiség az élelmiszer-feldolgozás során különböző fehérjemolekulákat speciális tulajdonságaik miatt ősidők óta hasznosít, azonban mindössze a XVIII. század utolsó évtizedeiben kezdődött meg tudományos alapú kutatásuk. Karl Wilhelm Scheele 1780-ban (1901), majd ezt követően Antoine-François de Fourcroy 1789-ben (1790) publikálta megfigyeléseit arról az anyagról, amely sav, só, vagy hőkezelés hatására kicsapódott a tojásból és tejből. A fehérjéket felépítő molekulák kutatása Vauquelin és Robiquet (1806) felfedezésével indult el, akik az első aminosavat, az aszparagint azonosították. A fehérjék összetételéről Mulder (1838) már részletes vizsgálatok eredményét közölte és maga a „protein” elnevezés is elsőként az ő tanulmányában jelent meg (Hartley 1951). Mulder megállapította, hogy a fehérjék szén, hidrogén, oxigén és nitrogén atomokból épülnek fel, sőt az elemek arányát is meghatározta.

A kenyér- és durumbúza technológiai minőségének kialakításában a tartalékfehérjék, és ezeken belül is a sikéralkotó fehérjék kiemelkedő szerepet játszanak. A Magyar Élelmiszerkönyv (Magyar Élelmiszerkönyv Bizottság 2014) definíciója alapján a nedvessiker „a búzaliszt 2%-os NaCl-oldattal készített tésztájából, meghatározott feltételek között, kimosás után visszamaradt, főként gliadinból és gluteninből álló, képlékeny, rugalmas anyagok összessége”. Teljes tömegének megközelítőleg kétharmada víz, szárazanyag-tartalmának 75-85%-a fehérje (Wrigley és Bietz 1988). Ez a komplex anyag teszi lehetővé többek között, hogy a búza lisztjéből nagy térfogatú, rugalmas és jó bélzetű kenyér (Konzak 1977), illetve durumbúzából szilárd, alaktartó és jó főzési tulajdonságú száraztészta készüljön (Matsuo 1994). A sikér jelenléte a búzalisztból dagasztott tésztában már több mint 270 éve ismert, Beccari olasz

filozófus, orvos és tudós (Beach 1961) 1745-ben írta le kivonásának módszerét. A siker technológiai szempontból legfontosabb összetevői tartalékfehérjék, melyek a búzaszem teljes fehérjetartalmának megközelítőleg 80%-át teszik ki (Osborne 1907). A tartalékfehérje frakció különböző térszerkezetű és tulajdonságú komplex polipeptidekből áll. Az összetevők tudományos alapú azonosításának megkezdése Osborne (1907) nevéhez kötődik, aki különböző oldószerekben történő oldódásuk alapján osztályozta a tartalékfehérjéket. Az általa kialakított rendszer szerint az albuminok vízben, a globulinok sóoldatban, a gliadinok pedig hígított alkoholban oldódnak. A fennmaradó részt a gluteninek alkotják. A jelenleg elfogadott nomenklátúra szerint a sikéralkotó fehérjéket nagy molekulatömegű, kénben szegény és kénben gazdag csoportokba sorolják (Shewry et al. 1984). A nagy molekulatömegű (HMW) gluteninek alkotják a tartalékfehérje-tartalom 6-10%-át, 70-80% a kénben gazdag prolaminok ( $\alpha$ - és  $\gamma$ -gliadinok, valamint B- és C típusú LMW gluteninek), 10-20%-uk pedig a kénben szegény prolaminok ( $\omega$ -gliadinok és D típusú LMW gluteninek) közé tartozik (Shewry és Halford 2002, Tatham és Shewry 2012). A gluteninek a tészta rugalmasságát, a gliadinok pedig annak nyújthatóságát határozzák meg. A sikért alkotó fehérjék  $\approx 50\%$ -a gliadin,  $\approx 10\%$ -a HMW glutenin,  $\approx 40\%$ -a pedig LMW glutenin. (Payne et al. 1984a). A tartalékfehérjék már a virágzást követő 7. napon kimutathatók a fejlődő szemekben, mennyiségük növekedése pedig egészen a teljes érésig tart (Ferrise et al. 2014). A siker felépítését, alkotórészeit napjainkig sok kutatócsoport, rendkívül részletesen tanulmányozta, ugyanakkor még mindig nincs teljes egyetértés abban, hogy a sokféle összetett molekula pontosan hogyan képes úgy együttműködni, hogy a dagasztás/keverés során kialakuló tészta rugalmas, de egyben nyújtható is legyen. Az utóbbi évtizedekben több modellt is kidolgoztak, melyek különböző nézőpontból közelítik a kérdéskört (Hamer et al. 2009). Jelenleg még nem alakult ki konszenzus a tudományos társadalomban azzal kapcsolatban, hogy a modellek közül melyik az, amelyik legjobban megközelíti a valós folyamatokat.

Több évszázadon át a sikért egységes anyagként kezelték. A fehérjék frakciókra bontása az elektroforézisen alapuló elválasztástechnika kidolgozásával vált lehetővé. A sikért felépítő molekulák elválasztását elsőként Derby Laws és France (1948) végezte el a mozgó határfelületek elvén működő Tiselius-féle készülékkel (Tiselius 1937), ekkor még folyadék fázisban. Jones et al. (1959) még az 1950-es évek végén is ezt a módszert használták, azonban ekkorra a technika fejlődése már lehetővé tette a fehérjék négy nagy (*major*) és egy kis (*minor*) csoportjának elkülönítését ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\omega$ , valamint  $\delta$  jelöléssel). Woychik et al. (1960) szilárd fázisú, karboximetil-cellulóz alapú oszlopon már képes volt a sikéralkotó fehérjéket külön-külön izolálni és tisztítani. A kromatográfiás alapú módszert később Simmonds és Winzor (1961) alkalmassá tette 11 frakció elkülönítésére. A jobb felbontást lehetővé tevő keményítő gélen már sikeresen különítették el a gliadinok jelenleg is ismert négy csoportját ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  és  $\omega$ ; Woychik et al. 1961). A fehérjék termelésének genetikai szabályozása ekkor még ismeretlen volt.

Már az 1960-as évek elején ismertté vált, hogy a gliadin fehérjék keményítő gélen elválasztva fajtára jellemző mintázatot adnak (Elton és Ewart 1962, Kelley és Koenig 1963, Coulson és Sim 1964). Lee és Ronalds 1967-ben egy rövid közleményben publikálta eredményeit a környezet gliadin fehérjékre gyakorolt hatásáról. Megállapították, hogy a termőhely, talajtípus és évjárat hatása elenyészően kicsi a gliadin összetevőkre, így ezek hasznos markerek lehetnek a búza genetikai kutatásokban.

A gliadinokat kódoló kromoszómaregiók azonosítására elsőként Shepherd (1968) tett kísérletet. 'Chinese Spring' búzafajta nulli-tetra és ditelocentrikus vonalait használva megállapította, hogy a gliadinok termeléséért felelős gének az 1A, 1B, 1D, 6A és a 6D kromoszóma rövid karján található. A gélelektroforézisen alapuló elválasztás-technika fejlődése néhány év múlva a 6B kromoszóma által kódolt gliadin fehérjék azonosítását is

lehetővé tette (Wrigley és Shepherd 1973), így a kenyérbúza valamennyi 1-es és 6-os homeológ kromoszómáján kimutatták a gliadinok termeléséért felelős gének jelenlétét. Az 1960-as és 1970-es években e területen végzett kutatások eredményeit Konzak (1977) ismertette összefoglaló munkájában. Későbbi vizsgálatok során Payne et al. (1982a) ditelocentrikus 'Chinese Spring' vonalakat használva egyértelműen bizonyították, hogy a gének 1-es és 6-os kromoszómák rövid karján találhatóak. Az  $\omega$ -gliadin fehérjék termeléséért felelős, a *Gli-A1*, *Gli-B1* és *Gli-D1* géneket az 1-es kromoszómák rövid karján határozták meg (Payne et al. 1982b).

Redukáló szerrel kezelve (2-merkaptóetanol), detergens jelenlétében (nátrium-lauril-szulfát = SDS) a gluteninek több nagy- (HMW) és kis (LMW) molekulatömegű alegységre bomlanak fel (Bietz és Wall 1972), melyek SDS-poliakrilamid gélen elválaszthatók egymástól. Bietz et al. (1975) a HMW glutenineket kódoló gének elhelyezkedését az 1B, 1D és a 4D kromoszóma hosszú karján határozták meg. Amint az később kiderült, a 4D kromoszómán nem található HMW glutenin alegység szintéziséért felelős gén (Kasarda et al. 1976), ugyanakkor az 1AL kromoszómakaron a búzafajták nagy hányadában ez jelen van (Payne et al. 1979, Lawrence és Shepherd 1981). A HMW glutenin alegységeket kódoló gének megnevezése *Glu-A1*, *Glu-B1* és *Glu-D1*, kromoszomális lokalizációjuknak megfelelően (Payne et al. 1982b).

A kis molekulatömegű glutenin (LMW) alegységek töltésük alapján tovább oszthatók két kisebb csoportra: 1. savas kémhatású fehérjék; 2. közel-semleges töltésű fehérjék. Mobilitásuk SDS-akrilamid gélen hasonló a  $\gamma$ -gliadinokéhoz (Payne et al. 1984a).

A sikefőfehérjék, valamint ezek alegységei változatos formában és nagy számban vannak jelen a *Triticum* fajokban. A Búza Génkatalógus (McIntosh et al. 2020) alapján 1968-tól 2019-ig tartó időszakban összesen 27 glutenin alegységet, vagy gliadin fehérjét kódoló gént és ezek 720 allélját azonosították (3. táblázat).

Főként a gliadinok körében megfigyelhető diverzitás miatt felmerült annak lehetősége, hogy összetételük meghatározását követően mintázatukat búzafajták azonosítására használják (Bushuk és Zillman 1978).

A durumbúza tetraploid faj, így természetes formában kizárólag az A és a B genomon található géneket hordozza. A változatosság még így is rendkívüli. Melnikova et al. (2012) 45 országból származó 700 durumbúzafajta gliadin összetételét vizsgálva 16 *Gli-A1*, 41 *Gli-A2*, 19 *Gli-B1*, 55 *Gli-B2* és 1 *Gli-B5* allél jelenlétét mutatták ki. A gluteninek vizsgálata során Sissons et al. (2005) 9 HMW és 14 LMW alegységet azonosítottak egy 229 kanadai és 139 ausztrál genotípusból álló durumbúza populációban. Riefolo et al. (2011) 325 durumbúza génbanki tételből a HMW glutenin alegységeket kódoló *Glu-A1* gén 4, a *Glu-B1* génnek pedig 9 allélját írták le. Az LMW glutenin alegységek vizsgálatakor a *Glu-A3* lokuszon 4, a *Glu-B3*-on ugyancsak 4, míg a *Glu-B2* lokuszon 2 allél jelenlétét mutatták ki. Összesen 5 gliadin fehérjét kódoló változat jelenlétét bizonyították a *Gli-B1* lokuszon. Nazco et al. (2014) 21 mediterrán országból származó 155 durumbúza tájfajta vizsgálata során a *Glu-1* lokuszon 25, a *Glu2/Glu3*-on pedig 89 allélt azonosított. A durumbúzával közeli rokon fajban is 20 allél létezik (Vallega és Waines 1987), melyek keresztezéssel egyszerűen átvihetők a *durum* alfajba.

3. táblázat. A *Triticum* fajok sikérfehérjéit kódoló gének, azok kromoszomális lokalizációja és alléljeik száma (Payne et al. 1984a, McIntosh et al. 2020)

Gén	Kódolt fehérje	Kromoszóma	Allélek száma
<i>Glu-A1</i>	HMW glutenin alegység	1AL	53
<i>Glu-A1-1</i>	HMW glutenin alegység	1AL	24
<i>Glu-A1-2</i>	HMW glutenin alegység	1AL	3
<i>Glu-B1</i>	HMW glutenin alegység	1BL	83
<i>Glu-B1-1</i>	HMW glutenin alegység	1BL	40
<i>Glu-B1-2</i>	HMW glutenin alegység	1BL	36
<i>Glu-D1</i>	HMW glutenin alegység	1DL	74
<i>Glu-D1-1</i>	HMW glutenin alegység	1DL	22
<i>Glu-D1-2</i>	HMW glutenin alegység	1DL	21
<i>Glu-B2</i>	LMW glutenin alegység	1BS	3
<i>Glu-A3</i>	LMW glutenin alegység	1AS	50
<i>Glu-B3</i>	LMW glutenin alegység	1BS	29
<i>Glu-D3</i>	LMW glutenin alegység	1DS	13
<i>Glu-D4</i>	LMW glutenin alegység	1DS	3
<i>Glu-D5</i>	LMW glutenin alegység	7D	2
<i>Gli-A1</i>	$\omega$ , $\gamma$ , $\beta$ -gliadinok	1AS	56
<i>Gli-A2</i>	$\beta$ , $\gamma$ , $\alpha$ -gliadinok	6AS	76
<i>Gli-A3</i>	$\omega$ -gliadinok	1AS	4
<i>Gli-A5</i>	gliadinok	1AS	2
<i>Gli-A6</i>	$\omega$ -gliadinok	1AS	3
<i>Gli-A7</i>	$\gamma$ -gliadin	1AS	1
<i>Gli-B1</i>	$\omega$ , $\gamma$ , $\beta$ -gliadinok	1BS	24
<i>Gli-B2</i>	$\beta$ , $\gamma$ , $\alpha$ -gliadinok	6DS	47
<i>Gli-B3</i>	gliadinok	1BS	3
<i>Gli-B5</i>	gliadinok	1BS	2
<i>Gli-D1</i>	$\omega$ , $\gamma$ , $\beta$ -gliadinok	1DS	15
<i>Gli-D2</i>	$\beta$ , $\gamma$ , $\alpha$ -gliadinok	6DS	31

Az eddig ismertett kutatások részben a sikéralkotók összetételének és ezek diverzitásának meghatározásával és a fajtaazonosítás lehetőségével foglalkoztak. Az összetevők vizsgálata azonban akkor vált igazán fontossá és érdekessé, amikor sikerült bizonyítani a gliadinok és glutenin alegységek kapcsolatát a technológiai minőséggel. Kenyérbúzában Payne et al. (1979) publikálták e területen az első eredményeket az 1-es (*Glu-A1x1*) HMW glutenin alegységről. A későbbiekben több HMW glutenin alegység kapcsolatát is bizonyították a sütőipari minőséggel és ezek hatásának erőssége alapján megállapították a minőségi értékszámukat (Payne et al. 1987). A kenyérbúza fajta tartalékfehérje összetételéről részletes információ található az AACCI International honlapján (Békés és Wrigley 2013). A martonvásári eredetű *T. aestivum* fajtákban található sikéralkotó fehérjealegységekről Baracskai et al. (2011) közölt adatokat.

Payne és munkatársai elvülhetetlen érdemeket szereztek a kenyérbúza minőségét befolyásoló sikerösszetevők vizsgálata területén, azonban kevésbé ismert az a tény, hogy a durumbúza volt az első gabonafaj, amelyben a tartalékfehérje összetevők és technológiai minőség közötti összefüggést kimutatták. Több prolamin allél is statisztikailag igazolható hatást gyakorol a durumbúza minőségére (Martinez et al. 2005). A búza (*Triticum aestivum*) sütőipari minőségének alakításában kiemelkedő fontosságú HMW glutenin alegységek szerepe kevésbé jelentős a szárzészta minőségének alakításában (Branlard és Marion, 2011). A gliadinok közül



elsőként a 42-es és a 45-ös  $\gamma$ -gliadin alegységek hatását mutatták ki. Damidaux et al. (1978) eredménye szerint a 45-ös  $\gamma$ -gliadin alegységet hordozó fajták viszko-elasztográffal mért R-értékének átlaga meghaladta a 42-es mobilitású gliadin fehérjét hordozókét. Megfigyelésüket a későbbiekben Kosmolak et al. (1980; mikromixográfós vizsgálat, SDS szedimentációs-, sikértörési- és téztafőzési teszt), valamint Autran et al. (1986, Autran és Galterio 1988; mikrokorong főzési index, sikérrugalmasság helyreállása, SDS szedimentációs érték, siker szilárdság) is megerősítették eltérő sikérerősség vizsgálati módszereket használva. Payne et al. (1984b), valamint Pogna et al. (1988) eredményei ezzel szemben azt bizonyították, hogy a gliadin fehérjék mindössze markereknek tekinthetők és a valódi hatást az ugyancsak az 1B kromoszóma rövid karján található gének által kódolt LMW glutenin alegységek (LMW-1 és LMW-2) gyakorolják a viszkoelasztikus tulajdonságokra, a siker erősségére. Bár a kapcsoltság szorossága és a módszer egyszerűsége miatt a gliadin vizsgálat elfogadható hatékonysággal használható a nemesítési programokban (Singh és Shepherd, 1988), a nagyobb pontosság miatt az LMW glutenin alegységek kimutatása előnyösebb (Ruiz és Carillo, 1995). Feillet et al. (1989) az LMW gluteninek és a technológiai minőség kapcsolatának területén végzett kutatásaikat 6 pontban összegezték. 1.) a 42-es és 45-ös  $\gamma$ -gliadinok csak genetikai markereknek tekinthetők a száraztészta állaga és szilárdsága vizsgálata során. 2.) az LMW gluteninek mennyisége genetikailag kontrollált a fajtákban, és ez szignifikánsan eltérő lehet. 3.) Az LMW glutenin-tartalom határozza meg a siker viszkoelasztikus tulajdonságait. 4.) Hőkezelés hatására az LMW glutenin alegységek összekapcsolódnak, így javítják a tézta állagát és szilárdságát. 5.) A durumbúza sikerje ciszteinben gazdag fehérjéket tartalmaz. 6.) E fehérjék által kialakítható kénhidak mennyisége szignifikánsan korrelál a kifőzött tézta felszínének állapotával. E megállapítások egyértelműen alátámasztják az LMW alegységek kimagasló jelentőségét a száraztészta technológiai minőségének alakításában.

Az 1A és 1B hosszú karján található HMW glutenin alegységek termeléséért felelős gének a durumbúzában is megtalálhatók. Branlard et al. (1989) 502 durumfajtában 7 1A és 11 1B kromoszóma által kódolt alegységet azonosított. Megállapításuk szerint néhány, a *T. aestivum* fajban közönségesen előforduló alegység hiányzik a durumbúzából, viszont ez utóbbi fajban több, a kenyérbúzából hiányzó alegység is megtalálható. Az eltérő alegységek jelenlétét mutáció hatásának tulajdonították. Brites és Carillo (2001) a *Glu-1* (HMW) és a *Glu-3* (LMW) lokuszon található gének által kódolt glutenin alegységek hatását vizsgálták négy keresztezésből származó durumbúza utódok üvegességére, fehérje- és szárazsiker-tartalmára, sikerindexére, SDS szedimentációs térfogatára, mixográfós és farinográfós tulajdonságaira. Eredményeik alapján a HMW és LMW alegységek is befolyásolták a technológiai minőségi tulajdonságokat. Kísérleteikben a legjobb feldolgozóipari értékkel a 14+15-ös HMW és a *c*, valamint a *j* LMW glutenin alegység kombinációját hordozó utódok rendelkeztek. Sissons et al. (2005) az LMW glutenin alegységek szerepét emelte ki a siker erősségének alakításában, de a HMW alegységeket tanulmányozva különbséget tudtak tenni azok hatásában. Javaslatuk alapján a nemesítési programokban kerülendő a 20-as HMW glutenin alegység, valamint a *Glu-A3b* (a jelenleg elfogadott nomenklatúra alapján *Glu-A3k*; McIntosh et al. 2020) LMW alegység használata.

A durumbúza genotípusok sikérerőssége tovább javítható a *Glu-D1* lokuszon található HMW glutenin alegység allélek beépítésével. Joppa és Williams (1988b) szubsztitúcióval kicserélték a 'Langdon' fajta 1B kromoszómáját a 'Chinese Spring' búzafajta 1D kromoszómájával. Annak ellenére, hogy a 'Chinese Spring' a sütőipari szempontból kevésbé előnyös 2+12 (*Glu1-D1a*) alegység kombinációt hordozza az 1D kromoszómán, az szubsztitúció hatására javult a 'Langdon' fajta sikérerőssége (Liu et al. 1995). Az 5+10 (*Glu1-D1d*) HMW alegység kombináció beépítésétől a 2+12-nél erősebb hatás volt várható, hiszen a sütőipari minőségre gyakorolt hatása alapján ez a legkedvezőbb változat (Payne et al. 1987).

Több kutatócsoport is sikereket ért el ezen a területen. Lukaszewski és Curtis (1994) hexaploid 'Rhino' tritikálé fajtában hozott létre transzlokációt, melynek során az 1A kromoszóma hosszú karját az 1DL kromoszómakarra cserélte. Ezt a genetikai forrást sikeresen használták fel Blanco et al. (2002) a 'Creso' durumbúza fajta HMW alegységeinek megváltoztatására. A transzlokáció technológiai minőségre gyakorolt hatását nem közölték. Xu et al. (2005) *in situ* hibridizációval, mikroszatellit markerekkel, és fehérje elektroforézissel bizonyították az 1D kromoszóma eredetű HMW glutenin alegységek beépülését korábban létrehozott (Joppa et al. 1998) durumbúza törzsek genomjába. Technológiai minőségre vonatkozó információ ebben a cikkben sem található. Ceoloni et al. (1996 és 2003; Gennaro et al. 2012) 'Torim 73' búzafajtából származó 5+10 alegységet, valamint az 1BS kromoszómakaron található *Gli-D1/Glu-D3* (gliadin és LMW glutenin alegységeket kódoló) géneket juttatták át durumbúza genomba (ebben az esetben is az 1A kromoszóma volt érintett) a homeológ kromoszómák párosodását lehetővé tevő 'Chinese Spring' *ph1b* mutánst használva. A transzlokációt hordozó genotípusokban nőtt az SDS szedimentációs térfogat, ugyanakkor az alveográfus minőséget elsősorban az LMW alegységek javították. Szerzők szerint az 5+10 alegységet hordozó genotípusok a gyengébb minőségű tételek feljavítására hasznosíthatók, javító búzaként. Sissons et al. (2014) mind a 2+12, mind pedig az 5+10 HMW glutenin alegység kombináció siker erősségét növelő hatását bizonyították. Két év vizsgálatai alapján a 'Svevo' durumbúza fajta sikerindexének átlaga 63, míg a D genom specifikus alegységeket hordozóké 99 (2+12) és 94 (5+10) volt, továbbá a mixográfus térszaktialakulási idő szignifikánsan nőtt, a térszta ellágyulás pedig csökkent az 1DL.1AL transzlokációt hordozó genotípusokban.

A keresztezéssel történő génátvitel helyett a HMW glutenin alegységek genetikai transzformációval is beépíthetők. Az *1Dx5* és az *1Dy10* alegység szekvenciája már három évtizede ismert (Anderson et al. 1989) és az 1990-es évek elején az *1Ax1* alegységek kódoló bázissorrendet is publikálták (Halford et al. 1992). A szekvenciák ismeretében lehetővé vált ezek beépítése durumbúzába. He et al. (1999) az *1Dx5* és az *1Ax1* HMW glutenin alegységet kódoló génekkel transzformáltak. Az új tartalékfehérje-alegységek hatására megnőtt a mixográfus térszaktialakulási idő és a térszta stabilitás olasz durumbúza genotípusokban ('L35' és 'Ofanto' fajták). Az *1Ax1* sikererősséget növelő hatását ettől eltérő genetikai hátterű ('Luna') transzformált utódokon is igazolták (Li et al. 2012).

A gliadin fehérjéket és a glutenin alegységeket kódoló lokuszok helyzetét molekuláris térképezéssel is meghatározták (Dubcovsky et al. 1997, Blanco et al. 1998, Nachit et al. 2001, Gadaleta et al. 2009, Maccaferri et al. 2014a), több allélnak már a bázissorrendje is ismert (Qi et al. 2009). A technológiai minőséget befolyásoló LMW glutenin alegységek és gliadinok azonosítására PCR alapú molekuláris markereket fejlesztettek, ami lehetővé teszi a marker-selektió használatát a durumbúza nemesítési programokban (D'Ovidio et al. 1990 és 1992, D'Ovidio és Porceddu 1996).

A sikerfehérjék szerepe kiemelkedően fontos a sikererősség kialakításában, azonban ezek mellett egyéb genetikai faktorok hatása is kimutatható. Roselló et al. (2018) asszociációs térképezéssel az 1-es és 6-os kromoszómák mellett a 2B, 3A, 3B, 5A, 5B, 7A és a 7B kromoszómán is azonosítottak a siker erősségét befolyásoló QTL-eket mediterrán származású durumbúza tájfajtákban. A QTL-ek közül azonban kizárólag egy, a 7B kromoszómán lokalizált QTL hatását sikerült két évben kimutatniuk, de e régió funkciója ismeretlen maradt. Clarke et al. (2009a) asszociációs térképezésen alapuló vizsgálati eredményei szerint a 2A, 2B, 3B, 4A, 5B és a 6B kromoszómán található a sikerindex nagyságát meghatározó régiók. Kiegyensúlyozott és kiegyensúlyozatlan adatok alapján az észak-dakotai durumbúza nemesítési programban ugyancsak asszociációs térképezéssel az 1B, 3A, 3B, 6A és 7B kromoszómán elhelyezkedő régiók voltak kapcsolatosak a sikerindexszel (Johnson et al. 2019). A térképezési eredményeket összesítve, a sikerindex nagyságát meghatározó lokuszok találhatóak a

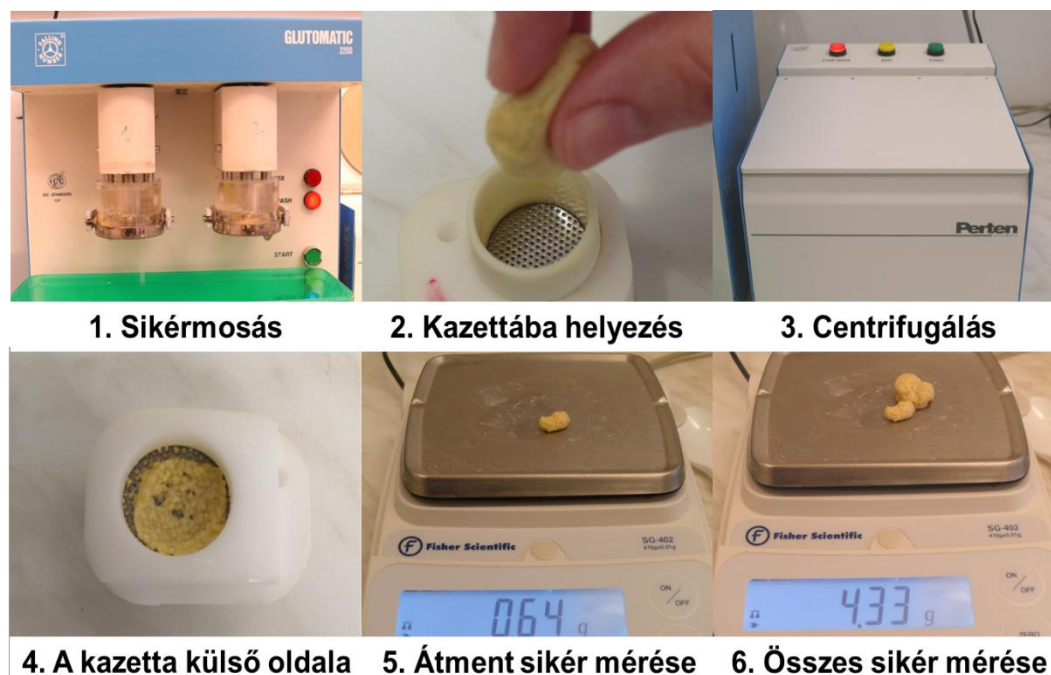
durumbúza következő kromoszómáin: 1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3B, 4A, 5A, 5B, 6A, 6B, valamint a 7B. Mindössze a 4B és a 7A kromoszóma hiányzik a felsorolásból, ami azt bizonyítja, hogy ezt a technológiai minőségi tulajdonságot komplex genetikai rendszer szabályozza.

### 2.3.2. Sikér erősségének meghatározása és a sikérindex

A sikér szerkezete és ezen belül a mátrix erőssége lényeges összetevője a száraztészta minőségének. A sikér erőssége több vizsgálati módszerrel is meghatározható. Az elterjedt, reológiai mérésekre használt laboratórium készülékek a durumbúza minták vizsgálatára is felhasználhatók (Fabriani és Lintas 1988). A farinográffal (Irvine et al. 1961, Matsuo és Irvine 1975, Aalami et al. 2007), mixográffal (Bendelow 1967, Edwards et al. 2007) és alveográffal (Matsuo és Irvine 1970, Perego et al. 2002, Miravalles et al. 2007) végzett mérések mellett több speciális módszer, pl. viszko-elasztográfus vizsgálat (Damidaux és Feillet 1978), SDS szedimentációs teszt (Dexter et al. 1980) és ennek 1 g-os mintaméretre kidolgozott mikro változata (Dick és Quick 1983), a kézzel végzett rugalmasság vizsgálat (D'Edigio et al. 1990), a Mixolab-os (Torbica et al. 2016), valamint a GlutoPeak-es mérés (Sissons 2016, Sissons és Smit 2018) is megtalálható a sikérerősség meghatározására alkalmas módszerek között. A durumbúza nemesítési programok számára is jól használható a sikérindex (GI) mérése, melynek metodikai alapját Harald Perten (1990) dolgozta ki. A sikérindex módszer módosított változatát Cubbada et al. (1992) alkalmazták elsőként durumbúza teljes őrlemény és szemolina vizsgálatára. Eredményeik alapján a sikérindex igen szorosan korrelált a kézi sikérerősség meghatározás adataival ( $r_{\text{teljes őrlemény}} = 0,92$ ;  $r_{\text{szemolina}} = 0,94$ ) szoros összefüggésben állt az SDS szedimentációs térfogattal ( $r_{\text{teljes őrlemény}} = 0,78$ ;  $r_{\text{szemolina}} = 0,80$ ), valamint az alveográfus W értékkel ( $r_{\text{teljes őrlemény}} = 0,81$ ;  $r_{\text{szemolina}} = 0,80$ ). A mérés teljes őrleményből is elvégezhető, mindössze 20 g minta szükséges a vizsgálathoz, így a nemesítési programokban a módszer különösen alkalmas a korai generációkból származó minták vizsgálatára. A mérés eredménye az SDS szedimentációs teszthez viszonyítva kevésbé függ a fehérje koncentrációtól, ami objektívebb szelekciót tesz lehetővé a nemesítők számára (Clarke et al. 2010). A sikérindex összefüggését egyéb reológiai tulajdonságokkal több kutatócsoport bizonyította. Marchylo et al. (2001) részletes reológiai méréseket végeztek 54 kanadai durumbúza genotípussal. Eredményeik alapján a sikérindex szorosan korrelált az SDS szedimentációs térfogattal ( $r = 0,80$ ), a farinográfus térszaktialakulási idővel és -stabilitással ( $r = 0,84$  és  $0,75$ ), az extenzográfus tulajdonságokkal (görbe alatti terület 135' után mérve:  $r = 0,84$ ;  $R_{\text{max}}/\text{hossz}$ :  $r = 0,75$ ) és az alveográfus W értékkel ( $r = 0,85$ ). Edwards et al. (2007) az alveográfus W értékkel ( $r = 0,78 - 0,82$ ), az oldhatatlan polimer protein frakcióval ( $r = 0,77 - 0,78$ ), valamint a mixográffal mért dagasztási idővel ( $r = 0,61 - 0,78$ ), Miravalles et al. (2007) az alveográfus W értékkel ( $r = 0,78$ ), Lerner et al. (2004) pedig a farinográfus energia szinttel ( $R^2 = 0,7442$ ) és toleranciával ( $R^2 = 0,8686$ ) mutattak ki szoros összefüggést. Peña (2000) a CIMMYT nemesítési programjában létrehozott 192 genotípus mintáit használva mindössze közepes erősségű korrelációt ( $r = 0,51$ ) számított a sikérindex és az alveográfus W érték és a mixográfus térszaktialakulási idő között ( $r = 0,54$ ). A gyengébb összefüggést magyarázhatja, hogy a vizsgált genotípusok között nagy számban (55 db) voltak jelen speciális törzsek, melyek az 1A kromoszómájukon az 1DL *T. aestivum* eredetű kromoszómakart, és ezen az 5+10 HMW glutenin alegység kombinációt hordozták, ami jelentősen módosíthatta a sikér erősségét és megváltoztathatta annak eredeti tulajdonságait.

A sikérindex mérés (1. kép) napjainkban általánosan elfogadott eljárás a sikér erősségének meghatározására (Oikonomou et al 2015), módszerének leírását nemzetközi szabványok tartalmazzák (AACCI International 2010c, ICC 1994 és 1995).

1. kép. A sikérindex mérése



1. Sikérmosás

2. Kazettába helyezés

3. Centrifugálás

4. A kazetta külső oldala

5. Átment sikér mérése

6. Összes sikér mérése

$$\text{Sikér index} = \frac{(\text{Összes sikér} - \text{Átment sikér})}{\text{Összes sikér}} * 100$$

### 2.3.3. A sikérindex genetikai meghatározottsága durumbúzában

A sikérindex vizsgálat kidolgozása és elterjedése előtt több, a sikér erősségével összefüggő tulajdonság öröklődését vizsgálták. Braaten et al. (1962) három keresztezési kombinációt használva a standard mixográfus kategória esetén 0,56–0,64 közötti örökölhetőséget (szűkebb értelemben vett  $h^2$ ) számított. Az SDS szedimentációs térfogat  $h^2$  értéke 0,53 és 0,76 tartományon belül alakult, míg a realizált örökölhetőség 0,63 és 0,72 között volt (Clarke et al. 1993, Patil et al. 2009). Mikro szedimentációs tesztet használva a realizált örökölhetőség 18 és 41 % volt a két vizsgált populációban (McClung és Cantrell 1986).

A sikérindex jól öröklődő genetikai tulajdonság, heritabilitási értékszama Clarke et al. (2000) kísérletében három keresztezési kombináció 120 utódjának vizsgálata alapján 0,84 és 0,93 közötti volt. Eredményeiket a későbbiekben szélesebb fajtakört használva (6 kombináció, 398 törzs;  $h^2 = 0,84-0,95$ ) is igazolták (Clarke et al. 2009b). Durumbúzában az első sikérindex mérés közel 30 évvel ezelőtt történt, ennek ellenére mind a mai napig kevés a publikált eredmény. Különösen igaz ez a megállapítás az őszi durumbúzákra.

Az első annotált búza referencia genom ('Chinese Spring' fajta) publikálása (International Wheat Genome Sequencing Consortium 2018) új perspektívát nyitott a genomikai kutatások területén. A jelenleg is folyó *Pan Genome*, vagy más néven *10+ Genome Project* keretében hamarosan további 13 *T. aestivum* fajta genetikai háttere válik ismertté (Pozniak és Regier 2019). A durumbúzában is elindultak az ezirányú kutatások. A 'Svevo' fajta 9 836 562 273 bázis méretű genomja BLAST keresésre alkalmas formában 2019. február 13. óta megtalálható a National Center for Biotechnology Information (NCBI) honlapján (ITB-CNR 2019). A DNS szekvenálásra alkalmas technológia gyors fejlődése már lehetővé teszi genom-alapú szelekció alkalmazását is a durumbúza nemesítésben (Haile et al. 2018, Rapp et al. 2018).

## 2.4. A durumbúza sárgapigment-tartalma

A durumbúzából készített száraztészta sárga színének kialakulását két fő tényező befolyásolja: az alapanyag genetikailag determinált minősége és a feldolgozó ipar által alkalmazott technológia (Irvine és Winkler 1950, Irvine és Anderson 1953). A genetikailag meghatározott tulajdonságok között első helyen található a sárgapigment-tartalom (Borrelli et al. 1999), amely különleges szerepet tölt be a durumbúza technológiai minősítésében.

### 2.4.1. A durumbúza szemtermésében található sárgapigmentek

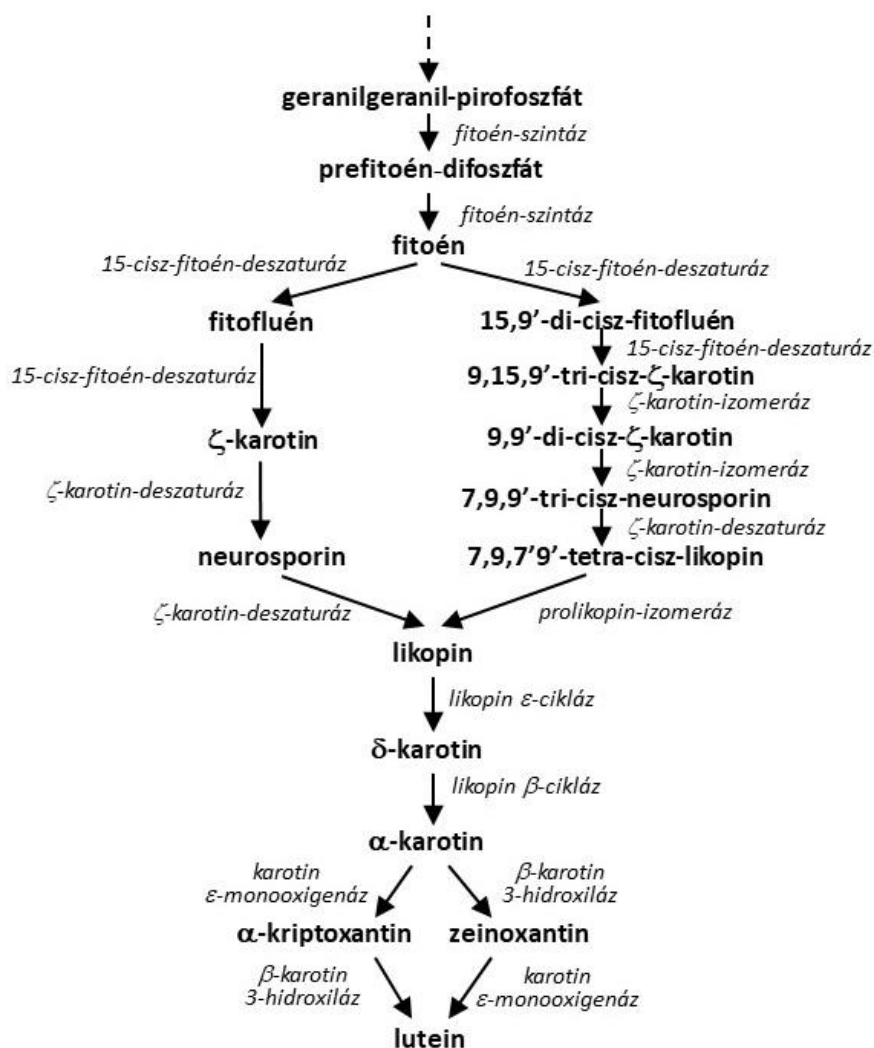
A növényekben található pigmentek egyik legfontosabb és legnagyobb számú csoportját a karotinoidok alkotják. Az e csoportba tartozó vegyületek élettani funkciója kettős: 1.) a fotoszintézis folyamatában a napfény hasznosításának kiegészítő molekulái és 2.) a fotooxidatív károsítást gátolják (Demmig-Adams et al. 1996). A karotinoidok másik lényeges feladata az idegentermékenyülő növényfajokban a virág színének élénkebbé, attraktívává tétele a beporzást végző rovarok figyelmének felkeltésére. A legtöbb virág és termés narancsszínű, sárga és vörös színeződése a kromoplasztban raktározott karotinoidok miatt alakul ki. A növényi eredetű élelmiszerek jelentős mennyiségű  $\beta$ -karotint és xantofilleket (lutein, violaxantin, neoxantin, zeaxantin) tartalmaznak (Perry et al. 2009, USDA-ARS 2015). Bár a karotinoidok jelenléte a növényi szövetekben már több mint egy évszázada ismert (Tswett 1911), mindössze az elmúlt két-három évtizedben jelentek meg azok a közlemények, melyek új tudományos alapokra helyezték a színanyagok bioszintézisének ismeretét (Sandmann 1994, Armstrong és Hearst 1996).

A búzában található sárga színanyag kutatása a múlt század első felére nyúlik vissza. Markley és Bailey (1935) a sárga színért felelős molekulák közül legnagyobb jelentőséget a xantofillnek és észtereinek tulajdonította. Zechmeister és Cholnoky (1940) magyar búza lisztjéből a világon elsőként, tisztított és kristályosított luteint állított elő (60 kg búzalisztból 15 mg luteint!). Irvine és Anderson (1949) kromatográfiás elválasztásának eredménye szintén a lutein dominanciáját bizonyította (57,4%), azonban emellett nagy mennyiségben egyéb xantofill jellegű vegyület – ami az abszorpciós maximum értékek alapján feltételezésük szerint taraxantin lehetett – jelenlétét is kimutatták. A taraxantin ilyen arányú előfordulását későbbi vizsgálatok eredményei nem támasztották alá. Lepage és Sims (1968) a 'Mindum' kanadai tavaszi durumbúzafajta pigmenttartalmát oszlop kromatográfiás módszerrel elemezve megállapította, hogy a sárga színanyag 84,8%-át szabad lutein, fennmaradó részét pedig e vegyület észterei alkották. Nagyteljesítményű folyadékkromatográfiás (HPLC) módszerrel végzett mérések eredményei szerint (Hentschel et al. 2002, Fratianni et al. 2005, Abdel-Aal et al. 2007, Burkhardt és Böhm 2007) a durumbúzában található karotinoid származékok közel 90%-át a lutein különböző izomerjei (transz-lutein, 13-cisz-lutein, 13'-cisz-lutein és 9-cisz-lutein) tették ki, emellett a mintákban 9–10%-nyi mennyiségű zeaxantin és 1–2%-nyi  $\beta$ -karotin volt kimutatható. Valamennyi kutatási eredmény azt bizonyítja, hogy a durumbúzában található karotinoid származékok közül legnagyobb mennyiségben a lutein fordul elő.

A lutein a karotinoid bioszintézis útvonalak egyikének végterméke (1. ábra, Kanehisa et al. 2012). A lutein izoprenoid típusú molekulája több lépcsőben, összetett enzimatikus folyamatok eredményeként alakul ki (Sandmann 1994, Armstrong és Hearst 1996, Hirschberg et al. 1997, Cunningham, Jr. és Gantt 2001).

A 4. táblázatban van den Berg et al. (2000) összefoglaló munkája (legtöbbször zeaxantinnal együtt mért érték), valamint Ramachandran et al. (2010) mérései alapján ismertetjük néhány növényfajban és a durumbúza szemtermésében kimutatható lutein mennyiségét.

1. ábra. A luteinszintézis lépései növényekben. Az enzimatis folyamatok során keletkező vegyületek félkövér, az átalakítást végző enzimek dőlt betűtípussal jelölve. (KEGG adatbázis, Kanehisa et al. 2012; Scolnik és Bartley 1994, Cunningham et al. 1996, Sun et al. 1996, Schneider et al. 1997, Bartley et al. 1999, Breitenbach et al. 1999, Cunningham, Jr. és Gantt 2001, Park et al. 2002, Tian et al. 2004, Breitenbach és Sandmann 2005, Kim és DellaPenna 2006, valamint Chen et al. 2010 nyomán)



4. táblázat. Zöldség- és gyümölcsfélék, valamint a durumbúza luteintartalma (van den Berg et al. 2000\*, valamint Ramachandran et al. 2010\*\* mérése alapján)

Növényfaj	Lutein, mg·kg <sup>-1</sup>
Sárgarépa*	0,00 – 20,97
Paradicsom*	0,44 – 7,40
Spenót*	20,47 – 203,00
Brokkoli*	8,30 – 43,00
Saláta*	0,73 – 45,37
Őszibarack*	0,09 – 1,20
Durumbúza**	1,99 – 7,56

A lutein humán vonatkozásban is jelentős karotinoid származék, melynek az utóbbi időben kiemelkedő jelentőséget tulajdonítanak a táplálkozástudósok. Alves-Rodrigues és Shao (2004) 173. luteinnel kapcsolatos közlemény alapján elkészített összefoglalója szerint a molekula több ponton fejti ki jótékony hatását az emberi szervezetben. A lutein alapvető összetevője a retina középső területén elhelyezkedő szem sárgafoltjának (*macula lutea*), ahol a zeaxantinnal együtt elnyeli a szem ideghártyáját károsító kék fényt, és ezzel megakadályozza a szövetek elfajulását, valamint lassítja a szem öregedésével kapcsolatos betegségek (időskori makula-degeneráció, szürke hályog) kialakulását. Az érlelmeszedés folyamatának lassításával hozzájárul a szív egészséges állapotának megőrzéséhez, a bőrben pedig csökkenti az ibolyántúli (UV) sugárzás káros hatását.

A lutein a szemtermés különböző részeiben egyenlő arányban található meg (Panfili et al. 2004, Borrelli et al. 2008). A gabonafélék endospermiumában a keményítőszemcsék tárolására specializálódott amiloplasztokban (Kirk és Tilney-Bassett 1978) raktározódik (Howitt és Pogson 2006). A durumbúza malmi frakciói közül nyolc fajta átlagában a különböző szemcseméretű szemolina (dara) frakciók 48,1–63,0%-kal több karotinoidot tartalmaztak, mint a korpa. Ez az arány a különböző genotípusokból származó mintákban jelentősen eltérő volt. Nagy sárgapigment-tartalmú fajták szemolinája a korpa frakcióban mért karotinoid mennyiség közel kétszeresét tartalmazta, míg a kis sárgapigment-tartalmú genotípusokban a két frakció karotinoid-tartalma nem különbözött (Hentschel et al. 2002). A lutein felhalmozódás dinamikáját a környezet (termőhely és évszám) jelentősen befolyásolja. Ramachandran et al. (2010) 13 durumbúza genotípus parcelláiból a virágzást követő 14., 21., 28. és 35. napon begyűjtött, továbbá teljes érésben betakarított minták karotinoid-tartalmát vizsgálták. A durumbúza genotípusokat három – nagy-, közepes- és kis sárgapigment-tartalmú – csoportba sorolták. A nagy és közepes csoport mintáiban a karotinoid származékok több, mint 90%-a lutein volt, míg a kis pigment tartalmú csoportban ez az érték 84–86% között alakult. Egy termőhelyen egy évben a lutein felhalmozódás egészen a teljes érésig tartott, míg a másik termőhelyen az első évben már a virágzást követő 21. napig kialakult a maximális lutein-tartalom (sőt ezután csökkent), míg második évben a 28. napot követően kizárólag a nagy sárgapigment-tartalmú csoportban nőtt szignifikánsan a lutein koncentráció. A szerzők a kísérlet körülményeiről (talajjellemzők, meteorológiai tényezők, agronómiai kezelések) nem közöltek adatokat, így nem lehet megállapítani, hogy mi okozhatta a jelentős eltérést a lutein felhalmozás dinamikájában. Búzában a sárgapigmentet alkotó vegyületek összetétele jelentős változáson megy át a szentelítődési és az érési folyamat során (Howitt et al. 2009). Míg a lutein mennyisége a virágzást követő 10. és 30. nap között közel állandó, a zeaxantin a 10., a violaxantin és az antheraxantin a 30. napig volt kimutatható. Érett szemben már kizárólag lutein volt jelen, ennek mennyisége viszont közel kétszeresére nőtt a 30. napon mért értékhez viszonyítva.

#### 2.4.2. A sárgapigment-tartalom mérési módszerei

A sárgapigment – és ezen belül a lutein-tartalom – mérésére közvetett és közvetlen mérési módszereket is kidolgoztak. A közvetett mérések a karotinoid származékok azon tulajdonságát hasznosítják, hogy a pigmentek a látható, vagy a közeli-infravörös tartományban található elektromágneses hullámokat eltérő hullámhosszon nyelik el, vagy verik vissza (spektrofotometria), míg a közvetlen módszerek főként kromatográfiás mérést jelentenek.

A karotinoid származékok mennyiségi meghatározásának alapját a vegyületek apoláros oldószerrel történő kivonásával (Borodin 1883) és tisztításával kapcsolatos kitartó munka jelentette. A több évtizeden keresztül, részletesen kidolgozott extrakciós eljárás fontosabb lépéseiről Palmer (1922) összefoglaló kötetéből részletes információhoz juthat az olvasó. A

karotinoidok mennyiségi meghatározása már ebben az időszakban megkezdődött, ami a festékanyagok különböző vegyszeres oldatba vitelét, majd ezek kristályos formában történő kinyerését követő tömegmérést jelentett. Arnaud már 1887-ben adatokat közölt a spenót (*Spinacia oleracea*), a nagy csalán (*Urtica dioica*) és különböző fűfélék szárított leveleinek karotinoid-tartalmáról. Választása szerencsés volt, hiszen mai tudásunk szerint éppen a leveles zöldségfélék és ezen belül is a spenót tartalmazza a legtöbb xantofill típusú vegyületet (USDA-ARS 2015). A búzában található lutein mennyiségére Zechmeister és Cholnoky (1940) közleménye alapján lehetett elsőként következtetni. Mint az az előző fejezetben szerepelt, 60 kg búzalisztból 15 mg tisztított luteint állítottak elő, ami  $0,25 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  koncentrációnak felel meg. Eredményük nagyságrendileg megegyezett Zandomeneghi et al. (2000) által mért mennyiséggel, akik 60 évvel később spektrofotométerrel a búza lutein-tartalmát  $0,09$  és  $1,90 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  közöttinek írták le.

A sárgapigment-tartalom meghatározására kidolgozott módszerek napjainkban is széles körben alkalmazott változatai spektrofotometriás méréseken alapulnak. E csoportba tartoznak a két nagy nemzetközi gabonakémiai szövetség, az ICC (International Association of Cereal Science and Technology) és az AACC (American Association of Cereal Chemists, újabban AACC International) által kiadott és elismert szabványos módszerek. Mindkét módszer alapja azonos: a sárgapigmentet alkotó vegyületeket vízzel telített n-butanollal kivonják, majd  $440 \text{ nm}$  (ICC 152 szabvány), vagy  $435,8 \text{ nm}$  (AACCI 14-50.01 szabvány) hullámhosszon spektrofotometriás méréssel az oldat koncentrációját  $\beta$ -karotin referencia minta oldatéhoz viszonyítják. Mivel a meghatározás során a sárgapigment-tartalmat  $\beta$ -karotin kontrollhoz hasonlítják – ami egyáltalán nem, vagy csak igen kis mennyiségben található meg a durum búzában – a mért érték 5%-kal is eltérhet a valós mennyiségtől (ICC 1990). Az AACC 14-50.1 szabvány (AACC International 2010a) összeállítói is felhívják a figyelmet arra, hogy mivel a sárgapigment legfőbb összetevői xantofill típusú vegyületek, a mért eredmény csak relatív értéknek tekinthető. Santra et al. (2003) az AACC 14-50 szabvány alapján kialakított módszerükben a vizsgálatokhoz szükséges minta mennyiségét  $8 \text{ g}$ -ról  $0,125 \text{ g}$ -ra csökkentették, így durumbúza nemesítési programjukban alkalmassá vált a korai utódgenerációk mintáinak tesztelésére.

A sárgapigment-tartalom mérésére kidolgozott módszerek másik csoportja a kromatográfiás mérések elvén alapul. Lepage és Sims (1968) vékonyréteg kromatográfiát, majd gáz-folyadék kromatográfiát alkalmazva bizonyította, hogy a 'Mindum' durumbúza fajta sárgapigmentjének  $84,8\%$ -át lutein,  $9,8\%$ -át lutein-monoészter,  $5,3\%$ -át pedig lutein-diészter alkotja, a vegyületek abszolút mennyiségét azonban ezzel a módszerrel nem lehetett megállapítani. A durumbúza sárgapigment-tartalmának meghatározására a korábban használt módszereknél pontosabb, nagy teljesítményű folyadékkromatográfiás (HPLC) mérések csak a XXI. század első éveiben kezdődtek. Elsőként Hentschel et al. (2002) számoltak be német fajták mintáin végzett mérésekről. Eredményeiket összehasonlították a szabványos módszerekkel és számításaik szerint a spektrofotométerrel meghatározott mennyiségnek mindössze  $30\text{--}50\%$ -át mérték. Az eltérésre nem tudtak ésszerű magyarázatot adni. Panfili et al. (2004) normál-fázisú HPLC-vel több gabonafaj termésében – többek között a durumbúzában – határozták meg a karotinoidok típusát és ezek mennyiségét. Eredményük alátámasztotta korábbi irodalmi adatokat, durumbúzában a pigmentek túlnyomó többsége lutein volt ( $2,65\pm 0,65 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ), emellett zeaxantint és  $\alpha+\beta$ -karotint is kimutattak ( $0,26\pm 0,04$  és  $0,14\pm 0,04 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). A teljes karotinoid-tartalom kísérletükben  $3,05\pm 0,72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  volt. Ezzel nagyságrendileg egyező értéket határozott meg a durumbúzában Leenhardt et al. (2006,  $3,32\pm 0,18 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ). Ezek az eredmények valóban elgondolkodtatóak, hiszen a kutatócsoportok nem tudtak választ adni arra kérdésre, hogy mi okozhatja a jelentős eltérést a spektrofotometriával és a HPLC módszerrel mért értékek között. A szerzők a  $3,0\text{--}3,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  közötti értékeket nem tekintették reálisnak,



ezért eleinte további pigment alkotók jelenlétét feltételezték (Hentschel et al. 2002). Hazai példa is igazolja, hogy a kezdetekben a HPLC-vel mért értékek rendkívül alacsonyak voltak, hiszen a jelenleg hatályos MSZ 6383:2017 magyar szabvány (Magyar Szabványügyi Testület 2017) – amely a nemzetközi szabványokhoz hasonlóan spektrofotométeres mérést ír elő – alapján az eladásra szánt durumbúza tételeknek el kell érnie a minimum  $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  értéket. A jelenleg köztermesztésben szereplő magyar durumbúzafajtákra a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal adatai szerint általában a  $6\text{--}8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  sárgapigment-tartalom jellemző (Vida és Veisz 2012). A kromatográfiás méréseket tehát tovább kellett fejleszteni. Abdel-Aal et al. (2007) részletesen tanulmányozták a különböző oldószerek hatását az extrakció során, továbbá eltérő típusú és hosszúságú kolonnák (oszlopok) hatékonyságát. UV/Vis detektorral szerelt készüléket használtak és nagy tisztaságú lutein,  $\beta$ -karotin, zeaxantin és kriptoxantin standardhoz viszonyították a mérési eredményeiket. A vízzel telített n-butanolos kioldás, 10 cm-es C30 típusú oszlopon történt vizsgálatot követően a durumbúza minták teljes karotinoid-tartalma  $6,27 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  volt. A kromatográfiás mérés eredményeit összevetették a spektrofotometriás úton meghatározott teljes sárgapigment-tartalommal ( $7,61 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Megállapításuk szerint a spektrofotometriás mérés a teljes karotinoid-tartalmat 20%-kal, a lutein tartalmat pedig 23%-kal fölébecsli, ami feltételezhetően egyéb pigment alkotó vegyületek jelenlétének következménye. Burkhardt és Böhm (2007) az extrakciós eljárás fejlesztésében látta a módszer további pontosításának lehetőségét. Technikai megfontolásból (kompatibilitás a mobil fázissal, párolgási tulajdonságok) és korábbi körvizsgálat eredményeire hivatkozva a 0,1% butil-hidroxi-toluolt tartalmazó metanol/hidrofurán (1/1, v/v) keveréket alkalmasabbnak tartotta a széles körben használt vízzel telített n-butanolhoz viszonyítva. A karotinoidok kivonásához folyamatos rázás mellett, szobahőmérsékleten, 24 órán keresztül tartó kezelést javasoltak. Módszerükben a legfontosabb változást az jelentette, hogy a szerves oldószeres feltárást megelőzően – szemcsemérettől függően különböző ideig – vízzel elegyítették a mintákat (5 g minta 5 mL vízben), ami az oldószer számára hozzáférhetővé tette a xantofill típusú vegyületeket. Az általuk kidolgozott módszerrel a teljes őrleményből az ICC 152 szabvány (1990) alapján mért sárgapigment 90-95%-át, szemolinából pedig a 100%-át tudták karotinoid-tartalomként HPLC-vel meghatározni. Ez a pontosság már megfelelő volt. A további fejlesztés iránya ezért a minta mennyiségének csökkentése felé fordult. A kis mintamennyiség elsősorban a durumbúza nemesítési programok számára nyit új felhasználási területet. Beleggia et al. (2010) először 10-100 mg közötti mennyiségre redukálta a minta méretét és a későbbiekben (Beleggia et al. 2011) módszerüket egy-egy durumbúza szem sárgapigment-tartalmának meghatározására is tudták használni. A HPLC-vel végzett sikeres méréseket követően Hung és Hatcher (2011) UPLC (Ultra-performance liquid chromatography = ultra nagy teljesítményű folyadékromatográfia) módszerrel 1 g őrleményből kiindulva mindössze 6 perc alatt képes volt elválasztani a sárga színanyagot képző vegyületeket. Az UPLC-s mérés kinyerési hatásfoka is kiemelkedő, a vizsgált durumbúza mintákban a teljes pigment mennyisége  $8,7\text{--}14,2 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$  volt, ugyanakkor meglepő, hogy adataik alapján az összes pigmentnek átlagosan csak a 39,6%-át tudták luteinként azonosítani ( $3,30\text{--}5,59 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ). HPLC-DAD-MS méréssel durumbúzában megközelítőleg hasonló mennyiségű ( $2,0\text{--}4,6 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ ) luteint mértek (Ziegler et al. 2015), azonban ellentétben a kenyérbúza, tönköly és alakor mintákkal, amelyeknél több mintában észterifikált változatot is sikerült kimutatni, durumbúzában és tönkében a vegyület kizárólag szabad formában fordult elő.

A mérési módszerek harmadik csoportja nem a pigmentet alkotó vegyületek kémiai analízisén, hanem a sárga szín erősségének, mélységének látható, vagy közeli infravörös tartományban történő meghatározásán alapul. Tulajdonképpen gyakorlati szempontból e mérések eredménye értelmezhető a legkönnyebben, hiszen a vásárló is a látható szín alapján választ terméket és nem a luteintartalom alapján. A közvetlen színmérés további előnye, hogy kiküszöböli az extrakciós minta előkészítés során esetlegesen bekövetkező hibákat és azt is

figyelembe veszi, hogy a szín intenzitásának kialakításában a karotinoidokon kívül egyéb tényezők (szemcseméret, refrakciós index, lipoxigenáz- és peroxidáz enzim aktivitás) is szerepet játszanak (Matz és Larsen 1954, Borrelli et al. 2008). A szemolina és a durumbúzából készült termékek sárga színének optikai meghatározása már az 1930-as években megkezdődött. Fifield et al. (1937) a Munsell-féle (Munsell 1912) színrendszert használva állapította meg nedvesített szemolina korongok színét. A visszavert fény hullámhosszának mérésére alkalmas készülékek az 1950-es években jelentek meg. Matz és Larsen 1954-ben már öt különböző készüléken végzett (Rapid-scanning Spectrophotometer, Densichron, Photovolt, Hunter Color-difference meter és „Color-eye”) mérések eredményeit ismertette. Matsuo és Irvine (1967) reflexiós adapterrel szerelt Beckman DU spektrofotométerrel mérte a makaróni színét. Ez a módszer Walsh et al. (1969) véleményük szerint túlságosan lassú és körülményes volt, ezért a tristimulusos színmérő készülékek (Carl Zeiss Elrepho és Agtron M-500) használatát javasolták. A száraztészta színének koloriméteres mérési módszerét az AACC 1976-ban (AACC International 2010b) szabványban rögzítette, ugyanakkor a durum őrlemények vizsgálatára ez a szabvány nem alkalmazható.

Az optikai úton mért értékek és a karotinoid-tartalom közötti összefüggés hosszú éveken át ismeretlen volt. Elsőként Johnston et al. (1980) hasonlította össze a két módszerrel mért eredményeket. A Hunter Color Difference Meter-rel mért  $b$  érték és az AACC 14-50 szabvány alapján meghatározott sárgapigment-tartalom között szoros korrelációt ( $r = 0,83-0,85$ ) számítottak. A módszert egyértelműen alkalmasnak találták a durumbúza nemesítési programokban történő felhasználásra, hiszen így gyorsan és veszélyes vegyszerek használata nélkül végezhető el a sárgapigment-tartalom növelésére irányuló szelekció. Napjainkra a feldolgozó iparban és a nemesítési programokban a CIE (Commission Internationale l'Eclairage 2008) által elfogadott  $L^*a^*b^*$  színrendszert (CIE S 017-4/E:2007 szabvány) használó készülékek terjedtek el legszélesebb körben. E színrendszerben az  $L^*$  érték a minta fényességéről (0 = fekete, 100 = fehér), az  $a^*$  érték a zöld-magenta (negatív érték: zöld, pozitív érték: magenta) tengelyen, a  $b^*$  érték pedig a kék-sárga (negatív: kék, pozitív: sárga) tengelyen meghatározott színéről ad információt. A koordináta tengelyek által képzett háromdimenziós térben valamennyi látható szín egyértelműen azonosítható (Brainard 2003). A kromaméteres színmérés és a sárgapigment-tartalom közötti szoros összefüggést – és ezáltal a módszer hatékony alkalmazhatóságát – több kutatócsoport is bizonyította. Wehrle et al. (1997; Minolta CR-300 Chroma Meter) 0,88, Borrelli et al. (1999; Minolta CR-200) 0,95, Humphries et al. (2004; Minolta CR-100) 0,89, Fratianni et al. (2005; Minolta CR-200) 0,72–0,94, Digesù et al. (2009; Minolta CR-300) 0,88–0,90, Blanco et al. (2011; Minolta CR-300) 0,87–0,93, Hung és Hatcher (2011; Hunterlab Labscan XE) 0,98, N'Diaye et al. (2017; Minolta CR-200) 0,96-os korrelációs koefficiens értéket számítottak a teljes őrlemény, vagy a szemolina karotinoid-tartalma és  $b^*$  értéke között. A  $b^*$  értéket a szakirodalomban gyakran sárga indexnek nevezik. Itt meg kell jegyezni, hogy a durumbúza minőségét tárgyaló magyar szakirodalomban már korábban is megjelent a sárga index kifejezés (Beke és Szebellédy 1981, Sallai et al. 1983, Erdei et al. 1984). A közölt adatok e vizsgálatok során is tristimulusos elven végzett mérések eredményei voltak, azonban a meghatározás nem durumbúza őrleményből, hanem Alause és Feillet (1970) tésztakorong tesztjének Momcolor-D színmérőre adaptált változatával történt (Sallai 1986).

A közeli infravörös tartományban végzett mérések gyors és roncsolásmentes alternatívát jelenthetnének a sárgapigment-tartalom meghatározás területén. Mivel a NIR/NIT (közeli infravörös fény visszaverésen/áteresztésen alapuló) készülékek teljes szemből végzett mérésekre is alkalmasak (Williams és Sobering 1993), használatuk a durumbúza nemesítési programokban különösen előnyös lenne, hiszen a mérés után a szemek vetőmagként hasznosíthatók. Sajnos a gabona átvételi rendszerben és a malomiparban elterjedt

transzmissziós készülékek többsége a mérési tartományuk (850–1050 nm) miatt nem alkalmas a sárgapigment-tartalom meghatározására. A szélesebb hullámhossz-tartományban mérő készülékek használata azonban sikeres lehet, mint azt Sissons et al. (2006) eredményei bizonyítják. Kísérletükben ugyan nem tudtak szoros összefüggést kimutatni a NIRSystems 6500 műszerrel (mérési tartomány 400–2498 nm) végzett mérés adatai és a  $b^*$  értékek között, de módszerükkel 86%-os valószínűséggel képesek voltak a kis sárgapigment-tartalmú mintákat azonosítani. Dowell et al. (2006) négy NIR/NIT (Cognis QTA Bruker Optics FT-NIR, FOSS Infratec 1241, FOSS NIRSystems 6500 és Perten DA 7200) készülékekkel vizsgáltak kemény- és puhaszemű búzából származó kereskedelmi mintákat és több más tulajdonság mellett a  $b^*$  értéket is mérték. A determinációs koefficiens ( $R^2$ ) valamennyi készülék esetén 0,7-nél kisebb volt, azonban a Foss NIRSystems 6500 vetélytársaihoz viszonyítva sokkal jobban tudta becsülni a sárga szín intenzitását ( $R^2 = 0,66$ , míg a többi műszernél ez az érték 0,30–0,36 volt). Feltehetőleg e megfigyelés is hozzájárulhatott ahhoz, hogy a gyártó FOSS cég a malomiparban legelterjedtebb Infratec 1241 készülékét átalakította. A műszer hullámhossz-tartományát egy színmérő modul beépítésével a 850–1050 nm közöttiről 570–1100 nm-re változtatta, így alkalmassá tette a durumbúza karotin tartalmának becslésére (FOSS 2007). A Foss NIRSystems 6500 alkalmasságát és megbízhatóságát Dvořáček et al. (2018) mérései is alátámasztották.

### 2.4.3. A durumbúza sárgapigment-tartalmának öröklődése és genetikai háttere

A sárgapigment-tartalom genetikailag jól determinált tulajdonság (Martini et al. 2015). Braaten et al. (1962) a heritabilitási értékszámát 72–96% között, Lee et al. (1976) 79%-ban határozták meg. Johnston et al. (1983) által vizsgált populációk esetén ugyanez az érték 31 és 69% között alakult – a sárgapigment-tartalom alapján jobban eltérő szülőkkel létrehozott kombinációknál 66 és 69% volt –, Santra et al. (2005) pedig 0,67 és 0,93 közötti értéket számítottak. Clarke et al. (2006) hat populációval végzett vizsgálatának eredménye alapján a  $h^2$  érték 0,88–0,95 intervallumon belül változott, míg egy kombináció esetén a sárgapigment-koncentráció realizált örökölhetősége 0,34 volt. Valamennyi fent említett szerző egyetért abban, hogy a sárgapigment-tartalmat additív génhatások befolyásolják és már a korai utódgenerációkban sikeresen elvégezhető a transzgresszív egyedek szelekciója. E megállapítással nem értettek egyet Taneva et al. (2019). Bár a kísérletükben a sárgapigment-tartalom  $h^2$  értéke 0,92 volt, a genetikai előrehaladás 28,22-es (ami második legnagyobb szám a 7 vizsgált tulajdonságból álló listán) értéke miatt úgy vélték, hogy korai generációban elvégzett szelekció hatékonysága kérdéses lehet. A nagy heritabilitási értékszám egyben azt is mutatja, hogy a tulajdonság oligogénesen és mindössze néhány allél által determinált. Santra et al. (2005) legalább két nagyhatású és két-három kishatású gén együttes kölcsönhatását feltételezték a sárgapigment-tartalom alakításában az általuk vizsgált kombinációkban. A sárgapigment-tartalom jó örökölhetőségét további vizsgálatok is alátámasztották. Elouafi et al. (2001) 0,88, Reimer et al. (2008) 0,95, Blanco et al. (2011) 0,78–0,93, Roncallo et al. (2012) 0,91-es  $h^2$  értéket határozott meg. Észak-Dakotában (USA) 5 egymást követő évben, három termőhelyen összesen 1184 nemesítési törzs Minolta  $b^*$  értékét mérték. A szemolina színének öröklődése ebben a kísérletben 0,61 volt (Fiedler et al. 2017). Bár ez elmarad a korábban közölt adatoktól, azonban a négy további vizsgált technológiai minőségi tulajdonság közül (hektoliter-tömeg, SDS-szedimentációs térfogat, szemolina kihozatal, szemolina fehérjetartalom) csak a hektoliter-tömeg  $h^2$  értéke volt ennél nagyobb (0,67). Őszi durumbúzában Longin et al. (2013) egyéb agronómiai és technológiai minőségi tulajdonság mellett a Minolta  $b^*$  adatok ismétlődőségét elemezte 101 nemesítési törzs és négy standard fajta, négy környezetből származó adatait felhasználva REML (*restricted maximum likelihood* = korlátozott legnagyobb valószínűség) analízissel. Eredményeik alapján a szerzők 0,9-es  $h^2$  értéket számítottak. Vida et al. (2013) kísérletében 70 őszi durumbúzafajta három évből származó adatai alapján a

Minolta  $b^*$  érték örökölhetősége még ennél is szorosabb volt ( $h^2 = 0,964$ ). Ez utóbbi megfigyelések bizonyítják, hogy a sárgapigment-tartalom őszi durumbúzafajtákban és -törzsekben is elsősorban a genotípus által meghatározott tulajdonság.

A kezdeti, klasszikus genetikai vizsgálatok eredményei alapján a sárgapigment-tartalmat befolyásoló nagyhatású gének jelenlétét a 2A és a 2B kromoszómán valószínűsítették (Joppa és Williams 1988a), azonban feltételezésüket a 'Langdon' durumbúzafajtából előállított *durum-dicoccoides* diszómás szubsztitúciós törzsekkel végzett kutatások eredményei nem támasztották alá (Joppa et al. 1991). E genetikai kísérletben kizárólag a 6A szubsztitúciós törzs örömlényének és az ebből készült száraztészának volt kevésbé sárga a színe a 'Langdon' fajtához viszonyítva. Az adatok tanúsága szerint azonban ez a genetikai anyag nem volt alkalmas a sárgapigment-tartalmat meghatározó genetikai faktorok azonosítására, hiszen a 'Langdon' fajtából készült szemolina és spagetti színe is jelentősen elmaradt a kísérletben használt három további durumbúzafajtából származóéhoz viszonyítva.

A DNS-szintű vizsgálatokra alkalmas technikák kialakulása és gyors terjedése új perspektívát nyitott a sárgapigment-tartalmat meghatározó genetikai faktorok azonosításának területén is. Kenyérbúzában elsőként a 3A és 7A (Parker et al. 1998), majd a 3B és 7A (Mares és Campbell 2001) kromoszómán azonosítottak a karotinoid-tartalmat befolyásoló QTL-eket (*quantitative trait locus* = mennyiségi tulajdonságot meghatározó lokusz). Durumbúzában Elouafi et al. (2001) a 7BL és/vagy a 7AL kromoszómakaron mutatott ki a sárgapigment-tartalmat meghatározó régiókat, melyek létezését később több kutatócsoport is alátámasztotta (Cervigni et al. 2005, Pozniak et al. 2007, Patil et al. 2008, Zhang et al. 2008, Alsaleh 2011, Blanco et al. 2011, Roncallo et al. 2012, Giraldo et al. 2016, Fiedler et al. 2017). E kromoszóma régiók mellett további, a sárgapigment-tartalommal kapcsolt QTL-eket azonosítottak az 1A (Patil et al. 2008), 1B (Cervigni et al. 2005, Zhang et al. 2008, Fiedler et al. 2017, Roselló et al. 2018), 2A (Pozniak et al. 2007, Alsaleh 2011, Blanco et al. 2011), 2B (Fiedler et al. 2017, Roselló et al. 2018), 3B (Patil et al. 2008, Blanco et al. 2011, Giraldo et al. 2016, Roselló et al. 2018.), 4A (Zhang et al. 2008, Roncallo et al. 2012, Roselló et al. 2018), 4B (Pozniak et al. 2007, Zhang et al. 2008), 5A (Blanco et al. 2011, Roncallo et al. 2011), 5B (Patil et al. 2008, Roncallo et al. 2011, Fiedler et al. 2017), 6A (Cervigni et al. 2005, Zhang et al. 2008, Alsaleh 2011, Roncallo et al. 2012, Roselló et al. 2018) és a 6B (Pozniak et al. 2007, Roselló et al. 2018) kromoszómákon. A felsorolt eredmények többsége kétszülős térképező populációk vizsgálatán alapult. E populációk többsége 93 és 155 közötti számú beltenyésztett rekombináns törzsből (RIL; Elouafi et al. 2001, Cervigni et al. 2005, Patil et al. 2008, Alsaleh 2011, Roncallo et al. 2012), dihaploid (DH) törzsekből (Pozniak et al. 2007), vagy korai generációjú családokból ( $F_{2:3}$  és  $F_{3:4}$ ; Blanco et al. 2011) származott. Reimer et al. (2008) tett kísérletet arra, hogy a sárgapigment-tartalmat meghatározó faktorokat széles genetikai bázisú (93 durumbúzafajta és nemesítési törzs) anyagon asszociációs vizsgálattal azonosítsa. A kapcsoltág egyensúlytalanságának (angolul *linkage disequilibrium*) elemzésén alapuló módszer használata ekkor még újdonságnak számított, hiszen lúdfüben (*Arabidopsis thaliana*) is csak a XXI. század elején publikálták az első eredményeket (Jannink et al. 2001, Rafalski 2002) és további évek teltek el, míg a búza technológiai minőségi tulajdonságainak vizsgálatára (Breseghello és Sorrels 2006) és durumbúzában (Maccaferri et al. 2006) megkezdődtek az ezirányú kutatások. Reimer et al. (2008) az asszociációs térképezés eredménye alapján valamennyi kromoszómán azonosított a sárgapigment-tartalommal kapcsolt kromoszómarégiót. Ez a megállapítás tulajdonképpen kudarcnak tekinthető, hiszen az elvárások alapján az új módszerrel megszerzett tudás segíthetett volna pontosítani a kétszülős térképezési populációk vizsgálatából származó eredményeket, de ez nem történt meg. A sikertelenség feltehető oka az lehetett, hogy a vizsgált populáció mérete kicsi, az asszociációs vizsgálat pedig túlságosan megengedő volt (a  $Q$ -mátrixon alapult), ami a populáció struktúrájának hibás becsléséhez vezethetett (Bradbury et

al. 2007). N'Diaye et al. (2017) marker- és haplotípus-alapú asszociációs elemzéssel azonosított a szemolina és a száraztészta sárga színét meghatározó genetikai faktorokat. A szemolina Minolta  $b^*$  értékét a szerzők által hatékonyabbnak tartott haplotípus-alapú analízissel három QTL szignifikáns hatását mutatták ki. Ezek a 2A, 7A és a 7B kromoszómán található. Legerősebb hatásúnak a 7A kromoszómán található QTL bizonyult, mely a teljes variancia 35,6%-át magyarázta. Ezt a 2A (27,5%), majd a 7B (8,9%) QTL követte.

A QTL-analízissel elért sikereket követően a funkcionális vizsgálatok kerültek előtérbe. Durumbúzában Cenci et al. (2004) a karotinoid bioszintézisben szerepet játszó enzimeket kódoló géneket hordozó BAC (*bacterial artificial chromosome* = mesterséges bakteriális kromoszóma) klónokat azonosítottak, melyek a 2A, 2B, 4A, 4B, 5A és 5B kromoszómákról származó szekvenciákat tartalmaztak. A 2-es kromoszóma csoporton a  $\zeta$ -karotin-deszaturáz (*Zds*) enzim, a 4-esen a fitoén-deszaturáz (*Pds*), míg az 5-ösön a fitoén-szintáz (*Psy*) termelését szabályozó gének lokalizációját feltételezték. Mint az a későbbiekben bebizonyosodott, a *Psy* enzimet kódoló szekvenciák helyére vonatkozó megállapításuk csak részben volt helyes, hiszen a *Psy2* (Pozniak et al. 2007) és *Psy3* (Dibari et al. 2012) gének lokuszai valóban az 5-ös kromoszómacsoporton helyezkednek el. A *Psy1* gén lokuszát azonban a rizs 6-os kromoszómáján azonosították (Gallagher et al. 2004), ezért a durumbúzában e gén ortológ szekvenciájának lokalizációját Pozniak et al. (2007) a búza és a rizs közötti szinténia alapján (Gale és Devos 1998, La Rota és Sorrels 2004) a 7-es kromoszómacsoporton feltételezték. Hipotézisüket sikeresen bizonyították, a *Psy1* gén jelenlétét a 7A (*Psy1-2* lokusz) és 7B (*Psy1-1* lokusz) kromoszóma hosszú karjának disztális régiójában QTL-analízissel bizonyították. A lokuszok elnevezése később *Psy-A1* és *Psy-B1*-re (Zhang et al. 2008), majd *Psy1-A1* és *Psy1-B1*-re (Wang et al. 2009) változott. Durumbúzában a *Psy1-A1* lokuszon napjainkig 5 (*d* és *e*: He et al. 2009b; *a*, *o* és *l*: Singh et al. 2009), a *Psy1-B1* lokuszon pedig szintén 5 allélt (*e*, *f* és *g*: He et al. 2009b; *n* és *o*: Zhang és Dubcovsky 2008) írtak le. Rokon fajokban a 7A és a 7B kromoszómákon további 11-11 allél jelenlétét mutatták ki (He et al. 2008 és 2009a, Wang et al. 2009, Howitt et al. 2009, Crawford et al. 2011). A McIntosh-féle génkatalógus (2020) alapján a *Psy1-A1* génnek 20, a *Psy1-B1*-nek 15 allélje ismert, melyek közül a korábbiakban felsorolt 5-5 található meg durumbúza genotípusokban.

Campos et al. (2016) összefüggést kerestek három *Psy1-A1* (*a*, *l*, *o*) és két *Psy1-B1* (*a* és *b*) allél jelenléte és a Minolta  $b^*$  érték között. Eredményeik alapján mindhárom vizsgálati évben a *Psy1-A1* allélt hordozó genotípusok Minolta  $b^*$  értéke volt a legnagyobb, míg a *Psy1-A1a*-t hordozóké a legkisebb. A szemolina sárga színének kialakításában a legjelentősebb szerepet a 7A kromoszómán lokalizált *Psy1-A1* gén játssza, amelynek expressziós aktivitása a virágzást követő 35–42. napon tetőzik (Vargas et al. 2016). Mivel a *Psy1-B1* gén expressziója ennél korábban, már a 21. napon eléri a maximumát, feltételezhető, hogy a két génnek a szemtelítődés folyamán egymást időben kiegészítő szerepe lehet a sárgapigment-tartalom kialakításában. A fitoén-szintáz 1 gén funkcionális jelentőségét interferáló RNS-sel transzformált utódokban is vizsgálták (Zhai et al. 2016). A genetikai módosítás hatására 54–76%-kal csökkent a génexpresszió szintje, a sárgapigment-tartalom pedig 26–35%-kal a kontroll genotípusokhoz viszonyítva.

A karotinoid bioszintézis folyamatában (1. ábra) jelenlegi feltételezés szerint három olyan lépés is van, mely meghatározza a termelt sárga színanyag végleges mennyiségét: 1.) a korai szakaszban bekövetkező fitoén szintézis, 2.) a likopin  $\delta$ -karotinná transzformálása, 3.) az  $\alpha$ -karotin luteinné történő átalakítása (Ficco et al. 2014). A folyamatokban szerepet játszó kulcsenzimek a fenti sorrendben: 1.) fitoén-szintáz, 2.) likopin-ciklázok és 3.) karotin-hidrozilázok/monooxygenázok. A fitoén-szintáz enzim karotinoid mennyiséget meghatározó szerepét különböző növényfajokban több irodalmi forrás is alátámasztja (paprika: Huh et al. 2001, lúdfű: Lindgren et al. 2003, kukorica: Wong et al. 2004, rizs: Paine et al. 2005).

Durumbúzában (Zhang és Dubcovsky 2008, He et al. 2009b, Singh et al. 2009) és a *T. aestivum* fajban (He et al. 2008 és 2009a, Howitt et al. 2009, Crawford et al. 2011) is sikeresen bizonyították a különböző allélek sárgapigment-tartalmat befolyásoló hatását. Az allélek kimutatására kifejlesztett molekuláris markerek a durumbúza nemesítésében is hasznosíthatók (Schulthess és Schwember 2013, Patil et al. 2018).

A fitoén-szintáz mellett még jelentős hatásúnak tartott faktorok közül a 3A kromoszóma likopin- $\epsilon$ -cikláz enzimet kódoló alléljeinek sárgapigment-tartalmat meghatározó szerepét napjainkig csak hexaploid búzában sikerült kimutatni (Crawford és Francki 2013). A 2-es és 5-ös kromoszómák hosszú karján található karotin- $\beta$ -hidroxiláz géneket (2A: *Hyd-A1*, 2B: *Hyd-B1*, 5A: *Hyd-A2* és 5B: *Hyd-B2*) is azonosították és klónozták (Qin et al. 2012). Ez utóbbi enzimek működésének tanulmányozása során bebizonyosodott, hogy xantofill típusú vegyületek még az érett szemtermésben is szintetizálódnak. E megfigyelés magyarázatul szolgálhat Howitt et al. (2009) által közölt adatra, miszerint a virágzást követő 30 nappal mért mennyiséghez képest az érett búzaszem közel kétszeres mennyiségű luteint tartalmazott, miközben az egyéb karotinoid típusú vegyületek mennyisége mérési határ alá csökkent.

A *T. aestivum* 7A kromoszómáján a *Psy1* gén mellett még egy, a kataláz multigén családba tartozó enzim három alléljének (*TaCat3-A1a*, *TaCat3-A1b* és *TaCat3-A1c*) kódoló szekvenciáját is azonosították, melyek összefüggésben álltak a minta sárga színével. Szerzők elmélete szerint az enzim a sejtben a hidrogén-peroxid mennyiségének szabályozásán keresztül befolyásolhatja a Minolta b\* értéket (Li et al 2015). A kataláz enzim a színanyag lebontása által negatív irányban befolyásolja a sárgapigment-tartalmat (Vargas et al. 2016).

A durumbúza genetikai hátteréből adódóan sok sárgapigmentet tartalmaz, azonban a karotinoid-tartalom tovább növelhető idegen fajokból történő génátvitellel. Ceoloni et al. (2014) az általuk kidolgozott módszerrel sikeresen építették be *Thinopyrum elongatum* fajból az *Yp* gént, ami az *Lr19* levélrozsa- és az *Sr25* szárrozsa rezisztenciagénnel kapcsolatosan öröklődik. A génklaszter hasznosítása is megtörtént már, hiszen 2010-ben 'Cincinnati' néven Olaszországban regisztrálták az e génkombinációt hordozó fajtát. Ugyanebből a fajból Carla Ceoloni csoportjától függetlenül Adam Lukaszewski laboratóriumában a Kaliforniai Egyetemen (UCR) is sikeresen hoztak létre 7EL.7AL rekombináns vonalakat, melyek az *Lr19* levélrozsa rezisztenciagén mellett sárgapigment-tartalmat növelő gént (*Y*) is hordoznak (Zhang et al. 2005). Singh et al. (2014) vizsgálatai alapján az *Y* gént hordozó durumbúza genotípusok sárgapigment-tartalma 24,03%-kal haladta meg az e gént nem hordozókéét.

A karotenoid bioszintézisben szerepet játszó gének hatásának vizsgálatára/kimutatására kiváló lehetőséget nyílik genetikailag módosított növényekben. Wang et al. (2014) bakteriális eredetű fitoén-szintáz (*CrtB*) és karotin-deszaturáz (*CrtI*) enzim kódoló szekvenciáit építették be 'Bobwhite' *T. aestivum* fajtába. Az eredetileg 0,58  $\mu\text{g g}^{-1}$  karotinoid koncentráció a *CrtI* génnel transzformált utódnövényben 0,65, a *CrtB*-t tartalmazóban 2,32, míg a mindkét gént hordozó utódban 4,06  $\mu\text{g g}^{-1}$ -ra nőtt. A kísérlet egyértelműen bizonyította a vizsgált gének karotin szintézisben játszott szerepét és jelentőségét.

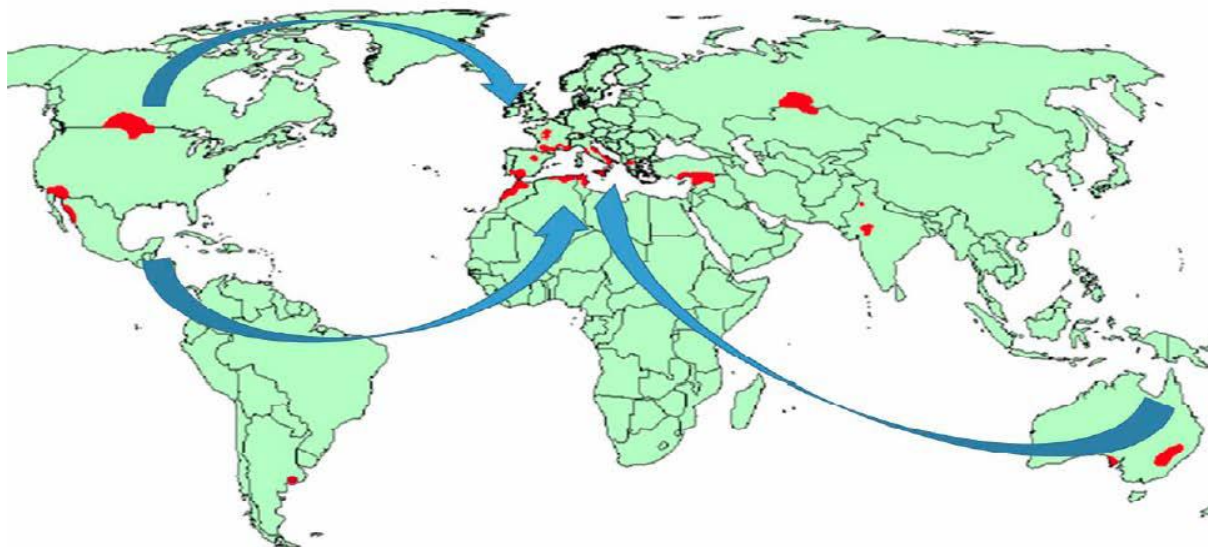
A karotinoidok növényi szövetekben történt azonosítása óta eltelt közel egy évszázad alatt a durumbúzából készült termékek sárga színének kialakításáért felelős vegyületek és ezek mennyiségét meghatározó genetikai faktorok kutatása jelentős fejlődésen ment keresztül. Napjainkra a tudomány választ adott arra a kérdésre, hogy mely molekulák alkotják a sárgapigmentet és ezek milyen lépéseken keresztül, milyen enzimatikus folyamatok eredményeképpen jönnek létre. Az elválasztás technikájának fejlődése nyomán már kis mennyiségű mintából néhány perc alatt mérhető a karotinoidok összetétele. Színméréssel, roncsolás és vegyszerek nélkül információt kaphatunk a termék (szemolina, vagy száraztészta) minőségéről. A genetikai kutatások eredményeként már nem csak a sárga színanyag termelését

irányító gének, hanem azok funkciója is kezd ismertté válni (Colasuonno et al. 2017). A lutein szintézisét kontrolláló enzimeket kódoló génekben az allél-szintű különbségek azonosítása és ezek sárgapigment-tartalommal kimutatott kapcsoltsága hatékonyan használható molekuláris markerek fejlesztéséhez vezetett. A markerszelekció szélesebb körű térnyerése a sárgapigment-tartalom növelésének területén már a közeljövőben bekövetkezhet a durumbúza nemesítési programokban.

## 2.5. A környezet hatása a durumbúza minőségére

A világon megtermelt és kereskedelmi forgalomba kerülő durumbúza túlnyomó részét öntözetlen, szemiárid körülmények között állítják elő (Grant et al. 2012). A Ranieri (2015) által közzétett térképen jól láthatók azok a területek, ahol e faj termesztése folyik és az is, hogy a gabona milyen körzetekből kerül a legnagyobb felvevő piacot jelentő mediterrán országokba (2. ábra).

2. ábra. A világ térképe, pirossal kiemelve a durumbúza termő régiók, a kék nyilak a fontosabb szállítási útvonalakat jelölik (Ranieri 2015)



A térkép érdekessége, hogy az őszi durumbúzatermő területeket nem jelöli, pedig az őszi fajtákat előállító országokban a vetésterület több százezer hektárra tehető (Palamarchuk 2005).

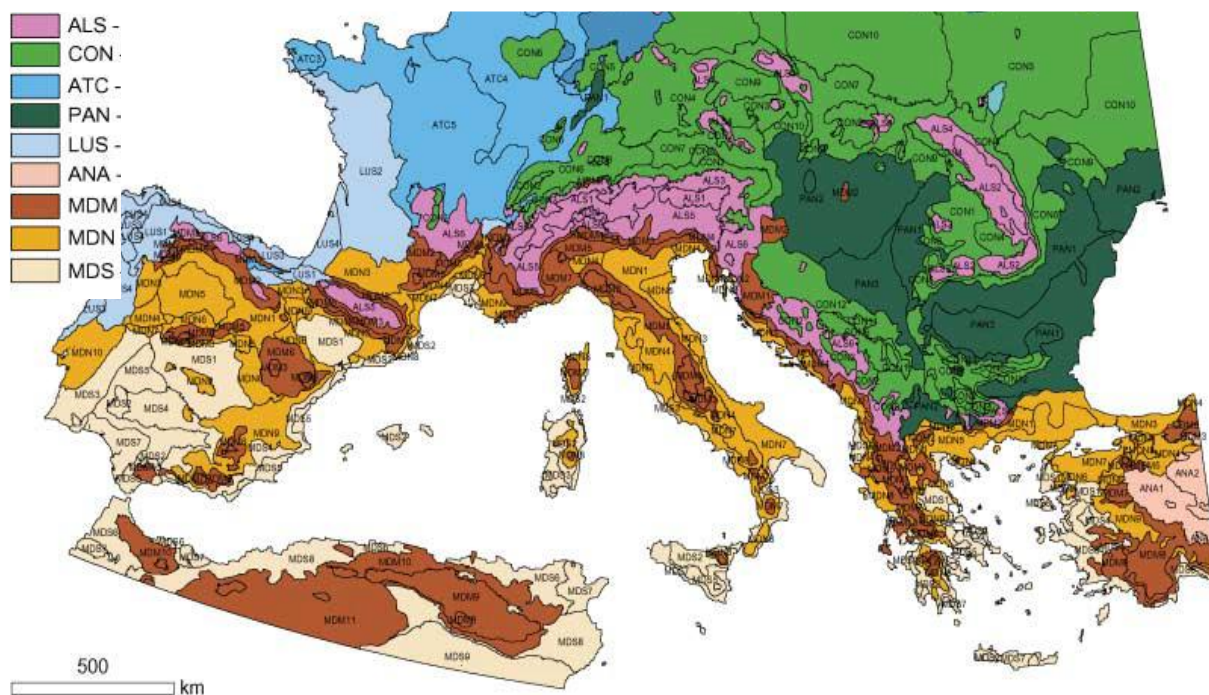
3. ábra. A durumbúza termesztési módozatai Európában (Lafferty 2011)



Európában a durumbúza termesztése háromféle módon történik (3. ábra; Lafferty 2011). A dél-európai országokban tavaszi fajtákat vetnek ősszel. Az enyhe tél miatt ezeken a területeken kifagyással nem kell számolni, ugyanakkor az állományok a télen lehulló nagyobb mennyiségű csapadékot hasznosítani tudják. Északabbra, a hűvösebb tájakon (Ausztria, Németország) többségében ugyancsak tavaszi fajtákat használnak, azonban a hideg telek miatt nagy a kifagyás kockázata, ezért a kritikus periódus elmúltával, tavasszal vetnek a gazdák. Közép- és Kelet-Európában főként valódi őszi durumbúzafajtákat termesztnek. Ennek elsődleges oka e térségben is az, hogy a hideg telek miatt a tavaszi fajták őszi vetése kockázatos, ugyanakkor az őszi típusú fajták hasznosítani képesek az ősszel és télen lehulló nagyobb mennyiségű csapadékot (Palamarchuk 2005), így terméspotenciáljuk jelentősen meghaladja a tavasszal vetett fajtákét (Longin et al. 2013). Oroszország észak-kaukázusi területein az őszi durumbúza minimum kétszer többet terem, mint a tavaszi változatok (Romanenko et al. 2005). Ausztriában 9 éven keresztül tesztelték durumbúza genotípusok termőképességét őszi és tavaszi vetésben (Lafferty 2011). A szélsőségesen hideg (2003), vagy csapadékos (2010) éveket kivéve, az ősszel vetett parcellák termése évről-évre 11–129%-kal, átlagosan 56,5%-kal haladta meg a tavasszal beállítottakat. A sikeres őszi durumbúza-termesztés feltétele e térségben a biztonságos szintű hidegtűrés (Longin et al. 2013).

A környezeti zónák alapján (4. ábra; Metzger et al. 2005) Európában a durumbúza fő termesztési területe az Észak- és Dél-mediterrán, illetve a Luzitán zónában található. Az őszi durumbúza termesztési övezete a Pannon zónában helyezkedik el, ami magában foglalja Németország, Ausztria, Szlovákia, Magyarország, Szerbia, Koszovó, Észak-Macedónia, Románia, Bulgária, Moldávia kisebb-nagyobb tájegységeit, illetve Ukrajna és Oroszország fekete-tengeri partvidékét. Európán kívül az Egyesült Államokban (Hall et al. 2011) és Kanadában (Tamburic-Ilincic et al. 2012) is minősítettek őszi durumbúzafajtákat, de ezekben az országokban az őszi fajták aránya elenyésző a tavasziakéhoz viszonyítva.

4. ábra. Európa környezeti zónái (Metzger et al. 2005 nyomán)



Környezeti zóna rövidítések: ALS - Déli alpesi, CON - Kontinentális, ATC - Közép-atlanti, PAN - Pannon, LUS - Luzitán, ANA - Anatóliai, MDM - Mediterrán hegyvidéki, MDN - Észak-mediterrán, MDS - Dél-mediterrán



Az eltérő környezeti zónákban a durumbúza állományok részben eltérő abiotikus stresszfaktorok hatásának vannak kitéve. Míg az Észak- és a Dél-mediterrán zónában a szárazság és hőstressz, addig a Pannon zónában ezek mellett a hidegstressz is befolyásolja a növények fejlődését. Az abiotikus stresszfaktorok technológiai minőségre – ezen belül a siker erősségére és a sárgapigment-tartalomra – gyakorolt hatását több esetben kimutatták. Mivel a hideghatás javarészt az egyedfejlődés korai fázisában következik be – kivéve a Kanadában és az Egyesült Államok északi területén a szemtelítődés végső szakaszában előforduló fagyokat (Dexter et al. 1994) – a hideg technológiai minőségre gyakorolt hatása nehezen bizonyítható. Ugyanakkor a hő- és a szárazságstressz, valamint a térszöveti minőség kapcsolatát több kutatócsoport is vizsgálta. A klímamodellel végzett számítások eredményei szerint Magyarországon is egyre nagyobb eséllyel fordulhat elő hő- és szárazságstressz az elkövetkezendő évtizedekben. A 2071–2100. évek közötti időszakra az éves átlaghőmérséklet 2,5–4,8 °C-kal, nyári hónapokban 4,0–5,3 °C-kal növekedhet, emellett a nyáron lehulló csapadék mennyisége 10–33%-kal csökkenhet (Bartholy et al. 2007).

A magas hőmérséklet sikerminőségre gyakorolt káros hatását már közel 100 évvel ezelőtt megfigyelték kenyérbúzában (Mangels 1925). Az akkori eredmények szerint az érés idején bekövetkezett átlagosnál melegebb időjárás hatására nőtt a fehérjetartalom, ez azonban nem járt együtt a siker minőségének javulásával. Finney és Fryer (1958) közlése alapján az érés folyamatának utolsó 15 napjában fellépett hőstressz következtében csökkent a kenyértérfogat. Blumenthal et al. (1993) a siker minőségének kedvezőtlen irányú változását a gliadin:glutenin arány növekedésével magyarázta. A kenyérbúza szemtelítődési időszakában a környezeti tényezők morfológiai tulajdonságokra és élettani folyamatokra – és ezen belül a tartalékfehérjék szintéziséen keresztül a technológiai minőségre – gyakorolt hatásáról Dupont és Altenbach (2003) közölt összefoglaló tanulmányt.

Az abiotikus tényezők és a durumbúza minősége közötti összefüggésekről sokkal kevesebb irodalmi forrásban található információ, mint a kenyérbúza esetén.

Ames et al. (1999) 10 durumbúzafajtát vizsgált 8 környezetben. A siker erősségével összefüggő tulajdonságok közül a sikerindex és az SDS szedimentációs érték esetén a genotípus  $\times$  környezet kölcsönhatás szignifikánsnak bizonyult, de a variancia komponensek alapján a genotípus hatása sokszorososa (sikerindex: 16,8, SDS szedimentáció: 8,7-szerese) volt a  $G \times E$ -éhez viszonyítva. Megfigyelésük szerint az erős sikerű fajták sikerminőségét a környezet kevésbé módosítja, mint a gyengébb fajtákét. Nagyon magas hőmérséklet (35–40 °C) hatására kenyér- és durumbúzában is szignifikánsan csökken a dagasztással szembeni ellenállóság. A sikerminőség romlása függ a stresszfaktornak kitettség hosszától és attól, hogy a stressz a szemtelítődési időszak melyik szakaszában lép fel. A legerősebb hatást a hosszan tartó és a szemtelítődési időszak korai, középső és késői fázisában is fellépő hőstressz váltotta ki ( $\approx -70\%$ ), amit a középső és a késői szakaszban hosszan tartó kezelés követett ( $\approx -64\%$ ). Még a legenyhébb, a virágzást követő egy héttel megkezdett, 5 napon át tartó kezelés hatására is 40%-kal kisebb lett a dagasztással szembeni ellenállóság értéke. A kedvezőtlen változás oka feltehetően az oldhatatlan polimer fehérje frakció arányának csökkenésére vezethető vissza. A szemtelítődési időszak késői fázisában fellépő hőstressz a termés és a fehérje mennyiségét már nem befolyásolja, ugyanakkor a „tészta gyengülése” révén a feldolgozóipari minőséget ronthatja (Corbellini et al. 1997). Az érési folyamat előrehaladtával fokozatosan csökken a gliadin:glutenin arány, ezzel párhuzamosan nő a sikerindex értéke. A hőmérséklet növekedésével megközelítőleg 30 °C-os hőmérsékletig a sikerindex nő, azonban ennél melegebb időjárás hatására a trend megfordul, a siker gyengülése figyelhető meg (Fois et al. 2011).

A szemtelítődési időszak időjárása alapvetően meghatározza a durumbúza technológiai minőségét. Rharrabti et al. (2003a) spanyolországi vizsgálatai alapján a magasabb

átlaghőmérséklet a sárgapigment-tartalom növekedésének kedvezett, ugyanakkor a szárazság javította az SDS szedimentációs térfogattal becsült sikérerősséget. E minőségi tulajdonságokat portugál kísérletekben a környezet nem befolyásolta szignifikánsan (Pinheiro et al. 2013), ami feltehetően az eltérő környezeti zóna (Metzger et al. 2005) hatásának következménye. A CIMMYT (Mexikó) által beállított kísérletekben a siker erősségével összefüggő tejsav visszatartási kapacitás (LARC) és a mixográfus téstakialakulási idő (MPT) alapján a szárazságstressz javította, a hőstressz pedig rontotta a minőséget. A minták Minolta b\* értéke és a glutenin duzzadási indexe (SIG) ugyanakkor mindkét stressz hatására nőtt (Li et al. 2013). Egy másik CIMMYT kísérletben erős hőstressz hatására a gabonaszemek fizikai paraméterei (hektoliter- és ezerszemtömeg) mellett az alveográfus W és a Minolta b\* érték is csökkent, miközben a fehérje- és a cink-tartalom növekedése volt megfigyelhető. A CIMMYT újabb kísérletsorozatában is a szárazság egyértelműen előnyösen befolyásolta a durumbúza technológiai minőségét (Guzmán et al. 2016). Ez utóbbi megfigyelést törökországi kísérletek eredményei is alátámasztották. A siker erősségével összefüggő SDS szedimentációs érték 20,2%-kal nagyobb volt a szárazságnak kitett parcellák termésében, mint az öntözött kontrollokéban (Kiliç és Yağbasanlar 2010).

Az abiotikus stresszfaktorok őszi durumbúza technológiai minőségére gyakorolt hatásáról kevés adat található a szakirodalomban. Ennek részben objektív okai vannak, hiszen az őszi fajták termesztésével foglalkozó országok időjárása csapadék és a szemtelítődési időszak hőmérsékleti viszonyait tekintve kevésbé szélsőséges, mint a mediterrán országoké. Ennek ellenére az évjárat technológiai minőségre gyakorolt hatását hazai körülmények között is megfigyelték. Őszi durumbúzafajták sikerterülete – a sikérerősséghez kapcsolható tulajdonság – és darájának sárgapigment-tartalma is jelentősen változott az eltérő években (Matuz et al. 1997, Cseuz et al. 2000). Szerbiában a forró és száraz 2009. évihez viszonyítva a hűvös, csapadékos 2010. évi szemtelítődési időszak hatására szignifikánsan csökkent a fehérje- és a nedvessikér-tartalom, azonban a sárgapigment-tartalom nem változott (Hadži-Tašković Šukalović et al. 2013).

Az abiotikus stresszfaktorok közül ezekben az országokban is előfordulhat hőstressz (35–45 °C) és szárazságstressz is (Palamarchuk 2005). A hő- és szárazságstressz hatását a technológiai minőségre hazai vizsgálatokban is kimutatták, főként kenyérbúzafajták vizsgálata során. Vízmegvonás hatására statisztikailag igazolhatóan nőtt a gabonafajták fehérjetartalma (Veisz et al. 2008) hőstressz kezelés nyomán pedig csökkent a mintákban a glutenin:gliadin arány, valamint az oldhatatlan polimer fehérje frakció aránya (Balla et al. 2009). A kalászolás követő 12. napon kezdett és 15 napon át tartó hőstressz kezelés után szignifikánsan csökkent a vizsgált kenyérbúzafajta Zeleny-féle szedimentációs értéke, ugyanakkor a kísérletben szereplő 'Mv Makaróni' őszi durumbúzafajtánál e tulajdonság esetén statisztikailag igazolt növekedés következett be (Balla et al. 2010).

## **2.6. Agronómiai kezelések hatása a durumbúza sikerminőségére és sárgapigment-tartalmára**

A durumbúza termesztésben alkalmazott agronómiai kezelések közvetett, vagy közvetlen hatást gyakorolhatnak a technológiai minőségre. Közvetett hatás lehet a technológiai minőséget kedvezőtlen irányban befolyásoló abiotikus, vagy biotikus stresszfaktorral szembeni védekezés. Száraz, félsivatagos termesztési övezetben ez lehet a vetést követő (kelesztő) és a szárbaindulás kezdetén végzett öntözés kombinációja (Güler 2003), ami az SDS szedimentációs értéket (sikerminőséggel összefüggő tulajdonság) és a szemolína sárgapigment-tartalmát is növelheti. A termésveszteség, de több technológiai minőségi tulajdonság esetleges romlása miatt is célszerű a termesztésben elkerülni a túlzottan száraz és forró időjárást a szemtelítődési

időszak során. Ennek – a szárazság- és hőtűrő fajta termesztése mellett – fontos eleme az optimális vetésideő megválasztása. A CIMMYT kísérleteiben (Guzman et al. 2016) a szokásosnál két hónappal később elvetett genotípusokon vizsgálták a hőstressz hatását (lásd 2.5 fejezet). Olaszországban, a késői vetésű állományokból származó mintákban is a sikérindex kisebb lett. Ugyanakkor ez az eredmény meglepő, hiszen e durum búza tételekben csökkent a gliadin:glutenin arány és nőtt az alveográfus W értéke, ami a sikér erősödésére utal (Motzo et al. 2007). Észak-Dakotában (USA) viszont, ahol a szárazság gyakori, ugyanakkor a hőstressz ritka jelenség, a termés mennyiségének 35%-os csökkenése mellett a sikérindex és a sárgapigment-tartalom sem változott statisztikailag igazolhatóan (Forster et al. 2017). E feldolgozóipari tulajdonságokra tavaszi durum búzáknál a vetéssűrűség hatása sem bizonyítható (Di Fonzo et al. 2000, Forster et al. 2017), őszi fajtában viszont csökkenő trendet figyeltek meg a tőszám (200, 400 és 600 növény/m<sup>2</sup>) növekedésével párhuzamosan (Olteanu és Tabără 2008).

A különböző talajművelési eljárások hatását több kutatócsoport is elemezte, azonban a technológiai minőség esetén leggyakrabban a minták fizikai jellemzőit (ezerszemtömeg, hektolitertömeg), emellett fehérje- és sikértartalmát vizsgálták (Pisante és Basso 2001, Di Fonzo et al. 2001, De Vita et al. 2007b).

A kórokozók és kártevőkkel szembeni védekezés az indirekt és a direkt hatást kiváltó eljárások közé is tartozhat. A biotróf kórokozók, mint a rozsdagombák (McIntosh et al. 1995) vagy a búzalisztharmat (Johnson et al. 1979), továbbá a levélfelületet károsító nekrotrof kórokozók (szeptóriás- és sárga levélfoltosság) és rovarok (vetésfehérítő) a levelek asszimilációs felületének csökkentése révén hátrányosan befolyásolják a tápanyagok beépülését a szemtermésbe, ami kisméretű, aszott szemek kialakulását eredményezi kenyér- és durum búzában egyaránt. E folyamat következtében egyértelműen romlik a malomipari minőség, de emellett a fehérjetartalom csökkenése és sikérminőség, valamint a reológiai tulajdonságok romlása is fellép (Bushuk és Wrigley 1971, Cátedra Cerón és Solis Martel 2003, Fleitas et al. 2018).

A kórokozók és kártevők másik csoportja a technológiai minőséget közvetlenül befolyásolja, így a védekezés ebben az esetben a termés és a minőség együttes megóvására irányul. E csoportba sorolhatók a kalászfuzáriumot okozó gombafajok (*Fusarium* spp.), melyek a mikotoxinok termelése révén feldolgozásra alkalmatlanná tehetik a gabonátételeket (Visconti és Pascale 2010). Emellett a fertőzött táblákon termésveszteség következik be és a technológiai minőség is romlik (Ruckenbauer et al. 2001, Mesterházy et al. 2005). A fertőzött szemekben csökken a glutenintartalom, ami gyengébb sikérszerkezetet eredményez (Boyacıoğlu és Hettiarachchy 1995, Dexter et al. 1997). A kalászfuzárium fertőzés csökkenthető agronómiai eljárásokkal (vetésforgó, trágyázás, gyomszabályozás), fajtaválasztással, biológiai védekezéssel és vegyszeres növényvédelemmel (Pirgozliev et al. 2003). A kártevők közül a poloskafélék (*Eurygaster* és *Aelia* fajok) szerepe kiemelkedő a feldolgozóipari minőség megváltoztatásában. A rovarok táplálkozásuk során emésztőnedveket juttatnak a fejlődő szemtermésbe, melynek hatására megkezdődik a fehérjék lebontása. Ez a folyamat a tartalékfehérje molekulákat is érinti. Első lépésben éppen a sikér erősségét leginkább meghatározó gluteninek depolimerizációja történik meg, amit a gliadinok és az oldott gluteninek lebontása követ. A fehérjék szerkezetének és méretének megváltozása következtében romlik a sikér minősége, a tézta főzési és érzékszervi tulajdonságai (Salis et al. 2010). A poloska kártétel hatása a Minolta b\* értékre gyenge, irányja nem egyértelmű (Koksel et al. 2009)

Justus Liebig (1840) munkássága nyomán vált ismertté, hogy a növények a fejlődésükhöz szükséges nitrogént (elmélete szerint ammónia formájában) a talajból veszik fel. Felismerte, hogy a talajok tápanyagszolgáltató-képessége véges és szorgalmazta különböző eredetű trágyák kijuttatását a talajok javítására. A növények a talajból felvett nitrogént nitrácion formájában a levelekbe juttatják, amiből a fotoszintetikus rendszerből származó energiát és a fotoszintézis eredményeként létrejött széntartalmú vegyületeket hasznosítva aminosavak keletkeznek. Az

aminosavak ezek után a különböző szövetekbe, szövetekbe eljutva az anyagsere- és a növekedéshez kötődő folyamatok szubsztrátjaiként hasznosulnak. A nitrogén tehát alapvető fontosságú az aminosavak és ezen keresztül a fehérjék szintéziséhez, így végső soron valamennyi sejtalkotó létrejöttéhez (Lawlor 2002).

A növények számára rendelkezésre álló nitrogén mennyiségének függvényében a technológiai minőség is változik. A hatás elsősorban a fehérje- és siker mennyiségének változásában nyilvánul meg (Erdei et al. 1984, Makowska et al. 2008, Giuliani et al. 2011, Colecchia et al. 2013, Ierna et al. 2016). Ennek mértéke azonban a kezelés időpontjától is függ, irodalmi adatok szerint a vegetációs időszak későbbi fázisában kijuttatott nitrogén műtrágyának van technológiai minőséget javító hatása (Ottman et al. 2000, Beres et al. 2008, Blandino et al. 2015). A nagyobb fehérjetartalom azonban csak akkor javítja a tészta főzési tulajdonságait, ha a fehérje minősége is jó (Pollhamer 1982).

A nitrogén trágyázás hatása a siker minőségére már nem ennyire egyértelmű. A kenyérbúzából készült száraztészta főzési tulajdonságai egyértelműen romlottak nagyadagú nitrogénnel műtrágyázva (Pollhamer 1982). Feltételezhető, hogy a nitrogén dózis növekedése durumbúzában – bár az átlagos sikerindex értékre nincs hatással – eltérően befolyásolja az erős és az átlagos sikérszerkezetű fajták sikérerősségét (Ames et al. 2003). Az SDS szedimentációs térfogat – a sikerindex értéktől eltérően – több kísérletben is nőtt a kijuttatott tápanyag mennyiségével (Dexter et al. 1982, Abad et al. 2004), de Ames et al. (2003) szerint a sikerminőség javulása ebben az esetben nem valós, csupán a megnövekedett fehérjetartalom miatt fellépő mellékhatás. Ez utóbbi feltételezést több kutatócsoport eredménye is alátámasztja, hiszen a fehérjetartalom növekedése mellett sem a kijuttatott tápanyag mennyisége (Bouacha et al. 2014), sem pedig annak időzítése (Blandino et al. 2015) nem befolyásolta a sikerindex értékét. Őszi durumbúzában ezzel ellentétes megfigyelést tett Olteanu és Tabără (2008), kísérletükben a nitrogén adag  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ -ről  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ -ra növelésével párhuzamosan 38,9%-kal nőtt a 'Pandur' fajta sikerindexe. Guiliani et al. (2011) szerint a hatás évszakra is változhat. Szárazabb évben, amikor a szemtelítődési időszak rövidebb a  $120 \text{ kg ha}^{-1}$ -os nitrogén mennyiség kijuttatás szignifikánsan növelte a sikerindexet mind a kezeletlen kontrollhoz, mind pedig a  $60 \text{ kg ha}^{-1}$ -os kezeléshez viszonyítva. Csapadékos évszakra a különbség nem mutatható ki.

A nitrogén kezelés és a durumbúza sárgapigment-tartalmának összefüggése nem egyértelmű. Volt olyan kísérlet, melyben a növekvő nitrogén adagok hatására nagyobb mennyiségben termelődtek karotinoidok (Abad et al. 2004), más körülmények között ezzel ellentétesen, csökkenést figyeltek meg (Dexter et al. 1982). Guiliani et al. (2011) a sikerindexhez hasonlóan kizárólag a száraz évszakra tapasztalták a sárga index (Minolta b\*) érték növekedését, míg csapadékos évszakra nem volt változás.

A nitrogén mellett egyéb elemek technológiai minőségre gyakorolt hatását is vizsgálták. Kiemelkedő jelentőségű a kén trágyázás következményeinek elemzése, hiszen néhány, sikerfehérjét alkotó aminosav ként tartalmaz és a kénhidak kialakulása kulcsfontosságú a siker szerkezetének és technológiai tulajdonságainak alakításában (Shewry és Tatham 1997). A kéntrágyázás pozitív hatását a siker minőségére durumbúzában is bizonyították, a sikerindex és az SDS szedimentációs érték is növekedett, ugyanakkor a sárga indexben (Minolta b\*) egyértelmű változás nem mutatható ki (Pompa et al. 2009). Rossini et al. (2018) talajba és lombtrágyaként kijuttatott kén hatóanyag hatását tanulmányozta. A levélfelületre juttatott kén a fehérjetartalommal együtt szignifikánsan növelte az SDS szedimentációs értéket, de a sárga index ebben a kísérletben sem változott. A foszfor (Panayotova et al. 2017) önmagában nem növeli a fehérjetartalmat, a kálium hatása a sikértartalomra pedig genotípustól függően gyenge, vagy egyáltalán nem mutatható ki (Bouacha et al. 2014).

### 3. Anyag és módszer

A sikerindex (rövidítése GI) és a Minolta b\* érték (rövidítése MB) tanulmányozására beállított kísérleteink öt kutatási területhez kapcsolódtak:

1. A sikerindexet és a Minolta b\* értéket meghatározó meteorológiai faktorok azonosítása;
2. Agronómiai kezeléskombinációk hatása durumbúza fajták sikerindexére és Minolta b\* értékére;
3. Széles genetikai bázisú őszi- és fakultatív durumbúza genotípus kör vizsgálata;
4. A szemolina sárga színét és a sikérerősségét meghatározó genetikai faktorok azonosítása;
5. A martonvásári durumbúza nemesítési program eredményei a sikerindex és a Minolta b\* érték javítása területén.

Valamennyi kísérletet azonos táblán állítottuk be (Lászlópuszta, 47°18'É/18°49'K). Az erdőmaradványos csernozjom talaj művelt rétegéből (0–20 cm) vett szabványos talajminták laboratóriumi analízise szerint a terület kiválasztása megfelelően homogén volt. A felszínhez közel meszet és káros sókat nem tartalmazó talaj semleges kémhatású (pH = 6,99), fizikai féleségét tekintve vályog. Humusztartalma (2,4 m/m%) alapján közepes nitrogén-ellátottságú, az AL-oldható értékek szerint a foszfor-tartalom közepes (120 mg kg<sup>-1</sup>), míg a kálium-ellátottság egyöntetűen jó volt (>300 mg kg<sup>-1</sup>). A mikroelemeket tekintve a talaj cinktartalma az optimálisnál kisebb (1,1 mg kg<sup>-1</sup>), rézből (2,7 mg kg<sup>-1</sup>) és mangánból (156 mg kg<sup>-1</sup>) pedig megfelelő mennyiséget tartalmaz.

A kísérletek előveteménye olajretek volt. A talajelőkészítés tárcsázással, a vetőágy megnyitása Amazone, vagy Synchronerm magágykészítővel történt. A tápanyagellátást a kísérletekben összel 60:60:60 kg ha<sup>-1</sup> N:P:K hatóanyag kijuttatásával végeztük, amit kora tavasszal egyszeri 60 kg ha<sup>-1</sup> nitrogén fejtrágyázás követett. Az agronómiai kísérletben, amelyben a tápanyagutánpótlás hatását is vizsgáltuk, természetesen a kijuttatott mennyiség ettől eltérő volt (részletes ismertetés a 3.2. alfejezetben található). A vetést HEGE-80, vagy HEGE-90 típusú vetőgéppel (Hans-Ulrich Hege GmbH und Co., Waldenburg, Germany) végeztük, a növényesűrűség minden kísérletben a Magyarországon javasolt 450-500 csira/m<sup>2</sup> volt. A tenyészedőszakban gyomok (MCPA, klopíralid, triaszulfuron, tribenuron-metil + fluroxipir, szükség esetén fenoxaprop-P-etil hatóanyag) és rovarkártevők ellen (lambda-cihalotrin, eszfenvalerát) védekeztünk, fungicides kezelés – az agronómiai kezeléskombinációk hatásának vizsgálatát kivéve, ahol az egyik faktor a fungicides kezelés volt – nem történt. A parcellákat a teljes érést követően Wintersteiger parcellakombájnnal (Wintersteiger AG, Reid, Austria) takarítottuk be. A felsorolt kutatási területeken elvégzett vizsgálatokhoz eltérő genotípusokat és szántóföldi kísérleti metodikát használtunk, ezért a minőségvizsgálatok alapját képező kísérletek anyagát elkülönítve ismertetjük. A kísérletekben vizsgált durumbúza genotípusok számát és a kísérletek jellemzőit az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat. A disszertáció anyagát képező kísérletek összefoglaló ismertetése

Kutatási terület	Genotípusok száma	Évjáratok száma	Ismétlések száma
1. Meteorológiai faktorok technológiai minőségre gyakorolt hatása	5	16	2
2. Agronómiai kezelések hatása a sikerindexre és Minolta b* értékre	3	3	3
3. Széles genetikai bázisú genotípuskör vizsgálata	100	5	2
4. Kétszülős térképezési populáció elemzése	179 törzs + 2 szülő	Minolta b*: 13 sikerindex: 5	2
5. A durumbúza nemesítési program eredményei	15–31	25	2

Adataink az 1996 és 2020 között aratott durumbúza minták technológiai minőségi mérésein alapulnak. A vegetációs időszakok meteorológiai jellemzőit az 6. táblázatban ismertetjük.

6. táblázat. Az 1995/1996 és 2019/2020 közötti vegetációs időszakok meteorológiai jellemzői Martonvásáron

Tenyész-időszak	Csapadék (mm)		Átlag-hőmérséklet (°C)		Hőség-napok száma <sup>1</sup>	Év napja		Jellemző meteorológiai stresszfaktor(ok)
	Σ	SZTI	Σ	SZTI		vetés	aratás	
1995/1996	480,7	103,6	8,13	19,85	13	278	194	Korai fagy, száraz vetőágy és június eleje
1996/1997	196,2	74,2	8,23	18,81	8	276	178	Hideg január, szárazság
1997/1998	440,2	154,0	10,30	18,42	12	287	201	Csapadékos betakarítási időszak
1998/1999	492,6	175,8	7,09	18,51	5	282	184	Hideg tél, csapadékos június
1999/2000	364,0	24,4	7,85	19,58	22	283	179	Forró és száraz szemtelítődési időszak
2000/2001	450,2	93,2	9,23	18,76	5	269	188	Száraz szemtelítődési időszak
2001/2002	188,8	45,0	9,14	19,91	11	271	179	Hideg december, hőstressz aratás előtt
2002/2003	231,0	39,0	7,00	21,37	27	283	178	Hideg tél, forró, száraz szemtelítődés
2003/2004	484,4	130,6	7,35	18,46	8	282	194	Hideg január
2004/2005	458,4	49,2	6,96	18,69	10	280	177	Csapadékos betakarítási időszak
2005/2006	421,6	118,4	7,30	19,01	17	283	191	Hideg január, hőstressz aratás előtt
2006/2007	167,8	86,6	10,64	20,71	30	285	173	Szárazság, hőstressz aratás előtt
2007/2008	361,4	88,8	7,97	19,91	14	285	184	Átlagosnál több csapadék
2008/2009	320,0	85,5	8,32	18,06	6	283	183	Száraz április és szemtelítődési időszak
2009/2010	629,5	186,5	8,06	19,96	14	281	195	Átlagosnál sokkal több csapadék
2010/2011	238,1	54,5	7,26	19,29	3	287	192	Hideg december, hőstressz aratás előtt
2011/2012	210,2	78,2	7,39	18,73	9	284	180	Szárazság, hőstressz aratás előtt
2012/2013	381,8	68,2	7,63	17,96	7	279	183	Erős lehülés márciusban közepén
2013/2014	304,9	87,7	9,22	17,78	6	276	183	Száraz január, átlagosnál melegebb tél
2014/2015	320,9	83,4	8,44	18,39	9	283	183	Száraz, meleg június
2015/2016	365,1	125,6	8,65	19,01	7	302	186	Késői vetés, hideg január, száraz április
2016/2017	236,4	50,5	7,52	20,69	11	288	184	Hideg január, száraz szemtelítődés
2017/2018	463,6	117,3	8,67	20,10	6	285	176	Hideg január, esős március, száraz április
2018/2019	349,4	117,0	8,92	20,27	13	277	183	Száraz március és április, esős május
2019/2020	355,0	111,3	8,80	18,17	6	288	183	Száraz március és április, hűvös évjárat

Megjegyzés: SZTI = szemtelítődési időszak; <sup>1</sup>Napi maximum hőmérséklet  $\geq 30^\circ\text{C}$ ;  $\Sigma$  = vetéstől aratásig tartó időszak

### 3.1. A sikerindexet és a Minolta b\* értéket meghatározó meteorológiai faktorok azonosítása

Öt őszi durumbúzafajta 2005 és 2020 közötti évekből (16 év) származó mintáinak sikerindex és Minolta b\* adatait használva vizsgáltuk a meteorológiai tényezők technológiai minőségre gyakorolt hatását és elemeztük az évjáratok, valamint a durumbúzafajták sikererősségének és sárgapigment-tartalmának összefüggését. Vizsgálatainkban az állami fajtakísérlet standard fajtái ('GK Bétadur' és 'GK Selyemdur') mellett három martonvásári fajta ('Mv Makaróni', 'Mv Pennedur' és 'Mv Hundur') szerepelt.

A technológiai minőségvizsgálatot két ismétlésben, randomizált teljes blokk elrendezésű szántóföldi fajtaösszehasonlító kísérletből származó mintákon végeztük, melyben a parcellaméret 6,0 m<sup>2</sup> (6×1 m) volt. A talajelőkészítés, vetés, állománykezelés, valamint a betakarítás a korábbiakban ismertetettek szerint történt.

Az elemzéshez felhasznált meteorológiai adatok a Martonvásárra telepített automata mérőállomás adatbázisából származtak. A mérőműszer 1997 áprilisa és szeptembere között nem működött, a szükséges adatokat a Martonvásártól néhány kilométerre található tordasi állomás méréseivel pótoltuk. A csapadék és átlaghőmérséklet (augusztustól márciusig havi összes mennyiség, illetve átlag, áprilistól aratásig ugyanezek az adatok dekádonkénti bontásban), illetve a hőségnapok számának (május 1-től betakarításig, dekádonként összesítve) sikerindexre és Minolta b\* értékre gyakorolt hatását vizsgáltuk.

Az évjáratok és a durumbúzafajták statisztikai eltérését varianciaanalízissel elemeztük MSTAT-C programmal (Michigan State University, East Lansing, MI, USA). A számítások során a 15. modellt használtuk (Egytényezős véletlen blokk elrendezés, évjáratokkal kombinálva). A főtényezők átlagértékei közötti eltérések szignifikanciáját Tukey's HSD teszttel határoztuk meg.

Az évjáratok és a durumbúzafajták összefüggésrendszerét GGE biplot analízissel vizsgáltuk Yan és Tinker (2006) útmutatása alapján, GGEbiplot Pattern Explorer (Version 8.1) szoftverrel. A modellek felállításánál figyelembe vettük a program honlapján szereplő javaslatokat ([http://www.ggebiplot.com/biplot-model\\_options.htm](http://www.ggebiplot.com/biplot-model_options.htm)). Alapvetően két típusú ábrát készítettünk. Ezek egyike a „melyik mire a legjobb” típus alkalmas a különböző években legjobb minőségű fajták azonosítására. A másik megközelítés alapján az évjáratok átlagában legjobb fajtát kerestük és egyben a minőségstabilitást is vizsgáltuk. A két technológiai minőségi tulajdonság együttes vizsgálata lehetővé tette a komplex megközelítést, a két tulajdonság optimális kombinációját (vagy legalábbis ezt megközelítő) hordozó durumbúzafajta azonosítását.

A meteorológiai adatok és a durumbúzafajták sikerindexe, valamint Minolta b\* értéke közötti összefüggést Pearson-féle korrelációs koefficiens és lépcsős (*stepwise*) regresszió számításokkal határoztuk meg SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) szoftverrel (Huzsvai 2009). A korreláció- és regresszió analízis során a két ismétlés átlagértékeit használtuk. A lépcsős regresszió eredménye alapján fajtaspecifikus és a fajták átlagadataira kidolgozott modelleket alakítottunk ki, melyekbe az eredeti adatokat behelyettesítve ellenőriztük ezek megbízhatóságát. Az eredeti és a becsült adatok alapján végzett számítások eredményének egyezőségét *t*-próbával vizsgáltuk.

### **3.2. Agronómiai kezeléskombinációk hatása durumbúzafajták sikerindexére és Minolta b\* értékére**

A háromtényezős, háromismétléses kisparcellás szántóföldi kísérletet split-split-plot elrendezéssel vetettük el 2009, 2010 és 2011 októberében. A fő tényezőt 6 különböző N-ellátottsági szintű kezelés jelentette. A kijuttatott nitrogén hatóanyag mennyisége a következő volt: 0, 50, 100, 150 kg ha<sup>-1</sup>, egy adagban, kora tavasszal a Zadoks skála szerinti GS23-25 (bokrosodás, 3-5 hajtás) fenofázisban (Zadoks et al. 1974), valamint 70+30 és 120+30 kg ha<sup>-1</sup> két adagban, kora tavasszal (GS23-25) és kétnóduszos állapotban (GS32) kijuttatva. A fő tényezőkön belül 5 randomizált növényvédelmi kezelést (1. kezeletlen kontroll; 2. egyszeri kezelés, kalászhvédelem egyrészes fűvókákkal szerelt permetezőgéppel; 3. kétszeri kezelés, levél- és kalászhvédelem egyrészes fűvókákkal szerelt permetezőgéppel; 4. egyszeri kezelés,

kalászvédő kétreses fűvókákkal szerelt permetezőgéppel; 5. kétszeri kezelés, levél- és kalászvédő kétreses fűvókákkal szerelt permetezőgéppel) alkalmaztunk. A levelek védelmére a 3. és 5. kezeléseknél egynódusos állapotban (GS31) az Amistar Xtra (200 g·L<sup>-1</sup> azoxistrobin + 80 g·L<sup>-1</sup> ciprokonazol) 1 L·ha<sup>-1</sup> dózisát, kalászvédőre a 2-5. kezeléseknél kalászláskor Cherokee gombaölő szert (50 g·L<sup>-1</sup> ciprokonazol + 62.5 g·L<sup>-1</sup> propikonazol + 375 g·L<sup>-1</sup> klorotalonil) használtuk 2 L·ha<sup>-1</sup> adagban. A harmadik tényezőt a növényvédelmi kezeléseken belül randomizálva vetett három őszi durumbúza fajta ('Mv Makaróni', 'Mv Hundur', 'Mv Pennedur') jelentette. Az adatok statisztikai feldolgozását az SPSS 16.0 programcsomag (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) Lineáris kevert modell analízis moduljával végeztük Virk et al. (2009) leírása alapján. A REML (Restricted Maximum Likelihood = korlátozott maximális valószínűség) analízis során fix és random modellel számoltunk:

(i) *Fix modell = Állandó + Nitrogénműtrágya-szint (N) + Fungicid kezelés (F) + Genotípus (G) + N × F + N × G + F × G + N × F × G;*

(ii) *Random modell (a három év együttesen) = Év*

A három durumbúza fajta tápanyagreakcióját szemléltető 11. ábra Microsoft Excel 2013 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) programmal készült.

### 3.3. Széles genetikai bázisú őszi- és fakultatív durumbúza genotípuskör vizsgálata

A kísérletben 12 ország (Ausztria, Bulgária, Németország, Horvátország, Magyarország, Olaszország, Románia, Oroszország, Szerbia, Szlovákia, Törökország és Ukrajna,) durumbúza nemesítési programjaiból származó 100 fajtát és nemesítési törzset teszteltünk. A vizsgált genotípusok száma országonként eltérő volt, 2 (Horvátország, Olaszország) és 18 (Magyarország, Oroszország) között változott. A genotípusok megközelítőleg az elmúlt 50 év őszi és fakultatív típusú durumbúza nemesítés eredményeit reprezentálják. A kísérleteket öt egymást követő évben (2014–2018) állítottuk be. A fajtákat kisméretű, 2,0×0,9 m alapterületű parcellákba vetettük el, 15 cm-es sortávval. Az adatok értékelését SPSS 16.0 programcsomag (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) végeztük. Első lépésként varianciaanalízissel (General Linear Model/Univariate Analysis of Variance modul) vizsgáltuk a genotípus, az évjáratok és a két főtenyező kölcsönhatását. A Genotípus tényezőt fix, az Évet random faktorként kezeltük.

Ezt követően Longin et al. (2013) által használt módszerrel, REML analízissel (random modell alapján) meghatároztuk a varianciaalkomponenseket ( $\sigma^2_G$  = genotípusos variancia;  $\sigma^2_{GE}$  = Genotípus × Év kölcsönhatás variancia;  $\sigma^2_e$  = reziduális variancia;  $\sigma^2_P$  = fenotípusos variancia), majd ezekből kiszámítottuk az ismételtetőség (genotípusos/fenotípusos variancia =  $h^2$ ) értékeket.

Országonkénti bontásban leíró statisztikával jellemeztük a durumbúza fajta populációit, majd a genotípusok sikerindex és Minolta b\* értékeit grafikusán ábrázoltuk. Erre a célra a „violin plot” típusú módszert választottuk, mellyel egyszerre szemléltethetők az adatok főbb statisztikai jellemzői (szélsőértékek, kvartilisek) mellett azok eloszlása is (hisztogramhoz hasonlóan). Erre a célra az R (ver. x64 4.0.3.) programozási környezet ggplot2 csomagját (Wickham 2016) használtuk.

Grafikusán, szórásdiagramon szemléltettük (Microsoft Excel 2013 program) a fajta előállításának időpontja és a technológiai minőség közötti összefüggést. A sikerindex és a Minolta b\* értékek együttes figyelembevételével vizsgáltuk a durumbúza fajta, az évjáratok és a tulajdonságok kapcsolatrendszerét GGE biplot analízissel és kerestük a két tulajdonság legkedvezőbb kombinációját hordozó fajtákat (Yan és Tinker 2006).



A továbbiakban 50 durumbúzafajta tartalékfehérje és DNS mintáit használva a sikérindexszel és a Minolta b\* értékkel kapcsolt biokémia és molekuláris markereket kerestünk. A biokémiai markerek közül a 42-es, vagy a 45-ös  $\gamma$ -gliadin alegység jelenlétét vizsgáltuk Jackson et al. (1996) módosított módszere alapján.

A gliadin alegységeket savas (pH = 3,1) poliakrilamid gélelektroforézissel választottuk el. A mintaelőkészítés során a durumbúza szemeket dörzsmozsárban porrá törtük, majd 70%-os etanolban, 65 °C-os vízfürdőbe helyeztük 30 percre. Ezt követően a mintát 14.000/perc fordulatszámra centrifugáltuk, az extraktumot tiszta Eppendorf csőbe átöntöttük és ehhez 90  $\mu$ L mintapuffert adtunk. A mintapuffer 20 mL glicerolt, 0,0125 g pironin-G-t tartalmazott, amit Milli-Q vízzel 25 ml-re töltöttünk fel.

A gliadin alegységek elválasztása savas kémhatású poliakrilamid gélen történt. Egy gél előállításához 40 mL-t használtunk a következő összetételű géloldatból:

68,6 mL akrilamid törzsoldat (35%-os akrilamid törzsoldat)  
 82,4 mL bisz-akrilamid törzsoldat (0,91%-os bisz-akrilamid törzsoldat)  
 0,5 g Al-laktát  
 0,2 g aszkorbinsav  
 3,6 mL 25%-os tejsav  
 0,0028 g  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
 Milli-Q vízzel 200 ml-re feltöltve.

A polimerizációt 0,7%  $\text{H}_2\text{O}_2$  oldattal indítottuk el. Az elválasztást Hoefer SE 600 (Hoefer Inc., Holliston, MA, USA) típusú készülékkel és PS2010-2 tápegységgel (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA) végeztük. A futtatókád feltöltéséhez pH = 3,1 kémhatású puffert [5 L oldatban 451 mL Stock A (1 L-ben 68 mL 25%-os tejsav oldat) és 16 mL Stock B (100 mL-ben 7,75 g Al-laktát + 50mL 25%-os tejsav oldat) törzsoldat] használtunk. A tartalékfehérje-alegységek elválasztása 10 °C-os hőmérsékleten az első fázisban 10 percen át 220 V feszültség és 30 mA áramerősség mellett, majd a második fázisban 2 óra 40 percen keresztül 550 V-on és 70 mA-en történt. A futtatást követően a géleket 4–24 órára Coomassie Brilliant Blue törzsoldatot (50 mL; 0,82 g CBB R250 100 mL etanolban oldva), 10%-os triklórecetsavat (600 mL) és MilliQ vizet (350 mL) tartalmazó festékoldatba helyeztük. A festés befejezése után a háttér MQ vízzel halványítottuk, majd a géleket tartósító oldatban (450 mL 1%-os TCA + 45 mL glicerol) 30 percig fixáltuk. Celofán lapok közé helyezve a géleket 3 napon keresztül szárítottuk.

Molekuláris markerekkel vizsgáltuk a durumbúzafajták sárgapigment-tartalmát meghatározó genetikai faktorokat. A molekuláris vizsgálatokhoz a DNS-t durumbúza leveléből, Qiagen DNeasy Plant Mini Kit-tel (Qiagen, Hilden, Németország) vontuk ki, a gyártó által megadott protokoll szerint. A DNS koncentrációt a RAPD primerek vizsgálata során Hoefer TKO 100 Mini-Fluorometerrel (Hoefer Scientific Instruments, San Francisco, CA, USA), majd a későbbiekben NanoDrop 1000 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) készülékkel határoztuk meg.

A DNS-szintű molekuláris vizsgálatokhoz RAPD, SSR és génspecifikus primereket használtunk. A RAPD primereket az OTKA T038044 pályázatban azonosítottuk, illetve Santra et al. (2000) közlése alapján (OPK02) választottuk ki. A vizsgálatokhoz az alábbi Operon primereket használtuk (zárójelben ezek szekvenciája és a felszaporított termék mérete szerepel):

OPA16 (AGCCAGCGAA, 800 bp)

OPK02 (GTCTCCGCAA, 500 bp)

OPT16 (GGTGAACGCT, 1500 és 900 + 1500 bp)  
 OPZ17 (CCTTCCCCT, 300 és 900 bp)

A specifikus termékek felszaporítása PTC-100 (MJ Research, Waltham, MA, USA) típusú PCR készüléken történt (94°C 1 min, 36°C 1 min, 72°C 1 min 36 cikluson keresztül; 72°C 6'). A felszaporított termékeket etidium-bromidot tartalmazó 1,2%-os agaróz gélen elektroforézissel választottuk el, majd Bio-Rad Gel Documentation System-mel (Bio-Rad, Hercules, CA, USA) tettük láthatóvá a sávokat.

A sárgapigment-tartalommal kapcsolt Xgwm344 lokusz kimutatására alkalmas (Elouafi et al. 2001) WMS344 [forward primer (továbbiakban fp): 5' CAAGGAAATAGGCGGTAAC 3'; reverz primer (továbbiakban rp): 5' ATTTGAGTCTGAAGTTTGA3'] mikroszatellit markert Röder et al. (1998) leírása alapján szaporítottuk fel, majd a termékeket LI-COR 4300 DNA Analyzer (LI\_COR Biosciences, Lincoln, NE, USA) készüléssel, poliakrilamid gélen detektáltuk a gyártó által javasolt módszer szerint (LI-COR 2009).

A lutein szintézis folyamatában kiemelkedő szerepet játszó fitoén-szintáz (*Psy*) gének alléljeinek kimutatása specifikus PCR alapú markerekkel történt. A 7AL kromoszómakaron elhelyezkedő *Psy1-A1* gén *a*, *l*, *o* (Singh et al. 2009), valamint *e* és *d* (He et al. 2009b) alléljeinek azonosítására a *Psy1-A1\_STS* (fp: GTGGATATTCCCTGTCAGCATC; rp: GCCTCCTCGA AGAACATCCTC) és az YP7A-2 (fp: GCCAGCCCTTCAAGGACATG; rp: CAGATGTCG CCACACTGCCA) primerpárokat használtuk. A reakcióelegy végtér fogat 16 µL volt, amely a következőket tartalmazta: 200 ng DNS templát, 5× Green Go Taq Flexi Buffer (Promega), 2,34 mM MgCl<sub>2</sub>, 0,9 µM mindegyik dNTP-ből, 10 pM forward és reverz primer, 1 U Go Taq DNS-polimeráz (Promega).

A PCR-t Applied Biosystems GeneAmp 9700 (Life Technologies, Carlsbad, CA, USA) készüléken futtattuk a következő körülmények között. Denaturáció: 94 °C 5 perc; 40 cikluson keresztül: 94 °C 30 s, 56 (Psy1A1\_STS), vagy 59 °C (YP7A-2) 30 s, 72 °C 1 perc; utána 72 °C 10 perc, 4 °C ∞.

A PCR termékek elválasztásához etidium-bromidot tartalmazó 1,5%-os agaróz gélt használtunk (Lonza, Rockland, ME, USA, SeaKem LE Agarose). A termékek méretének meghatározásához 100-bp DNS létrát (Qiagen, Hilden, Németország) használtunk. Az eredmények kiértékelése géldokumentációs rendszerrel (Syngene G:BOX, Frederick, MD, USA) történt. A különböző allélekre jellemző termékek méretei: *a*: 1776 bp; *l*: 1089 bp; *o*: 897 bp; *e*: 1001 bp; *d*: 1686 bp.

A 7BL kromoszómakaron található *Psy1-B1* lokuszon He et al.(2009a) három (*e*, *f*, *g*), Zhang és Dubkovsky (2008) további két allélt (*n* és *o*) azonosított. A vizsgálatokhoz a közölt specifikus primereket használtuk a reakcióelegyet a *Psy1-A1* alléleknél ismertetettnek megfelelően állítottuk össze:

*e*, *f* és *g* allél (He et al. 2009a):

YP7B-1: fp: GCCACAACCTGAATGTGAAAC, rp: ACTTCTTCCATTTGAACCCC

PCR reakció és futtatás jellemzői: A reakcióelegy összeállítása különbözött a futtató készülék eltérése miatt, szintelen puffert használtunk. PCR profil: 94°C 5 perc; 35 ciklusban: 94 °C 40 s, 51 °C 40 s, 72 °C 1 perc; utána 72 °C 10 perc, 4 °C ∞. A fragmentumok kis méretkülönbsége (*f* allél: 151 bp, *g* allél: 153 bp, *e* allél: nincs termék) miatt a futtatást kapilláris Fragment Analyzer Automated CE System-en (96-Capillary Array Cartridge) végeztük. Az eredmények kiértékeléséhez a készüléssel szállított PROsize v2.0 szoftvert (Advanced Analytical Technologies, Ames, IA, USA) használtuk.

YP7B-4: fp: AGGTACCAGCCAGCCCATA, rp: CTCGTCAAAGTTCGTGTACC

PCR profil 94 °C 5 perc; 35 ciklusban: 94 °C 40 s, 65 °C 40 s, 72 °C 1 perc; utána 72 °C

10 perc, 4 °C ∞. Fragmentum méret az *e* allélnél: 717 bp

*n* (= 'Kofa') és *o* (= 'UC1113') allél Zhang és Dubkovsky (2008):

PSY1\_BF3: GTGGAACCTTGCATGCTATACA

PSY1\_BR2: GAACCTCAGGTTACATTCC

PCR profil: 94 °C 5 perc; 30 ciklusban: 94 °C 40 s, 60 °C 40 s, 72 °C 1 perc; utána 72 °C 10 perc, 4 °C ∞. Fragmentumok mérete: *n* allél: 200 bp, *o* allél: 217 bp.

A 7BL kromoszómakarra térképezett *Psy1-1* (Pozniak et al. 2007) gén primerei a Psy1F5/R5 (fp: GCGAGGAGTATGCCAAGACCT, rp: AAGGCCGACAAACGAAAC AAT). SCAR marker, a PCR terméket *EcoRI* restrikciós endonukleázzal szükséges hasítani. A kezelést követően a fragmentumok 677 és 448 bp hosszúak.

A 10 μL emésztő mixet 12 μL PCR termékkel elegyítettük, majd inkubáltuk (37 °C-on 1 órán át). A termékeket 2%-os agaróz gélen választottuk el. A 'Kofa' allélt hordozó genotípusokban az emésztést követően egy 448 és egy 677 bp méretű termék mutatható ki, míg a 'W9262' típusú allélt hordozók örökítőanyagában nincs hasítóhely.

Az 5B kromoszómán található *Psy2-1* gén alléljeinek kimutatása szintén SCAR markerrel történt, a Psy2-1F/PsyR2 primerpárral (Psy2-1F: TTCTTGGATGGACGGAGGTTA, PsyR2: CCCTCTTGGTGAAGTTGTTGT). Ebben az esetben a PCR terméket *BsrI* restrikciós enzimmel emésztettük, a fentebb leírt emésztő mixet és módszert használva. A 'Kofa' típusú allélt hordozó fajtákban egy, a 'W9262' allélt tartalmazókban két hasítóhely található. A fragmentumok mérete: 'Kofa' allél: 927 + 656 bp; 'W9262' allél: 927 + 360 + 317 bp.

### 3.4. A Minolta b\* értéket és a sikerindex nagyságát meghatározó genetikai háttér vizsgálata kétszülős térképezési populációval

#### Fenotípusos vizsgálatok

A Minolta b\* értéket és a sikerindexet meghatározó kromoszómarégiókat egy kétszülős térképezési populáción vizsgáltuk. A populáció létrehozásához szélsőségesen nagy és kicsi Minolta b\* értékű szülőtörzseket választottunk. A nagy sárgapigment-tartalmú szülő a 'PWD1216' (Saatzuch Donau GesmbH, Probstdorf, Ausztria), a kicsi pedig az 'MvTD10-98' martonvásári eredetű durumbúza törzs volt. A keresztezést követően az F<sub>1</sub> nemzedékből összesen 240 törzset alakítottunk ki. Az első technológiai minőségvizsgálatot F<sub>3</sub> (F<sub>2:3</sub> családok mintái) nemzedékben végeztük 2001-ben. F<sub>5</sub> nemzedéktől (2003) rekombináns beltenyésztett törzsekből állóként kezeltük a populációt. Ettől kezdve egészen 2014-ig minden évben – a térképezési populáció céljának megfelelően – mértük a minták Minolta b\* értékét. A populációt alkotó törzsek sikerindexe változatosnak bizonyult, ezért öt évben ezt a tulajdonságot is meghatároztuk. E két, a disszertáció témáját jelentő technológiai minőségi tulajdonság mellett vizsgáltuk a törzsek nedvessikér-tartalmát, valamint a fenotípusos adatok közül megfigyeltük a kalászolási időt (7 évben), a növénymagasságot (6 évben) és a törzsek fitotroni hidegtűrését (2 évben; Tischner et al. 1997 által közölt módszer alapján).

#### Molekuláris szintű vizsgálatok

A Minolta b\* értékkel és a sikerindexszel kapcsolt kromoszómarégiók azonosításához szükséges kapcsoltsági térkép elkészítéséhez RAPD, AFLP, mikroszatellit (SSR) és DaRT markereket használtunk. A RAPD primerek és azonosításuk módszere megegyezett a 3.3 alfejezetben közölttel. Az SSR markerek vizsgálata LI-COR 4300 DNA Analyzer-rel történt, a PCR optimalizálás során figyelembe vettük Röder et al. (1998) által javasolt hőmérsékleti adatokat. A forward primereket a detektáláshoz szükséges IRD700 és IRD800 festékkel jelöltük a készülék két leolvasási hullámhosszának megfelelően. A festékeket nem közvetlenül a

primerhez, hanem M13 szekvenciához kapcsoltuk (Schuelke 2000), majd ezt illesztettük az eredeti primerhez. A reakcióelegy PCR-puffer 1×, MgCl<sub>2</sub> (1,5 mM), dNTP (0,2 mM), forward primer (0,02 μM), M13-primer (0,18 μM), reverz primer (0,2 μM), Taq-polimeráz (0,05 U μL<sup>-1</sup>) és a vizsgált DNS (2,5 ng μL<sup>-1</sup>) elegyét tartalmazta. A PCR program a következőképpen épült fel: 2 perc 94 °C; 30 cikluson keresztül: 1 perc 94 °C, a primer hőmérsékleti optimumától függően 0,5 perc 46, 51, 57 vagy 61 °C, majd 1 perc 73 °C; a program végén 5 perc 73 °C.

Az AFLP vizsgálatához (Vos et al. 1995) a DNS mintákat *MseI* és *Sse8387I* restrikciós enzimekkel hasítottuk. A restrikciós elegyből [*Sse8387I* puffer 1×, *MseI* enzim (0,125 U μL<sup>-1</sup>), *Sse8387I* enzim (0,125 U μL<sup>-1</sup>), BSA (0,01%), DNS (12,5 ng μL<sup>-1</sup>)] 20 μL-nyi mennyiséget készítettünk, majd a mintákat 90 percig 37 °C-os hőmérsékleten inkubáltuk. Ezt követően a mintákhoz 5 μL ligációs elegyet [*Sse8387I* puffer 1×; ADASse (1+2) (0,5 μM); ADAMse (1+2) (5 μM); ATP (1 mM); T4 ligáz (0,2 U μL<sup>-1</sup>)] adagoltunk. A 37 °C-on, három órán át tartó inkubációt követően MilliQ vízzel 100 μL-re hígítottuk a mintákat. A preszelektív reakcióelegy 20 μL mennyiségének összeállítása során a mesterkeverékhez [PCR-puffer 1×; MgCl<sub>2</sub> (1,5 mM); dNTP (0,2 mM); Pre*Sse*-primer (0,3 μM); Pre*Mse*-primer (0,3 μM); Taq-polimeráz (0,025 U μL<sup>-1</sup>)] a ligált DNS-ből 5 μL-nyi mennyiséget adagoltunk. A PCR program a következő lépésekből épült fel: 2 perc 72 °C; 20 cikluson keresztül: 0,5 perc 94 °C, 1 perc 60 °C és 2 perc 72 °C. A preszelektív reakciót követően a DNS mintákat vízzel hússzoros mennyiségre hígítottuk. Az amplifikáció utolsó lépésében az alkalmazott oligomer szekvenciák (*Sse*- és *Mse*-primerek egyaránt) két szelektív nukleotiddal egészültek ki. A végső, 20 μL végtérfogatú reakcióelegy összetétele: PCR-puffer 1×; MgCl<sub>2</sub> 1,5 mM; dNTP 0,2 mM; *Sse*-primer (0,1–0,5 μM); *Mse*-primer (0,3 μM); Taq-polimeráz (0,025 U μL<sup>-1</sup>); 3 μL preszelektíven amplifikált DNS. A PCR-program lépései a következők voltak: 2 perc 94 °C; 10 cikluson keresztül: 0,5 perc 94 °C, 0,5 perc 63 °C, 2 perc 72 °C; 23 cikluson keresztül: 0,5 perc 94 °C, 0,5 perc 54 °C és 2 perc 72 °C.

A fluoreszcens festékkel jelölt termékeket LI-COR 4300 DNA Analyzer készülékkel detektáltuk 685, vagy 785 nm-es hullámhosszon. A fragmentumok elválasztása 25 cm-es, 0,25 mm vastagságú 7%-os poliakrilamid gélen történt. A 25 mL-es géloldat 3,5 mL 50%-os akrilamid-törzsoldatot, 10,5 g ureát és 2,5 mL 10× TBE-oldatot tartalmazott. Az urea feloldódása után 250 mL DMSO-t, 175 μL 10%-os APS-t adtunk hozzá folyamatos kevertetés mellett. A 25 μL TEMED hozzáadását követően pár másodpercen belül az oldatot az előzetesen 0,25 mm-es távtartóval összeállított üveglapok közé öntöttük, majd fél órán át hagytuk a gélt polimerizálódni. A PCR-termékeket a poliakrilamid géltre juttatásuk előtt feltöltőpufferrel hígítottuk a szükséges (primerenként változó) mértékben, az eredeti térfogat 5–10-szeresére. A puffer egy millilitere 950 μL formamid és 50 μL 0,5 M EDTA (pH = 8) mellett 3–5 μL metanolban oldott fukszint is tartalmazott, ami a minták feltöltését megkönnyítette. Közvetlenül a géltre töltést megelőzően 95 °C-on denaturáltuk a mintákat, majd 8-sávós Hamilton-fecskendővel a 64-es gélfésű fogai közé 0,6–0,8 μL mennyiséget injektáltunk. Az elektroforézis során 1× TBE futtató puffert (134 mM TRIS, 45 mM bórsav, 2,5 mM EDTA) használtunk. A LI-COR 4300 készüléket a gyártó által javasolt beállításokkal üzemeltettük. A térképezési populáció vizsgálata során a következő 6 AFLP primerkombinációt használtuk: *SseAG-MseGA*, *SseAG-MseTC*, *SseGA-MseGA*, *SseGC-MseGA*, *SseGC-MseTC*, *SseTC-MseTC*.

A törzsek DNS mintáit 2008-ban DARt analízisre elküldtük a Diversity Array Technology Pty. Ltd. céghez (Bruce, Ausztrália). A DARt technológia alkalmas a genotípuskör jellemzése, markerszelekció, a genomban végbemenő metilációs változások követése mellett – ami számunkra különösen lényeges volt – genetikai térképezésre is (Jaccoud et al. 2001). A társaság kiszervezett szolgáltatás keretében rövid időn belül nagy mennyiségű molekuláris marker információt juttatott vissza. A markerek többségének kromoszomális lokalizációja

ismert, továbbá ezek már a vizsgálat időpontjában is nagy számban álltak rendelkezésre, ezért a DArT markerek használata jelentősen javította a kapcsoltsági térkép pontosságát és felbontását. Az analízishez 184 törzs és a két szülő DNS mintáit küldtük el. A populáció genetikai anyagát 1230 biallélikus domináns markerrel tesztelték. Az elemzés során 412, a mendeli hasadási szabályoknak megfelelő polimorf markert azonosítottak. Néhány törzset – melyek idegen beporzás, vagy mechanikai keveredés miatt a szülőkétől eltérő genetikai információt hordoztak – a további vizsgálatokból ki kellett zárunk. A végleges populációméret ezt követően 179 törzsre csökkent.

A kapcsoltsági térkép összeállításához valamennyi rendelkezésre álló markert felhasználtuk, így összesen 644 marker állt rendelkezésre a munkához. A redundáns és a mendeli hasadási arányt nem követő markerek kizárását követően a végleges változat elkészítése 454 markerrel történt. A térképezést JoinMap 4.0 szoftverrel végeztük (van Ooijen 2006). A program beállításait a következőképpen adtuk meg: *Grouping = independence LOD; Mapping algorithm = Regression mapping; Mapping function = Haldane's*.

A kapcsoltsági térkép elkészítését követően QTL-analízist végeztünk. A markeradatokat, a kapcsoltsági térkép információkat és a fenotípusos vizsgálatok eredményeit MapQTL 5 (van Ooijen 2004) programmal elemeztük. A számítások során a Minolta  $b^*$  érték és a sikerindex összefüggését a kapcsoltsági csoportokkal az évenkénti, valamint az átlagadatokkal is meghatároztuk. A két technológiai minőségi tulajdonsággal kapcsolt feltételezett QTL régiókat elsőként intervallum térképezéssel, majd kofaktor-szelekciót követően a többszörös QTL-modell térképezési módszerrel (MQM; Jansen 1993, 1994) azonosítottuk. A szignifikáns LOD-értékeket permutációs teszttel határoztuk meg 0,1%, 1% és 5%-os valószínűségi szinten. Szignifikáns hatásának a  $LOD \geq 3$  értékű lokuszokat tekintettük (Gadaleta et al. 2014, Marcotuli et al. 2017). A kapcsoltsági csoportok mérete alapján ez az érték már 99% közeli valószínűséget biztosított a QTL hatásának becslésére (van Ooijen 1999).

### Statisztikai elemzések

A statisztikai elemzéseket a térképezésre használt durumbúza törzsek és a két szülő fajta adataival végeztük. A fenotípusos adatok elemzése SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) programmal lineáris kevert modell (REML analízis) moduljával történt. A fix modellt az Állandó + Genotípus faktor, a random modellt pedig az Év jelentette. Hat tulajdonság esetén, melyeknél több évből származó adataink voltak, a 3.3. alfejezetben ismertetett módszerrel meghatároztuk a varianciakomponenseket, az ismételhetőségi ( $h^2$ ) értékeket, valamint korreláció számítással a fenotípusos tulajdonságok közötti összefüggéseket.

A populációt alkotó törzsek egy morfológiai eltérés alapján két csoportra oszthatók. A szálla színe szerint elkülönített csoportok fenotípusos átlagértékei közötti különbség statisztikai megbízhatóságát  $t$ -próbával ellenőriztük (Microsoft Excel 2013; Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Az  $F$ -próba eredményétől függően a  $t$ -próbát egyenlő vagy nem-egyenlő szórásnégyzeteknél végeztük. A molekuláris adatok leíró statisztikáját SPSS 16.0 programmal készítettük, az adatok és a reziduálisok eloszlását hisztogramon szemléltettük.

Egy 100 törzset tartalmazó részpopuláción több (az összes 9 és a szignifikáns hatású 4) RAPD marker együttes hatását a Minolta  $b^*$  értékre lépcsős regresszióanalízissel határoztuk meg. A durumbúzatörzseket ezt követően 3 csoportra osztottuk: 1. az átlagnál szignifikánsan nagyobb Minolta  $b^*$  értékű; 2. az átlagtól nem különböző; 3. az átlagnál statisztikailag igazolhatóan kisebb Minolta  $b^*$  értékű törzsek. A fenotípus, valamint a 9 és a 4 RAPD marker alapján végzett csoportosítás egyezőségét diszkriminanciaanalízissel ellenőriztük (Statistica 6.0 szoftver; StatSoft Inc., Tulsa, OK, USA).

### 3.5. A sikerindex és a Minolta b\* érték javítására irányuló szelekció eredményeinek bemutatására használt módszerek

Korábban minősített őszi durumbúza fajtákat, emellett fajtajelölteket, valamint a nemesítési program legígéretesebb nemesítési törzseit tartalmazó kísérlet adatai alapján vizsgáltuk, hogy a sikerindex és a Minolta b\* érték mérésének bevezetése milyen hatást gyakorolt a nemesítési programra a 1996–2020 közötti időszakban. A törzsek száma 9 (1996) és 31 (2008–2011) között volt a különböző években. A kísérlet jellegéből adódóan az elvetett törzsek egy része évről évre változott, ezért az adatokat egy valamennyi évben elvetett kontroll fajtaéhoz ('Mv Makaróni') viszonyítottuk. A vizsgálatokat ebben a kísérletsorozatban is két ismétlésben végeztük a lászlópusztai területről származó mintákon. A vizsgált durumbúza törzsek jellemzőit standardként szereplő 'Martondur 1' (elismerésnek éve 1996) és a 'GK Bétadur' (elismerésnek éve 1996) adataihoz viszonyítottuk. A sikerindexben és a Minolta b\* értékben elért genetikai előrehaladást kétféleképpen határoztuk meg. Egyrészt a törzsek átlagos, a standard fajtaéhoz és azok átlagához viszonyított relatív értékének változását számítottuk ki, másrészt az elismert martonvásári durumbúza fajta abszolút értékét mértük öt egymást követő évben (2014–2018 között) és az adatokra regressziós egyenest illesztettünk a következő képlet alapján:

$$y_i = \hat{c} + bX_i$$

ahol:  $\hat{c}$  konstans (az  $y$ -tengely metszéspontja),  $b$  a regressziós egyenes meredeksége,  $X_i$  pedig az  $i$ -dik évben elismert durumbúza fajta sikerindex, vagy Minolta b\* értéke. A  $b$  értéke jelenti a genetikai előrehaladás mértékét (Khalil et al. 2002).

### 3.6. Technológiai minőségvizsgálat

Az őszi durumbúza minták sikerindexét szemolinából határoztuk meg ICC158 (ICC, 1995) szabvány alapján, Perten Glutomatic 2200 és Perten 2015 Centrifuge (Perten Instruments AB, Hägersten, Sweden) készüléken. A Minolta b\* érték mérése 1996 és 2016 között Minolta CR-300, 2017-től kezdődően Minolta CR-400 kromaméterrel történt (a két készülék által mért adatokat a típusváltáskor összehasonlítottuk, az értékek egyeztek). A vizsgálatokat minden esetben szemolinából végeztük.

A szemolina előállítása 2010-ig Brabender Junior labormalmon (Brabender GmbH & Co. KG, Duisburg, Germany) történt, melyet Vasiljevic et al. (1977) által javasoltaknak megfelelően tettünk alkalmassá durumbúza minták őrlésére. Ekkor a durva korpafrakciót Retsch KS 1000 szitasoron (Retsch GmbH, Haan, Germany) választottuk le. A 160–315  $\mu\text{m}$  frakciót ezt követően Chopin Semolina Purifier (Chopin Technologies, Villeneuve-la-Garenne, France) készüléken tisztítottuk. A 2010. évtől kezdve a durumbúza minták őrlése Chopin CD2 típusú labormalmon történt. A szemolinát a korábban használt Chopin Semolina Purifier készüléken tisztítottuk, így a 2010 előtti és az új malmon előállított szemolina szemcsemérete azonos volt.

## 4. Eredmények és megvitatásuk

### 4.1. A meteorológiai tényezők és az évjárat hatása durumbúzafajták sikerindexére és Minolta b\* értékére

Tizenhat egymást követő évben (2005–2020) mértük öt őszi durumbúzafajta ('GK Bétadur', 'GK Selyemdur', 'Mv Makaróni', 'Mv Pennedur' és 'Mv Hundur') sikerindexét és Minolta b\* értékét. Az évenkénti, fajtankénti és az átlagos értékeket a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat. Őszi durumbúzafajták sikerindexe és Minolta b\* értéke (Martonvásár, 2005–2020)

Év	GK Bétadur		GK Selyemdur		Mv Makaróni		Mv Pennedur		Mv Hundur		Fajták átlaga	
	GI	MB	GI	MB	GI	MB	GI	MB	GI	MB	GI	MB
2004/2005	72,74	24,73	87,63	26,11	1,89	25,72	91,44	27,06	62,49	31,80	<sup>bc</sup> 63,24	<sup>c</sup> 27,08
2005/2006	75,08	26,18	91,73	27,13	29,78	28,40	79,73	26,37	61,60	30,51	<sup>bc</sup> 67,58	<sup>ab</sup> 27,72
2006/2007	67,27	26,97	83,88	27,28	22,82	27,60	85,86	29,24	48,01	29,63	<sup>bcd</sup> 61,57	<sup>a</sup> 28,14
2007/2008	77,72	24,96	82,02	27,85	10,79	26,43	88,13	29,03	48,04	28,99	<sup>bcd</sup> 61,34	<sup>bc</sup> 27,45
2008/2009	98,22	22,60	93,71	22,63	68,54	22,85	98,61	22,71	89,95	26,91	<sup>a</sup> 89,81	<sup>ef</sup> 23,54
2009/2010	64,86	20,84	76,72	23,16	15,95	24,26	77,63	24,36	42,92	26,76	<sup>cde</sup> 55,62	<sup>e</sup> 23,88
2010/2011	83,34	20,01	80,53	22,05	21,43	22,72	94,36	23,80	72,15	25,23	<sup>b</sup> 70,36	<sup>gh</sup> 22,76
2011/2012	37,48	20,41	48,67	24,72	1,67	23,17	59,69	23,53	22,48	25,12	<sup>gh</sup> 34,00	<sup>f</sup> 23,39
2012/2013	31,41	22,64	78,58	25,18	7,53	24,38	74,46	25,28	9,90	27,57	<sup>fg</sup> 40,38	<sup>d</sup> 25,01
2013/2014	66,87	22,53	87,61	24,31	1,76	25,21	93,16	24,81	58,88	27,56	<sup>bcd</sup> 61,66	<sup>d</sup> 24,88
2014/2015	39,42	21,47	69,82	22,50	1,64	23,80	90,21	23,15	41,20	25,14	<sup>ef</sup> 48,46	<sup>fg</sup> 23,21
2015/2016	42,65	20,06	69,67	21,72	7,58	21,79	80,88	22,72	35,73	25,80	<sup>ef</sup> 47,30	<sup>h</sup> 22,42
2016/2017	47,29	19,60	80,52	20,71	3,97	21,64	90,05	21,93	55,30	23,24	<sup>cde</sup> 55,43	<sup>i</sup> 21,42
2017/2018	43,10	21,20	65,24	23,60	3,75	23,58	82,45	24,40	45,99	26,96	<sup>ef</sup> 48,11	<sup>e</sup> 23,95
2018/2019	26,01	22,80	39,75	23,70	1,50	24,81	60,77	25,37	9,37	26,68	<sup>h</sup> 27,48	<sup>d</sup> 24,67
2019/2020	50,81	23,27	69,60	24,23	1,77	23,87	90,61	25,49	39,28	27,18	<sup>def</sup> 50,41	<sup>d</sup> 24,81
Átlag	<sup>e</sup> 57,77	<sup>d</sup> 22,51	<sup>b</sup> 75,36	<sup>c</sup> 24,18	<sup>e</sup> 12,65	<sup>c</sup> 24,39	<sup>a</sup> 83,63	<sup>b</sup> 24,95	<sup>d</sup> 46,46	<sup>a</sup> 27,19	55,17	24,64
Minimum	26,01	19,60	39,75	20,71	1,50	21,64	59,69	21,93	9,37	23,24	27,48	21,42
Maximum	98,22	26,97	93,71	27,85	68,54	28,40	98,61	29,24	89,95	31,80	89,81	28,14
Szórás	20,80	2,25	14,76	2,10	17,39	1,92	11,22	2,13	21,24	2,19	15,02	2,01

Megjegyzés: GI = sikerindex, MB = Minolta b\* érték; az átlagoknál felső indexben feltüntetett betűk a Tukey's HSD teszt alapján kialakított csoportokat jelölik

Adatainkat felhasználva vizsgáltuk az évjáratok technológiai minőséget befolyásoló hatását, valamint a két tulajdonságot meghatározó meteorológiai faktorokat azonosítottunk.

#### 4.1.1. Az évjárat hatása őszi durumbúzafajták sikerindexére és a Minolta b\* értékére

Első lépésként az évjáratok és a fajta hatásait vizsgáltuk varianciaanalízissel (8. táblázat). A statisztikai elemzés eredménye alapján az évjáratok és a durumbúzafajták között is szignifikáns különbségek megléte bizonyítható. A Tukey's HSD teszt alapján a 2008/2009. évi vegetációs időszak körülményei kedveztek legjobban az erős sikérszerkezet kialakulásának (átlagos GI = 89,81). A legkisebb sikerindex értékeket 2019-ben mértük (27,48), de ettől a 2012. évi eredmények sem különböztek szignifikánsan (34,00). A Minolta b\* érték 21,42 és 28,14 között volt a különböző évjáratokban. A legnagyobb átlagos értéket 2007-ben mértük (28,14), azonban ettől a 2006. évi adat sem különbözött statisztikailag igazolhatóan (27,72). A legkedvezőtlenebb évjárat egyértelműen a 2017. év volt (21,42).

A Minolta b\* érték alapján a 'GK Selyemdur' (24,18) és az 'Mv Makaróni' (24,39) kivételével valamennyi fajta statisztikailag igazolhatóan eltérő volt. Az 'Mv Hundur' kimagaslóan nagy értékkel (27,19) az első helyen végzett, utána az 'Mv Pennedur' következett (24,95). A legkisebb átlagos értéket a 'GK Bétadur' mintáiban mértük (22,51).

8. táblázat. A genotípus és az évjárat hatása durumbúzfajták sikérindexére és Minolta b\* értékére (Martonvásár, 5 fajta, 2005–2020)

Tényező	Szabadságfok	SQ	MQ	F	Szignifikancia
<i>Sikérindex</i>					
Év	15	33843,251	2256,217	46,893	0,000
Hiba (a)	16	769,834	48,115		
Genotípus	4	99461,842	24865,460	1144,469	0,000
Év×Genotípus	60	12062,000	201,033	9,253	0,000
Hiba (b)	64	1390,504	21,727		
Összes	159	147527,431			
<i>Minolta b*</i>					
Év	15	605,440	40,363	560,278	0,000
Hiba (a)	16	1,153	0,072		
Genotípus	4	364,886	91,222	767,010	0,000
Év×Genotípus	60	70,622	1,177	9,897	0,000
Hiba (b)	64	7,612	0,119		
Összes	149	1049,712			

A korrelációanalízis eredménye alapján (9. táblázat) a durumbúzfajták technológiai minősége – különösen a Minolta b\* értéke ( $r = 0,812^{***} - 0,920^{***}$ ) – a különböző évjáratok hatására többségében szorosan összefüggve hasonló irányban változott.

9. táblázat. Őszi durumbúzfajták sikérindexének és Minolta b\* értékének összefüggése (korrelációs együttható értékek, Martonvásár, 2005 – 2020)

	GK Selyemdur	Mv Makaróni	Mv Pennedur	Mv Hundur	Fajták átlaga
<i>Sikérindex</i>					
GK Bétadur	0,779 <sup>***</sup>	0,717 <sup>**</sup>	0,674 <sup>**</sup>	0,891 <sup>***</sup>	0,949 <sup>***</sup>
GK Selyemdur		0,529 <sup>*</sup>	0,776 <sup>***</sup>	0,759 <sup>**</sup>	0,865 <sup>***</sup>
Mv Makaróni			0,361 <sup>ns</sup>	0,648 <sup>**</sup>	0,771 <sup>***</sup>
Mv Pennedur				0,812 <sup>***</sup>	0,802 <sup>***</sup>
Mv Hundur					0,950 <sup>***</sup>
<i>Minolta b*</i>					
GK Bétadur	0,880 <sup>***</sup>	0,920 <sup>***</sup>	0,876 <sup>***</sup>	0,878 <sup>***</sup>	0,962 <sup>***</sup>
GK Selyemdur		0,899 <sup>***</sup>	0,916 <sup>***</sup>	0,841 <sup>***</sup>	0,957 <sup>***</sup>
Mv Makaróni			0,865 <sup>***</sup>	0,842 <sup>***</sup>	0,955 <sup>***</sup>
Mv Pennedur				0,812 <sup>***</sup>	0,943 <sup>***</sup>
Mv Hundur					0,924 <sup>***</sup>

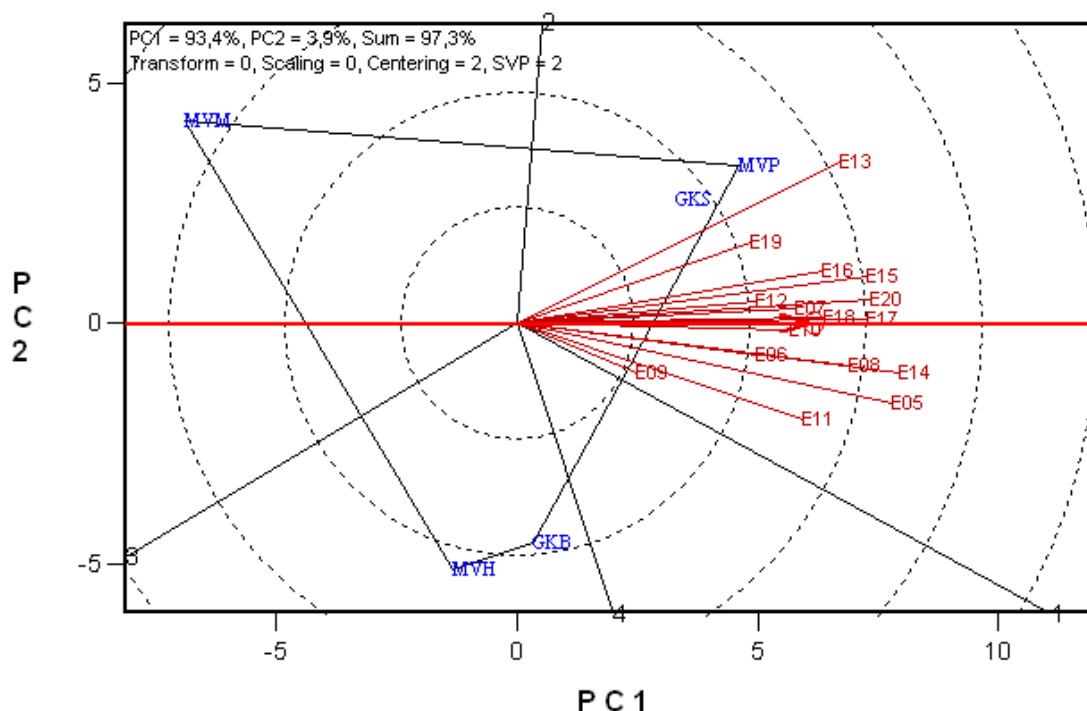
Megjegyzés: az  $r$  érték szignifikáns  $p < 0,05^*$ ,  $0,01^{**}$ ,  $0,001^{***}$  szinten, illetve <sup>ns</sup> nem szignifikáns

A környezet (ebben az esetben az évjáratok) és a genotípusok kapcsolatrendszerének vizsgálatára speciális statisztikai módszereket fejlesztettek ki (Malosetti et al. 2013). Ezek egyik változata a GGE biplot analízis, mellyel grafikus formában a genotípus (G) és a genotípus × környezet (GE) együttes figyelembevételével elemezhető a különböző évjáratokban mért adatok korrelációja, valamint megállapítható a különböző genotípusok teljesítménye a különböző környezetekben. Az 5. ábrán a 16 évjárat és az 5 durumbúzfajta sikérindex adatai alapján készült diagram látható. Az ábrán a „melyik mire a legjobb” típusú ábrázolás mellett a környezeti vektorok (vékony piros vonallal jelölve), valamint az átlagos-környezet tengely (AEA; vastag piros vonallal) is szerepel. Az ábráról több információ is leolvasható. A rendszer teljes varianciájának rendkívül nagy hányadát az első főkomponensváltozó határozta meg (PC1 = 93,4%). A különböző évjáratokat jelölő vektorok hossza eltérő, ugyanakkor az általuk bezárt szög minden esetben sokkal kisebb, mint 90°. Ez alapján a különböző évjáratok közötti kapcsolat szoros és pozitív előjelű. A vektorok átlagos-környezet tengellyel bezárt szöge alapján megállapítható, hogy egy évjárat mennyire tekinthető „reprezentatív” hatásúnak, vagy éppen „speciálisnak”. Eszerint a 2013-as évjárat tekinthető a leginkább speciálisnak, ugyanakkor a 2007., 2010. és a 2018. év az átlag közelében helyezkedett el. A vektorok hossza jelzi, hogy melyik évjárat mennyire tette lehetővé a vizsgált genotípusok elkülönítését. Leghosszabb az E14 és az E05 vektor, így a 2005. és a 2014. évjárat



választotta el legnagyobb mértékben a durumbúzafajtákat sikerindexük alapján. Ezzel szemben a 2009. évben (E09) tért el a fajták sikerindexe a legkevésbé.

5. ábra. Évjáratok és őszi durumbúzafajták kapcsolatrendszere a sikerindex adatok alapján (Martonvásár, 2005–2020)

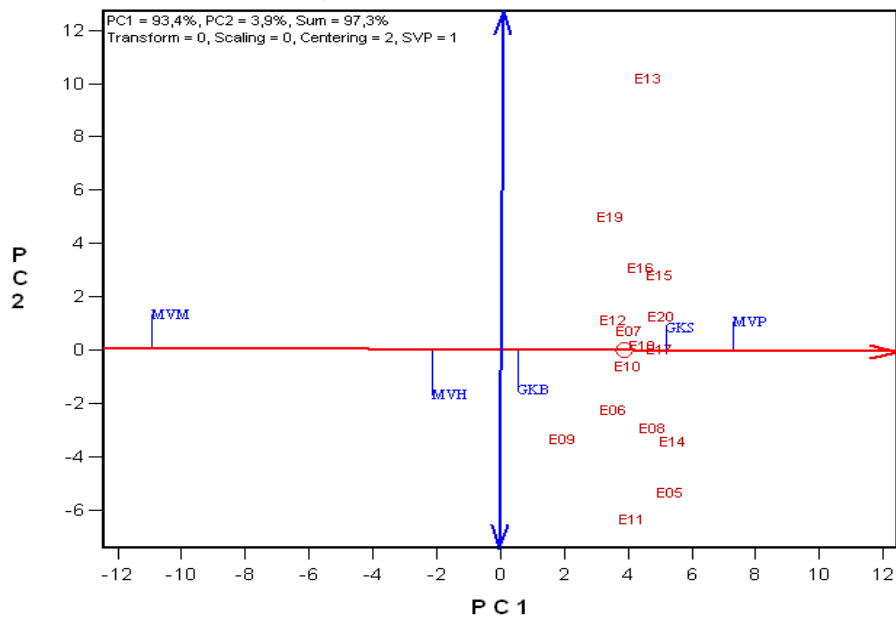


Megjegyzés: A GGE biplot elemzés környezet központú (Centering = 2), nem skálázott adatok alapján (Scaling = 0) és környezet-metrikus (SVP = 2) ábrázolással készült. E05–E20: évjáratok 2005–2020; GKB = 'GK Bétadur', GKS = 'GK Selyemdur', MVM = 'Mv Makaróni', MVP = 'Mv Pennedur', MVH = 'Mv Hundur'; PC1 és PC2 főkomponensváltozók; a környezeti vektorok vékony, az átlagos-környezet tengely (AEA) vastag piros vonallal ábrázolva; ○ = évjáratok átlaga.

A 7. táblázatban közölt eredmények szerint ebben az évben mértük a legnagyobb sikerindex adatokat és a vizsgált fajták közötti különbség a többi évjáratához viszonyítva, az arányokat tekintve sokkal kisebb volt. A „melyik mire a legjobb” elemzés lehetővé teszi egy adott környezetben legkedvezőbb értékekkel rendelkező genotípus azonosítását, de emellett a síkot szektorokra osztja. A szektorok ún. mega-környezeteknek felelnek meg. Mivel az 5. ábrán valamennyi évjárat ugyanabban a szektorban helyezkedett el és velük egy szektorban az 'Mv Pennedur', valamint az 'Mv Selyemdur' található, megállapítható, hogy a különböző évjáratok megközelítőleg azonos hatást gyakoroltak a vizsgált őszi durumbúzafajták sikerindexére. A legerősebb sikérszerkezetű fajta az 'Mv Pennedur' és a 'GK Selyemdur', a leggyengébb pedig az ábra 2. szektorában, a baloldalon, a környezetektől (évjáratoktól) legtávolabb található 'Mv Makaróni' volt.

A 6. ábráról további információ olvasható le a fajták teljesítményéről és stabilitásáról. Az ábrán az abszcissza az átlagos-környezet tengely, az ordináta pedig a genotípusok stabilitását jellemzi. A durumbúzafajták sikerindexének nagyság szerinti sorrendje (csökkenő sorrendben: 'Mv Pennedur' - 'GK Selyemdur' - 'GK Bétadur' - 'Mv Hundur' - 'Mv Makaróni') egyértelműen leolvasható az ábráról, de egyben az is látható, hogy a nagy sikerindexű fajták stabilitása (kis távolság az AEA-tól) is az átlagnál jobbnak bizonyult.

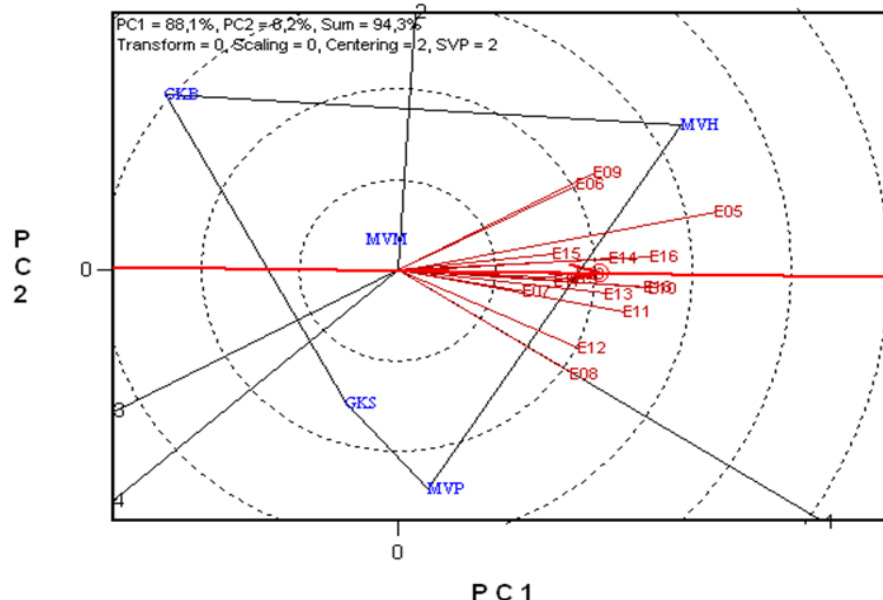
6. ábra. Őszi durumbúzafajták sorrendje a sikerindex adatok alapján, valamint ezek stabilitása (Martonvásár, 2005 – 2020)



Megjegyzés: A GGE biplot elemzés környezet központú (Centering = 2), nem skálázott adatok alapján (Scaling = 0) és genotípus-metrikus (SVP = 1) ábrázolással készült. E05–E20: évjáratok 2005–2020; GKB = 'GK Bétadur', GKS = 'GK Selyemdur', MVM = 'Mv Makaróni', MVP = 'Mv Pennedur', MVH = 'Mv Hundur'; PC1 és PC2 főkomponensváltozók; az átlagos-környezet tengely (AEA) vastag piros vonallal ábrázolva; a nyilakkal ellátott kék tengely értékei a fajták stabilitását jelentik. A két tengely metszéspontja a fajták, ○ az évjáratok átlaga.

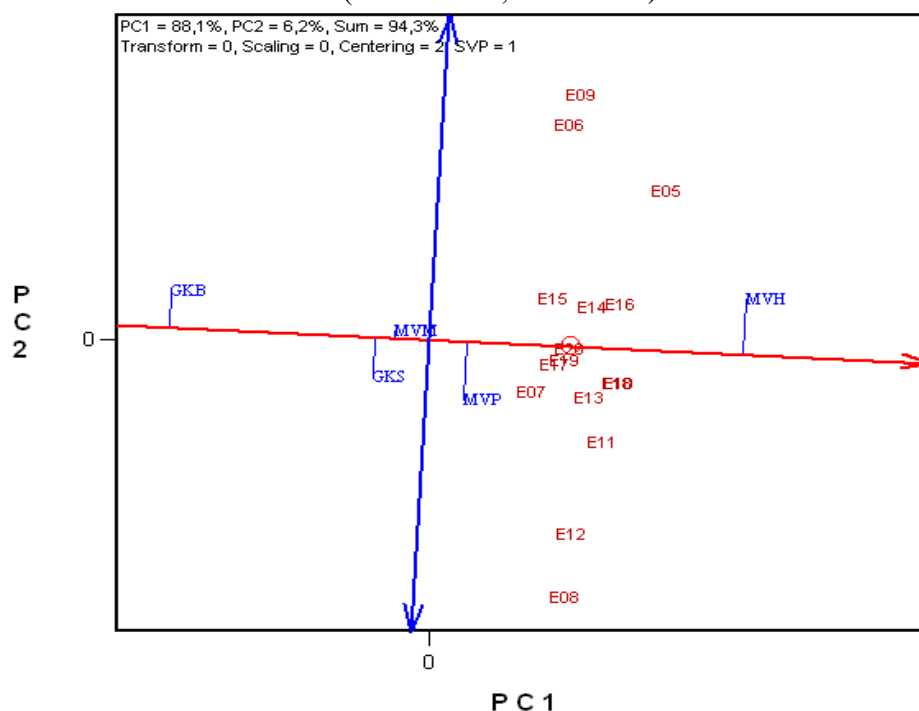
A Minolta b\* értékek alapján is elvégeztük a GGE biplot analízist. A 7. és 8. ábrán a sikerindex adatoknál ismertetett ábratípusokat mutatjuk be.

7. ábra. Évjáratok és őszi durumbúzafajták kapcsolatrendszer a Minolta b\* adatok alapján (Martonvásár, 2005–2020)



Megjegyzés: A GGE biplot elemzés környezet központú (Centering = 2), nem skálázott adatok alapján (Scaling = 0) és környezet-metrikus (SVP = 2) ábrázolással készült. E05–E20: évjáratok 2005–2020; GKB = 'GK Bétadur', GKS = 'GK Selyemdur', MVM = 'Mv Makaróni', MVP = 'Mv Pennedur', MVH = 'Mv Hundur'; PC1 és PC2 főkomponensváltozók; a környezeti vektorok vékony, az átlagos-környezet tengely (AEA) vastag piros vonallal ábrázolva; ○ = évjáratok átlaga.

8. ábra. Őszi durumbúzafajták sorrendje a Minolta b\* értékek alapján, valamint ezek stabilitása (Martonvásár, 2005–2020)

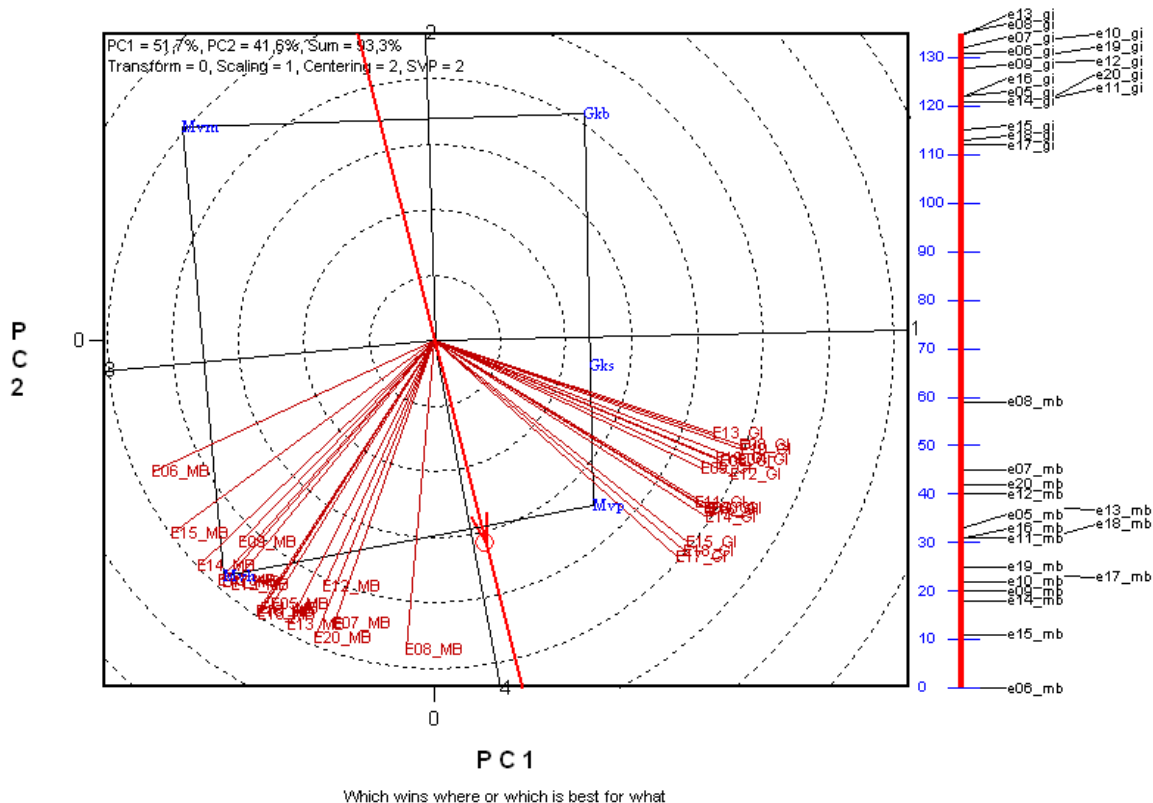


Megjegyzés: A GGE biplot elemzés környezet központú (Centering = 2), nem skálázott adatok alapján (Scaling = 0) és genotípus-metrikus (SVP = 1) ábrázolással készült. E05–E20: évjáratok 2005–2020; GKB = 'GK Bétadur', GKS = 'GK Selyemdur', MVM = 'Mv Makaróni', MVP = 'Mv Pennedur', MVH = 'Mv Hundur'; PC1 és PC2 főkomponensváltozók; a nyilakkal ellátott kék tengely értékei a fajták stabilitását jelentik. Az átlagos-környezet tengely (AEA) vastag piros vonallal ábrázolva; A két tengely metszéspontja a fajták,  $\circ$  az évjáratok átlaga.

A Minolta b\* esetén is egyetlen főkomponensváltozó volt jelentős, és a környezeti vektorok által bezárt hegyes szög alapján a különböző évjáratokban mért adatok korrelációja pozitív. Az elemzés eredménye alapján az egyértelmű nyertes az 'Mv Hundur' volt, mely egyedüli fajtaként helyezkedett el a környezeti vektorokat magában foglaló szektorban. A durumbúzafajták közül Minolta b\* érték alapján (8. ábra) az 'Mv Hundur' volt a legjobb, ezt az 'Mv Pennedur', az 'Mv Makaróni', a 'GK Selyemdur', majd a 'GK Bétadur' követte. A fajták közül az 'Mv Makaróni' stabilitása kiemelkedő volt (minimális távolság az AEA-tól).

A kiválogatás folyamata során a nemesítőnek egyszerre több tulajdonságra is szükséges szelektálnia, és ezek legkedvezőbb kombinációját hordozó fajták előállítására kell törekednie. A GGE biplot elemzés több tulajdonság együttes vizsgálatát is lehetővé teszi. A 9. és a 10. ábra a 16 évben mért sikerindex és Minolta b\* adatok alapján végzett elemzés eredményét tartalmazza. A számítások eredménye alapján két főkomponensváltozó sajátértéke haladta meg az 1-et, és ezek a rendszer teljes variációjának 93,3%-át magyarázták. A sikerindex és a Minolta b\* vektorok két csoportban helyezkedtek el, a csoportok átlagvektorai megközelítőleg 90°-os szöget zártak be. Ez a két tulajdonság függetlenségét jelzi. A súlyvonalak a síkot négy részre osztották, a négyszög csúcsain elhelyezkedő fajták a két vizsgált technológiai minőségi tulajdonság eltérő kombinációjával jellemezhetők. Az 'Mv Pennedur' a sikerindex vektorokkal egy síknegyedben, a négyszög csúcsán helyezkedett el, e fajta sikerindexe kiemelkedően jó. Az 'Mv Hundur' esetén a Minolta b\* vektorokkal áll fenn hasonló kapcsolat. Az 'Mv Makaróni' a sikerindex vektorokkal átellenes negyedben található, ami gyenge sikérszerkezetre utal, a 'GK Bétadur' pedig Minolta b\* értékét tekintve foglal el kedvezőtlen pozíciót.

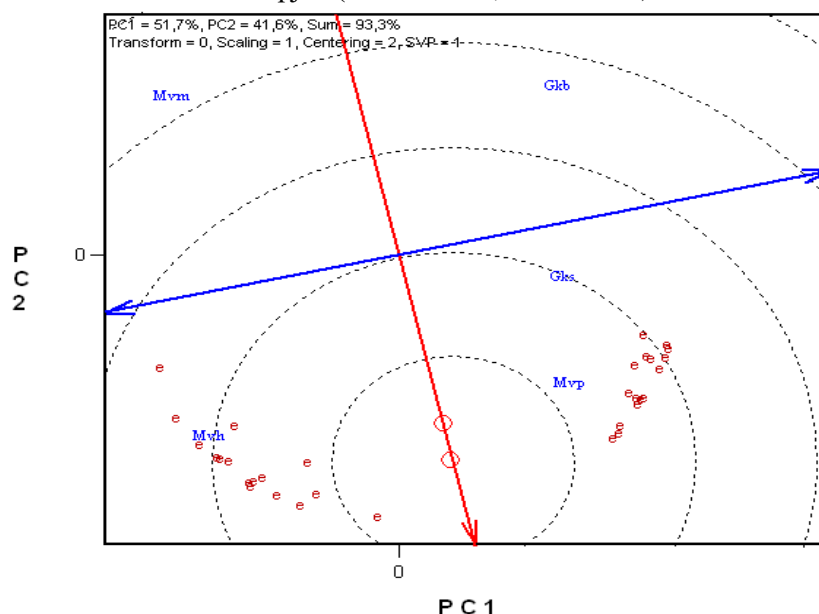
9. ábra. Évjáratok és őszi durumbúzafajták kapcsolatrendszere a sikerindex és Minolta b\* adatok alapján (Martonvásár, 2005–2020)



Megjegyzés: A GGE biplot elemzés környezet központú (Centering = 2), skálázott adatok alapján (Scaling = 1) és környezet-metrikus (SVP = 2) ábrázolással készült. GI = sikerindex; MB = Minolta b\*; E05–E20: évjáratok 2005–2020; Gkb = 'GK Bétadur', Gks = 'GK Selyemdur', Mvm = 'Mv Makaróni', Mvp = 'Mv Pennedur', Mvh = 'Mv Hundur'; PC1 és PC2 főkomponensváltozók; az évjárat×tulajdonság vektorok vékony, az átlagos-környezet tengely (AEA) vastag piros vonallal ábrázolva; ○ = évjáratok átlaga. Az ábra jobboldalán a környezetvektorok lineáris térképe található, a skála a vektorok által bezárt szöveget jelenti, °-ban kifejezve.

A 10. ábra az „ideális” (ez esetben a tulajdonságok legkedvezőbb kombinációját tartalmazó) genotípust legjobban megközelítő durumbúzafajta azonosítását teszi lehetővé. A koncentrikus körök középpontjában elhelyezkedő teoretikus genotípustól (mindenben a legjobb és stabilitása tökéletes) mért távolság határozza meg a genotípus értékét. Minél közelebb helyezkedik el egy vizsgált fajta ehhez a ponthoz, annál jobb kombinációját hordozza a vizsgált tulajdonságoknak. Az elemzés eredménye alapján az ideális genotípushoz legközelebb az 'Mv Pennedur' található, ez a fajta hordozza a tulajdonságok legkedvezőbb kombinációját. Közel azonos távolságban helyezkedett el a 'GK Selyemdur' és az 'Mv Hundur'. Előbbi fajtának inkább a sikererőssége, míg utóbbinak a sárgapigment-tartalma volt az előnyös tulajdonsága. Az ideális genotípustól legtávolabb az 'Mv Makaróni' helyezkedett el.

10. ábra. Évjáratok és őszi durumbúza fajták kapcsolatrendszere a sikérindex és Minolta b\* adatok alapján (Martonvásár, 2005–2020)



Megjegyzés: A GGE biplot elemzés környezet központú (Centering = 2), skálázott adatok alapján (Scaling = 1) és genotípus-metrikus (SVP = 1) ábrázolással készült; e: évjárat  $\times$  tulajdonság kombinációk; Gkb = 'GK Bétadur', Gks = 'GK Selyemdur', Mvm = 'Mv Makaróni', Mvp = 'Mv Pennedur', Mvh = 'Mv Hundur'; PC1 és PC2 főkomponensváltozók; az átlagos-környezet tengely (AEA) vastag piros vonallal ábrázolva;  $\circ$  = évjáratok átlaga;  $\circ$  a koncentrikus körök középpontjában = ideális genotípus.

A technológiai minőség stabilitás a durumbúzában fontos értékmérő tulajdonság, hiszen a feldolgozóipar környezettől (évjáratától és termőhely) függetlenül, hasonló paraméterekkel rendelkező alapanyagot részesíti előnyben (Rharrabti et al. 2003b, Sissons et al. 2020). A genotípusok környezetfüggőségének megállapítása stabilitásanalízissel lehetséges, aminek alapját a genotípus  $\times$  környezet kölcsönhatás erősségének meghatározása jelenti (Lin et al. 1986). A stabilitásanalízis módszertanának kidolgozása Yates és Cochran (1938) munkájával kezdődött. A Wricke-féle ökovalencia érték (Wricke 1962), vagy a Shukla-féle stabilitás variancia (Shukla 1972) számítás mellett korábban széles körben használt eljárások kidolgozása fűződik Finley és Wilkinson (1963), Eberhart és Russel (1966), valamint Perkins és Jinks (1968) nevéhez. A statisztikai módszerek fejlődésével megjelentek a többváltozós eljárások is a genotípus  $\times$  környezet kölcsönhatás erősségének számítása területén. Ezek közül az AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction*; Gollob 1968, Zobel et al. 1988, Sissons et al. 2020), valamint a GGE biplot (*Genotype main effects and Genotype  $\times$  Environment interaction*; Yan et al. 2000, Yan és Tinker 2006) analízis terjedt el szélesebb körben. Bár Miranda et al. (2009) mindkét módszert egyaránt megfelelőnek tartják a  $G \times E$  kölcsönhatás vizsgálatára, Yan et al. (2007) szerint a GGE biplot analízis több területen is („melyik mire a legjobb”, valamint az átlagérték vs. stabilitás ábrázolás, továbbá a teszt-környezetek jellemzése) az AMMI-nál hatékonyabban alkalmazható. Kísérleteink értékelését GGE biplot elemzéssel végeztük. E statisztikai módszert több kutatócsoport is sikeresen használta búza és durumbúza technológiai minőségi tulajdonságainak elemzése során a genotípus  $\times$  környezet kölcsönhatás meghatározására (Branković et al. 2014, Balkan et al. 2018), többek között a sikérindex (Mikó et al. 2017, Yildirim et al. 2018) és a Minolta b\* érték (Kendal és Şener 2015, Mikó et al. 2017, Taghouti et al. 2017, Kizilgeci et al. 2019) esetén is. A felsorolt források mindegyike egy-egy tulajdonság elkülönített vizsgálatára szorítkozott és valamennyi esetben könnyen értelmezhető, hasznos eredményekről számoltak be a szerzők. Saját elemzéseinket a

sikérindex és a Minolta b\* érték együttes elemzésére is kiterjesztettük. Egymástól függetlenül öröklődő tulajdonságok esetén a technológiai minőség stabilitásának komplex megítélése e módszerrel egyszerűen elvégezhető.

#### 4.1.2. A sikérindexet és a Minolta b\* értéket meghatározó meteorológiai faktorok azonosítása

Megfigyeléseink alapján feltételezhető, hogy azonosíthatók olyan meteorológiai faktorok, melyek az átlagosnál erősebben befolyásolják az őszi durumbúzafajták sikérindex és Minolta b\* értékeinek nagyságát. A különböző meteorológiai tényezők (csapadék, átlaghőmérséklet – augusztustól márciusig havi összes mennyiség, illetve átlag, áprilistól aratásig ugyanezek az adatok dekádankénti bontásban, továbbá a szemtelítődés időszakában bekövetkezett hőségnapok száma dekádanként) két technológiai minőségi tulajdonsággal kimutatható összefüggését korrelációanalízissel és lépcsős regresszió számítással elemeztük.

Az 59 meteorológiai faktorra (26 csapadék + 23 átlaghőmérséklet + 10 hőségnap adat) × 12 (5 fajta + átlag × 2 tulajdonság), a fajtákra vonatkozó adatmátrixon elvégzett korrelációanalízis eredményét az 1. melléklet tartalmazza. Az összefüggések töredéke bizonyult szignifikánsnak, ezeket az 10. táblázatban ismertetjük.

10. táblázat Korrelációanalízis alapján őszi durumbúzafajták sikérindexére és Minolta b\* értékére szignifikáns hatású meteorológiai faktorok (Martonvásár, 2005–2020)

Meteorológiai faktor	GK	GK	Mv	Mv	Mv	Fajták átlaga
	Bétadur	Selyemdur	Makaróni	Pennedur	Hundur	
<i>Sikérindex</i>						
Novemberi csapadék				0,517*		
Április 1. dekád csapadék				-0,733**	-0,600**	-0,589*
Május 3. dekád csapadék				-0,517*		
Májusi csapadék				-0,497*		
Június 3. dekád csapadék			0,566*			
Június 1. dekád átlaghőmérséklet		-0,502*				
Június 2. dekád átlaghőmérséklet	-0,535*			-0,623*	-0,586*	-0,528*
Június havi átlaghőmérséklet	-0,556*	-0,660**		-0,557*	-0,546*	-0,615*
Július 1. dekád átlaghőmérséklet	-0,517*	-0,616*		-0,592*	-0,498*	-0,545*
Május 2. dekád hőségnapok	0,533*		0,859***		0,511*	0,617*
Június 2. dekád hőségnapok				-0,544*		
<i>Minolta b*</i>						
Április 3. dekád csapadék					0,561*	
Június 1. dekád csapadék		0,583*	0,546*	0,617*	0,623*	0,597*
Októberi átlaghőmérséklet					-0,607*	
Május 3. dekád hőségnapok	0,671**	0,626*	0,568*	0,777***	0,609*	0,688**
Május havi hőségnapok	0,617**	0,586*		0,663**	0,593*	0,622*
Június havi hőségnapok	0,520*	0,503*	0,583*	0,536*		
Összes hőségnap	0,662**	0,611*	0,728**	0,703**		0,670**

Megjegyzés: az  $r$ -érték szignifikáns  $p = 0,05^*$ ,  $0,01^{**}$ ,  $0,001^{***}$  szinten; a 0,7-es értéket meghaladó korrelációs koefficiensek sárga színnel kiemelve

A fajtánként mért és az átlagos sikérindex adatokat a szignifikáns hatású meteorológiai faktorok többsége negatívan befolyásolta. A leginkább általánosítható hatást a június havi átlaghőmérséklet és július hónap első dekádja átlaghőmérséklete váltotta ki, melyek növekedésével az Mv Makaróni durumbúzafajta kivételével valamennyi genotípus és a fajták átlagának sikérindexe is csökkent. A gyenge sikérszerkezetű 'Mv Makaróni' sikérindexét a magas hőmérséklet nem befolyásolta, ugyanakkor ez volt az egyetlen fajta, amelynél a június harmadik hetében lehullott csapadék mennyisége ( $r = 0,566^*$ ) előnyösen hatott a sikérszerkezetre. Ugyancsak kedvező irányban változott az 'Mv Makaróni' ( $r = 0,859^{***}$ ):

valamennyi közül ez volt a legnagyobb korrelációs koefficiens érték a kísérletben), a 'GK Bétadur' ( $r = 0,533^*$ ), az 'Mv Hundur' ( $r = 0,511^*$ ) és a fajták átlagos ( $r = 0,617^*$ ) sikerindexe a május hónap második dekádjában bekövetkezett hőségnapok számának növekedésével. Két fajta ('Mv Pennedur' és 'Mv Hundur') és a fajták átlagos sikererőssége az április első dekádjában lehullott több csapadék következtében romlott. Fajtaspecifikus hatást váltott ki a 'GK Selyemdur' fajtánál június első dekádjának átlaghőmérséklete, az 'Mv Pennedur' fajtánál pedig az novemberben, május 3. dekádjában és egész május hónapban lehullott csapadék mennyisége, valamint a június hónap 2. dekádjában bekövetkezett hőségnapok száma.

A sikerindexnél megfigyelhető nagyszámú fajtaspecifikus, vagy a durumbúzafajták egy részénél kimutatható hatással szemben a Minolta  $b^*$  értéket több meteorológiai tényező is egyértelműbben és többségében pozitív irányban változtatta. A május 3. dekádjában bekövetkezett hőségnapok száma valamennyi fajta szemolina mintája és ezek átlagának sárga színét is erősítette ( $r = 0,568^* - 0,777^{***}$ ). Ehhez hasonlóan a május és június havi összes hőségnap, valamint a tenyészidőszak alatt előfordult összes hőségnap is – egy-egy fajta kivételével – általánosítható hatást gyakorolt a Minolta  $b^*$  értékre, ami a faktorok kapcsoltsága miatt várható volt. Június elején lehullott csapadék is kedvezően alakította a sárga szín intenzitását ( $r = 0,546^* - 0,623^{**}$ ). Fajtaspecifikus hatás kizárólag az 'Mv Hundur' fajtánál lépett fel, melynél az április utolsó dekádjában lehullott csapadék mennyisége növelte, az októberi átlaghőmérséklet pedig csökkentette a Minolta  $b^*$  értéket.

Az 10. táblázat adataiból kiolvasható, hogy a meteorológiai faktorok önmagukban többségében közepes erősségű összefüggésben álltak a sikerindexszel és a Minolta  $b^*$  értékkel. Szoros, 0,7-es (Sváb 1981)  $r$ -értéket meghaladó adatot a sikerindex esetén kettő, a Minolta  $b^*$ -nál három adatpárnál számítottunk. Ez a tény arra utal, hogy a meteorológiai faktorok önmagukban nem determinálják a fajták sikerindexét és Minolta  $b^*$  értékét. Hatásukat ennél összetettebbnek feltételeztük, hiszen a stresszfaktorok gyakran kapcsolatosan lépnek fel (pl. a magas hőmérséklet sok esetben aszályal párosul) és erősíthetik a növények reakcióját. A komplex összefüggéseket lépcsős regresszióanalízissel elemeztük, amely alkalmas módszer több tényező hatásának együttes kimutatására. Számításainkban független változóként csapadék (augusztustól márciusig havi összes csapadék, áprilistól betakarításig dekádonként lehullott csapadék mennyisége) és átlaghőmérséklet adatokat (októbertől márciusig havi, utána dekádonkénti bontásban), továbbá a hőségnapok számát (május elejétől betakarításig, dekádonként) használtuk. Eredményeink alapján a sikerindexet (a siker erősségét) a meteorológiai tényezők eltérően befolyásolták a különböző fajtáknál. A 'GK Selyemdur' fajtánál mindössze két faktor, ugyanakkor, az 'Mv Makaróninál' 4, az 'Mv Pennedurnál' és az 'Mv Hundurnál' 7–7, a 'GK Bétadur' esetén pedig 9 tényező figyelembevételével lehetett kialakítani a legpontosabb regressziós függvényt. Általánosítható eredmények az öt fajta átlagával végzett számítások alapján vonhatók le. Ebben az esetben mindössze négy tényező játszott meghatározó szerepet a sikerindex értékének kialakításában. A regressziós függvények a következők voltak:

a) 'GK Bétadur' sikerindex =  $486,878 - 11,828 \cdot \text{június 2. dekád átlaghőmérséklet} + 13,269 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 6,769 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklete} - 0,279 \cdot \text{októberi csapadék} - 1,510 \cdot \text{februári átlaghőmérséklet} + 4,822 \cdot \text{június 2. dekád hőségnapok száma} - 3,872 \cdot \text{októberi átlaghőmérséklet} + 0,159 \cdot \text{május 2. dekád csapadék} - 0,067 \cdot \text{június 3. dekád csapadék}$

b) 'GK Selyemdur' sikerindex =  $193,337 - 5,069 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklet} - 0,490 \cdot \text{május 1. dekád csapadék}$

c) 'Mv Makaróni' sikérintex =  $84,180 + 27,891 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 4,384 \cdot \text{októberi átlaghőmérséklet} + 0,212 \cdot \text{decemberi csapadék} - 1,695 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklet}$

d) 'Mv Pennedur' sikérintex =  $138,739 - 0,689 \cdot \text{április 1. dekád csapadék} - 2,021 \cdot \text{június 2. dekád hőségnapok száma} + 0,346 \cdot \text{július 1. dekád csapadék} + 3,611 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 2,086 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklet} - 0,143 \cdot \text{május 1. dekád csapadék} - 0,166 \cdot \text{április 3. dekád csapadék}$

e) 'Mv Hundur' sikérintex =  $251,844 - 1,871 \cdot \text{április 1. dekád csapadék} - 5,400 \cdot \text{februári átlaghőmérséklet} - 4,741 \cdot \text{június 2. dekád átlaghőmérséklet} + 8,069 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 4,857 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklet} + 3,663 \cdot \text{márciusi átlaghőmérséklet} - 0,098 \cdot \text{augusztusi csapadék}$

f) Öt fajta átlagos sikérintex =  $240,112 + 12,211 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 4,622 \cdot \text{június 2. dekád átlaghőmérséklet} - 3,891 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklet} - 0,163 \cdot \text{októberi csapadék}$

A modellek összesítését az 11. táblázatban ismertetjük. Mivel több őszi durumbúzafajta esetén is a várható értéket kiválóan közelítik, azonban rendkívül összetettek a függvények, feltüntettük annak a modellnek az értékeit is, amelynél a többszörös determinációs koefficiens értéke ( $R^2$ ) meghaladta a 0,9-es értéket. Ez utóbbi esetben megfelelő közelítéssel, de egyszerűsített függvényekkel becsülhető a sikérintex várható értéke. E függvények a következők voltak:

aa) 'GK Bétadur' sikérintex =  $336,608 - 6,739 \cdot \text{június 2. dekád átlaghőmérséklet} + 12,798 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 5,758 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklete} - 0,310 \cdot \text{októberi csapadék} - 1,956 \cdot \text{februári átlaghőmérséklet}$

bb) 'GK Selyemdur' sikérintex: nem egyszerűsíthető

cc) 'Mv Makaróni' sikérintex =  $44,806 + 28,670 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 4,098 \cdot \text{októberi átlaghőmérséklet} + 0,195 \cdot \text{decemberi csapadék}$

dd) 'Mv Pennedur' sikérintex =  $120,549 - 0,792 \cdot \text{április 1. dekád csapadék} - 2,047 \cdot \text{június 2. dekád hőségnapok száma} + 0,358 \cdot \text{július 1. dekád csapadék} + 6,024 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 1,414 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklet}$

ee) 'Mv Hundur' sikérintex' =  $239,199 - 1,445 \cdot \text{április 1. dekád csapadék} - 3,787 \cdot \text{februári átlaghőmérséklet} - 5,224 \cdot \text{június 2. dekád átlaghőmérséklet} + 12,551 \cdot \text{május 2. dekád hőségnapok száma} - 3,313 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklet}$

ff) Öt fajta átlagos sikérintex: nem egyszerűsíthető

11. táblázat A lépcsős regresszióval kialakított sikérintex függvények jellemzői

Fajta	Modell*	Meteorológiai faktorok száma a képletben	A többszörös determinációs együttható ( $R^2$ ) értéke
GK Bétadur	a	9	0,999
	aa	5	0,924
GK Selyemdur	b	2	0,636
Mv Makaróni	c	4	0,935
	cc	3	0,905
Mv Pennedur	d	7	0,988
	dd	5	0,942
Mv Hundur	e	7	0,980
	ee	5	0,912
Fajták átlaga	f	4	0,873

Megjegyzés: \* a modellek leírása az előző szövegrészben található



A Minolta  $b^*$  érték a következő függvények alapján becsülhető :

$\alpha$ . 'GK Bétadur' Minolta  $b^* = 34,022 + 1,315 \cdot \text{május 3. dekád hőségnapok száma} - 0,828 \cdot \text{május 3. dekád átlaghőm.} + 0,112 \cdot \text{április 3. dekád csapadék} + 0,038 \cdot \text{június 3. dekád csapadék}$

$\beta$ . 'GK Selyemdur' Minolta  $b^* = 20,733 + 0,545 \cdot \text{május 3. dekád hőségnapok száma} + 0,536 \cdot \text{április 3. dekád átlaghőmérséklet} + 0,283 \cdot \text{június 3. dekád hőségnapok száma} - 0,039 \cdot \text{június 3. dekád csapadék} - 0,232 \cdot \text{június 1. dekád átlaghőmérséklet}$

$\gamma$ . 'Mv Makaróni' Minolta  $b^* = 23,879 + 0,543 \cdot \text{május 3. dekád hőségnapok száma}$

$\delta$ . 'Mv Pennedur' Minolta  $b^* = 24,181 + 0,822 \cdot \text{május 3. dekád hőségnapok száma}$

$\epsilon$ . 'Mv Hundur' Minolta  $b^* = 37,2927 + 0,051 \cdot \text{június 1. dekád csapadék} - 0,605 \cdot \text{június 1. dekád átlaghőmérséklet} + 0,600 \cdot \text{októberi átlaghőmérséklet} - 0,205 \cdot \text{május 1. dekád átlaghőmérséklet} + 0,330 \cdot \text{januári átlaghőmérséklet} - 0,039 \cdot \text{július 1. dekád csapadék} - 0,196 \cdot \text{decemberi átlaghőmérséklet} - 0,105 \cdot \text{július 1. dekád átlaghőmérséklet} - 0,006 \cdot \text{januári csapadék} - 0,002 \cdot \text{szeptemberi csapadék} + 0,022 \cdot \text{május 3. dekád hőségnapok száma} + 0,001 \cdot \text{augusztusi csapadék} - 0,00009237 \cdot \text{június 2. dekád csapadék} + 0,000112 \cdot \text{április 2. dekád csapadék} - 0,0000845 \cdot \text{márciusi átlaghőmérséklet}$

$\phi$ . Öt fajta átlagos Minolta  $b^* = 24,732 + 0,727 \cdot \text{május 3. dekád hőségnapok száma} - 0,357 \cdot \text{június 1. dekád átlaghőmérséklet} + 0,289 \cdot \text{április 3. dekád átlaghőmérséklet} + 0,027 \cdot \text{augusztusi csapadék} - 0,022 \cdot \text{szeptemberi csapadék} + 0,056 \cdot \text{május 1. dekád csapadék} + 0,032 \cdot \text{decemberi csapadék} + 0,095 \cdot \text{februári átlaghőmérséklet} - 0,013 \cdot \text{május 3. dekád csapadék} - 0,078 \cdot \text{április 1. dekád átlaghőmérséklet} + 0,044 \cdot \text{május 2. dekád átlaghőmérséklet}$

A Minolta  $b^*$  érték becslésére alkalmas egyszerűsített függvények (a modellek összesítése a 12. táblázatban található):

$\alpha\alpha$ . 'GK Bétadur' Minolta  $b^* = \text{nem egyszerűsíthető}$

$\beta\beta$ . 'GK Selyemdur' Minolta  $b^* = \text{nem egyszerűsíthető}$

$\gamma\gamma$ . 'Mv Makaróni' Minolta  $b^* = \text{nem egyszerűsíthető}$

$\delta\delta$ . 'Mv Pennedur' Minolta  $b^* = \text{nem egyszerűsíthető}$

$\epsilon\epsilon$ . 'Mv Hundur' Minolta  $b^* = 31,523 + 0,079 \cdot \text{június 1. dekád csapadék} - 0,489 \cdot \text{június 1. dekád átlaghőmérséklet} + 0,615 \cdot \text{októberi átlaghőmérséklet} - 0,228 \cdot \text{május 1. dekád átlaghőmérséklet}$

$\phi\phi$ . Öt fajta átlagos Minolta  $b^* = 27,603 + 0,575 \cdot \text{május 3. dekád hőségnapok száma} - 0,459 \cdot \text{június 1. dekád átlaghőmérséklet} + 0,333 \cdot \text{április 3. dekád átlaghőmérséklet} + 0,032 \cdot \text{augusztusi csapadék} - 0,020 \cdot \text{szeptemberi csapadék}$

12. táblázat A lépcsős regresszióval kialakított Minolta  $b^*$  függvények jellemzői

Fajta	Modell <sup>1</sup>	Meteorológiai faktork száma a képletben	A többszörös determinációs együttható ( $R^2$ ) értéke
GK Bétadur	$\alpha$	4	0,867
GK Selyemdur	$\beta$	5	0,885
Mv Makaróni	$\gamma$	1	0,325
Mv Pennedur	$\delta$	1	0,602
Mv Hundur	$\epsilon$	15	1,000
	$\epsilon\epsilon$	4	0,908
Fajták átlaga	$\phi$	11	1,000
	$\phi\phi$	5	0,915

Megjegyzés: <sup>1</sup> a modellek leírása az előző szövegrészben található

A sikerindex és a Minolta b\* érték függvényekbe helyettesítve az eredeti adatokat kiszámítottuk a becsült adatokat (2. melléklet). Az eredeti és a becsült adatsorok egyezőségét párosított  $t$ -próbával elemeztük (13. táblázat).

13. táblázat. Az eredeti és a regressziós függvényekkel becsült adatsorok azonosságának vizsgálata párosított  $t$ -próbával

Sikerindex			Minolta b*		
Függvény <sup>1</sup>	$t$ -érték	Valószínűség <sup>2</sup>	Függvény <sup>1</sup>	$t$ -érték	Valószínűség <sup>2</sup>
a	-0,02899	0,97726	$\alpha$	-0,06414	0,94970
aa	-0,01010	0,99208	$\beta$	-0,00513	0,99765
b	-0,00299	0,99765	$\chi$	0,00190	0,99851
c	0,01959	0,98463	$\delta$	0,00074	0,99942
cc	-0,00155	0,99878	$\varepsilon$	0,01055	0,99173
d	-0,03538	0,97225	$\varepsilon\varepsilon$	-0,09425	0,92616
dd	0,00102	0,99920	$\phi$	0,03005	0,97642
e	-0,03542	0,97221	$\phi\phi$	0,04009	0,96855
ee	-0,00579	0,99546			
f	-0,00687	0,99461			

Megjegyzés: <sup>1</sup>a modellek leírása az előző szövegrészben található; <sup>2</sup>annak valószínűsége, hogy az eredeti és a becsült adatsor eltérése a  $H_0$  hipotézis alapján 0.

A  $t$ -próba eredménye alapján az eredeti és a becsült adatsorok nagy valószínűséggel megegyeznek ( $p > 0,92$ ) valamennyi durumbúza fajta és azok átlaga esetén is. Mivel a vizsgált öt fajta között sikerindex és Minolta b\* érték alapján is vannak eltérő genotípusok, a fajták átlagából számított regressziós függvény sikerindexnél 0,873, Minolta b\* értéknél pedig 1,000  $R^2$  értéke alapján megállapítható, hogy az őszi durumbúza fajták e két fontos technológiai minőségi tulajdonságának várható értéke a meteorológiai tényezők alapján hatékonyan becsülhető. A sikerindex számítására használható függvények július első dekádja végén rendelkezésre álló adatokat is tartalmaznak, így a korai becslés e tulajdonság esetén nem lehetséges. A Minolta b\* értéke ugyanakkor június első tíz napját követően eldől, így az aratás megkezdése előtt 3–4 héttel már előrejelezhető, hogy egy adott évjáratban – nagy valószínűséggel – milyen sárgapigment-tartalmú termés takarítható majd be.

Több fajta és az öt fajta átlagos sikerindexének előrejelzésére használható képletekben gyakran fordulnak elő a szemtelítődés végső szakaszában bekövetkező magas átlaghőmérséklettel, vagy a hőségnapok számával összefüggő meteorológiai faktorok. Ezek mindegyike előtt negatív előjelű regressziós koefficiens található, azaz minél nagyobb a szemtelítődési időszak végének átlaghőmérséklete és/vagy az ebben az időszakban bekövetkező hőségnapok száma, annál kisebb lesz a sikerindex értéke, gyengébb a siker erőssége. A hőstressz hatására bekövetkező sikerminőség változás kenyérbúzában már közel száz éve ismert jelenség (Mangels 1925). Blumenthal et al. (1993) a tartalékfehérjék arányának megváltozását mutatta ki, ezen belül a gliadin:glutenin arány eltolódását a gliadinok javára, ezzel együtt pedig a siker lágyulását, a reológiai tulajdonságok romlását. A szemtelítődés idején bekövetkező magas hőmérséklet kedvezőtlen hatását fitotroni kísérletekben magyar búzafajtákon is bizonyították (Balla et al. 2009). Tavaszi durumbúzában Corbellini et al. (1998) igazolták, hogy a hőstressz a technológiai minőséget, ezen belül az alveográfus P/L értéket rontja. Őszi durumbúzában az általunk megfigyelt, a sikerindexet kedvezőtlenül befolyásoló hatást tudomásunk szerint még nem írtak le. Kísérletünkben az erős sikérszerkezetű fajta stabilabb volt, sikerindexe kevésbé változott a melegebb szemtelítődési időszakokkal jellemezhető években, mint a gyenge sikéru fajtáké. Eredményeink így őszi durumbúza fajták esetén is alátámasztották Ames et al. (1999) korábban, tavaszi genotípusokkal kapcsolatban közölt megfigyeléseit.

A szemtelítődés korai fázisában (május 2. dekád) bekövetkezett több hőségnap előnyösen befolyásolta elsősorban a gyenge sikérszerkezetű 'Mv Makaróni', de emellett a 'GK Bétadur' és az 'Mv Hundur', valamint az 5 fajta együttes sikerindexét. Hasonló megfigyelésről nem találtunk információt a szakirodalomban. Feltételezhető, hogy abban az esetben, ha a hőségstressz már a virágzás idején bekövetkezik (az 'Mv Makaróni' késői fajta, általában május második dekádjában kalászott), a különböző típusú tartalékfehérjék felhalmozódásának dinamikája megváltozhat. Ennek bizonyításához célirányosan beállított fitotroni kísérletek beállítása szükséges.

Ugyancsak további vizsgálatokra van szükség annak eldöntéséhez, hogy az áprilisi csapadékmennyiség, valamint az 'Mv Pennedur' (-0,733\*\*), 'Mv Hundur' (-0,600\*\*) fajták és az öt fajta átlagos sikerindex értéke (-0,589\*) közötti negatív összefüggés közvetlen, vagy egyéb, közvetett fiziológiai hatások következménye.

A Minolta b\* értéket a szemtelítődés korai fázisában bekövetkezett hőségnapok száma minden fajtánál növelte. A 16 évből négyben volt május 3. dekádjában hőségnap (ez volt a legjelentősebb hatású meteorológiai faktor a Minolta b\* értékre). A négy évből háromban az 5 durumbúzafajta átlagos Minolta b\* értéke kimagaslóan nagy volt (2005: 27,08, 2007: 28,14, 2008: 27,45), egyben pedig átlagos (2018: 23,95). A 2006. év májusában hőségnapok nem fordultak elő, de az átlagos Minolta b\* érték az összes év közül a második legnagyobb volt. Az ötből négy durumbúzafajta és az öt fajta átlaga is szignifikánsan korrelált a vegetációs időszak alatt fellépett hőségnapok számával. E tekintetben a 2006. év kiemelkedő volt, összesen 17 nappal, ami a harmadik legnagyobb érték volt. Eredményeink alátámasztják Rharrabti et al (2003a) következtetését, miszerint a magasabb hőmérséklet a sárgapigment-tartalom növekedésének kedvez. A legnagyobb Minolta b\* értéket a legszárazabb évjáratból származó mintákban mértük (2007: csapadék mennyiség a teljes vegetációs időszak alatt 153,8 mm, MB<sub>5</sub> fajta átlaga = 28,14), ami arra enged következtetni, hogy a szárazság tovább fokozza a hőstressz hatását. Tavasi durumbúzában hasonló eredményre jutottak Li et al. (2013), azonban feltételezhető, hogy erős hőstressz hatására a folyamat megfordulhat, csökkenhet a Minolta b\* érték (Guzmán et al. 2016). Ennek hatását Mexikóban, rendkívül szélsőséges viszonyok között vizsgálták, hazai körülmények között a kedvezőtlen irányú folyamat bekövetkezésének valószínűsége elenyésző. E feltételezést Cseuz et al. (2000) és Hadži-Tašković Šukalović et al. (2013) megfigyelése is alátámasztja, hiszen különböző évjáratokban nem mutattak ki szignifikáns különbséget a sárgapigment-tartalomban éghajlati viszonyaink között. Ritkán azonban az évjárat is hatást gyakorolhat a tulajdonságra (Matuz et al. 1997). A Szegeden 1991 és 1994 között beállított kísérlet eredményei alapján az 1993-ban (6,3 mg kg<sup>-1</sup>) és 1994-ben (10,9 mg kg<sup>-1</sup>) mért sárgapigment-tartalom különbözött a fajtákban. A különbség a két évjárat mintái között 4,6 mg kg<sup>-1</sup> volt, ami jelentős eltérés. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (2020) Szegeden mért adatai szerint az 1993. év szemtelítődési időszaka (május és június) melegebb (átlaghőmérséklet: 19,38 °C) és enyhén szárazabb (56,9 mm), míg az 1994-es év hűvösebb (17,97 °C) volt, több csapadékkal (62,6 mm). A csapadékviszonyok a két hónap folyamán ellentétesen alakultak. Az 1993. évben szárazabb májust (10,5 mm) csapadékosabb június (46,4 mm) követett, míg 1994-ben az arányok megváltoztak (május: 46,1 mm, június: 16,5 mm). Eszerint a hűvösebb évjárat és a szemtelítődés korai fázisában hulló több csapadék kedvező hatású a sárgapigment-tartalomra. Martonvásáron ugyanazon fenofázisokat néhány nappal később éri el a durumbúza, mint Szegeden. Adataink alapján június első dekádjában lehullott nagyobb mennyiségű eső kedvező hatását figyeltük meg. Ez az csapadék tenyészkertünkben az évek többségében még a szemtelítődési időszak korai szakaszában érkezett. Eszerint adataink Matuz et al. (1997) eredményeihez hasonlóan bizonyítják a szemtelítődés korai fázisában lehulló csapadék kedvező hatását.

## 4.2. Agronómiai kezeléskombinációk hatása durumbúzafajták sikérinterindexére és Minolta b\* értékére

Három egymást követő, szélsőséges csapadék-ellátottságú évben (2010-2012) 6 különböző N-ellátottsági szinten három eltérő sikérinterindexű őszi durumbúzafajta ('Mv Makaróni' gyenge, 'Mv Hundur' közepes és 'Mv Pennedur' erős típusú sikér) sikérinterindexének és Minolta b\* értékének változását tanulmányoztuk, 5 növényvédelmi kezelést alkalmazva. Lineáris kevert modell alapján, REML analízissel elemeztük az adatokat, melynek eredményét a 14. táblázat tartalmazza.

14. táblázat Műtrágyázás, fungicides növényvédelem, a fajták és a fő tényezők interakcióinak hatása a sikérinterindexre és a Minolta b\* értékre. REML analízis évenként és a három év átlagadatai alapján ( $F = \text{Wald statistic/d.f. értékek}$ ) (Martonvásár, 2010–2012)

Tényező	d.f.	Sikérinterindex				Minolta b*			
		2010	2011	2012	Átlag	2010	2011	2012	Átlag
Műtrágya (N)	5	10,04***	4,34**	25,20***	3,62**	22,36***	46,29***	1,33	21,94***
Fungicid (F)	4	5,34***	0,83	0,28	0,64	10,04***	1,72	0,78	0,55
Genotípus (G)	2	2907,72***	743,62***	213,52***	1131,25***	367,74***	92,76***	379,72***	396,41***
N × F	20	2,79***	1,03	1,01	0,65	0,62	1,41	0,58	0,38
N × G	10	9,68***	1,37	2,29*	1,86*	1,90*	1,93*	1,63	1,03
F × G	8	2,59*	0,44	0,31	0,19	0,16	,64	0,72	0,46
N × F × G	40	2,54***	0,36	0,50	0,37	0,37	0,50	0,83	0,32
$\sigma^2_{\text{Év}}$					92,80 <sup>ns</sup>				0,28 <sup>ns</sup>

Megjegyzés: \*, \*\*, \*\*\* a tényező szignifikáns hatású  $p < 0,05, 0,01$ , vagy  $0,001$  szinten; d.f. = szabadságfok.

A sikérinterindex adatok elemzése valamennyi évben és a három év átlaga alapján is a genotípus elsődlegességét bizonyította ( $F = 213,52-2907,72$ ). A nitrogén hatóanyag mennyisége szintén minden esetben szignifikáns hatású volt. A műtrágya × genotípus kölcsönhatás a 2010. és 2012. esztendőben, valamint a három év átlagában volt statisztikailag igazolható. A rendkívül csapadékos 2010. évben a többitől eltérően valamennyi főtenyező és ezek interakciója is szignifikánsnak bizonyult.

A Minolta b\* értéket a sikérinterindexhez hasonlóan elsősorban a genotípus, majd a nitrogén hatóanyag mennyisége befolyásolta. A sikérinterindextől eltérően a 2012. évben a tápanyag mennyisége nem volt szignifikáns hatású, továbbá a műtrágya × genotípus kölcsönhatás is mindössze a 2010. és a 2011. évben volt jelentős. A műtrágya és a genotípus főtenyezők évenkénti sikérinterindex és Minolta b\* értékeit a 15. táblázatban, a műtrágya × genotípus kölcsönhatásra vonatkozó adatokat az 11. ábrán ismertetjük. A három év átlagértékei alapján a sikérinterindex csökkent, a Minolta b\* érték pedig nőtt a nitrogén hatóanyag mennyiség növelésének hatására. A különböző évjáratokban azonban a változás eltérő volt. A csapadékos 2010. évben a sikérinterindex a három év átlagértékeihez és a többi év adataihoz viszonyítva éppen ellenkezőleg változott, a műtrágya mennyiségének növelésével szignifikánsan nőtt. A kezeletlen kontrolltól az egy adagban kijuttatott  $100$  és  $150 \text{ kg ha}^{-1}$ , valamint a  $100+50 \text{ kg ha}^{-1}$  osztott kezelés mintáinak sikérinterindexe különbözött. A tápanyagtartalom  $0$ -ról  $100+50 \text{ kg ha}^{-1}$ -ig történő növelésével  $61,10$ -ról  $66,70$ -re nőtt a sikérinterindex, ugyanakkor az átlagosnál szárazabb, hűvös 2011. esztendőben a legkedvezőbb hatást az  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  nitrogén hatóanyag kijuttatásával érték el. A 2012. évi szárazság hőstressz-szel kombinálva már gátolhatta a tápanyagfelvételt, a kezeletlen kontrollhoz viszonyítva ( $60,28$ ) a  $100+50 \text{ kg ha}^{-1}$  kezelésben ( $47,37$ ) több mint  $21\%$ -kal csökkent a sikérinterindex értéke.

15. táblázat A műtrágya kezelésekből származó minták és a durumbúzafajták átlagos sikérindex és Minolta b\* adatai.  
(Martonvásár, 2010–2012)

	Sikérindex				Minolta b*			
	2010	2011	2012	Átlag	2010	2011	2012	Átlag
<i>Nitrogén hatóanyag (kg ha<sup>-1</sup>)</i>								
<b>0</b>	61,10 <sup>c</sup>	70,35 <sup>ab</sup>	60,28 <sup>a</sup>	63,91 <sup>a</sup>	22,09 <sup>c</sup>	21,76 <sup>b</sup>	21,94 <sup>a</sup>	21,93 <sup>b</sup>
<b>50</b>	62,90 <sup>bc</sup>	72,54 <sup>a</sup>	53,41 <sup>b</sup>	62,95 <sup>ab</sup>	22,52 <sup>b</sup>	21,97 <sup>b</sup>	21,86 <sup>a</sup>	22,12 <sup>b</sup>
<b>70+30</b>	62,63 <sup>bc</sup>	71,05 <sup>ab</sup>	48,35 <sup>c</sup>	60,68 <sup>c</sup>	22,76 <sup>ab</sup>	23,22 <sup>a</sup>	21,81 <sup>a</sup>	22,60 <sup>a</sup>
<b>100</b>	65,21 <sup>ab</sup>	67,88 <sup>b</sup>	47,69 <sup>c</sup>	60,26 <sup>c</sup>	22,83 <sup>a</sup>	23,07 <sup>a</sup>	21,95 <sup>a</sup>	22,61 <sup>a</sup>
<b>100+50</b>	66,70 <sup>a</sup>	68,30 <sup>b</sup>	47,37 <sup>c</sup>	60,79 <sup>bc</sup>	23,05 <sup>a</sup>	23,46 <sup>a</sup>	21,67 <sup>a</sup>	22,73 <sup>a</sup>
<b>150</b>	66,47 <sup>a</sup>	67,19 <sup>b</sup>	47,76 <sup>c</sup>	60,48 <sup>c</sup>	22,99 <sup>a</sup>	23,14 <sup>a</sup>	21,72 <sup>a</sup>	22,62 <sup>a</sup>
<i>Genotípus</i>								
<b>Mv Makaróni</b>	36,26 <sup>c</sup>	51,97 <sup>c</sup>	40,25 <sup>c</sup>	42,83 <sup>c</sup>	21,89 <sup>c</sup>	22,15 <sup>c</sup>	21,65 <sup>b</sup>	21,90 <sup>b</sup>
<b>Mv Hundur</b>	64,91 <sup>b</sup>	66,51 <sup>b</sup>	50,67 <sup>b</sup>	60,70 <sup>b</sup>	23,85 <sup>a</sup>	23,55 <sup>a</sup>	23,29 <sup>a</sup>	23,56 <sup>a</sup>
<b>Mv Pennedur</b>	91,33 <sup>a</sup>	90,18 <sup>a</sup>	61,51 <sup>a</sup>	81,01 <sup>a</sup>	22,37 <sup>b</sup>	22,60 <sup>b</sup>	20,54 <sup>c</sup>	21,83 <sup>b</sup>
<b>Átlag</b>	64,17	69,55	50,81	61,51	22,70	22,77	21,83	22,43

Megjegyzés: az átlagértékeknél feltüntetett betűk a Tukey's HSD teszt alapján kialakított csoportokat jelölik.

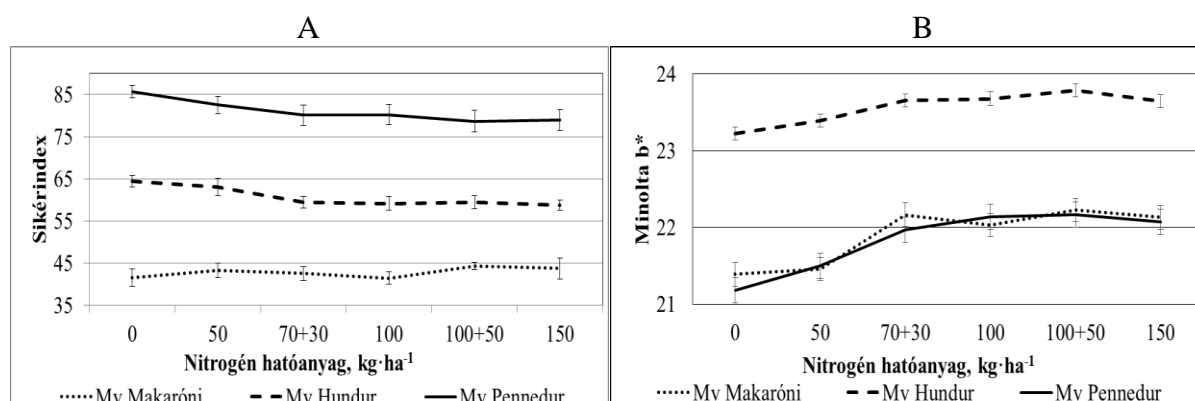
A 2010. évben a Minolta b\* érték is a kezeletlen kontroll parcellák mintáiban volt a legkisebb (22,09) és a 100+50 kg ha<sup>-1</sup> parcellákéban a legnagyobb (23,05). Ez 2011-ben is megismétlődött (21,76 és 23,46), azonban 2012-ben valamennyi kezelés mintái statisztikailag megkülönböztethetetlenek voltak. Mivel 2010-ben és 2011-ben is nőtt a Minolta b\* érték, 2012-ben viszont nem változott, a három év átlagértékeinél is kimutattuk a nitrogén hatóanyag-növelés kedvező hatását, azonban ebben az esetben már 70+30 kg ha<sup>-1</sup> osztott mennyiség kijuttatásával is bizonyíthatóan nőtt a durumbúzafajták átlagos Minolta b\* értéke.

Az évjáratról is függő tápanyaghatások összefüggésbe hozhatók a lehullott csapadék mennyiségével és a nitrogén talajban bekövetkező vertikális irányú mozgásával. Esős időszakokban a lefelé irányuló vízmozgással a hatóanyag jelentős része, elsősorban NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ion formájában a mélyebb rétegekbe és a talajvízbe kimosódik (Stefanovits et al. 2010), ezáltal a kiadott tápanyag csak részben érhető el és vehető fel a sekély gyökérszónával rendelkező (a teljes gyökérszóna több mint ¾ része a talaj felső 50 cm-es rétegében található; King et al. 2003) kalászos gabonák számára.

A vizsgálatokba vont három durumbúzafajta sikérindexe mindhárom évben, továbbá a három év, a kezelések, valamint az ismétlések átlagában szignifikánsan eltért. Az 'Mv Pennedur' sikérindexe átlagosan 81,01, az 'Mv Hundur' 60,70, míg az 'Mv Makaróni' 42,83 volt. Eredményeink bizonyítják, hogy a sikérindex a genotípus által alapvetően meghatározott tulajdonság. A REML analízis eredménye nem tette lehetővé a genotípus × évjárat kölcsönhatás elemzését, de a különböző évjáratokban a vizsgált durumbúzafajták eltérő reakciója szembevetendő. Csapadékos évjáratban a gyenge sikérű 'Mv Makaróni' sikérindexe az átlagosnál gyengébb (2010: 36,26), míg az 'Mv Pennedur' megközelítőleg azonos volt a hűvösebb, szárazabb (de nem extrém száraz) 2011. évben mért értékkel (2010: 91,33; 2011: 90,18). Az Mv Hundur sikérerőssége is csak kismértékben tért el az első két évben (2010: 64,91; 2011: 66,51). Megfigyelésünk szerint az erős és közepesen erős sikértípusú fajták csapadékos évjáratban is stabilan képesek megőrizni a sikérerősségüket, míg a gyenge sikérű fajta ekkor a rá jellemző átlagos értéknél is rosszabb minőségű lehet. Az extrém száraz évjárat (esetünkben a 2012. év) azonban eltérő hatású volt. Ilyen évjáratban – bár a három fajta adata még mindig statisztikailag igazolhatóan eltérő – a durumbúzafajták sikérindexe közötti különbség lecsökken. Míg a gyenge sikértípusú 'Mv Makaróni' értéke az átlaghoz közelített, az 'Mv Pennedur' a kedvezőbb évjáratokhoz viszonyítva megközelítőleg 2/3-ára csökkent.

A fajták sikérerőssége közötti különbség egyértelműen kitűnik az 11/A. ábra adatait szemlélve. Mind az 'Mv Pennedur', mind pedig az 'Mv Hundur' fajta sikerindexe szűk tartományon belül, de enyhén csökkent, esetükben a folyamat párhuzamos lefutású. A két fajtától eltérően az 'Mv Makaróni' sikerindexe stabilan a 40–45-ös tartományon belül maradt. A görbék eltérő lefutásának következménye a műtrágya × genotípus kölcsönhatás szignifikanciája. A közepes sikérerősségű 'Mv Hundur' 0 és az 50 kg ha<sup>-1</sup>-os kezeléssel szemben a nagyobb mennyiségű N-hatóanyaggal kezeltéssel. Az 'Mv Pennedur' esetén ugyanakkor mindössze a kezeletlen kontroll sikerindexe különbözött a minimum 100 kg ha<sup>-1</sup> nitrogén hatóanyagot kapott parcelláktól.

11. ábra. Durumbúzfajták sikerindexe (A) és Minolta b\* értéke (B) különböző nitrogén-hatóanyag szinteken, három év átlagában (Martonvásár, 2010–2012)



Megjegyzés: a hibásáv az adatok szórását jelöli.

Eredményeinkből az is megállapítható, hogy nitrogén-utánpótlással nem érhető el a sikerindex olyan szintű javítása, ami egy durumbúzafajta másik, jobb minőségi kategóriába sorolását vonná maga után. Cubbada et al. (1992) osztályozási rendszere alapján az 'Mv Makaróni' az „ígéretes” (*Promising*), az 'Mv Hundur' az „átlagnál jobb” (*Above average*), az 'Mv Pennedur' pedig átlagosan a „Nagyon jó” (*Very good*) kategóriába sorolható. Ez utóbbi durumbúzafajta mintái a szórást is figyelembe véve több esetben átlépték a „Kiváló” (*Excellent*) kategóriára megadott 85-ös küszöbértéket.

Szakirodalmi adatok alapján nitrogén-trágyázással elsősorban a termény fehérje- és sikértartalma növelhető (Erdei et al. 1984, Ierna et al. 2016), a siker minőségére gyakorolt hatása nem egyértelmű. Kísérleteinkben Ames, et al. (2003), Bouacha et al. (2014), valamint Blandino et al. (2015) által közölt eredményekhez hasonlóan a sikerindex jelentősen nem változott. Így Olteanu és Tabără (2008) őszi durumbúza kísérlet eredményére hivatkozva közölt megállapítását, miszerint a sikerindex nő a nitrogénhatóanyag-mennyiség növelésének hatására, adataink alapján, az általunk vizsgált genotípus körrel nem tudtuk alátámasztani. Guiliani et al. (2011) szerint az évjárat meghatározó lehet a műtrágyamennyiség sikerindexre gyakorolt hatásában. Megfigyeléseik szerint száraz évjáratban a növekvő nitrogén dózisok kedvezően befolyásolhatják a siker erősségét. Kísérleteinkben éppen ennek ellenkezőjét tapasztaltuk. Csapadékos évjáratban (2010) szignifikánsan nőtt a sikerindex értéke, míg száraz évjáratban (2012) már 50 kg ha<sup>-1</sup> nitrogén is szignifikánsan csökkentette a sikerindexet, ami további 50 kg ha<sup>-1</sup> kijuttatásával még kisebb lett. A 2012. évben mindhárom durumbúzafajta sikerindexe az átlagnál jelentősen kisebb volt a korábbi években mért értékeknél. A 4.1. fejezetben közölt eredményeink is teljes összhangban állnak az e kísérletben tett

megfigyelésünkkel, az öt durumbúzafajta 16 évben mért adatai alapján ebben az évjáratban mértünk a második legkisebb átlagos sikerindex értékeket. A siker gyengülésének egyik lehetséges oka az erős poloska kártétel. A 2012-es száraz és meleg évjárat volt, ami általában kedvező körülményeket teremt a poloskafajok felszaporodásához és intenzív táplálkozásához (Popov et al. 2006, Iranipour et al. 2009). Az *Eurygaster* és az *Aelia* fajok a fejlődő szemtermésen táplálkoznak, melynek során fehérjebontó enzimeket juttatnak az endospermiumba. Ezek az enzimek lebontják a sikermátrix-alkotó tartalékfehérjéket (Sivri et al. 1999), ami a tészta szerkezetének gyengülését, nyúlósságát okozza. A siker minőségével ellentétben a sikértartalom nem változik (Torbica et al. 2014, Dizlek és Islamoglu 2015) és az esésszám sem csökken jelentősen (Koksel et al. 2009), így ezekkel az egyszerűen mérhető technológiai minőségi tulajdonságokkal a kártétel nem azonosítható. A poloska kártétele becsülhető a károsított szemek aránya alapján, ami vizuálisan, a rovarok szúrásának helyén kialakuló lisztes elszíneződés – melynek közepén gyakran apró fekete pont jelzi a szúrás helyét – alapján állapítható meg (Koksel et al. 2009). A szemtermés őrlésre előkészítése során értékeljük (bonitáljuk) a gabonaszemek nagyságát és megjelenését, színét. Erős poloska kártételre utaló tünetet 2012-ben nem figyeltünk meg, így nagy valószínűséggel nem a szipókás rovarok túlzott szívogatása következtében csökkent a sikerindex.

A sikerindex romlásának másik lehetséges oka a szemtelítődés utolsó fázisában fellépő hőstressz. A 4.1. fejezetben közölt megvitatás tartalmazza az erre vonatkozó átlagos megállapításokat, de az e fejezetben közölt eredmények további adalékkal szolgálnak a durumbúzafajták hőség-érzékenységének megállapításához. A 10. táblázat alapján az 'Mv Pennedur' és az 'Mv Hundur' sikererősségét június 2. dekádjának magas átlaghőmérséklete, az 'Mv Pennedur' esetén pedig emellett az ebben az időszakban fellépő hőségnapok száma rontotta. Az 'Mv Makaróni' fajtánál ezt a hatást nem lehetett kimutatni. Az agronómiai kezeléskombinációkkal végzett kísérletünkben – korábban közölt eredményeinkkel összehangban – az 'Mv Pennedur' és az 'Mv Hundur' sikerindexe az előző két évhez viszonyítva csökkent ('Mv Pennedur': 2010 = 91,33; 2011 = 90,18; 2012 = 61,51 | 'Mv Hundur': 2010 = 64,91; 2011 = 66,51; 2012 = 50,67), ugyanakkor az 'Mv Makaróninál' jelentős változás nem következett be (2010 = 36,26; 2011 = 51,97; 2012 = 40,25). A 2012. évben június 2. dekádjának átlaghőmérséklete jelentősen nem tért el az előző két évben mért értékektől (különbség 0,16–1,49 °C), ugyanakkor június 2. dekádjában öt, 3. dekádjában pedig további négy 30 °C feletti maximum hőmérsékletű nap volt, szemben a 2010. évi 3+1 és a 2011. évi 0+2 nappal. Feltételezhető, hogy ez az időjárási jelenség okozta az 'Mv Hundur', és még ennél is erősebben az 'Mv Pennedur' sikerindexének csökkenését.

A Minolta b\* érték alapján mindhárom évben és az évek átlagában is az 'Mv Hundur' volt a legjobb fajta. A további sorrend évjárattól függően változott, 2010-ben az 'Mv Pennedur', 2012-ben pedig az 'Mv Makaróni' érte el a második helyezést. Az évek átlagát tekintve e két utóbbi durumbúzafajta Minolta b\* értéke megegyezett. A különböző durumbúzafajták Minolta b\* értékei az eltérő évjáratokban szűk intervallumon belül változtak, ami a tulajdonság elsődlegesen genetikai meghatározottságát támasztja alá. Gyakorlati szempontból az egyetlen lényeges eltérés az 'Mv Pennedur' esetén volt megfigyelhető, itt a 2012. évben bekövetkezett csökkenés (megközelítőleg 2 egység) már jelentős technológiai minőségromlást jelez.

A műtrágya × genotípus kölcsönhatás a sikerindex esetén  $p < 0,05$  szinten szignifikáns volt, ugyanakkor a Minolta b\* értéknél a durumbúzafajták eltérő reakciója nem kimutatható.

A három év átlagadatai alapján a Minolta b\* görbe lefutása mindhárom durumbúzafajta esetén hasonló (11/B. ábra), amit a műtrágya × genotípus kölcsönhatás szignifikanciájának hiánya is bizonyít a REML analízis eredménytáblázatában (14. táblázat). Az 'Mv Makaróni' és az 'Mv Pennedur' Minolta b\* értéke statisztikailag minden kezelésnél megegyezett, ugyanakkor az 'Mv Hunduré' valamennyi hatóanyagszinten jelentősen nagyobb volt a két

másik fajtaénál. A nitrogénhatóanyag-mennyiségének növelésével párhuzamosan valamennyi fajta mintáiban nőtt a Minolta b\* érték. Mindhárom durumbúzafajtaénál minimum 70+30 kg ha<sup>-1</sup> nitrogénhatóanyag-mennyiség kijuttatására volt szükség a szignifikáns javuláshoz, azonban efelett már további növekedést nem lehetett elérni.

Genotípuskörtől függően a korábban közölt eredmények alapján a műtrágyamennyiség sárgapigment-tartalomra gyakorolt hatása nem egyértelmű. Megfigyeléseink Abad et al. (2004) által leírtakat támasztják alá, miszerint növekvő nitrogénadagok hatására több karotinoid termelődik durumbúzában. Ugyanakkor Guiliani et al. (2011) kísérleti eredményétől eltérően kísérletünkben, száraz évjáratban a nagyobb műtrágya mennyiség nem növelte a Minolta b\* értéket. Az eltérés lehetséges oka, hogy a 2012. évben a szárazság rendkívüli hőséggel párosult, ami már gátolhatta a szemtelítődés végső fázisában a karotinoid szintézisben résztvevő enzimek működését.

A három évben beállított kísérletünk eredménye alapján a vizsgált fajtakörön kisadagú (50, vagy 70+30 kg ha<sup>-1</sup>) nitrogénhatóanyag-mennyiség kijuttatásával állítható elő a legkedvezőbb technológiai minőségű termény, azonban a fajta genetikai háttere, potenciális teljesítménye mindenképpen elsődleges jelentőségű a kiváló száraztésztaiipari alapanyag termesztése során.

Kísérletünkben a fungicid kezelés hatása mindössze a rendkívül csapadékos 2010. évben volt statisztikailag igazolható, ugyanakkor 2011-ben és 2012-ben, valamint az évek átlagában ez a faktor nem befolyásolta a sikerindexet és a Minolta b\* értéket. Megfigyelésünk alapján a kórokozók számára különösen kedvező évjáratban a lomb- és kalászvédelem kedvezőtlenül hatott mindkét vizsgált technológiai minőségi tulajdonságra. A kezeletlen parcellák átlagos sikerindexe 66,279 volt, míg a kezelt parcellákról származó mintákban 62,183 és 64,855 között alakult. A Minolta b\* értékek kevésbé különböztek (22,991 vs. 22,488-22,843), de a varianciaanalízis eredménye alapján még e tulajdonság esetén is található szignifikánsan eltérő adatpárok.

Korábbi vizsgálatok eredményei nem állnak rendelkezésre az általunk vizsgált két technológiai minőségi tulajdonságra vonatkozóan. Bushuk és Wrigley még 1971-ben, rozsdagombával (a kórokozó faj ismeretlen) erősen fertőzött parcellákból származó kenyérbúza mintákon a hektolitertömeg, lisztkihozatal és a szedimentációs térfogat jelentős romlását figyelték meg, ugyanakkor a fertőzött és fertőzetlen tételből származó tételek fehérjetartalma megközelítőleg azonos volt a teljes őrleményben és a lisztben is. Eredményeiket a fehérjetartalom stabilitásának vonatkozásában Fleitas et al. (2018) is megerősítették, akik levélrozsdával fertőzött, valamint gombaölő szerrel kezelt parcellák termését vizsgálva az alveográfus W érték javulását is kimutatták a növényvédelmi kezelés hatására. A fehérjetartalom és emellett az üvegesség fungicid kezeléstől független jellegét durumbúzában több kutatócsoport is megfigyelte (Blandino et al. 2009, Tsialtas et al. 2018), de arra is található információ, hogy e két tulajdonság durumbúzafajtákban, eltérő évjáratban ellentétes irányban változott a növényvédelmi kezelés hatására (Cátedra Ceron és Solís Martel 2003). Összességében megállapítható, hogy a technológiai minőségi tulajdonságokat a fungicides kezelés az átlagostól jelentősen évjáratban és a fellépő kórokozó függvényében kismértékben megváltoztathatja, de ez a hatás az évjáratok többségében nem kimutatható.

### **4.3. Széles genetikai bázisú őszi- és fakultatív durumbúza genotípus kör vizsgálata**

Öt egymást követő évben (2014–2018) 12 országból származó 100 őszi- és fakultatív típusú durumbúzafajta/nemesítési törzs sikerindexét és Minolta b\* értékét vizsgáltuk. Első lépésben a fajták és az évjáratok hatását varianciaanalízissel elemeztük (16. táblázat).



16. táblázat. A genotípus és az évjáratok hatása durumbúzafajták sikerindexére és Minolta b\* értékére (Martonvásár, 100 fajta, 2014–2018)

Tényező	Sikerindex				Minolta b*			
	SQ	df	MQ	F	SQ	df	MQ	F
Genotípus	709084,554	99	7162,470	19,635***	6766,418	99	68,348	45,755***
Hiba	144453,036	396	364,780 <sup>a</sup>		591,533	396	1,494 <sup>a</sup>	
Év	59950,392	4	14987,598	41,087***	418,434	4	104,609	70,030***
Hiba	144453,036	396	364,780 <sup>a</sup>		591,533	396	1,494 <sup>a</sup>	
Genotípus×Év	144453,036	396	364,780	10,572***	591,533	396	1,494	9,754***
Hiba	17252,171	500	34,504 <sup>b</sup>		76,572	500	,153 <sup>b</sup>	

Megjegyzés: SQ = <sup>a</sup>MQ<sub>Genotípus×Év</sub>; <sup>b</sup>MQ<sub>Hiba</sub>; \*\*\* a tényező p < 0,001 szinten szignifikáns.

A két főtenyező, valamint ezek kölcsönhatása is szignifikánsnak bizonyult. Az főtenyezők *F*-értékének kiszámítása során – mivel a kölcsönhatás is szignifikáns volt – a Genotípus × Év tényező MQ értékével osztottunk.

Második lépésben vizsgáltuk a két tulajdonság genetikai meghatározottságát. Az ismételhetőség ( $h^2$ ) megállapításához a varianciakomponenseket Longin et al. (2013) által ismertett módszerrel, REML analízissel (random modell alapján) számítottuk ki (17. táblázat). A széles genetikai bázisú fajtakör vizsgálatának eredménye alapján mindkét technológiai minőségi tulajdonság értékei tág intervallumon belül helyezkedtek el. A nagy ismételhetőség ( $h^2$ ) értékek alapján a sikerindex és a Minolta b\* érték genetikai meghatározottsága rendkívül erős.

17. táblázat. A sikerindex és a Minolta b\* érték leíró statisztikája és varianciakomponensei 100 durumbúzafajta vizsgálata alapján (Martonvásár 2014–2018)

	Sikerindex	Minolta b*
Átlag	39,277	21,721
Minimum	0,656	15,195
Maximum	97,693	29,963
Szórás	30,254	2,791
$\sigma_G^2$	679,769***	6,685***
$\sigma_{GÉ}^2$	165,138***	0,670***
$\sigma_e^2$	34,504	0,153
$\sigma_P^2$	716,247	6,835
Ismételhetőség ( $h^2$ )	0,949	0,978

Megjegyzés:  $\sigma_G^2$  = genotípusos variancia;  $\sigma_{GÉ}^2$  = Genotípus × Év kölcsönhatás variancia;  $\sigma_e^2$  = hiba variancia;  $\sigma_P^2$  = fenotípusos variancia;  $h^2 = \sigma_G^2/\sigma_P^2$ ; \*\*\* a varianciakomponens p < 0,001 szinten szignifikáns.

Számításaink az őszi és fakultatív durumbúza fajtakörben is igazolták Clarke et al. (2000 és 2009b) tavaszi durumbúza populációk sikerindexének vizsgálatából származó eredményeit ( $h^2 = 0,84–0,95$ ). A Minolta b\* érték esetén az ismételhetőség Longin et al. (2013) által közölt ( $h^2 = 0,90$ ), valamint saját korábbi adatainkhoz (Vida et al. 2013) hasonló volt ( $h^2 = 0,964$ ), de több kutatócsoport a Minolta b\* értéket meghatározó sárgapigment-tartalomnál is hasonló megfigyelést tett (Braaten et al. 1962, Santra et al, 2005, Clarke et al. 2006, Taneva et al. 2019). A nagy ismételhetőség miatt a transzgresszív utódok szelekciója már korai generációkban hatékonyan megkezdhető mindkét technológiai minőség tulajdonság esetén.

A vizsgált durumbúzafajták és törzsek megközelítőleg az utóbbi ötven év nemesítési eredményeit reprezentálják. A kollekción legidősebb fajtáját 1967-ben minősítették (Kundur 1149, Törökország; Palamarchuk 2005), de emellett a jelenleg termesztett fajták is szerepeltek a kísérletben. A különböző országokból származó genotípusok többségében a

sikérindex és a Minolta b\* érték is széles határok között változott az 5 év átlagértékei alapján (18. táblázat).

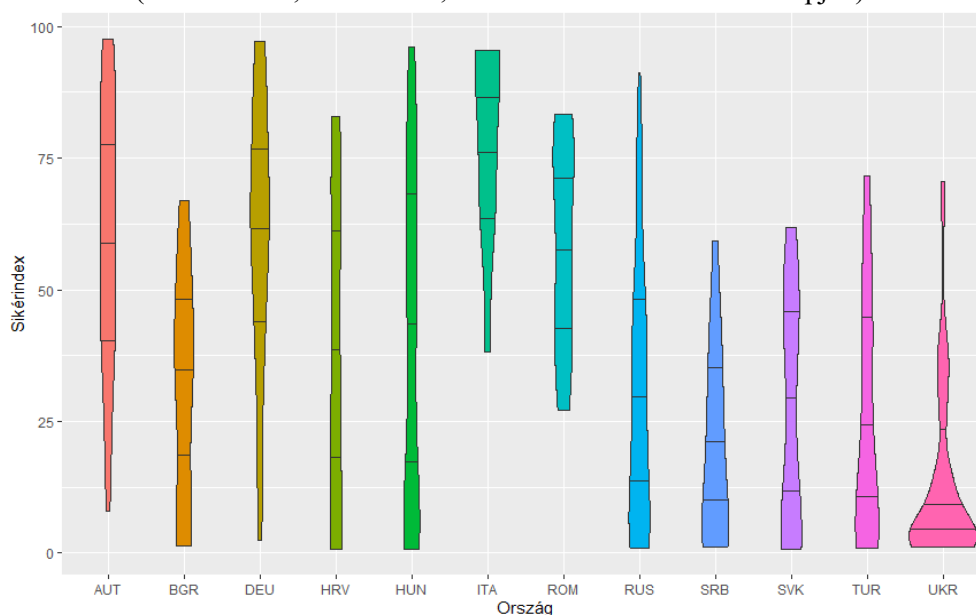
18. táblázat. Őszi és fakultatív típusú durumbúzafajták sikérindexe és Minolta b\* értéke országonkénti bontásban (Martonvásár, 2014-2018)

Ország	Rövidítés <sup>a</sup>	Genotípus db	Sikérindex				Minolta b*			
			Átlag	Min	Max	Szórás	Átlag	Min	Max	Szórás
Ausztria	AUT	14	60,24	29,29	89,05	20,97	24,49	22,00	26,67	1,55
Bulgária	BGR	6	31,78	8,28	53,57	16,84	20,89	18,95	24,23	1,84
Németország	DEU	13	60,29	14,95	86,40	21,99	25,30	21,02	27,98	2,06
Horvátország	HRV	2	36,93	6,60	67,26	42,89	19,11	17,88	20,34	1,74
Magyarország	HUN	18	39,22	2,67	88,99	27,48	20,94	17,75	24,56	1,87
Olaszország	ITA	2	78,80	68,43	89,16	14,66	23,64	22,65	24,63	1,40
Románia	ROM	4	58,48	50,99	65,09	6,70	19,27	18,89	20,29	0,68
Oroszország	RUS	18	28,71	2,42	75,67	21,33	20,44	17,58	24,31	1,71
Szerbia	SRB	4	19,48	2,40	29,19	12,31	20,71	19,43	21,34	0,87
Szlovákia	SVK	4	24,47	2,17	47,67	23,68	20,98	17,57	25,52	3,36
Törökország	TUR	5	23,25	1,77	56,31	22,32	20,63	19,77	21,27	0,57
Ukrajna	UKR	10	12,98	3,94	42,98	13,30	19,76	18,66	21,40	1,08

Megjegyzés: <sup>a</sup>(ISO 3166 szabvány alapján rövidítve)

Az átlagadatok szerint (18. táblázat és 3. melléklet) az olasz fajták átlagos sikérindexe volt a legnagyobb (78,80; a két fajta sikérindexe 68,43 és 89,16), míg az ukrán fajtáké a legkisebb (12,98). A Minolta b\* adatokat elemezve megállapítható, hogy a német és az osztrák genotípusok – átlagértékeik alapján – megelőzték az Olaszországból származó fajtákat. Több ország esetén a durumbúzafajták átlagos Minolta b\* értéke a 19–21 közötti sávban található (BGR, HRV, HUN, ROM, RUS, SRB, SVK, TUR és UKR), ugyanakkor a maximum értékek alapján e genotípus körökben is azonosíthatók nagyon jó (24-et meghaladó Minolta b\* érték) technológiai minőségű durumbúzafajták. Kizárólag a leíró statisztikai adatok alapján szinte lehetetlen felmérni a különböző országokból származó fajtakörökben megfigyelhető fenotípusos variabilitást. A 12. és 14. ábra *violin plot* formájában szemlélteti az 5 év során (az évenkénti ismétlések átlagolva) mért adatokat. Ezzel az ábrázolással a megszokott *box plot*-tal szemben az adatok eloszlása is szemléltethető.

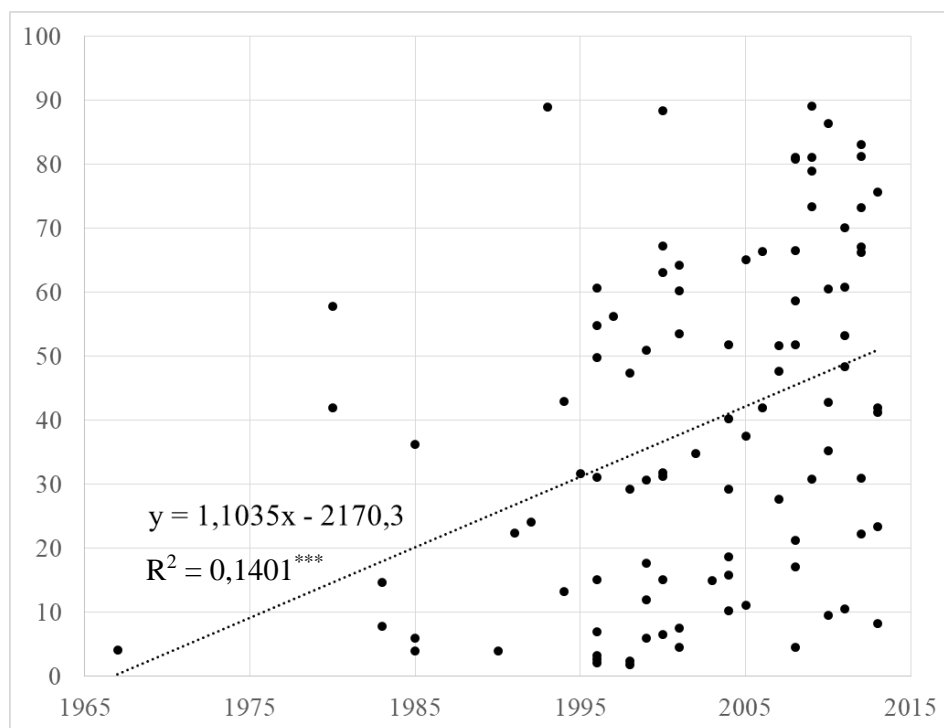
12. ábra. Durumbúzafajták sikérindexe országonkénti csoportosításban (Martonvásár, 2014–2018, 5 év ismétlésekénti adata alapján)



Megjegyzés: az országnevek jelentése a 18. táblázatban található. A vízszintes fekete vonalak a kvartilisek.

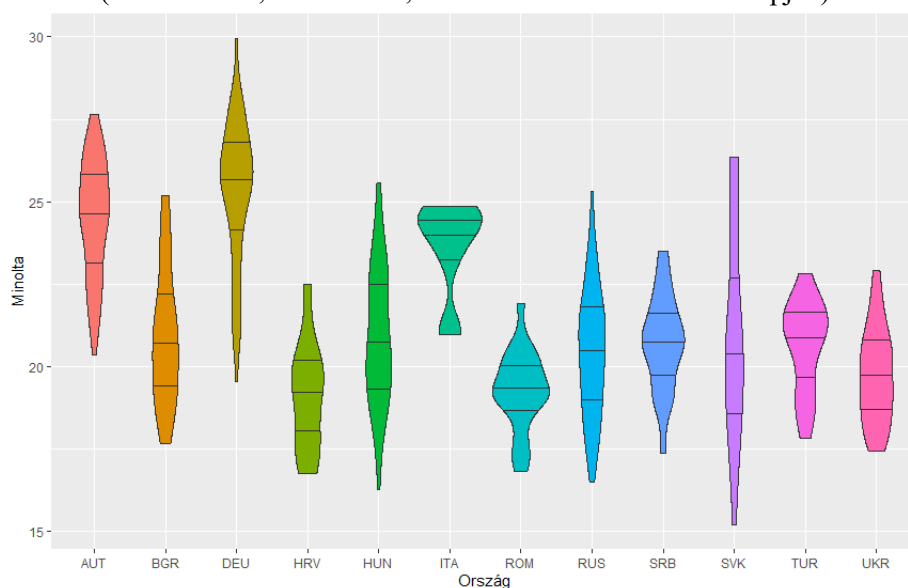
A sikerindex adatok valamennyi ország esetén széles intervallumon belül található. Kiemelkedően nagy az osztrák, német, horvát, magyar és orosz fajtakörben megfigyelhető variabilitás. Az első négy felsorolt országban a minták eloszlása egyenletes (az átlagérték középen található), ugyanakkor az orosz fajtakörnél a gyengébb sikerű minták nagyobb arányban fordultak elő. Különleges alakú eloszlás látható az ukrán fajtakörnél. Az évenkénti átlagminták között található legalább egy fajta, melynek sikerindexe meghaladja a 70-es értéket, azonban túlsúlyban vannak a kis sikerindexű fajták. Ezzel ellentétes az olasz fajtakör mintáinak eloszlása, ami e fajtakörben a nagyobb sikerindex értékek irányában tolódott el. Az adatok részletes vizsgálata alapján megállapítható, hogy elsősorban a régebbi, valódi őszi típusú durumbúzafajtákra jellemző a gyengébb siker (13. ábra), aminek feltételezhető oka, hogy e fajták szelekciója során a sikérerősség javítása még nem szerepelt a nemesítési programok prioritásai között. A nemesítőknek az alkalmazkodóképesség és ezen belül a hidegtűrés javítása volt az elsődleges cél, emellett a termőképességet kellett elfogadható szintre emelni, hiszen az őszi durumbúzákat az őszi búzafajtákkal versenyeznek a termesztési körzeteikben (Szunics 1986, Dorofjev et al. 1987). Miután ez megtörtént, akkor kezdődhetett el a technológiai minőségi tulajdonságok javítása.

13. ábra. Durumbúza genotípusok sikerindexe elismerésük évének függvényében (Martonvásár, 2014–2018)



A különböző országokból származó fajták mintáinak Minolta  $b^*$  értékei (14. ábra) jelentősen ( $SzD_{5\%} = 2,25$ ) eltérnek egymástól. A legnagyobb átlagos értéket a német (25,30) és az osztrák (24,49) durumbúzafajták mintáiban mértük, harmadik helyen az olasz fajták végeztek (23,64). Amint az az átlagértékek elemzésénél olvasható, a többi ország mintáinak átlagai szűk tartományon belül, a 19 és 21 közötti sávban található. Ebbe a csoportba azok az országok tartoznak, melyekben elsősorban valódi őszi típusú durumbúzafajták nemesítése folyik. Az ábráról azonban az is megállapítható, hogy az ezekből az országokból (BGR, HUN, RUS, SVK) származó minták közül néhány megelőzte az olasz fajtákat. Ez egyben azt jelenti, hogy a valódi őszi durumbúzafajták technológiai minőségüket tekintve napjainkban már versenyképesek a fakultatív fajtákkal Minolta  $b^*$  értékük alapján.

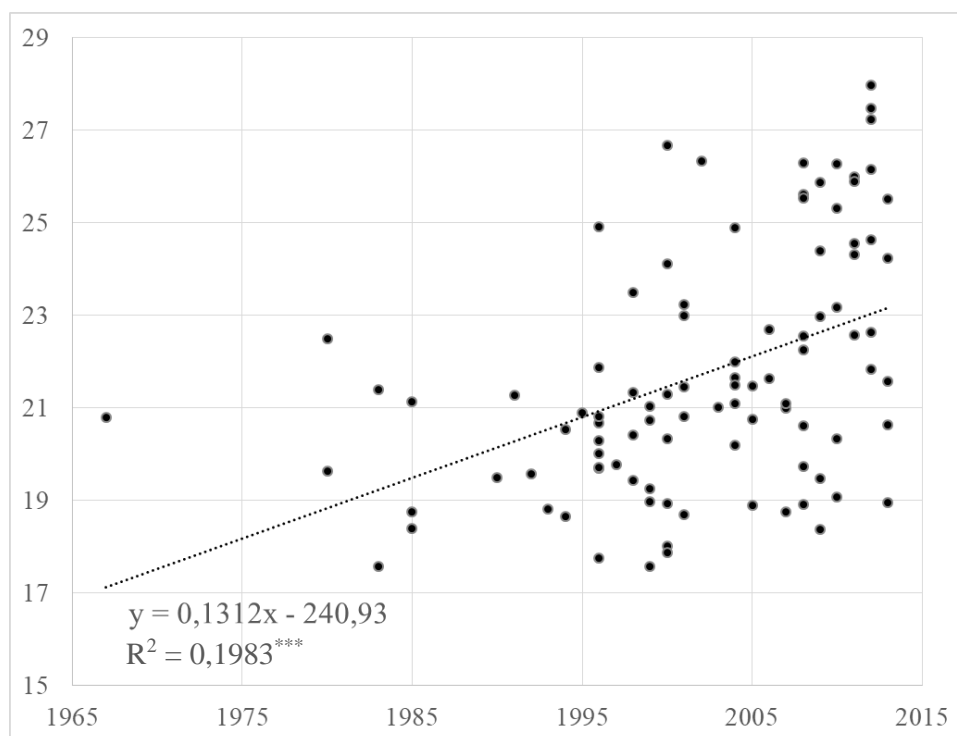
14. ábra Durumbúzafajták Minolta b\* értéke országokénti csoportosításban (Martonvásár, 2014–2018, 5 év ismétlésenkénti adata alapján)



Megjegyzés: az országnevek jelentése a 18. táblázatban található; a fekete vízszintes vonalak a kvartilisek.

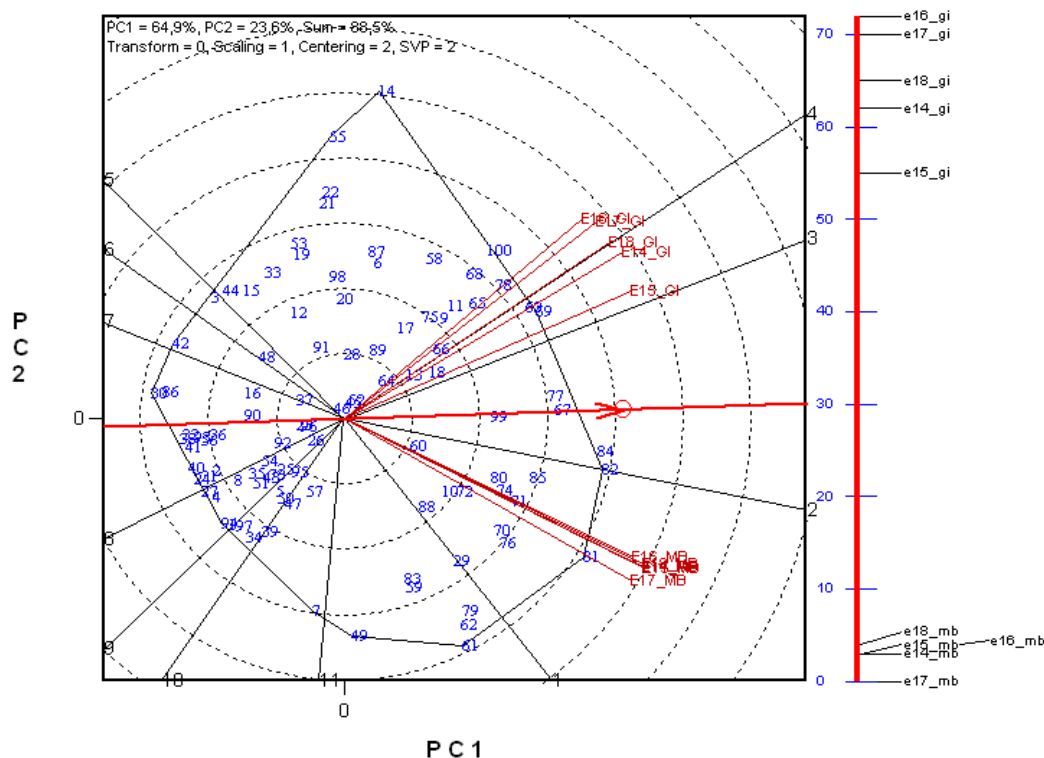
A sárgapigment-tartalom növelése során is a sikerindexéhez hasonló folyamat játszódott le a kelet-európai durumbúza nemesítési programokban. Ez a tulajdonság csak a természetőséget és a versenyképességet meghatározó tulajdonságok – azaz az alkalmazkodóképesség és a termőképesség – javítását követően került a nemesítési programok prioritásai közé (15. ábra).

15. ábra. Durumbúza genotípusok Minolta b\* értéke elismerésük évének függvényében (Martonvásár, 2014–2018)



A vizsgált durumbúzafajták komplex minőségét GGE biplot analízissel elemeztük (16. és 17. ábra). A „melyik mire a legjobb” típusú ábra (16. ábra) a vizsgálatba vont fajták nagy száma miatt összetett, a súlyvonalak a síkot 11 szektorra osztották.

16. ábra. Évjáratok és őszi/fakultatív durumbúzafajták kapcsolatrendszere a sikérindex és Minolta b\* adatok alapján (Martonvásár, 2014 – 2018)

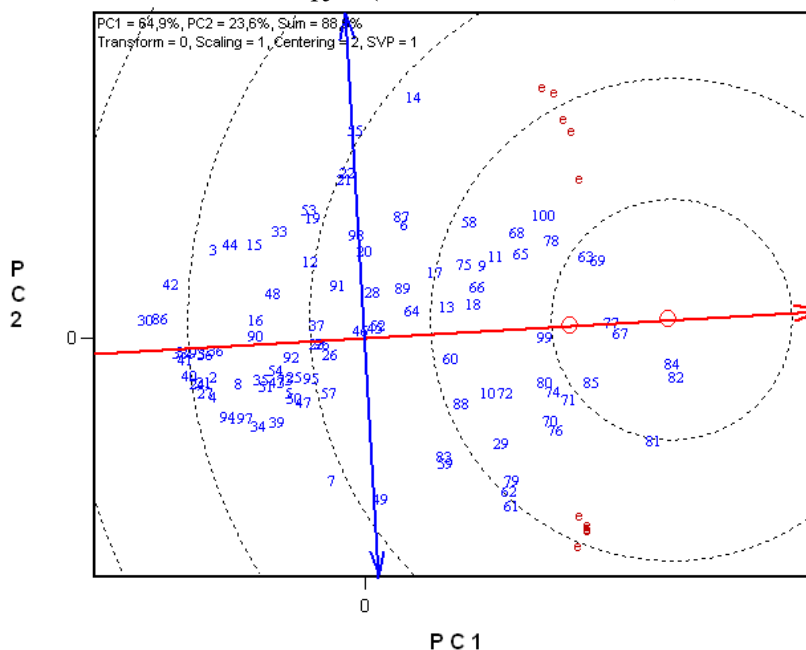


Megjegyzés: A GGE biplot elemzés környezet központú (Centering = 2), skálázott adatok alapján (Scaling = 1) és környezet-metrikus (SVP = 2) ábrázolással készült. GI = sikérindex; MB = Minolta b\*; E14–E18: évjáratok 2014–2018; kék számok a genotípusokat jelölik; PC1 és PC2 főkomponensváltozók; az évjárat × tulajdonság vektorok vékony, az átlagos-környezet tengely (AEA) vastag piros vonallal ábrázolva; ○ = évjáratok és tulajdonságok átlaga. Az ábra jobboldalán a tulajdonságvektorok kiterített térképe látható, mely a vektorok által bezárt szöget ábrázolják °-ban kifejezve.

Két főkomponensváltozó sajátértéke haladta meg az 1-et, és a két változó együttesen a teljes variancia 88,5%-át reprezentálta. A sikérindex vektorok kettő, a Minolta b\* vektorok mindössze egy szektorban található. Eszerint a sikérindex alapján az évjáratok két csoportra bonthatók. A 2016. és 2017. év alkotta az egyik, míg a 2014. 2015. és 2018. év a második csoportot. A durumbúzafajták Minolta b\* értéke mind az öt vizsgálati évben azonos, vagy alig eltérő sorrend szerint alakult. A vektorok, valamennyi páronkénti vizsgálat alapján hegyes szöget zártak be, így egy tulajdonságon belül a különböző évjáratokból származó minták szorosan korreláltak, de a két tulajdonság között is pozitív összefüggés állt fenn. Az ábrán azonosíthatók a sikérindex (az első 5 fajta: 100, 14, 69, 63 és 68), valamint a Minolta b\* érték alapján (81, 82, 84, 61 és 62) legjobb genotípusok (a sorszámokhoz kapcsolt fajták megnevezése a 3. mellékletben található). Megjegyzendő, hogy a sorrend az átlagok kiszámításával is egyszerűen meghatározható. A 16. ábra azonban ennél sokkal több információt tartalmaz, hiszen a tulajdonságok összefüggése mellett leolvasható az is, hogy fajták közül melyek azok, amelyek legalább az egyik technológiai minőségi tulajdonsággal összefüggenek (a tulajdonság és a genotípus vektorok által bezárt szög < 90°, de minél kisebb a szög, annál szorosabb az összefüggés).

Az ideális genotípus mindkét vizsgált tulajdonság alapján kimagasló értékű. Az ehhez legközelebb elhelyezkedő fajta hordozza a két tulajdonság legkedvezőbb kombinációját (17. ábra).

17. ábra. Az optimális genotípust megközelítő durumbúzafajták azonosítása sikérindex és Minolta b\* adatok alapján (Martonvásár, 2014–2018)



Megjegyzés: A GGE biplot elemzés környezet központú (Centering = 2), skálázott adatok alapján (Scaling = 1) és genotípus-metrikus (SVP = 1) ábrázolással készült. e: évjáratok és tulajdonságok kombinációi; kék számok a genotípusokat jelölik; PC1 és PC2 főkomponensváltozók; az átlagos-környezet tengely (AEA) vastag piros vonallal ábrázolva; baloldali  $\circ$  = évjáratok és tulajdonságok átlaga;  $\circ$  a koncentrikus körök középpontjában = ideális genotípus.

A vizsgált 100 fajta közül a 84-es helyezkedett el legközelebb a koncentrikus körök középpontjában fekvő ideális genotípushoz, de a 82., 67., 77., 85., 69., 81. és a 63. durumbúzafajta is a legkisebb körön belül van. A 82. és 67. fajta az ideális genotípustól azonos távolságra található. A két fajta közül a 67. az átlagos-környezet tengelyen helyezkedett el, ami arra utal, hogy e fajta stabilitása is kiemelkedően jó.

A kísérletben szereplő durumbúzafajták közül 50 genotípuson a sikérerősséggel vagy a sárgapigment-tartalommal kapcsolt biokémiai/molekuláris markerekkel további vizsgálatokat végeztünk. A markerek egy részét saját kísérleteinkben azonosítottuk az OTKA K68127 pályázat kidolgozása során, míg más részüket különböző kutatócsoportok által publikált eredmények alapján választottuk ki. A polimorfizmus kimutatását követően az eltérő típusú markereket hordozó csoportok közötti eltérést két változat esetén *t*-próbával, három változatnál – a csoportok varianciája azonosságának ellenőrzését követően – Kruskal-Wallis teszttel (eltérő varianciák esetén), vagy varianciaanalízissel (azonos varianciáknál) elemeztük. A siker erősségének becslésére alkalmas biokémiai markerek közül a 42-es és a 45-ös  $\gamma$ -gliadin alegységek hatását már az 1970-es években kimutatták tavaszi durumbúzában (Damidaux et al. 1978). Az általunk vizsgált fajtákban mi is vizsgáltuk, hogy e fajtákörben is fennáll-e a különbség a két csoport között. Az őszi és fakultatív durumbúzafajták túlnyomó többségében a 45-ös alegységet mutattuk ki. Az 50 genotípusból 39 ezt az alegységet hordozta és mindössze 4-ben volt jelen a 42-es alegység. Néhány fajtában kevésbé gyakori tartalékfehérje-alegységeket is azonosítottunk (51-es és 55-ös), azonban az ezeket, valamint a 45-ös alegységet hordozó genotípusok sikérindexe a Kruskal-Wallis teszt eredménye alapján nem különbözött

( $\chi^2 = 0,548^{ns}$ ). Kísérletünkben a „klasszikus” 42/45 adatpár összehasonlítását végeztük el *t*-próbával (19. táblázat).

19. táblázat. A 42-es és 45-ös  $\gamma$ -gliadin alegységet hordozó durumbúzafajták sikérerőssége (Martonvásár, 2014–2018)

$\gamma$ -gliadin alegység	Fajta db	Átlag	Minimum	Maximum	Szórás	Variancia azonosság <sup>1</sup>	<i>t</i> -érték <sup>2</sup>
42	4	4,149	1,772	6,986	2,209	12,097***	8,955***
45	39	44,878	2,668	89,161	27,552		

Megjegyzés: <sup>1</sup>Levene teszt *F*-érték; <sup>2</sup>eltérő varianciák figyelembevételével számítva.

A *t*-próba eredménye alapján a két csoport szignifikánsan különbözött. A 42-es alegységet hordozó durumbúzafajták átlagos sikérindexe 4,149, azokban pedig, amelyekben a 45-ös  $\gamma$ -gliadin alegységet mutattuk ki, ez az érték 44,878 volt. A 45-ös csoportban látható 2,668-as minimum érték ugyanakkor felhívja a figyelmet arra, hogy a durumbúzák sikérindexét a 42-es és 45-ös gliadin alegységek (alapvetően az ezekkel kapcsolt LMW-1 és LMW-2 kis molekulatömegű glutenin alegységek; Payne et al. 1984b és Pogna et al. 1988) jelentős mértékben, de nem kizárólagosan határozzák meg.

A Minolta b\* értékben megfigyelhető különbségek genetikai hátterének vizsgálata során molekuláris (DNS-szintű) markereket használtunk. Ezek egy részét (OPA16, OPT16, OPK02 és OPZ17 RAPD markerek) az OTKA K68127 pályázatban végzett munka során azonosítottuk, más részüket pedig publikációk alapján választottuk ki (Elouafi et al. 2001, Pozniak et al. 2007, He et al. 2009b). Az eltérő mintázatú csoportok statisztikai jellemzőit a 20. táblázat tartalmazza.

A vizsgálatba vont molekuláris markerek közül többenél statisztikailag igazolható összefüggést mutattunk ki a Minolta b\* értékkel. Ez a megállapítás azonban csak a kutatócsoportunk által korábban azonosított három markerre igaz. Az OPA16<sub>0</sub>-t, az OPT16<sub>900+1500</sub>-t vagy az OPZ<sub>900</sub> markert hordozó durumbúzafajták átlagosan 1,919, 1,715 és 2,145 Minolta b\* értékkel haladták meg az alternatív allélt hordozók csoportját.

Az irodalmi forrásokból származó markerek többsége a 7-es (*Psy1*), egy pedig az 5B kromoszómán található (*Psy2*) fitoén-szintáz lokuszok alléljeinek kimutatására alkalmas. Saját eredményeink alapján azonban, az általunk vizsgált őszi durumbúzafajták populációjában a több kutatócsoport által sikeresen használt markerekkel a nagy és kis sárgapigment-tartalmú fajták elkülönítése nem volt lehetséges. Ez két okra vezethető vissza. A *Psy-A1* és *Psy1-1* markerekkel nem tudtunk polimorfizmust kimutatni. Ez a két marker a fitoén-szintáz kódoló lokuszokkal kapcsolt a 7AL és a 7BL kromoszómakaron. A fitoén-szintáz kiemelkedő szerepet játszik a sárga színanyag mennyiségének kialakítása során, hiszen a lutein szintézis első lépéseiben a geranilgeranil-pirofoszfát → prefitoén-difoszfát → fitoén átalakítást végzi (Kanehisa et al. 2012). A 7-es kromoszómacsoporton található gének hatását több kutatócsoport is bizonyította (Elouafi et al. 2001, Cervigni et al. 2005, Pozniak et al. 2007, Patil et al. 2008, Zhang et al. 2008, Alsaleh 2011, Blanco et al. 2011, Roncallo et al. 2012, Giraldo et al. 2016, Fiedler et al. 2017), ugyanakkor az ezt igazoló kutatásokat valamennyien tavaszi durumbúza genotípusokon végezték.

20. táblázat A sárgapigment-tartalommal kapcsolt markerekkel elkülönített csoportok jellemzése (Martonvásár, 2014–2018)

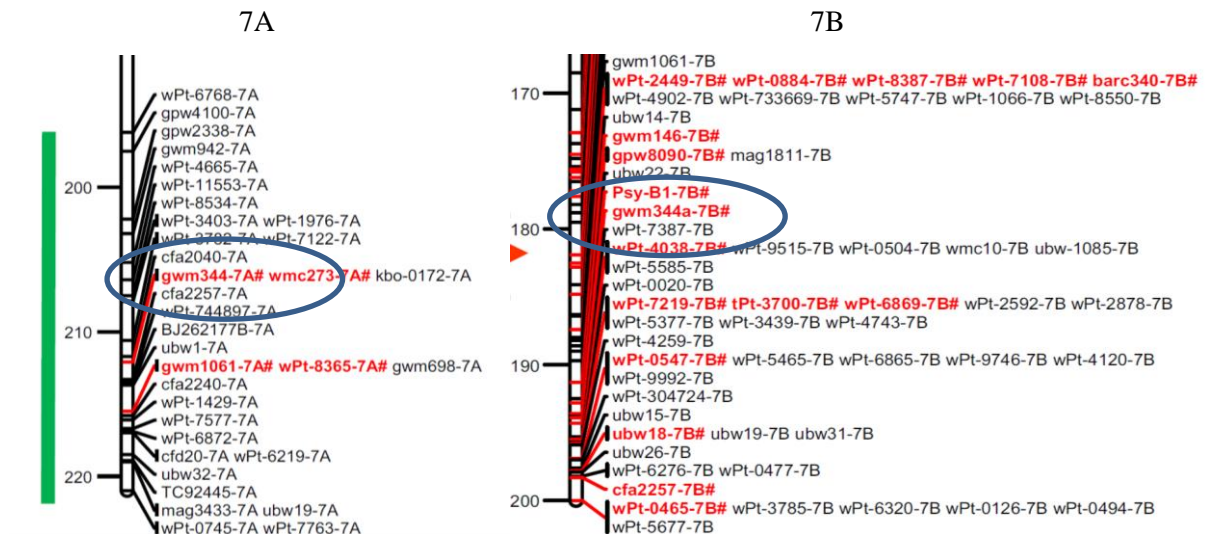
Allél	Lokusz	Fajta db	Átlag	Minimum	Maximum	Szórás	Variancia azonosság <sup>1</sup>	t- vagy F-érték <sup>2</sup>
<sup>3</sup> OPA16 <sub>0</sub>		9	23,252	21,871	24,891	1,122	5,204*	2,157*
<sup>3</sup> OPA16 <sub>800</sub>		41	21,333	17,580	26,667	2,601		
<sup>3</sup> OPK02 <sub>0</sub>		18	22,084	18,700	26,295	0,504	1,802 <sup>ns</sup>	0,852 <sup>ns</sup>
<sup>3</sup> OPK02 <sub>500</sub>		32	21,450	17,580	26,667	0,477		
<sup>3</sup> OPT16 <sub>1500</sub>		23	20,752	17,580	24,627	0,399	5,990*	2,614*
<sup>3</sup> OPT16 <sub>900+1500</sub>		27	22,467	18,700	26,667	0,521		
<sup>3</sup> OPZ17 <sub>300</sub>		31	20,863	17,580	25882	1,951	3,42 <sup>ns</sup>	3,202**
<sup>3</sup> OPZ17 <sub>900</sub>		19	23,008	18,401	26,667	2,783		
<sup>4</sup> Psy-A1	7AL	50	nincs polimorfizmus (valamennyi <i>d</i> allél)					
<sup>5</sup> Psy1-B1_e	7BL	0	-	-	-	-		
<sup>5</sup> Psy1-B1_f		49	21,745	17,580	26,340	2,426		
<sup>5</sup> Psy1-B1_g		1	26,667	-	-	-		
<sup>6</sup> Psy1-B1_n		0	-	-	-	-		
<sup>6</sup> Psy1-B1_o		0	-	-	-	-		
<sup>7</sup> Psy1-1	7BL	50	nincs polimorfizmus (valamennyi W9262_Psy1-1 allél)					
<sup>7</sup> Psy2-1_Kofa	5B	43	21,475	17,580	26,667	2,481	0,269 <sup>ns</sup>	1,947 <sup>ns</sup>
<sup>7</sup> Psy2-1_W9262		5	23,757	19,490	25,885	2,478		
<sup>8</sup> gwm344_1 <sub>144</sub>	7AL vagy 7BL	26	21,233	18,401	26,295	2,290	0,802 <sup>ns</sup>	1,318 <sup>ns</sup>
<sup>8</sup> gwm344_1 <sub>146</sub>		24	22,161	17,580	26,667	2,686		
<sup>8</sup> gwm344_2 <sub>0</sub>		12	21,926	17,580	26,340	3,049	2,090 <sup>ns</sup>	0,389 <sup>ns</sup>
<sup>8</sup> gwm344_2 <sub>130</sub>		38	21,600	17,748	26,667	2,352		
<sup>8</sup> gwm344_1+2 <sub>144+0</sub>		7	21,825	17,580	26,340	3,139	1,422 <sup>ns</sup>	0,850 <sup>ns</sup>
<sup>8</sup> gwm344_1+2 <sub>146+0</sub>		5	22,067	18,401	26,295	3,276		
<sup>8</sup> gwm344_1+2 <sub>144+130</sub>		21	21,034	18,700	25,882	2,048		
<sup>8</sup> gwm344_1+2 <sub>146+130</sub>		17	22,299	17,748	26,667	2,570		

Megjegyzés: <sup>1</sup>Levene teszt *F*-érték; <sup>2</sup>egy adatpár összehasonlítására *t*-próbát (*t*-érték), több adatára varianciaanalízist használtunk (*F*-érték); <sup>3</sup>Az OTKA K68127 pályázatban azonosított markerek; <sup>4</sup>He et al. 2009b, <sup>5</sup>He et al. 2009a; Zhang és Dubcovsky (2008); <sup>7</sup>Pozniak et al. 2007 valamint <sup>7</sup>Elouafi et al. 2001 által publikált marker; \*, \*\*, <sup>ns</sup> a közölt érték  $p < 0,05$ ,  $< 0,01$  szinten szignifikáns, illetve nem szignifikáns.

A markerek másik csoportjánál (Psy2-1 és gwm344) több változatot azonosítottunk, azonban ezek összefüggése a Minolta b\* értékkel nem volt bizonyítható. A gwm344 mikroszatellit tesztelését követően 2 markert és ezek 2-2 két változatát azonosítottuk. A Maccaferri et al. (2014a) által közölt durumbúza konszenzus térkép alapján (18. ábra) a marker a 7B kromoszómán közvetlenül a *Psy-B1-7B* lokusz mellett található, így nagy valószínűséggel kapcsoltan öröklődhetne e fitoén-szintáz enzimet kódoló génnel.



18. ábra. Az *Xgwm344* lokusz elhelyezkedése a 7A és 7B kromoszómák hosszú karján (Maccaferri et al. 2014a)



Ugyanakkor specifikus jellegét megkérdőjelezi az a tény, hogy egyéb tulajdonságokkal is bizonyították az összefüggését tetraploid búzafajokban. Durumbúzában Herrera-Foessel et al. (2008) az *Lr14a* levélrozsa rezisztenciagénnel, Letta et al. (2014) szárrozsa ellenállósággal, Ji et al. (2008) pedig vad tönkében lisztharmattal szembeni rezisztenciával mutatták ki a kapcsoltságát.

Sajnálatos módon Elouafi et al. (2001) nem közöltek fotót a gélelektroforézises futtatás eredményéről és a polimorfizmust jelentő DNS fragmentumok méretét sem írták le, így az általunk azonosított különbség kapcsoltsága a fitoén-szintáz enzimet kódoló kromoszómaregióval bizonytalan.

A széles genetikai bázisú durumbúza kollekción vizsgálata során a következő megfigyeléseket tettük:

- A fajták és nemesítési törzsek körében nagy a genetikai változatosság mindkét tulajdonság, a sikerindex és a Minolta b\* érték esetén is;
- A sikerindex és a Minolta b\* érték is jól öröklődő genetikai tulajdonság ( $h^2 > 0,9$ ) ezért mindkét technológiai minőségi tulajdonság esetén a szelekció hatékonyan elvégezhető;
- A sikerindex és a Minolta b\* átlagos értéke kisebb azon országokból származó genotípus körben, ahol valódi őszi durumbúzafajták nemesítése folyik. Ugyanakkor a legjobb fajták technológiai minősége eléri vagy meghaladja a fakultatív durumbúzafajtákét;
- Az újabb durumbúzafajtákban jelentős genetikai előrehaladás figyelhető meg a régi genotípusokhoz viszonyítva;
- A siker erősségét az őszi durumbúzafajtákban is előnyösen befolyásolja a 45-ös  $\gamma$ -gliadin alegység jelenléte;
- A tavaszi durumbúzában azonosított molekuláris markerek nem használhatók hatékonyan az őszi durumbúzafajták szelekciója során.

#### 4.4. A Minolta b\* értéket és a sikerindexet meghatározó genetikai faktorok azonosítása kétszülős térképező populációban

A korábbi fejezetekben közölt eredmények alapján megállapítható, hogy a környezet valamint a genotípus a Minolta b\* értéket és a sikerindexet is jelentősen befolyásolja. A növénynemesítésben a tulajdonságokat kódoló genetikai faktorok ismerete hatékonyabbá és gyorsabbá teheti az utódok célirányos kiválogatását. Tavaszi durumbúzában a búzában elindult molekuláris szintű kutatások nyomdokán haladva rövid időn belül megjelentek az első eredmények. Ugyanakkor őszi durumbúzában az ezredforduló környékén még nem állt rendelkezésre ezirányú információ. Ebben az időszakban az őszi genotípusok kis sárgapigment-tartalma jelentősen rontotta az újonnan előállított fajták piacképességét, ezért a szélsőségesen nagy és kis Minolta b\* értékű törzsek közül kiválasztottunk két nemesítési törzset, melyekkel keresztezési kombinációt hoztunk létre. Nagy sárgapigment-tartalmú szülőnek a 'PWD1216' osztrák (Prostdorfer Saatzuch, jelenleg Saatzuch Donau GesmbH cégtől származó törzs), kicsinek pedig az 'MvTD10-98' martonvásári eredetű törzset választottuk ki. A populáció vizsgálatával elsődleges célunk a sárgapigment-tartalommal kapcsolt kromoszómaregiók azonosítása volt, összesen 13 éven keresztül vizsgáltuk a szülők és az utódtörzsek Minolta b\* értékét. Sikérvizsgálatot, és ezáltal sikerindex mérést 5 évben végeztük el, így az elkészített molekuláris térképen lehetőségünk volt az e tulajdonságot meghatározó genetikai faktorok azonosítására is. A genetikai térkép összeállításához 179 törzs molekuláris adatát használtuk, a közölt fenotípusos adatok is erre a populációra, illetve a két szülőre vonatkoznak.

##### 4.4.1. A szülő- és a térképezési populációt alkotó törzsek fenotípusos vizsgálata

A populáció leíró statisztikáját, valamint a szülő-törzsek adatait évenkénti bontásban a 21. táblázat tartalmazza.

21. táblázat. A 'PWD1216/MvTD10-98' kétszülős populációt alkotó durumbúzatörzsek, valamint a szülők Minolta b\* értékének és sikerindexének leíró statisztikája.

Év	A térképező populáció törzsei				Szülők		
	Átlag	Minimum	Maximum	Szórás	PWD1216	MvTD10-98	Átlag
<i>Minolta b*</i>							
2001	23,42	19,74	27,19	1,33	25,86	18,59	22,23
2003	22,42	18,59	26,03	1,27	26,03	20,32	23,18
2004	25,59	21,26	30,20	1,64	29,39	21,09	25,24
2005	21,98	16,65	27,73	2,05	25,28	18,42	21,85
2006	21,51	17,40	26,26	1,62	25,23	18,93	22,08
2007	24,67	19,63	29,57	1,92	28,27	21,67	24,97
2008	22,88	18,36	28,03	1,78	27,87	20,03	23,95
2009	21,60	16,80	26,20	1,81	24,80	18,88	21,84
2010	19,98	16,55	24,70	1,40	23,81	17,37	20,59
2011	18,97	15,43	23,78	1,55	24,17	16,64	20,41
2012	20,11	16,80	24,41	1,49	21,87	17,86	19,87
2013	20,23	16,50	24,34	1,66	24,45	18,03	21,24
2014	20,81	16,15	24,87	1,49	24,14	18,74	21,44
Átlag	21,86	17,93	25,47	1,32	25,47	18,96	22,22
<i>Sikerindex</i>							
2007	57,55	1,53	90,91	21,87	50,90	81,38	66,14
2011	62,93	1,64	95,94	19,94	61,65	59,50	60,57
2012	32,71	2,72	67,94	17,81	32,55	39,51	36,03
2013	22,80	1,12	76,26	21,64	25,97	30,65	28,31
2014	50,92	1,18	94,22	23,85	52,44	54,50	53,47
Átlag	45,38	3,21	78,77	17,75	44,70	53,11	48,90

Az átlagértékeket vizsgálva a térképező populációt alkotó törzsek és a szülők átlagértékei évenként, de az évek átlagában sem térnek el egymástól jelentős mértékben (a párosított  $t$ -próba eredménye: Minolta  $b^*$ : 1,841<sup>ns</sup>; sikerindex: 1,669<sup>ns</sup>). Ugyanakkor a két tulajdonság esetén figyelemreméltó különbség látható a két szülő értéke, valamint a populáció szélső értékei között. A 'PWD1216' és az 'MvTD10-98' szülő Minolta  $b^*$  átlagértéke szignifikánsan eltért ( $t = 20,815^{***}$ ). A populációt alkotó törzsek közül a legkisebb Minolta  $b^*$  értékű az 'MvTD10-98', a legnagyobb pedig a 'PWD1216' szülő értékéhez közelített. A legnagyobb sárgapigment-tartalmú törzs szemolinájának Minolta  $b^*$  értéke – a 2011. évjáratot kivéve – 12 évben meghaladta a 24-et, ami nagyon jó feldolgozóipari alapanyagnak felel meg, sőt a legkedvezőbb (2004) évjáratban 30 feletti értéket is mértünk. A minimum értékek az évek többségében nem érték el a 20-as Minolta  $b^*$  értéket. A tartomány nagysága minden évben meghaladta a 7-et (13 év átlagában 8,727 volt a szélsőértékek közötti eltérés), legnagyobb különbséget 2005-ben mértük a két szélsőséges sárgapigment-tartalmú törzs között (11,08).

A két szülő sikerindexe az évek átlagában szignifikánsan nem tért el ( $t = 1,514^{ns}$ ), ennek ellenére a populáció törzseinek sikererőssége széles intervallumon belül változott (átlagos különbség az 5 év adatai alapján 83,416). A legerősebb sikérszerkezetű törzsek sikerindexe jelentősen meghaladta mindkét szülőét. A leggyengébb sikerű törzs (G22) sikerindexe 1,18 és 9,93 között változott, évjáratról függetlenül rendkívül lágy volt a siker struktúrája. A legnagyobb sikerindexű törzs (G61) adatai között viszont már nagyobb volt a szórás (63,65–88,05). E törzs sikerindexe az 5-ből négy évben a „nagyon jó” – „kiváló” kategóriába tartozott a Cubbada et al. (1992) osztályozási rendszer alapján, mindössze a 2012. évi minta volt „átlag feletti”. Figyelembe véve azt a tényt, hogy a 2012. évi átlagos sikerindex 32,68 volt, ez a törzs ebben az évben is az egyik legerősebb sikérszerkezetűnek bizonyult.

Az évjáratok és a genotípusok hatását lineáris kevert modellel (REML analízis) elemeztük. A genotípust fix, az évjáratokat random faktorként kezeltük (22. táblázat). Meghatároztuk a vizsgált tulajdonságra jellemző varianciakomponenseket és az ismételtetés ( $h^2$ ) értéket (23. táblázat). Kísérletünkben több évben egyéb tulajdonságot is megfigyeltünk (nedvessikér-tartalom, növénymagasság, kalászolási idő és fitotroni hidegtűrés), így elemezhetjük e tulajdonságok összefüggését a Minolta  $b^*$  értékkel és a sikerindexszel (23. táblázat).

22. táblázat. A genotípus és az évjárat hatásának elemzése REML analízissel a 179 törzs és a szülők adatai alapján (Martonvásár, 2001–2014)

Tényező	Minolta $b^*$	Sikerindex
<i>Fix faktor</i>	<i>F</i>	<i>F</i>
Genotípus	46,385 <sup>***</sup>	18,841 <sup>***</sup>
<i>Random faktor</i>	<i>Wald Z</i>	<i>Wald Z</i>
Év	2,448*	1,412
Reziduális	47,503	28,504

Megjegyzés:  $F$  = Wald statisztika/szabadságfok; \*, \*\*\*, a közölt érték  $p < 0,05$  vagy  $< 0,001$  szinten szignifikáns.

A REML analízis eredménye alapján a genotípusok Minolta  $b^*$  értéke és sikerindexe között is eltérés mutatható ki ( $F$ -érték  $p < 0,001$  szinten szignifikáns). Az évjárat azonban mindössze a Minolta  $b^*$  értékre hatott, a sikerindex elemzése során az eltérések nem bizonyultak statisztikailag igazolhatónak.

23. táblázat. Durumbúzatörzsek technológiai minőségi és fenotípusos tulajdonságainak leíró statisztikája, varianciakomponensei, ismételhetősége, valamint a Minolta b\* érték és a sikerindex összefüggése a többi vizsgált tulajdonsággal

	Minolta b*	Siker-index	Nedvessikér %	Kalászolási idő	Növénymagasság	Fitotroni hidegtűrés
Évek száma	13	5	5	7	6	2
Átlag	21,864	45,356	39,778	143,036	87,111	13,166
Minimum	17,934	3,212	33,535	140,857	75,667	0,000
Maximum	25,473	78,770	46,855	156,429	101,33	50,000
Szórás	1,356	17,656	2,461	1,369	5,349	10,380
$\sigma^2_G$	1,763***	279,264***	3,947***	0,933***	25,243***	72,643***
$\sigma^2_{G \times \text{É}}$	0,913***	142,987***	0,561***	0,057***	9,071	6,548
$\sigma^2_e$	0,157	38,751	3,333	1,033	17,754	189,875
$\sigma^2_P$	1,839	311,736	6,056	1,036	28,235	0,675
Ismételhetőség	0,959	0,896	0,651	0,900	0,894	0,675
$r_{\text{Minolta b}^*}$		0,104**	0,096**	-0,051	-0,668***	-0,021
$r_{\text{sikerindex}}$	0,104**		-0,111**	0,263**	-0,157**	-0,005

Megjegyzés:  $\sigma^2_G$  = genotípusos,  $\sigma^2_{G \times \text{É}}$  = genotípus  $\times$  év kölcsönhatás,  $\sigma^2_e$  = reziduális,  $\sigma^2_P$  = fenotípusos variancia; \*\* \*\* a közölt érték  $p < 0,01$ , vagy  $p < 0,001$  szinten szignifikáns

A 23. táblázatban közölt értékek a teljes populációra (179 térképező törzs és a két szülő együttesen) vonatkoznak. A vizsgált genotípusok között valamennyi tulajdonság széles intervallumon belül változott. A Minolta b\* és sikerindex adatok esetén megfigyelhető különbséget már a 21. táblázat alapján elemeztük, de a populációban rögzített genetikai variabilitás nagyságát jelzi a legkisebb és legnagyobb értékű genotípusok között a 13,3%-os eltérés a nedvessikér-tartalomban, a több, mint kéthetes különbség a kalászolási időben, a közel 26 cm-nyi differencia a növénymagasságban és 50%-nyi eltérés a fitotroni túlélésben. A genetikai meghatározottság szempontjából jelentős variancia túlnyomó részét a nedvessikér-tartalom, a kalászolási idő, a növénymagasság és a fitotroni hidegtűrés esetén maga a genotípus határozta meg ( $\sigma^2_G$  többszöröse a  $\sigma^2_{G \times \text{É}}$ -nek), ugyanakkor éppen a Minolta b\* és a sikerindex elemzése során a  $\sigma^2_{G \times \text{É}}$  is jelentős nagyságú volt. Az ismételhetőség (a szakirodalomban jelölése a heritabilitási értékszámval egyezően  $h^2$ ) jelenti a genotípus és a fenotípusos variancia arányát, ami alapján következtetés vonható le a tulajdonság genetikai meghatározottságára. Számításaink alapján ebben a populációban is bizonyítottuk, hogy a Minolta b\* érték és a sikerindex genetikailag jól meghatározott tulajdonság, de e két megfigyelési változó mellett a kalászolási időt és a növénymagasságot is a genetikai háttér határozta meg nagymértékben. A nedvessikér-tartalomra és a fitotroni hidegtűrésre ugyanez nem mondható el.

A Minolta b\* érték és három másik tulajdonság, a sikerindex, nedvessikér-tartalom és a növénymagasság közötti korreláció szignifikáns volt. Ugyanakkor a sikerindexszel ( $r = 0,104^{**}$ ) és a nedvessikér-tartalommal ( $r = 0,096^{**}$ ) fennálló összefüggés annyira gyenge, hogy szakmailag nem értelmezhető. A Minolta b\* érték és a növénymagasság között számított  $-0,688^{**}$  nagyságú korrelációs koefficiens alapján azonban már közepes erősségű, negatív kapcsolat állt fenn a két tulajdonság között, azaz az alacsonyabb növények sárgapigment-tartalma nagyobb volt a magasabbakéhoz viszonyítva. A sikerindex statisztikailag igazolható módon négy másik tulajdonsággal is korrelált, azonban a kapcsolat erőssége minden esetben gyenge volt ( $-0,157 \leq r \leq 0,263$ ).

A vizsgált durumbúzatörzsek egy könnyen azonosítható morfológiai tulajdonság alapján két csoportra oszthatók. A törzsek mindegyike fehér kalászu, azonban egy részük szálkája fekete (79 db, 'PWD1216' típus), a többié fehér színű volt (100 db, 'MvTD10-98' típus). Számításokat végeztünk annak megállapítására, hogy a kalásztípus kapcsolt-e valamely vizsgált technológiai minőségi, vagy fenotípusos tulajdonsággal. A két csoportra jellemző varianciát  $F$ -próbával határoztuk meg. A kalászolási időn kívül valamennyi tulajdonság

szórásnégyzete megegyezett a két csoportban. A csoportátlagok statisztikai egyezőségét – a szórásnégyzetek azonosságának, illetve különbözőségének figyelembevételével – *t*-próbával teszteltük (24. táblázat).

24. táblázat. Eltérő kalásztípusú törzsek (szülővel együtt) átlaga, variáciája, valamint a csoportok közötti azonosság vizsgálata *t*-próbával, vizsgált tulajdonságokként

Törzsek száma	Fekete szálkás törzsek		Fehér szálkás törzsek		<i>F</i>	<i>t</i>
	80		101			
	Átlag	Variancia	Átlag	Variancia		
Minolta b*	21,894	1,909	21,840	1,801	1,060	0,266
Sikérindex	49,878	273,103	41,775	316,063	0,864	3,141**
Nedvessikér %	40,038	5,660	39,573	6,331	0,894	1,266
Kalászföldes idő	142,946	0,886	143,108	2,662	0,333***	-0,837
Növénymagasság	86,646	28,619	87,480	28,576	1,002	-1,043
Fitotroni hidegtűrés	12,791	112,283	13,463	105,066	1,069	-0,432

Megjegyzés: \*\*,\*\* a közölt érték  $p < 0,01$ ,  $< 0,001$  szinten szignifikáns

A 6 tulajdonság közül 5-ben nem volt statisztikailag igazolható különbség a kalászföldes alapján elkülönített két csoportban. Az egyetlen kivételt a sikérindex jelentette ( $t = 3,141^{**}$ ), ami a fekete szálkás törzsek átlagában (49,878) szignifikánsan nagyobb volt, mint a fehér szálkásokéban (41,775). Ugyanakkor a két kalászföldes törzsek tartománya között nagy az átfedés (fekete: 17,399–78,770; fehér: 3,212–76,812), így a fehér szálkájú törzsek között is található erős sikérűek (9 fehér szálkájú törzs sikérindexe meghaladta a 65-öt).

#### 4.4.2. A kétszülős térképezési populáció molekuláris szintű vizsgálata

DNS szinten, molekuláris markerekkel a Minolta b\* értékkel és a sikérindexszel kapcsolt kromoszómaregiókat azonosítottunk. A vizsgálatokat 2005 és 2013 között végeztük. Ebben az időszakban a molekuláris markerezésre alkalmas technológia rendkívül gyorsan fejlődött. Az első időszakban még RAPD (*Randomly Amplified Polymorphic DNA*) markereket teszteltünk, utána rövid időn belül áttértünk az AFLP (*Amplified Fragment Length Polymorphisms*), a mikroszatellit (SSR = *Simple Sequence Repeats*), majd végül a DArT (*Diversity Arrays Technology*) típusú markerek használatára.

Első lépésként 10 szélsőségesen nagy, valamint 10 kis sárgapigment-tartalmú törzs DNS-ének elegyítésével két kevert DNS mintát hoztunk létre, melyeket használva egyesített szegregáns analízist végeztünk (BSA = *Bulked Segregant Analysis*). A BSA módszerrel a Minolta b\* értékkel kapcsolt molekuláris markereket azonosítottunk. A továbbiakban vizsgált őszi durumbúzat-törzsek Minolta b\* adatait a 25. táblázat tartalmazza.

25. táblázat. Az egyesített DNS mintákhoz kiválasztott törzsek Minolta b\* értéke (Martonvásár, 2004–2005)

Nagy Minolta b* értékű csoport			Kis Minolta b* értékű csoport		
Törzs	Minolta b*		Törzs	Minolta b*	
	2004	2005		2004	2005
8	28,55	26,89	51	23,62	19,46
12	28,72	25,17	56	21,23	16,66
18	27,19	27,11	80	23,79	19,17
29	29,88	27,40	105	23,59	19,03
30	28,99	27,74	147	23,29	19,20
33	27,80	27,47	201	23,66	18,40
45	30,07	26,28	212	23,31	18,46
46	29,78	26,91	216	22,47	19,72
47	28,99	25,43	220	23,45	19,21
155	28,28	26,09	228	22,00	18,74

A molekuláris markerek azonosításhoz 520 RAPD primert használtunk. Az egyesített minták között egyértelmű különbséget egyetlen esetben sem kaptunk, mindössze intenzitásában megfigyelhető eltéréseket figyeltünk meg. Az egyesített mintákat alkotó egyedi törzsek

tesztelését követően 5 primerrel 9 polimorf markert azonosítottunk. E markerek hasadási arányát a 26. táblázatban mutatjuk be.

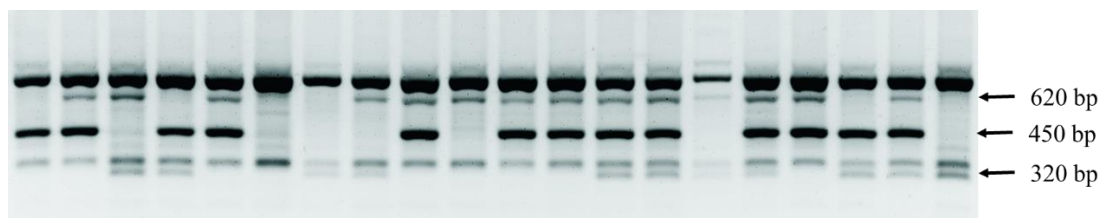
26. táblázat. Polimorf RAPD markerek hasadása a szélsőségesen nagy, vagy kis Minolta b\* értékű őszi durumbúzatörzsekben

Marker	Nagy:kicsi hasadási arány
OPA16 <sub>800</sub>	7:3
OPD18 <sub>300</sub>	később azonosítva
OPD18 <sub>500</sub>	2:5
OPK18 <sub>320</sub>	7:2
OPK18 <sub>450</sub>	6:9
OPK18 <sub>620</sub>	4:4
OPT16 <sub>980</sub>	7:3
OPT16 <sub>920</sub>	2:6
OPZ17 <sub>1500</sub>	6:1

Az agaróz gélen végzett elektroforézis során a túlságosan hosszú futtatási idő miatt az OPD18 primerrel kimutatható mindössze 300 bp-nyi kis terméket nem tudtuk megfigyelni. A teljes populáció vizsgálatakor azonban egyértelműen kimutatható volt a jelenléte a vizsgált genotípusokban. Santra et al. (2000) által közölt OPK02 primer az általunk vizsgált szülőkben monomorfnak bizonyult, így a további tesztelésekből kizártuk.

A továbbiakban a 98 utód törzs és a két szülő, azaz összesen 100 törzs DNS-ének felhasználásával vizsgáltuk a populációban a markerek jelenlétét (2. kép). Korrelációanalízissel megállapítottuk a markerek és a két évben mért Minolta b\* adatok átlagértékeinek kapcsoltságát. A korrelációs koefficiensek értékét a 27. táblázat tartalmazza.

2. kép. A térképező populációt alkotó durumbúzatörzsek DNS mintáinak elemzése OPK18 RAPD markerrel



27. táblázat. RAPD markerek összefüggése a két évben mért Minolta b\* adatok átlagával Martonvásár, 2005

Marker	<i>r</i>	<i>R</i> <sup>2</sup>
OPA16 <sub>800</sub>	0,41*	0,17
OPD18 <sub>300</sub>	-0,29*	0,08
OPD18 <sub>500</sub>	0,06	0,00
OPK18 <sub>320</sub>	0,10	0,01
OPK18 <sub>450</sub>	-0,18	-0,03
OPK18 <sub>620</sub>	0,05	0,00
OPT16 <sub>980</sub>	0,12	0,01
OPT16 <sub>920</sub>	-0,21*	-0,04
OPZ17 <sub>1500</sub>	0,36*	0,13

\*= a korrelációs koefficiens  $p < 0,05$  szinten szignifikáns

A vizsgált 9 marker közül 4 szignifikánsan korrelált a Minolta b\* értékkel. Az *r*-értékek nagysága és előjele az egyesített összetevők vizsgálatával összhangban a várakozásoknak megfelelő volt. A legszorosabb összefüggést az OPA16<sub>800</sub> markerrel mutattuk ki, amellyel

önmagában a Minolta  $b^*$  érték varianciájának 17%-át tudtuk magyarázni. A 0,36-os korrelációs koefficienssel az OPZ17<sub>1500</sub> volt a második legszorosabban kapcsolt marker.

Valamennyi markert együttesen figyelembe véve lépcsős regresszióval is elemeztük adatainkat. Az e módszerrel számított többszörös korrelációs koefficiens értéke ( $R$ ) 0,6485 volt, a többszörös determinációs koefficiens ( $R^2$ ) 0,4205-re nőtt, azaz a 9 markerrel a rendszer varianciájának jelentős hányadát tudtuk magyarázni. A többszörös regresszióval az egyes markerek közül az OPA16<sub>800</sub>, OPD18<sub>300</sub>, OPK18<sub>320</sub> és az OPZ17<sub>1500</sub> markerek korrelációját bizonyítottuk. Amennyiben csak a felsorolt 4 markert vontuk be az elemzésbe még mindig  $R = 0,6485$  és  $R^2 = 0,3773$  értékeket számítottunk.

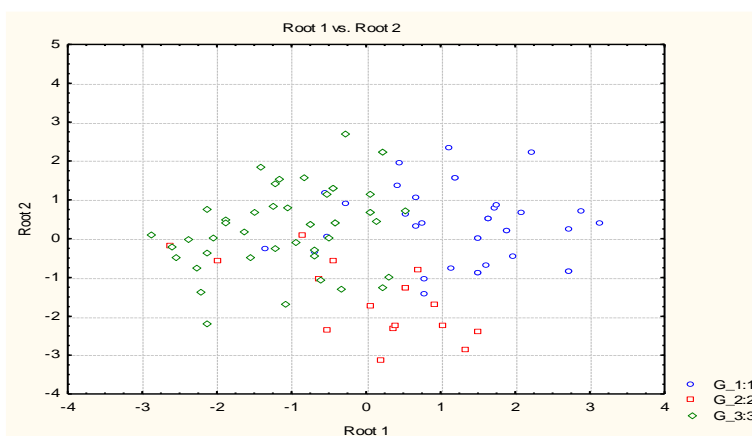
A továbbiakban diszkriminanciaanalízissel vizsgáltuk a Minolta  $b^*$  alapján történő csoportosítás helyességét. A vizsgált törzseket három csoportba soroltuk. Az első csoportba kerültek azok a törzsek, melyek Minolta  $b^*$  értéke pozitív irányban szignifikánsan eltért a populáció átlagától (37db), másodikba azok, melyek statisztikailag az átlaggal megegyezők voltak (17 db), míg a harmadikba az átlagosnál szignifikánsan kisebb Minolta  $b^*$  értékű durumbúzatörzseket soroltuk (46db). A számításokat a 9 markerrel együttesen, illetve a többszörös regressziónál azonosított szignifikánsan korreláló 4 markerrel külön is elvégeztük. A csoportosítás eredményét a 28. táblázat tartalmazza.

28. táblázat A Minolta  $b^*$  érték alapján csoportosított törzsek besorolásának ellenőrzése a RAPD markeres adatok diszkriminanciaanalízisével

Csoportosítás		Feltételezett							
		9 marker alapján				4 marker alapján			
		Egyező %	1	2	3	Egyező %	1	2	3
Számított	1	83,78	31	1	5	78,37	29	2	6
	2	64,71	1	11	5	29,47	6	5	6
	3	82,61	3	5	38	93,47	3	0	43
	Összes	80,00	35	17	48	77,00	38	7	55

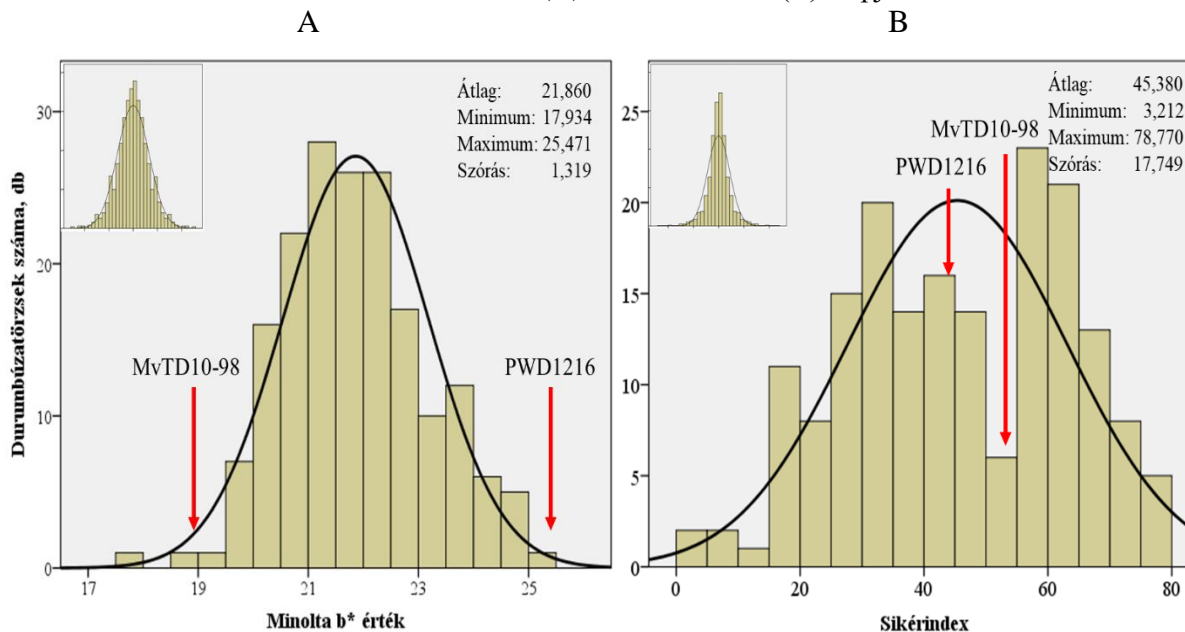
A diszkriminanciaanalízis eredménye alapján a 9 markerrel a törzsek 80%-a helyesen sorolható be a megfelelő Minolta  $b^*$  értékű csoportba. A négy legszorosabban kapcsolt markert használva, a helyes csoportba sorolás aránya 77%-ra csökkent, azonban a kis Minolta  $b^*$  értékű csoportban ez az arány 93,47%-ra nőtt. Ez azt jelenti, hogy a négy szignifikáns hatású RAPD markerrel a rossz technológiai minőségű törzsek nagy valószínűséggel azonosíthatók. A csoportokat grafikusán ábrázolva az első és második kanonikus változó függvényében a három csoport egymástól jól elkülöníthető (19. ábra)

19. ábra Őszi durumbúzatörzsek csoportosítása diszkriminanciaanalízissel, négy marker alapján



Vizsgálataink második szakaszában 179 rekombináns beltenyésztett törzs DNS mintáit használtuk. A térképező populáció és törzseinek Minolta b\* és sikerindex adatait a 20. ábrán mutatjuk be. Az ábrákon a Minolta b\* érték esetén 13, a sikerindexnél 5 év átlagadatait tüntettük fel.

20. ábra. A 'PWD1216/MvTD10-98' térképező populáció törzseinek eloszlása Minolta b\* értékük (A) és sikerindexük (B) alapján



Megjegyzés: az ábrák bal felső sarkában a reziduálisok eloszlása látható, ami mindkét tulajdonság esetén a normál eloszláshoz közelített.

A két szülőtörzs a Minolta b\* érték alapján a populáció szélső értékeihez közeli pozícióban található. A térképező populáció létrehozásának időpontjában sárgapigment-tartalom alapján a 'PWD1216' volt a teljes nemesítési programban az egyik legnagyobb Minolta b\* értékű törzs, míg az 'MvTD10-98' a legrosszabbak között szerepelt. A populáció létrehozásával a Minolta b\* értéket meghatározó kromoszómaregiókat terveztük azonosítani. A későbbi vizsgálatok során figyeltük meg, hogy a populáció törzseinek sikerindexe is rendkívül változatos. Ez az eredmény váratlan volt, hiszen a két szülő sikerindexe átlagos és a közöttük kimutatott különbség sem volt számottevő. A populációban a két vizsgált tulajdonság esetén olyan szintű változatosságot mutattunk ki, ami alkalmassá tette a QTL elemzés kivitelezését.

A molekuláris vizsgálatok eredményeként összeállítottuk a 'PWD1216/MvTD10-98' populáció kapcsoltsági térképét. A fejezet korábbi szakaszában ismertetett, a Minolta b\* értékkel kapcsolt RAPD markerek közül ötöt (OPA17<sub>800</sub>, OPD18<sub>300</sub>, OPK18<sub>450</sub>, OPT16<sub>920</sub> és OPZ17<sub>1500</sub>) a térképezésnél is bevontuk az elemzésbe. Az AFLP technikával 171, mikroszatellit markerekkel 55 eltérő mintázatot azonosítottunk. A DArT elemzés során 471 markernél mutattak ki polimorfizmust, melyek közül 59 nem felelt meg a mendeli hasadás szabályainak, ezért a további vizsgálatból ezeket kizártuk. Mivel a térképező populáció törzsei a szálla színe alapján két csoportot alkottak, ezt a tulajdonságot morfológiai markerként bevontuk az elemzésbe. Így a populáció molekuláris térképezéséhez összesen (5+171+55+412+1=) 644 marker vizsgálatából származó információt használhattunk. A markerek száma tovább csökkent a redundáns és a mendeli hasadási arányoknak nem megfelelő eloszlású markerek kizárásával. A JoinMap program 3 AFLP és 3 DArT markert nem tudott kapcsoltsági csoporthoz rendelni, emellett 4 AFLP markerből egy külön csoportot alakított ki. Mivel ez utóbbiak kromoszómális lokalizációja nem ismert, ezért e csoport kromoszómához rendelése nem volt lehetséges. A



populáció végleges kapcsoltsági térképe így összesen 454 marker alapján készült el. A durumbúza 14 kromoszómája összesen 31 kapcsoltsági csoportot tartalmazott. A kromoszómák 1 (1A, 1B, 4B), 2 (2A, 4A, 6A, 6B, 7B), vagy 3 (2B, 3A, 3B, 5A, 5B, 7A) kapcsoltsági csoportból épültek fel. A térkép teljes hossza 1550,1 cM.

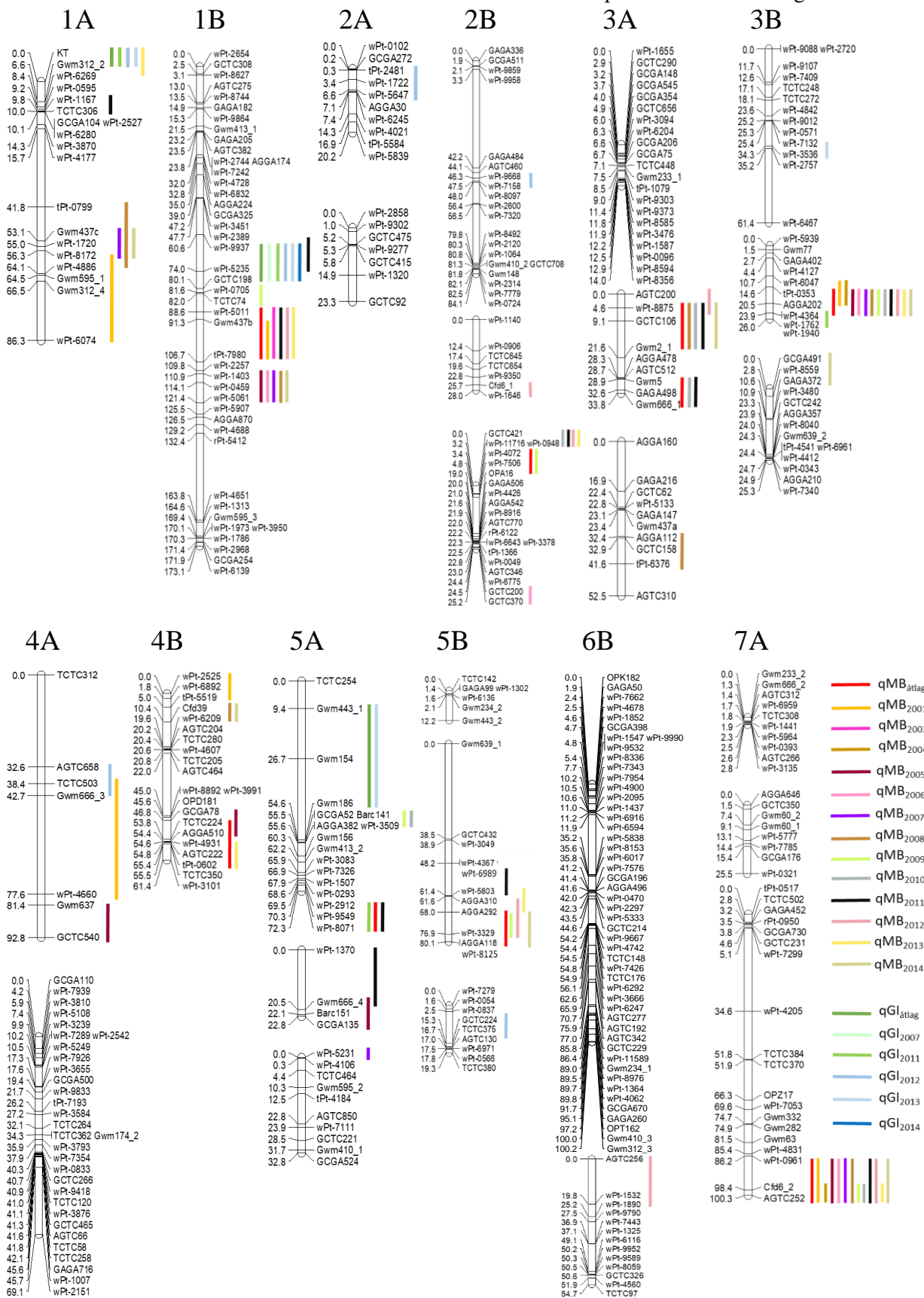
A térkép összeállítását követően QTL-analízissel a Minolta b\* értékkel és a sikerindexszel kapcsolt kromoszómarégiókat azonosítottunk. Az elemzést MapQTL5 szoftverrel végeztük, MQM (*multiple QTL mapping = composite interval mapping*) módszerrel (Jansen 1993, 1994), ami kétszülős térképezési populációkban a kofaktorok figyelembe vételével hatékonyan alkalmazható a mennyiségi tulajdonságokat meghatározó kromoszómarégiók azonosítására. A számításokat az átlagértékek, valamint az évenkénti adatok alapján is elvégeztük. Az QTL-analízis eredményét a 29. táblázat, a 21. ábra és 4. melléklet tartalmazza. A 29. táblázatban a JoinMap4 program által kialakított kapcsoltsági csoportok azonosító számát, valamint a QTL régiók legnagyobb LOD értékeit (csúcsok) tüntettük fel. Jelentős hatásúnak a  $LOD \geq 3$  (Gadaleta et al. 2014, Marcotuli et al. 2017) értékű kromoszómarégiókat tekintettük. A „Pozíció” a QTL csúcsának elhelyezkedését jelenti, az adott kapcsoltsági csoport rövid karjának vége felől számozva. Legközelebbi markerként a QTL csúcsához legkisebb távolságra térképezett molekuláris markert kezeltük, illetve a táblázatban ennek a QTL-csúcstól mért távolságát is megadtuk. Kiemelten lényeges információ a QTL által magyarázott variancia értéke, hiszen ennek nagysága a QTL vizsgált tulajdonságra gyakorolt hatásának erősségét jelzi. Az additív hatás a két alléltípust hordozó genotípusok átlaga közötti különbségre vonatkozik. Pozitív érték esetén a 'PWD1216' típusú allélt hordozó utódtörzsek átlaga volt nagyobb, míg a negatív érték az 'MvTD10-98' szülő alléljének pozitív hatását jelzi.

29. táblázat. A Minolta b\* értékkel és a sikerindexszel kapcsolt QTL régiók az átlagértékek elemzése alapján

QTL	KCS	LOD érték	Pozíció cM	Legközelebbi marker	Távolság a legnagyobb LOD értéktől cM	$\sigma^2\%$	Additív hatás
<i>Minolta b*</i>							
qMB_1B	10	12,70	97,280	Gwm437b	6,000	10,8	1,0452
qMB_2B	8	6,31	10,811	wPt-7506	6,000	5,8	0,6157
qMB_3A.1	24	8,27	7,563	GCTC106	1,470	6,4	0,7495
qMB_3A.2	24	5,57	32,597	GAGA498	0,000	4,3	-0,5911
qMB_3B	3	17,08	20,476	AGGA202	0,000	12,8	0,9808
qMB_4B	12	4,33	54,441	AGGA510	0,000	2,5	0,4598
qMB_5A	18	4,10	70,313	wPt-9549	0,000	3,3	0,4676
qMB_5B	22	5,67	73,973	wPt-3329	2,827	4,6	0,5912
qMB_7A	17	31,62	127,66	Cfd6_2	1,000	29,6	1,4751
<i>Sikerindex</i>							
qGI_1A	16	5,69	0,000	Bla1	0,000	5,1	8,0064
qGI_1B	10	43,06	71,556	wPt-5235	2,463	62,4	-28,5341
qGI_5A	18	4,42	35,677	Gwm154	9,000	6,4	9,0287

Megjegyzés: A QTL elnevezése: q = QTL; MB = Minolta b\* érték; GI = sikerindex; az aláhúzás után a kromoszóma megnevezése szerepel, ahol a QTL található. KCS = kapcsoltsági csoport; LOD (*logarithm of odds*) = az esély 10-es alapú logaritmus;  $\sigma^2\%$  = az adott QTL a rendszer teljes varianciájának hány %-át magyarázza.

21. ábra. A Minolta b\* értékkel és a sikérindexszel kapcsolt kromoszómaregiók



Jelmagyarázat: q = QTL; MB = Minolta b\* érték; GI = sikérindex; alsó index: a kísérlet betakarításának éve

A szignifikáns hatású kromoszómarégiók azonosítását követően a QTL csúcshoz legközelebbi molekuláris marker alapján meghatároztuk a szülőkre jellemző allélt hordozó csoportok átlagos Minolta b\* értékét és sikerindexét. A csoportátlagok közötti eltérés megbízhatóságát *t*-próbával teszteltük (30. táblázat).

30. táblázat. A QTL-ekkel legszorosabban kapcsolt markerek alapján elkülönített csoportok Minolta b\* értéke és sikerindexe, a csoportok közötti különbségek, valamint a csoportok átlagértékei közötti eltérés elemzése *t*-próbával

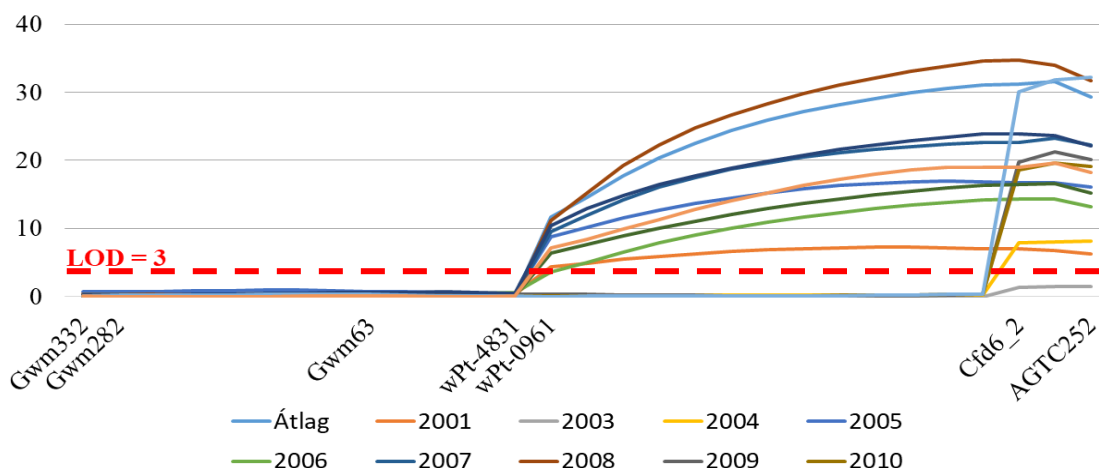
QTL	Legközelebbi marker	Allél		Különbség	<i>t</i> -érték
		PWD1216	MvTD10-98		
<i>Minolta b*</i>					
qMB_1B	Gwm437b	22,484	21,660	0,824	2,543 *
qMB_2B	wPt-7506	22,080	21,646	0,434	2,128 *
qMB_3A.1	GCTC106	22,042	21,734	0,308	1,530 <sup>ns</sup>
qMB_3A.2	GAGA498	21,785	21,941	-0,156	0,764 <sup>ns</sup>
qMB_3B	AGGA202	22,265	21,311	0,954	5,024 ***
qMB_4B	AGGA510	22,085	21,550	0,535	2,615 **
qMB_5A	wPt-9549	21,936	21,713	0,223	1,007 <sup>ns</sup>
qMB_5B	wPt-3329	22,126	21,487	0,639	3,229 **
qMB_7A	Cfd6_2	22,576	21,059	1,517	9,277 ***
<i>Sikerindex</i>					
qGI_1A	Bla1	49,280	41,693	7,587	2,918 **
qGI_1B	wPt-5235	32,511	57,072	-24,561	11,971 ***
qGI_5A	Gwm154	48,239	43,018	5,221	1,973 *

Megjegyzés: A QTL elnevezése: q = QTL; MB = Minolta b\* érték; GI = sikerindex; az aláhúzás után a kromoszóma megnevezése szerepel, ahol a QTL található.

A 'PWD1216/MvTD10-98' populációban a két technológiai minőségi tulajdonságot komplex genetikai háttér szabályozza. A 14 durumbúza kromoszóma közül tizenkettőn azonosítottunk a Minolta b\* értéket, vagy a sikerindexet meghatározó QTL-t (21. ábra), de az átlagértékek alapján az 1A, 1B és az 5A kromoszómán mindkét tulajdonságot szabályzó lokuszok megtalálhatók. A Minolta b\* esetén a 3B és a 7A kromoszómán elhelyezkedő QTL-ek az évek túlnyomó többségében szignifikáns hatásúnak bizonyultak (a legerősebb hatású qMB\_7A QTL LOD értékeit a 22. ábrán szemléltetjük), de az 1B, 2B, 3A, 3B, 4B, 5A és 5B kromoszómára térképezett lokuszok is több évben, valamint az évek átlagában is megjelentek. A sikerindexet alapvetően az 1-es homeológ kromoszómák határozták meg a legtöbb esztendőben, de e tulajdonságnál is volt olyan régió az 5A kromoszómán, melynek hatását csak két évben lehetett azonosítani.

A DNS-szintű vizsgálatok során kapcsolt markerekkel dolgoztunk, melyektől a vizsgált tulajdonságokat meghatározó QTL-ek csúcsa kisebb-nagyobb távolságban található. A 29. táblázat alapján megállapítható, hogy a Minolta b\* érték esetén négy, a sikerindexnél pedig egy marker rendkívül szorosan kapcsolódott (távolságuk a legnagyobb LOD értékű régiótól 0) a tulajdonságokat meghatározó QTL csúcshoz és mindössze három olyan marker volt, amely 5 cM-nál nagyobb távolságra helyezkedett el a legnagyobb LOD értékű pozícióhoz viszonyítva. A fenotípusos varianciát több QTL is 10%-nál erősebben határozta meg. A Minolta b\* értéknél a legerősebb hatású a 7A kromoszóma hosszú karján található régió volt (29,6%), ezt a 3B (12,8%) és a 1B (10,8%) kromoszómán azonosított QTL követte. A sikerindexet egy, az 1B kromoszómán lokalizált lokusz alapvetően meghatározta, amely a populációban megfigyelhető teljes fenotípusos variancia 62,4%-át magyarázta.

22. ábra. A Minolta b\* értékkel kapcsolt, 7AL kromoszómakar disztális régióján található QTL LOD értékei



A markerek alapján elkülönített csoportok adatait elemezve, a kapcsoltság mértékétől függően, a különböző allélokat hordozó durumbúzatörzsek közötti eltérés (30. táblázat) kisebb-nagyobb mértékben eltért a QTL-analízis során számított additív hatáshoz viszonyítva (29. táblázat). A csoportátlagok közötti különbség azonban még így is a 12 azonosított QTL közül 9-ben statisztikailag igazolható volt. A QTL-ek nagy száma miatt főként a Minolta b\* érték, de a sikerindex genetikai szabályozása is komplexnek tűnik. Ennek ellenére a néhány kiemelkedően nagy hatású lokusz miatt a szelekció nagy valószínűséggel már korai generációkban is hatékonyan végezhető. A feltételezésünk igazolására lépcsős regresszióval vizsgáltuk, hogy a QTL-ek együttes figyelembevételével a fenotípusos variancia mekkora aránya magyarázható. A Minolta b\* érték adatainak elemzésekor mindössze két markerrel (a qMB\_7A lokusszal kapcsolt Cfd6\_2 és a qMB\_3B.2 alléljeinek elkülönítésére alkalmas AGGA-202) a teljes variancia ( $R^2$ ) 63,3%-át értelmezhetjük. Ezt az arányt 5 QTL (qMB\_7A, qMB\_3B.2, qMB\_5B, qMB\_1B) együttes figyelembevételével 76,3%-ra növeltük. A három legerősebb hatású QTL (qMB\_7A, qMB\_3B.2 és qMB\_1B) alapján csoportosítottuk a térképező populáció törzseit, majd összehasonlítottuk a három lokuszon kizárólag 'PWD1216', vagy 'MvTD10-98' allélt hordozó genotípusokból álló két csoport átlagos Minolta b\* értékét. A 'PWD1216' allélt tartalmazó törzsek (16 db) Minolta b\* értéke 23,776, az 'MvTD10-98'-asoké 19,932 volt. Az átlagok statisztikai azonosságát kétmintás  $t$ -próbával ( $F$ -érték: 1,063<sup>ns</sup>, ezért egyenlő szórásnégyzeteknél) vizsgáltuk. A két csoport közötti különbség szignifikánsnak bizonyult ( $t$ -érték = 7,1652<sup>\*\*\*</sup>), ami azt bizonyította, hogy ebben a populációban már a három marker használatával is hatékonyan el lehetett különíteni a kis és a nagy sárgapigment-tartalmú utódtörzseket.

A sikerindex értékét kevesebb QTL befolyásolta. A legnagyobb hatású qGI\_1B régióban a kapcsolt wPt-5235 marker lokusza nagyobb távolságra térképeződött a QTL csúcsától, így mindössze a fenotípusos variancia 48,0%-át magyarázta (szemben az QTL-re számolt 62,4%-kal). A maximális hatékonyság a három marker (wPt-5235, *Blal*, Gwm154) együttes használatával érhető el, azonban még így is csak a teljes variancia 58,4% értelmezhető. Csupán a legerősebb hatású qGI\_1B lokusz alléljai alapján elkülönített két csoport statisztikailag igazolhatóan különbözött egymástól ( $t$  = 9,819<sup>\*\*\*</sup>), a 'PWD1216' (P) szülőre jellemző törzsek (77 db) átlagos sikerindexe 32,511, az 'MvTD10-98'-asoké (M) pedig 57,072 volt. Amennyiben a következő – bár az előzőnél nagyságrendileg kisebb hatású, de a varianciának még így is legalább 5%-át meghatározó – QTL-t (qGI\_1A lokusz) is figyelembe vettük, a csoportok közötti különbség tovább nőtt. A kedvezőbb allélkombinációt (wPt-5235: M + *Blal*:

P) hordozó törzsek (39 db) átlagos sikerindexe 61,929, míg az ezzel ellentétes összetételűeké (41 db) 29,024 volt ( $t = 12,396^{***}$ ).

A 'PWD1216/MvTD10-98' populáció molekuláris szintű vizsgálatát 2012-ben befejeztük, a minőségvizsgálatokat pedig még további két éven át folytattuk. A technika akkori színvonalának megfelelő lefedettségű kapcsoltsági térképet hoztunk létre, melyen a két vizsgált tulajdonságot meghatározó QTL-eket azonosítottunk. Az általunk használt DArT markerek lokuszának elhelyezkedése ismert volt a búza kapcsoltsági térképén, ami lehetőséget biztosított a Minolta b\* és a sikerindex értéket meghatározó kromoszómaszakaszok pozicionálására. Ez a lépés természetesen még nem tette lehetővé a QTL-ek szekvenciákhoz, feltételezett génekhez kapcsolását. Ezt követően több konszenzus térkép is megjelent (Maccaferri et al. 2014a és 2014b; Colassuonno et al. 2021), melyek közül Maccaferri et al. (2014a) összefoglaló munkájában az általunk vizsgált populáció adatai is szerepeltek.

A 'Svevo' olasz durumbúza fajta genomjának szekvenciáját 2019-ben Maccaferri et al. közzétették („*Durum Wheat cv. Svevo RefSeq Release 1.0*”), ami több nyilvánosan elérhető adatbázisban is megtalálható (*European Nucleotide Archive*: <https://www.ebi.ac.uk/ena/browser/view/PRJEB22687>), ismert markereket és QTL-eket tartalmazó (*GrainGenes*: <https://wheat.pw.usda.gov/jb/?data=/ggds/whe-svevo2018>), vagy szekvencia keresésére alkalmas („BLAST-olható”) formátumban (*EnsemblPlants*: [http://plants.ensembl.org/Triticum\\_turgidum/Info/Index](http://plants.ensembl.org/Triticum_turgidum/Info/Index)). Az újonnan megjelent információ vizsgálataink kiterjesztésére adott lehetőséget. A molekuláris marker lokuszok jelentős részének (SSR és DArT markerek) fizikai elhelyezkedése ismertté vált a 'Svevo' fajta kromoszómáin. Ez alapján az általunk vizsgált populációban azonosított marker lokuszok elhelyezkedése lehetővé tette a QTL kimutatására alkalmas marker közelében, vagy két marker lokusz közötti régióban található, feltételezett gének keresését. A lutein szintézisben szerepet játszó gének egy részének elhelyezkedése ismert a kromoszómákon. A tartalékfehérjéket alkotó alegységek termeltetéséért felelős gének elhelyezkedése úgyszintén. A gének teljes biztonsággal történő azonosítását a szekvencia ismeretének hiányában nem lehetett elvégezni, de egy meghatározott régióban található gén, vagy gének azonosítása így már több esetben lehetséges volt. Ez a módszer a tulajdonságokat legerősebben meghatározó QTL régiók és a közelben található gének funkciójának összekapcsolására is lehetőséget biztosított.

A gének és marker lokuszok egy részének szekvenciája ismeretlen volt a 'Svevo' genomján. Ekkor vagy a homológ gén, vagy pedig a marker bázissorrendje alapján (BLAST) kerestünk a kromoszómák adott régiójában azonosítható szekvenciákat. Ezek egyike a Minolta b\* értéket legnagyobb mértékben meghatározó 7A kromoszóma hosszú karjának disztális régiójában elhelyezkedő QTL volt. Irodalmi forrásokból ismert tény, hogy ebben a régióban található a *PsyI-A1* gén (Pozniak et al. 2007), ugyanakkor a 'Svevo' genomtérképén ez a gén nem azonosítható ([http://plants.ensembl.org/Multi/Search/Results?species=all;idx=q=phytoene;site=ensemblunit&filter\\_species=triticum\\_turgidum](http://plants.ensembl.org/Multi/Search/Results?species=all;idx=q=phytoene;site=ensemblunit&filter_species=triticum_turgidum)). A 7B homológ szekvenciával (TRITD7Bv1G231270) végzett BLAST keresés eredménye alapján a 7A kromoszóma 700016511 és 700016850 bázis közötti szakaszával 340 bázis hosszúságban 96,5%-os egyezőséget mutattunk ki ( $E$ -érték:  $1,9e^{-161}$ ). Kapcsoltsági markertérképünkön ebben a régióban azonosítottunk nagy hatású QTL-t, így a két eredmény összekapcsolásával nagy valószínűséggel kijelenthető, hogy a sárgapigment-tartalmat a 'PWD1216/MvTD10-98' populációban a *PsyI-A1* lokusz alléljai szabályozzák elsődlegesen.

Mivel a DArT és a mikroszatellit markerek többségének lokusza ismert a 'Svevo', vagy a 'Chinese Spring' genomon, ez további lehetőséget biztosított a kapcsoltsági és a szekvencia szintű térkép adatainak összekapcsolására, a QTL-régiók funkcióinak feltételezésére. A 31. táblázatban összesítettük az általunk azonosított QTL-ek pozícióit a kapcsoltsági térképen, valamint ezek fizikai lokalizációját a kromoszómákon.

31. táblázat. A Mino1ta b\* értéket és a sikerindex nagyságát szabályzó QTL-ek elhelyezkedése a kapcsoltsági térképen, a 'Svevo' referencia genom térképen, valamint a QTL közelében található gén(ek)

QTL	$\sigma^2$	PWD1216/MvTD10-98 térkép				Svevo RefSeq 1.0			
		Kromoszóma mérete, cM	Kezdő marker	Pozíció cM	Záró marker	Pozíció cM	Kromoszóma mérete, Mb	QTL régió Mb	A régióban található gén
<i>Mino1ta b*</i>									
qMB_1B	10,8	173,132	wPt-5011	88,554	tPt-7980	106,700	681,113	582,364-624,312	$\alpha/\beta$ -hidroláz, peroxidáz
qMB_2B	5,8	137,300	wPt-4072	115,486	wPt-4426	133,130	790,339	756,137-	Polidenol-oxidáz analóg, peroxidázok
qMB_3A.1	6,4	100,300	wPt-8875	18,563	Gwm2	35,577	746,673	-55,679	
qMB_3A.2	4,3		Gwm5	42,861	Gwm666	47,837		-720,159	Likopin $\beta/\epsilon$ -cikláz, peroxidázok
qMB_3B	12,8	112,700	wPt-6047	72,070	wPt-4364	85,307		487,898-	Peroxidázok
qMB_4B	2,5	61,427	wPt-3991	45,041	wPt-4931	54,616	676,293	-178,094	Peroxidáz
qMB_5A	3,3	127,900	wPt-2912	69,451	wPt-8071	72,262	669,156	-546,271	Fitoén-szintáz (Psy2-A1), peroxidázok
qMB_5B	4,6	111,600	wPt-5803	61,417	wPt-3329	76,860	701,373	444,524-611,222	Fitoén szintáz, peroxidáz
qMB_7A	29,6	128,600	wPt-0961	114,464	AGTC252	128,600	728,032	624,156-	Fitoén-szintáz (Psy1-A1)
<i>Sikerindex</i>									
qGI_1A	5,1	86,271	Bla1	0	wPt-6269	6,608	585,267	-66,117	LMW gluteninek (Glu-A3), $\omega$ és $\gamma$ -gliadinok (Gli-A1)
qGI_1B	62,4	173,132	wPt-9937	60,556	wPt-5235	74,019	681,113	527,881-	HMW glutenin (Glu-B1)
qGI_5A	6,4	127,900	Gwm443	9,356	Gwm186	54,585	669,156	11,994-423,999	

Megjegyzés: A QTL elnevezése: q = QTL; MB = Mino1ta b\* érték; GI = sikerindex; az aláhúzás után a kromoszóma megnevezése szerepel, ahol a QTL található.  $\sigma^2$  = az adott QTL a rendszer teljes varianciájának hány %-át magyarázza; cM = centimorgan; Mb = megabázis.

A táblázatban – amennyiben ismert volt – azon géneket is feltüntettük, melyek vagy a lutein szintézisben játszanak szerepet, esetleg a sárga színanyagok degradációját végző enzimeket kódolnak, illetve a sikérindexszel kapcsolatban a tartalékfehérje-alegységek termeltetését irányítják. A lutein szintézisben e gének között található fitoén-szintázok (5A, 5B és 7A kromoszómán), likopén-ciklázok (3A és 3B), a karotinoid származékokat lebontó enzimek közül polifenol-oxidáz (2B) és peroxidázok (1B, 2B, 3A, 3B, 4B, 5A és 5B) fordulnak elő a QTL-ek régióiban, vagy azok közelében. A sikérindex a sikérváz erősségének mérőszáma. A sikérmátrixot elsősorban a tartalékfehérje-alegységek típusa, kapcsolódásuk során kialakuló térszerkezet határozza meg. Az 1A kromoszóma rövid karjának disztális régiójában a kis molekulatömegű (LMW) glutenineket kódoló *Glu-A3*, valamint az  $\omega$  és  $\gamma$ -liadinok képzését irányító *Gli-A1* lokusz található. Az általunk legerősebb hatásúként azonosított qGI\_1B lokusz elhelyezkedése a HMW glutenineket kódoló *Glu1-B1* lokuszéhoz hasonló. Ezekben az esetekben az ok-okozati összefüggés egyértelműen kimutatható. A többi QTL szerepe kérdéses. A megadott régiókban fehérje transzportot és -raktározást szabályzó gének helyezkednek el, de ezek funkciója részletesen nem ismert, ezért nem tettünk kísérletet a QTL-ek és a gének közötti kapcsolat megállapítására.

A kétszülős térképezési populációban végzett vizsgálataink a HMW glutenin alegységek és a sikérindex értékek erős összefüggést bizonyították. A nagy molekulatömegű alegységekről már Payne et al. 1979-ben közölt publikációja óta ismert, hogy a kenyérbúza sikérerősségét szignifikánsan meghatározzák. Durumbúzában ugyanakkor elsődleges szerepet az LMW alegységeknek tulajdonítottak (Payne et al. 1984b, Pogna et al. 1988, Sissons et al. 2005). Néhány kutatócsoport azonban a HMW gluteninek és a sikérerősség közötti összefüggést is bizonyította. Branlard et al. (1989) a kísérleteikben a legjelentősebb hatású *Glu1-B1* lokuszon durumbúzában 11 allél (melyek közül három korábban ismeretlen volt) jelenlétét mutatták ki, tehát a genetikai variabilitás jelen van ebben a fajban is az 1BL kromoszómakaron. Brites és Carillo (2001), valamint Sissons et al. (2005) már alegység kombinációk sikérerősségre gyakorolt előnyös hatását is leírták. Mivel a molekuláris elemzés az általunk vizsgált populációban az *Glu1-B1* lokusz előre nem várt erős hatását mutatta ki, a 10 legnagyobb és a 10 legkisebb sikérindexű törzsön SDS poliakrilamid gélelektroforézissel, fenotípusosan is megvizsgáltuk, hogy milyen alegységek jelenléte okozhatta az eltérést a törzsek sikérindexében. A vizsgálat eredményét a 32. táblázat tartalmazza.

32. táblázat. A kétszülős térképezési populáció 10 legnagyobb és 10 legkisebb sikérindexű (5 év átlaga alapján) törzsének HMW glutenin alegység összetétele

Nagy sikérindexű törzsek				Kis sikérindexű törzsek			
Törzs	Sikérindex	Glu1-A1	Glu1-B1	Törzs	Sikérindex	Glu1-A1	Glu1-B1
G58	75,17	0	7+8	G22	3,21	0	13+16
G135	71,68	0	7+8	G48	3,59	0	13+16
G136	78,11	0	7+8	G74	11,73	0	13+16
G137	71,90	0	7+8	G78	17,40	0	13+16
G138	71,81	0	7+8	G88	17,66	0	13+16
G155	75,79	0	7+8	G89	17,77	0	13+16
G157	73,07	0	7+8	G146	17,98	0	13+16
G171	76,81	0	7+8	G216	17,79	0	13+16
G180	70,36	0	7+8	G217	9,90	0	13+16
G223	73,91	0	7+8	G218	17,40	0	13+16
Átlag	73,86				13,44		
MVTD10-98	53,11	0	7+8	PWD1216	44,70	0	13+16

A szélsőséges sikérindexű törzsek HMW glutenin alegység összetételük alapján egyértelműen elkülöníthetők voltak. Az 'MvTD10-98' szülőre jellemző 7+8 mintázatot

azonosítottuk valamennyi erős sikérszerkezetű törzsből, míg a 'PWD1216' szülővel azonos alegység összetétel valamennyi vizsgált kis sikerindexű törzsből jelen volt.

A genetikai tulajdonságokat meghatározó kromoszómarégiók azonosításának egyik lehetséges változata kétszülős térképezési populációk létrehozása. Ezek kiindulási alapja (Xu et al. 2017) lehet az  $F_2$  generáció, visszakeresztezéssel létrehozott genotípusok, kettős haploidok (DH), közel-izogén törzsek (NIL), vagy rekombináns beltenyésztett törzsek (RIL). A vizsgált tulajdonsággal összefüggő kromoszómaszakaszok azonosítása és azok hatásának megállapítása genetikai térképezéssel és QTL analízissel történik. Napjainkban már ritkábban használnak kétszülős térképezési populációkat (pl. Zaïm et al. 2020), elterjedtebb módszer az asszociációs térképezés (GWAS), melynek során széles genetikai bázisú populációkat vizsgálnak. E fejezetben közölt eredmények egy olyan kétszülős RIL populáció vizsgálatából származnak, melynek létrehozásához a keresztezést 1998-ban végeztük és az első technológiai minőségvizsgálatra 2001-ben került sor. A GWAS alkalmazása ekkor még csak *Arabidopsis*-ban kezdődött el (Rafalski 2002), de a RIL populációk használata is mindössze néhány évvel azelőtt kezdett terjedni növényfajokban (Soller és Beckmann 1990). A Martonvásáron létrehozott RIL populáció igazi különlegesség, hiszen őszi durumbúzában hasonló genetikai anyag akkoriban (és tudomásom szerint ez jelenleg is igaz) nem állt rendelkezésre a fenotípusos és molekuláris szintű vizsgálatokhoz. Emellett az egyik legnagyobb elemszámú, legtöbb törzset tartalmazó durumbúza térképezési populáció (Maccaferri et al. 2014a). A két szülőt a szélsőséges Minolta b\* értékeik alapján választottuk ki keresztezésre, azonban a 24. táblázat adatait nézve megállapítható, hogy több tulajdonság genetikai elemzésére is alkalmas populációt hoztunk létre.

A kétszülős populáció adatai is bizonyították, hogy a disszertáció anyagát képező két technológiai minőségi tulajdonság a genotípus által erősen meghatározott, jól öröklődő bélyeg. A 4.3. fejezetben bemutatott, széles genetikai bázisú fajtakör adatai alapján számított ismételhetőség ( $h^2 = 0,978$ ) kevesebb, mint 2%-kal tért el a térképező populáció adataiból számítottól ( $h^2 = 0,959$ ). A sikerindex ismételhetősége ennél nagyobb mértékben különbözött. A széles genetikai bázisú fajtakör genotípusainak adatait használva 0,95-öt megközelítő  $h^2$  értéket számítottunk, ugyanakkor ez a térképező populáció törzseinél éppen 0,9 alatt maradt. A 4.3. fejezetben leírtakat nem megismételve, eredményeink összhangban állnak más kutatócsoportok által a durumbúza genotípusok vizsgálatát követően számított eredményekkel (Clarke et al. 2000 és 2009b, Braaten et al. 1962, Santra et al. 2005, Clarke et al. 2006, Taneva et al. 2019), valamint őszi durumbúza populációkra vonatkozó korábbi adatokkal (Longin et al. 2013, Vida et al. 2013). Bár szorosan nem képezi a disszertáció témáját, de a kalászolási idő és a növénymagasság esetén más kutatócsoportok is nagy  $h^2$  értékeket számítottak (tavaszi durumbúzában Abinasa et al. 2011, Wolde et al. 2016, Moreno-Amores et al. 2020, őszi durumbúzában Longin et al. 2013). Longin et al. (2013) kísérletében őszi durumbúza fajták és törzsek nedvessikér-tartalmának ismételhetősége 0,62 volt, amit saját megfigyeléseink is alátámasztottak ( $h^2 = 0,651$ ). A fitotroni hidegtűrés genetikai meghatározottságával kapcsolatban nincs elérhető információ. Provokációs kísérletben (700 m tengerszint fellett, szabadon álló ládában beállított kísérlet), széles genetikai bázisú anyagot vizsgálva Longin et al. (2013) a „fagyűrés” (*frost tolerance*) vizsgálatát követően 0,88-as  $h^2$  értéket közölt. Ez jelentősen nagyobb, mint amit a fitotroni tesztben meghatároztunk (0,675). A két módszerrel azonban nem ugyanaz a válaszreakció figyelhető meg, így az eredmények sem összehasonlíthatók. Míg a lada kísérletben az edződés folyamata és a hidegtűrés meghatározása természetes hőmérsékleti és fényviszonyok mellett megy végbe, addig a fitotroni tesztelés szigorúan meghatározott program alapján történik (Tischner et al. 1997).

A korrelációanalízis eredménye alapján, bár több szignifikáns  $r$ -értéket is számítottunk, ezek egyetlen kivétellel nem érték el a közepes erősséget. A kivételt a Minolta b\* és



növénymagasság összefüggése jelentette ( $r = -0,668^{**}$ ). Több kutatócsoport is vizsgálta a két tulajdonság kapcsolatát. Őszi durumbúzában Longin et al. (2013) a hidegtűrő genotípusok csoportjában  $r = 0,38^{**}$  szignifikáns, de saját méréseinkkel éppen ellenkező előjelű, a nem hidegtűrő fajtáknál  $r = 0,02$  korrelációs koefficiens értéket közöltek. Ugyanez a kutatócsoport (Sieber et al. 2014) másik fajtakört vizsgálatát követően az összefüggést  $r = -0,12$  nagyságúnak határozta meg. A mediterráneumból származó tájfajták növénymagassága Amallah et al. (2015) kísérletében  $r = 0,346$  erősséggel korrelált a Minolta  $b^*$  értékkel. A korábban közölt eredmények ismeretében a Minolta  $b^*$  érték és a növénymagasság között megfigyelt közepes erősségű, negatív összefüggés nehezen magyarázható és feltételezhetően az általunk vizsgált populációra jellemző.

A Minolta  $b^*$  értéket 9 QTL szabályozta a térképezési populációinkban. Ezek hatása eltérő erősségű volt, a 7AL kromoszómakaron található régió a teljes genetikai variancia 29,6%-át határozta meg, míg az 1A-n azonosított leggyengébb hatású, mindössze 1,1%-ot. A sikérindex esetén az 1BL kromoszómakaron lokalizált QTL volt meghatározó, míg az 1A kromoszómán található a leggyengébb ( $\sigma^2\% = 62,4$ , illetve 5,1). Az összehasonlítást korábbi vizsgálatok eredményeivel a 33. táblázat tartalmazza. A legtöbb, a 'PWD1216/MvTD10-98' térképezési populációban azonosított QTL elhelyezkedése megegyezett más kutatócsoportok által leírt kromoszómaregiókéval. A Minolta  $b^*$  értékkel kapcsolt legnagyobb hatású QTL-t ( $\sigma^2\% = 29,6$ ) nem csak durumbúzában (Elouafi et al. 2001, Patil et al. 2008, Reimer et al. 2008, Zhang és Dubcovsky, 2008, Zhang et al. 2008, Singh et al. 2009, Blanco et al. 2011, Roncallo et al. 2012, Colasuonno et al. 2014, 2017, 2019, N'Diaye et al. 2017, Roselló et al. 2018, N'Diaye et al. 2018), de még kenyérbúzában is leírták (Mares és Campbell, 2001, Francki et al. 2004, He et al. 2008, Howitt et al. 2009, Zhang et al. 2009, Crawford et al. 2011, Jiang et al. 2018, Liu et al. 2018). Ezt a QTL legtöbb esetben a *Psy1-A1*, fitoén-szintáz enzimet kódoló régióhoz kapcsolták, ezáltal a funkciója is ismertté vált. A többi régió esetén már nem ennyire egyszerű kimutatni a feltételezett gén funkciója és a fenotípus kapcsoltságát. A második legerősebb hatású QTL a 3B kromoszómán található ( $\sigma^2\% = 12,8$ ). A 'Svevo' referencia genom hasonló pozíciójában peroxidázokat kódoló régiók vannak. A peroxidázok a növényi szövetekben oxidációs folyamatokat katalizálnak, gyakori enzimek (Feillet et al. 2000). Működésüket durumbúzában a szemolina barna elszíneződésével hozták kapcsolatba (Kobrehel et al. 1972), ami kedvezőtlen hatású folyamat a technológiai minőségre. Ugyancsak peroxidázokat és polifenol-oxidázt kódoló régiók helyezkednek el az 1B, 2B, 4B, 5A és az 5B kromoszómákon azonosított QTL-hez közeli régiókban. Az 5A és 5B kromoszómákon található *Psy2* lokusz (Pozniak et al. 2007) kapcsoltsága a sárgapigment-tartalommal logikusan magyarázható és az 5-ös homeológ kromoszómák szerepét több kutatócsoport vizsgálatai is megerősítették (Patil et al. 2008, Blanco et al. 2011, Roncallo et al. 2011, Fiedler et al. 2017). A lutein szintézis reakcióútjában megtalálható enzimek közül likopin  $\beta/\epsilon$ -ciklázt kódoló gén a 3A kromoszómán található, de az ebben a régióban azonosított QTL hatása nem jelentős ( $\sigma^2\% = 4,3$ ). A felsorolt összefüggések többsége még nem bizonyított, ugyanakkor a lehetséges funkcionális kapcsolatok feltételezése segítséget nyújthat a kutatás további irányának pontosításában.

A sikérindex esetén egyértelmű az 1BL kromoszómakaron található *Glu1-B1* lokusz hatása, ezt a szélsőségesen nagy és kis értékű törzsek HMW glutenin alegységek SDS-PAGE elválasztásával is bizonyítottuk. Az 'MvTD10-98' szülőre jellemző 7+8 alegység kombináció Brites és Carillo (2001) vizsgálata alapján a legjobb hatásúnak megnevezett 14+15 összetételű genotípusoktól mindössze az SDS szedimentációs értékben tért el, ugyanakkor a mixográfós térszaktialakulási idő és a stabilitás statisztikailag nem különbözött. A 7+8 alegység kombináció Sissons et al. (2005) kísérletében is kedvezően befolyásolta a sikérindex értékét.

33. táblázat. A 'PWD1216/MvTD10-98' populációban azonosított QTL-ek és a hasonló pozícióban korábbi vizsgálatok során közölt QTL-ek.

QTL	PWD1216/MvTD10-98		Közölt marker		
	$\sigma^2$ %	Pozíció cM	$\sigma^2$ %	Pozíció cM	Forrás
<i>Minolta b*</i>					
qMB_1B	10,8	88,6-106,7	2,2-27,2	71,0-150,9	Roncallo et al. 2012; Colasuonno <i>et al.</i> 2014, 2017, 2019; N'Diaye et al. 2018; Zhang <i>et al.</i> 2009; Liu <i>et al.</i> 2018
qMB_2B	5,8	115,5-133,1	8,5-16,0	107,0-146,8	Colasuonno <i>et al.</i> 2014; N'Diaye et al. 2018; Liu <i>et al.</i> 2018
qMB_3A.1	6,4	18,6-35,6	11,5-13,0	9,0-11,2	Colasuonno et al. 2014
qMB_3A.2	4,3	42,9-47,8	4,7-21,0	44,6-54,7	Reimer et al. 2008; N'Diaye et al. 2018; Mares és Campbell, 2001; Crawford <i>et al.</i> 2011
qMB_3B	2,5	76,0-85,3	4,8-7,0	5,4-76,9	Patil et al. 2008; Colasuonno et al. 2017, 2019; Roselló et al. 2018;
qMB_4B	2,5	45,4-54,6	6,8-7,1	43,9-101,5	Mares és Campbell, 2001; Francki et al. 2004; Pozniak <i>et al.</i> , 2007; Reimer et al. 2008; Colasuonno et al. 2017, 2019; N'Diaye et al. 2018; Alemu et al. 2020
qMB_5A	3,3	69,5-72,3	3,1-15,3	29,0-82,5	Reimer et al. 2008; Colasuonno et al. 2014, 2019; N'Diaye et al. 2018
qMB_5B	4,6	80,2-92,3	3,0-21,8	44,0-165,3	Pozniak et al. 2007; Patil et al. 2008; Reimer et al. 2008; Roncallo et al. 2012; Colasuonno et al. 2014, 2017, 2019; Mares és Campbell, 2001; Crawford <i>et al.</i> 2011; Liu <i>et al.</i> 2018
qMB_7A	29,6	111,7-128,6	5,7-51,6	79,6-305,8	Elouafi et al. 2001; Patil et al. 2008; Reimer et al. 2008; Zhang és Dubcovsky, 2008; Zhang <i>et al.</i> 2008; Singh et al. 2009; Blanco <i>et al.</i> 2011; Roncallo et al. 2012; Colasuonno et al. 2014, 2017, 2019; N'Diaye et al. 2017; Roselló et al. 2018; N'Diaye et al. 2018; Mares és Campbell, 2001; Francki et al. 2004; He et al. 2008; Howitt et al. 2009; Zhang <i>et al.</i> 2009; Crawford <i>et al.</i> 2011; Jiang et al. 2018; Liu <i>et al.</i> 2018
<i>Sikérindex</i>					
qGI_1A	5,1	0,0-6,6	7,8-12,0	0,0-12,1	Dubcovsky et al. 1997; Panin 2011; N'Diaye et al. 2018; Somers et al. 2004; McIntosh et al. 2020
qGI_1B	62,4	60,6-74,0	8,6-12,0	47,5-94,3	Dubcovsky et al. 1997; Zhang et al. 2008; Patil et al. 2009; Marone et al. 2012; Somers et al. 2004; Huang et al. 2006; McIntosh et al. 2020
qGI_5A	6,4	9,4-54,6	9,0	10,0-49,0	Zhang et al. 2008

Megjegyzés: A QTL elnevezése: q = QTL; MB = Minolta b\* érték; GI = sikérindex; az aláhúzás után a kromoszóma megnevezése szerepel, ahol a QTL található. A dőlt betűvel jelölt hivatkozások *T. aestivum*-ra vonatkozó információt tartalmaznak

A fekete és a fehér szálla színeződésű durumbúza törzsek sikérindexének átlagai között szignifikáns eltérést mutattunk ki (fekete: 49,878; fehér: 41,775). A két tulajdonság összefüggése mögött genetikai kapcsoltság állhat. A szálla színének öröklődéséről kevés

információ érhető el. Giraldo et al. (2016) asszociációs térképezéssel az 1BS kromoszómakaron lokalizálta a vörös/fehér szálkasínt kódoló gént. Populációnkban a fekete vagy fehér szálkás törzsek voltak. A McIntosh-féle Búza Génkatalógus (McIntosh et al. 2020) tartalmaz egy bejegyzést e tulajdonságról. Panin és Necvetajev 1986-ban közölt cikke alapján a fekete színeződést három komplementer gén (*Bla1*, *Bla2* és *Bla3*) szabályozza, melyek közül a *Bla1* az 1A kromoszómán található. Panin (2011) néhány évvel később térképezte a *Bla1* gént, elhelyezkedését az 1AS kromoszómakaron írta le. A *Bla1* géntől mindössze 0,7-3,9 cM távolságra helyezkedik el a tartalékfehérjéket kódoló *Gli-A1* lokusz, így a genetikai kapcsoltság az általunk vizsgált durumbúza populációban is valószínűsíthető.

#### 4.5. A sikerindex és a Minolta b\* érték javítására irányuló szelekció eredményei

A martonvásári durumbúza nemesítési program Dr. Szunics László vezetésével 1982-ben indult el, de egészen az 1990-es évek közepéig kizárólag szemtípus és üvegesség alapján történt a kiválogatás. A műszeres vizsgálatok 1996-ban kezdődtek meg a nedvessikér-tartalom és a sikerindex mérésével. Ugyan az első sikerindex méréseket már 1996-ban elvégeztük, de csak a 2000. évet követően vált nyilvánvalóvá, hogy az őszi durumbúza minőségének lényeges összetevője a siker erőssége. A vizsgálatok első négy éve elegendő volt annak felismerésére, hogy a sikerindex esetén a nemesítési anyagban nagymértékű genetikai variabilitás figyelhető meg, továbbá, hogy ez a technológiai minőségi tulajdonság évjáráttól kevésbé függ, így a nemesítési folyamat során hatékonyan szelektálhatunk erősebb sikértípusra.

A Minolta b\* érték mérése ugyancsak az 1990-es évek közepén kezdődött el a durumbúza nemesítési programban. Az irodalmi adatok szerint tavaszi durumbúzában több kutatócsoport mérése alapján a Minolta b\* érték és a sárgapigment-tartalom között a korrelációs koefficiens értéke  $r = 0,87-0,96$  (Wehrle et al. 1997, Borelli et al. 1999, Humphries et al. 2004, Fratianni et al. 2005, Digesù et al. 2009, Blanco et al. 2011, N'Diaye et al. 2017), ugyanakkor az őszi durumbúza mintákra ilyen mérések eredményei nem álltak rendelkezésre. Az Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet (jelenleg NÉBiH) tordasi minőségvizsgáló laboratóriumának spektrofotometriás módszerrel meghatározott sárgapigment-tartalom értékeit (az adatokat ezúton is köszönöm Juhász Zsuzsanna laborvezetőnek) összehasonlítottuk a Minolta CR-300 kromaméterrel végzett méréseink eredményeivel. A laboratóriumunkban örölt szemolina minták esetén a két tulajdonság között rendkívül szoros ( $r = 0,99$ ) korrelációt számítottunk (Vida et al. 2002). Ezzel bizonyítottuk, hogy a Minolta b\* érték mérésével őszi durumbúza genotípusokban is hatékonyan becsülhető a sárgapigment-tartalom.

Az 1996–2020 közötti években az államilag elismert fajták mintáin kívül összesen 619 durumbúza nemesítési törzs sikerindex és Minolta b\* értékét határoztuk meg. Ezek fejlett nemesítési törzsek voltak (F<sub>7</sub>–F<sub>10</sub> generáció), melyek között potenciálisan bejelenthető vagy az állami fajtakísérletben éppen vizsgált fajtajelöltek szerepeltek. E törzsek száma évjáráttól függően 9 és 31 között változott. Mivel az évjárat mind a két technológiai minőségi tulajdonságot befolyásolja, így az abszolút értékek elemzése csekély információ-tartalommal bír. Ugyanakkor a vizsgálatok kezdetétől valamennyi évben elvetettünk két durumbúzafajtát, így ezeket standardként használva a relatív értékek alapján becsülhető a genetikai előrehaladás. A standard fajták egyike a 'Martondur 1' volt. Ez a martonvásári nemesítési program első saját nemesítésű fajtája (ezt megelőzően két odesszai-martonvásári közös nemesítésű fajta született 'Odmadur 1' és 'Odmadur 2' néven), mely 1996-ban részesült állami elismerésben. Hasonló korú hazai durumbúzafajtákhoz viszonyítva kimagaslóan jó hidegtűrés, de emellett átlagos sikérerősség és kis sárgapigment-tartalom jellemezte. Ugyancsak ebben az évben született a másik, összehasonlítás alapjául szolgáló őszi durumbúzafajta a 'GK Bétadur', melyet a szegedi Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft. nemesítői állítottak elő. Ez utóbbi fajtát mind a mai

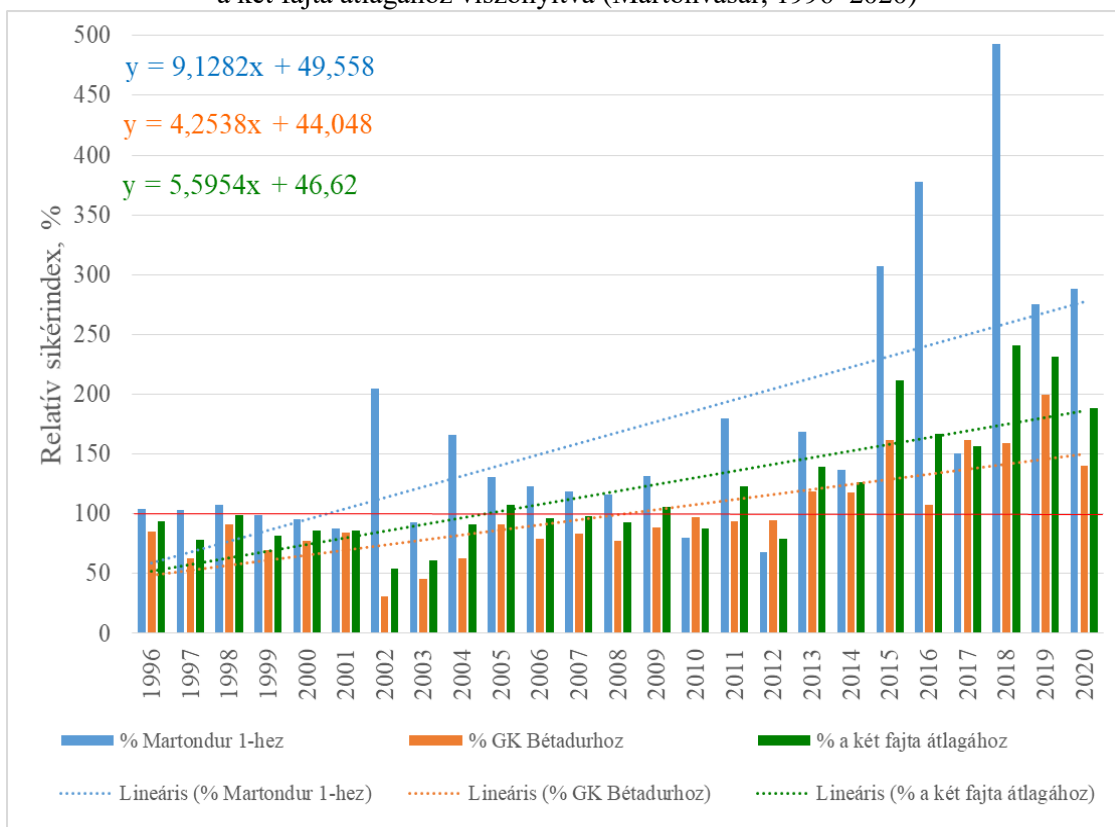
napig termesztik, hosszú éveken át standard fajtaként szerepelt az állami fajtakísérletben. Elismerésének idején mind sikerindexe, mind pedig sárgapigment-tartalma alapján kimagaslott a versenytársai közül.

A 'Martondur 1', a 'GK Bétadur' és a vizsgált törzsek évenkénti átlagos sikerindex és Minolta b\* adatait a 34. táblázat tartalmazza. A két standard fajtához viszonyított relatív értékeket a 19. és 20. ábrán mutatjuk be. A durumbúzatörzsek két standard fajtához viszonyított átlaga jól szemlélteti ugyan a nemesítési programban elért fejlődést, azonban a 35. táblázatban az is látható, hogy az összes nemesítési törzs közül mennyi az, amelyik statisztikailag igazolhatóan erősebb sikérszerkezetű, vagy nagyobb Minolta b\* értékű volt a két standard fajtához viszonyítva.

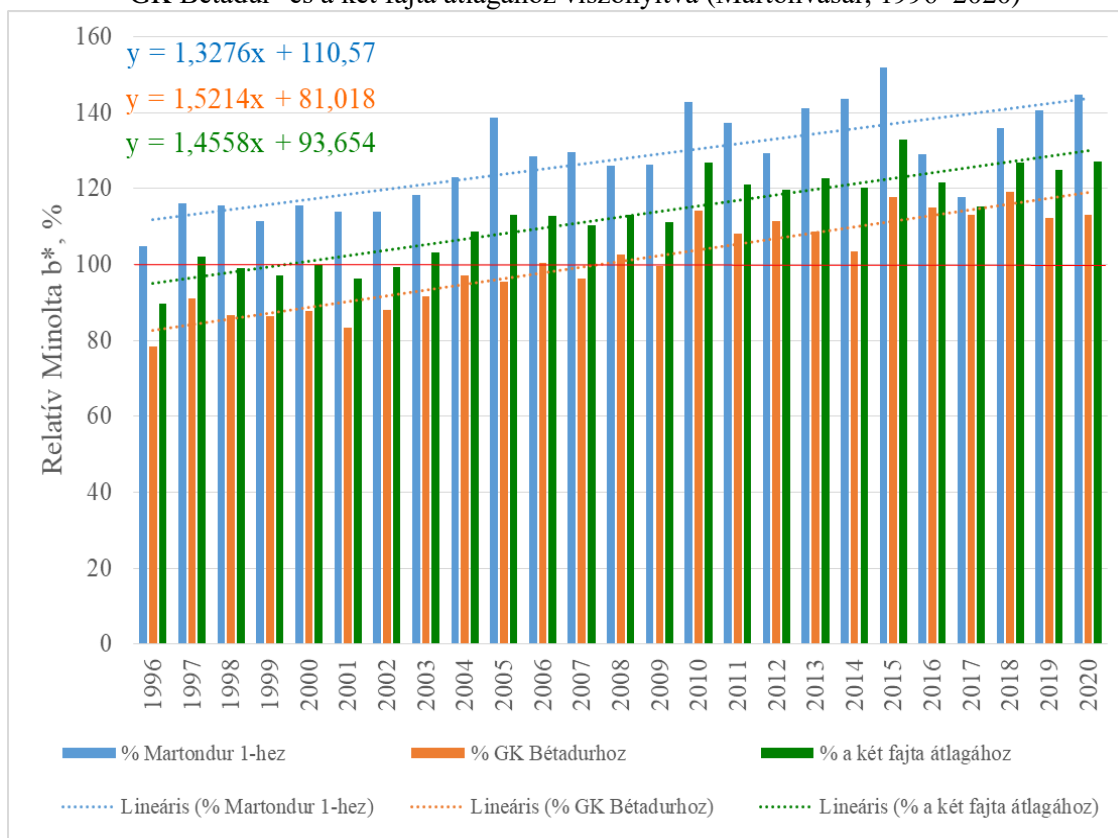
34. táblázat. A standard fajták és martonvásári őszi durumbúzatörzsek átlagos sikerindex és Minolta b\* értékei (Martonvásár, 1996–2020)

Év	Vizsgált Mv törzs, db	Sikerindex			Minolta b*		
		Martondur 1	GK Bétadur	Mv törzsek	Martondur 1	GK Bétadur	Mv törzsek
1996	9	55,00	67,50	57,23	18,58	24,86	22,47
1997	15	52,90	86,63	54,62	18,29	23,31	25,16
1998	18	54,21	64,20	58,32	17,73	23,69	24,01
1999	18	43,43	61,56	42,79	17,43	22,51	27,33
2000	14	43,97	54,02	42,00	20,06	26,39	23,59
2001	23	64,40	66,90	56,64	19,73	26,96	26,31
2002	20	6,38	41,83	13,07	22,10	28,60	25,96
2003	19	42,28	85,93	39,25	20,30	26,24	25,60
2004	23	30,35	79,98	50,34	22,23	28,13	22,47
2005	22	50,65	72,74	66,35	17,02	24,73	23,77
2006	28	48,44	75,08	59,62	20,46	26,18	20,86
2007	29	1,54	67,27	55,86	20,04	26,96	22,73
2008	31	52,22	77,72	60,45	20,32	24,96	24,57
2009	31	65,97	98,22	86,66	17,79	22,60	23,29
2010	31	78,62	64,86	63,17	16,65	20,84	25,30
2011	31	43,36	83,33	77,88	15,20	19,30	23,08
2012	29	52,06	37,48	35,56	17,59	20,41	22,14
2013	30	22,17	31,41	37,41	17,42	22,64	25,24
2014	30	57,81	66,87	78,84	16,22	22,53	25,58
2015	30	20,79	39,42	63,75	16,65	21,47	26,31
2016	29	12,12	42,65	45,80	17,87	20,06	22,47
2017	29	50,73	47,29	76,56	18,79	19,60	25,16
2018	27	13,94	43,10	68,76	18,56	21,20	24,01
2019	27	18,89	26,01	51,99	18,19	22,80	27,33
2020	26	24,77	50,81	71,31	18,17	23,27	23,59
Átlag		40,28	61,31	56,57	18,53	23,61	24,29

23. ábra. Martonvásári őszi durumbúzatörzsek relatív sikerindexe a 'Martondur 1', a 'GK Bétadur' és a két fajta átlagához viszonyítva (Martonvásár, 1996–2020)



24. ábra. Martonvásári őszi durumbúzatörzsek relatív Minolta b\* értéke a 'Martondur 1', a 'GK Bétadur' és a két fajta átlagához viszonyítva (Martonvásár, 1996–2020)



35. táblázat. A 'Martondur 1' és a 'GK Bétadur' standard fajtánál szignifikánsan nagyobb sikerindexű vagy Minolta b\* értékű nemesítési törzsek száma és aránya a martonvásári őszi durumbúza nemesítési programban (Martonvásár, 1996–2020)

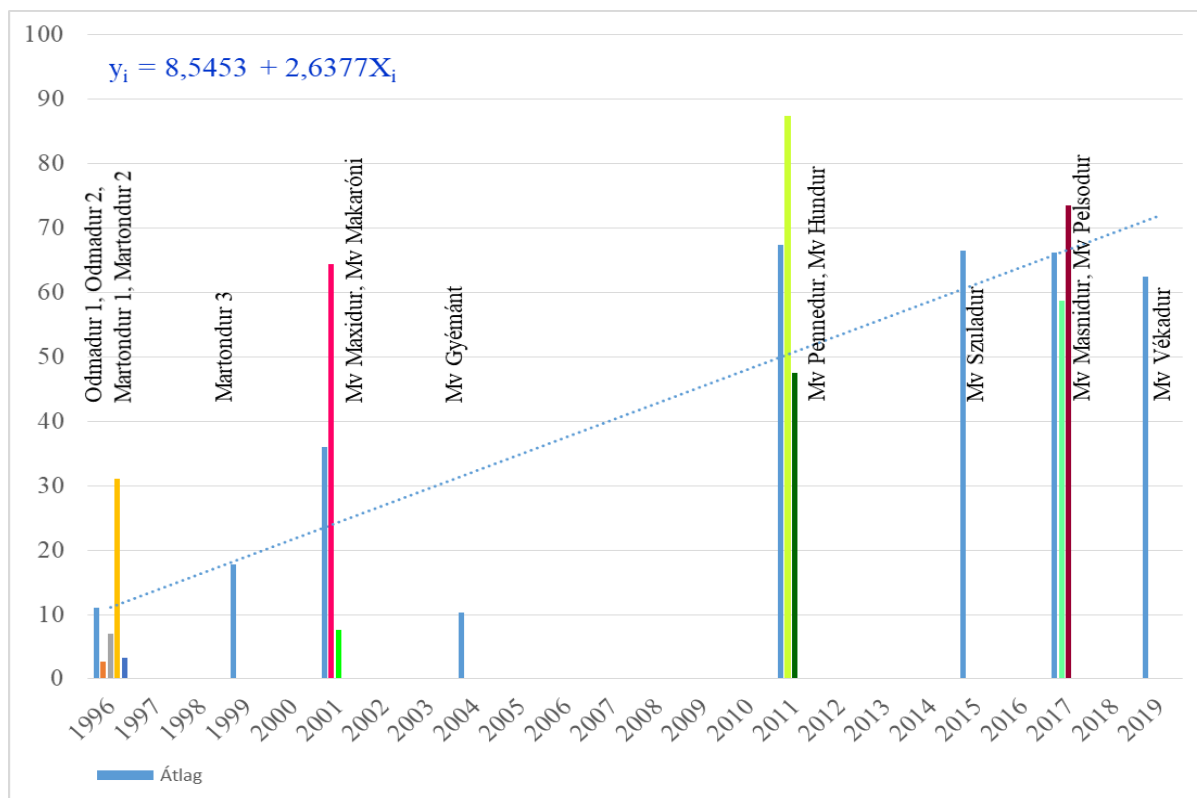
Év	Törzsek száma, db	<i>Sikerindex</i>				<i>Minolta b*</i>			
		Martondur 1-nél jobb		GK Bétadurnál jobb		Martondur 1-nél jobb		GK Bétadurnál jobb	
		db	%	db	%	db	%	db	%
1996	9	4	44,44	0	0,00	5	55,56	0	0,00
1997	15	6	40,00	1	6,67	15	100,00	1	6,67
1998	18	5	27,78	4	22,22	13	72,22	0	0,00
1999	18	3	16,67	0	0,00	14	77,78	0	0,00
2000	14	6	42,86	4	28,57	13	92,86	2	14,29
2001	23	10	43,48	7	30,43	16	69,57	0	0,00
2002	20	5	25,00	2	10,00	20	100,00	0	0,00
2003	19	2	10,53	0	0,00	19	100,00	1	5,26
2004	23	7	30,43	0	0,00	23	100,00	3	13,04
2005	22	14	63,64	7	31,82	22	100,00	6	27,27
2006	28	16	57,14	8	28,57	25	89,29	4	14,29
2007	29	15	51,72	4	13,79	29	100,00	5	17,24
2008	31	17	54,84	0	0,00	31	100,00	11	35,48
2009	31	28	90,32	0	0,00	31	100,00	12	38,71
2010	31	6	19,35	16	51,61	31	100,00	29	93,55
2011	31	29	93,55	9	29,03	31	100,00	24	77,42
2012	29	3	10,34	8	27,59	29	100,00	28	96,55
2013	30	21	70,00	15	50,00	30	100,00	30	100,00
2014	30	26	86,67	23	76,67	30	100,00	17	56,67
2015	30	28	93,33	25	83,33	30	100,00	29	96,67
2016	29	26	89,66	15	51,72	29	100,00	28	96,55
2017	29	27	93,10	27	93,10	29	100,00	29	100,00
2018	27	26	96,30	23	85,19	27	100,00	27	100,00
2019	27	25	92,59	23	85,19	27	100,00	25	92,59
2020	26	26	100,00	21	80,77	26	100,00	26	100,00

A 34. táblázatban közölt sikerindex adatok alapján megállapítható, hogy a 25 év alatt a 'Martondur 1' érzékenyen reagált a környezeti tényezők változására (tartomány 1,54–78,62), átlagos értéke alapján (40,28) az „ígéretes” kategóriába tartozott a Cubbada-féle osztályozási rendszer szerint (Cubbada et al. 1992). A 'GK Bétadur' sikérerőssége – bár szintén széles tartományon belül változott (26,01–98,22) – a 25 évből 23-ban meghaladta a 'Martondur 1'-ét, és 61,31-es átlagértéke alapján az „átlagosnál jobb” kategóriába sorolható, öt évben „jó”, négyben „nagyon jó”, háromban pedig „kiváló” minősítést ért el. A martonvásári törzsek az összes év átlaga alapján a két fajta közötti értéket érték el (56,57), azonban míg a 2012-ig tartó időszakban a törzsek átlaga a 'GK Bétadur' fajtáénál kisebb volt, addig 2013-tól kezdve valamennyi évben nagyobb átlagos sikerindex értékek láthatók a 34. táblázatban. Az elmúlt 25 év során elért eredményeket a 23. ábrán mutatjuk be. A 'Martondur 1' fajtához viszonyítva jelentős javulást értünk el a nemesítési törzsek átlagos sikerindexében. A trendvonal egyenlete alapján a genetikai előrehaladás 9,13% volt, ami sikerindex értékre számítva 3,68 évenkénti növekedést jelent. Három évet kivéve (2003, 2010 és 2012) a martonvásári nemesítési törzsek relatív sikerindexe 100% feletti volt. A 'GK Bétadur' a 'Martondur 1'-énél jobb sikérszerkezetű fajta, azonban 2013 óta valamennyi évben a nemesítési törzsek átlagos értéke 100% feletti, de a trendvonal kevésbé meredek. Ez számokban kifejezve 4,25%-os és 2,61-es átlagos növekedést jelent évente. A két standard fajta átlagához viszonyítva az előrehaladás nagysága 5,60%, azaz 3,08 sikerindex érték. A 35. táblázat adatai alapján a 2013. évtől a nemesítési törzsek döntő többsége szignifikánsan erősebb sikerű volt, mint a 'Martondur 1', és 2014-től (a 2016. évet kivéve) ez a megállapítás a 'GK Bétadur' fajtához viszonyítva is megállja a helyét.

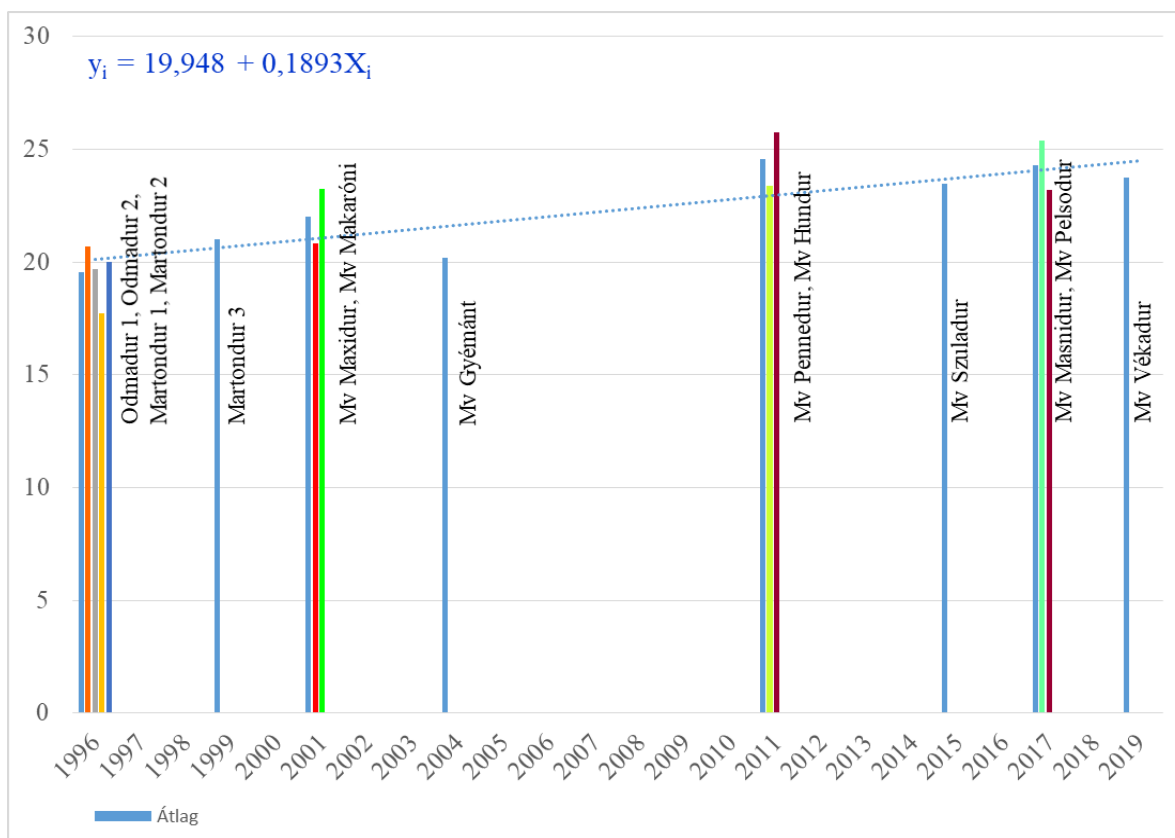
A 'Martondur 1' Minolta  $b^*$  értéke valamennyi évben stabilan kicsi volt, mindössze két évben haladta meg 22-es értéket (2002 és 2004). A 'GK Bétadur' sárgapigment-tartalma mind a 25 évben meghaladta a 'Martondur 1'-ét és a 25 év átlagértéke alapján 5,08-dal nagyobb Minolta  $b^*$  értéket mértünk a mintáiban, mint a 'Martondur 1' esetén ('Martondur 1' = 18,53, 'GK Bétadur' = 23,61). A martonvásári őszi durumbúzatörzsek átlagos Minolta  $b^*$  értéke azonban a 'GK Bétadur'-énál is nagyobb volt (24,29). A törzsek átlagos Minolta  $b^*$  értéke 2008-ig a 'GK Bétadur'-éhoz közelített, néhány évben meghaladta azt, de más években elmaradt tőle. A 2009. évtől kezdve azonban valamennyi évben nagyobb átlagértéket mértünk, mint a 'GK Bétadur' mintáiban. A 24. ábra alapján – a 23. ábrán a sikerindexnél megfigyeltekkkel ellentétben – a relatív Minolta  $b^*$  értékekből számított trendvonal mindkét standard fajtához viszonyítva megközelítőleg párhuzamos. A 'Martondur 1' fajtához viszonyítva a lineáris trendvonal már első évben 100% felett indul, míg a 'GK Bétadur' esetén mindössze 2007-ben lépte át a 100%-os értéket. Az előhaladás a 'Martondur 1'-hez viszonyítva 1,33%, A 'GK Bétadur' fajtához 1,52%, a két fajta átlagában pedig 1,46%. Ez a 25 év alatt a két fajta átlagából számítva ( $0,0146$  trendvonal meredekség  $\cdot 21,07$  a két standard fajta átlagos Minolta  $b^*$  értéke  $\cdot 25$  év  $=$ ) 7,69-os Minolta  $b^*$  érték növekedést jelent a durumbúza nemesítési törzsekben. A Minolta  $b^*$  értékben a célirányos szelekció megkezdését követően mindössze 6 évre volt szükség ahhoz, hogy a nemesítési törzsek mindegyike (2006-ban 3 törzs kivételével) statisztikailag nagyobb értékű legyen, mint a 'Martondur 1' (35. táblázat). A 'GK Bétadurhoz' mérve – a fajta nagy sárgapigment-tartalma miatt – már sokkal tovább tartott a felzárkózás. Mindössze 2010-ben sikerült elérni azt a szintet, amikortól a nemesítési törzsek többségének Minolta  $b^*$  értéke meghaladta a 'GK Bétadur' fajtáét. A 2015. év óta e törzsek aránya 92,59 és 100% között változott.

A növénytermesztők számára elérhető genetikai haladás az államilag elismert martonvásári őszi durumbúzafajták technológiai minőségének változása alapján határozható meg. Meg kell azonban jegyezni, hogy az adott évben elismert durumbúzafajta sikerindex és Minolta  $b^*$  értéke alapján az átlagosnál jobb minőségű törzsek közül került ki, de egyáltalán nem biztos, hogy a legjobb törzs volt. A durumbúza nemesítésben a disszertációban elemzett két technológiai minőségi tulajdonság, bár kiemelkedő jelentőségű, de emellett több egyéb tulajdonság kedvező konstellációja szükséges egy sikeres fajta megszületéséhez, majd elterjedéséhez a köztermesztésben. Nem elég a kiváló sikérerősség és a nagy sárgapigment-tartalom, a fajtának bőtermőnek, abiotikus- és biotikus stresszekkel szemben ellenállónak, sőt még egyéb technológiai minőségi tulajdonságok alapján (az állami fajtakísérletekben a nyersfehérje-, és nedvessikér-tartalom, a szemolina kihozatal és az üvegesség is szerepel a vizsgált tulajdonságok között) is az átlagosnál jobbnak kell lennie. Valamennyi felsorolt kritériumnak nehéz megfelelni, így általában a bőtermő, valamint az agronómiai és technológiai minőségi tulajdonságok optimális kombinációját hordozó nemesítési törzseket jelentjük be állami fajtakísérletbe. Ezek közül a legjobbakból lesz elismert növényfajta. A 25. és 26. ábrán a martonvásári nemesítési programban született, államilag minősített őszi durumbúzafajták sikerindex és Minolta  $b^*$  adatait mutatjuk be. Az ábrázolt adatok a 2014 és 2018 között végzett mérések átlagai. A regressziós egyenesek meredeksége ( $b$  értéke) jelenti az évenkénti genetikai előrehaladást (Khalil et al. 2002).

25. ábra. Államilag elismert martonvásári őszi durumbúzafajták sikérindexe  
(Martonvásár, 2014–2018 átlaga)



26. ábra. Államilag elismert martonvásári őszi durumbúzafajták Minolta b\* értéke  
(Martonvásár, 2014–2018 átlaga)





Az 1996-ban minősített négy durumbúzafajta átlagos sikerindexe 11,00 volt, ami a XXI. század második évtizedében minősített fajtákban átlagosan 65,99-ra nőtt. Ez évente 2,638-es genetikai előrehaladást jelent a sikerindex javítása területén. Két fajta sikerindexe kimagaslóan nagy. Az 'Mv Pennedur' sikerminősége az ötéves átlagadatok alapján „Kiváló”, az 'Mv Pelsoduré' pedig „Jó”, de két évben (2014 és 2017) a „Nagyon jó” kategóriába tartozott a Cubbada-féle osztályozási rendszer alapján (Cubbada et al. 1992).

A martonvásári őszi durumbúzafajtákban a kromaméteres mérésre alapozott szelekció bevezetését követően sikeresen növeltük a fajták Minolta b\* értékét is (26. ábra). A korai (1996-ban elismert) fajtákban mért 19,54-es értékhez képest a 2011-ben és azt követően minősített fajtákban a Minolta b\* érték átlagosan 24,16-ra nőtt. Ez évenkénti 0,189-es Minolta b\* értékű genetikai előrehaladást jelent a nemesítési programban. Az újonnan elismert (2010 után) durumbúzafajták mindegyikének 23 feletti a Minolta b\* értéke az ötéves átlagok alapján, de az 'Mv Hundur' (25,74) és az 'Mv Masnidur' (25,40) esetén ez az érték még a 25-nél is nagyobb volt.

A sikererősség növelésének bevezetése mindössze rövid történelmi múltra vezethető vissza a durumbúza nemesítési programokban. Ennek egyszerű magyarázata, hogy csupán néhány évtizede épültek be a technológiai minőség javítására irányuló szelekciós tevékenységbe azok a vizsgálati módszerek (SDS szedimentációs teszt, mixográfus vizsgálat és a sikerindex is ide sorolható), melyekkel lehetővé vált e tulajdonság mérése (Blum et al. 1987, Cubbada et al. 1992). A mérések bevezetésével tavaszi durumbúzában jelentős javulás következett be, a modern olasz fajtákban például a sikerindex érték több mint kétszeresére nőtt az 1900 és 1970 között gyűjtött tájfajtákhoz és regisztrált fajtákhoz viszonyítva (Motzo et al. 2004). Longin et al. (2013) vizsgálatai alapján a hidegtűrő durumbúzatörzsek átlagos sikerindexe valamelyest kisebb volt, mint a nem hidegtűrőké (51,87 vs. 59,05). A különbséget a tavaszi genotípusok javára saját kísérleti eredményeink is alátámasztották. A 4.3. pontban ismertetett adatok alapján az olasz fajták átlagos sikerindexe 78,80, míg az új martonvásári fajtákban 65,99 volt a 2014–2018. évek átlagában. Ugyanakkor az 'Mv Pennedur' 87,35-ös és az 'Mv Pelsodur' 73,51-es átlagos sikerindexe a sikerminőséget tekintve már nem különbözik a tavaszi durumbúzafajtákétól.

A sárgapigment-tartalom esetén tavaszi durumbúza genotípusokban nem figyelhető meg jelentős eltérés a XX. század első évtizedeiből származó tájfajták és a modern fajták között (De Vita et al. 2007a). Modern durumbúzatörzsekben Longin et al. (2013) sem mutattak ki különbséget a hidegtűrő és a nem hidegtűrő genotípusok között. Kísérleteinkben az olasz tavaszi fajták átlagos Minolta b\* értéke 23,64, a 2011 után elismert martonvásári őszi fajtáké 24,02 volt, így mi sem figyeltünk meg hátrányos eltérést e tulajdonság esetén.

Longin et al. (2013) cikkükben említést tesznek arról a vélekedésről, miszerint a hidegtűrő fajták minősége a tavaszi programokban dolgozó nemesítők véleménye szerint elmarad a tavaszi életformájú fajtákétól. Mint az adataink alapján megállapítható, ez az állítás a 20 évnél régebben regisztrált valódi őszi durumbúzafajták esetén elfogadható. Ugyanakkor az őszi programokban dolgozó növénynemesítők – és ez Martonvásáron is így történt – sikeres erőfeszítéseket tettek a technológiai minőség területén történő felzárkózásra. A jelenlegi őszi durumbúzafajták sikerindexüket és Minolta b\* értéküket tekintve napjainkban már versenyképesek a tavaszi fajtákkal.

## 5. Új tudományos eredmények

Az elmúlt 25 évben részletesen vizsgáltuk őszi durumbúzák sikerindexét és Minolta b\* értékét meghatározó környezeti (évjárat, meteorológiai faktorok, agronómia), valamint genetikai tényezőket. A munkánk során elért fontosabb eredmények az alábbi pontokban összegezhetők.

1. Az évjárat hatását elemezve 16 vegetációs időszak és öt őszi durumbúza fajta adatai alapján GGE biplot analízissel megállapítottuk, hogy melyek voltak a sikerindex és a Minolta b\* érték szelekciójára legalkalmasabb évjáratok (környezetek), illetve meghatároztuk a durumbúzafajták stabilitását a két vizsgált tulajdonság esetén. Az 'Mv Pennedur' sikerindexe kiemelkedően jó volt, ezt a 'GK Selyemdur' követte. Mindkét fajta kis távolságra helyezkedett el az átlagos-környezet tengelytől (AEA), így stabilitásuk is kiválónak tekinthető. Minolta b\* érték alapján az 'Mv Hundur' végzett az első helyen, stabilitása azonban gyenge volt. Két tulajdonság együttes figyelembevétele ritka az irodalmi forrásokban, pedig a komplex technológiai minőség megítélése szempontjából kiemelt jelentőségű. A vizsgált fajták sárgapigment-tartalom és sikererősség alapján is eltérőek voltak. Kísérletünkben az ideális genotípust – azaz a két tulajdonság optimális kombinációját hordozó teoretikus fajtát – az 'Mv Pennedur' közelítette meg legjobban.
2. Lépcsős regresszióanalízissel a fajtánkénti és az átlagos sikerindexet és Minolta b\* értéket meghatározó meteorológiai faktorokat azonosítottunk. A vizsgált fajták átlagában a sikerindex alakításában kiemelt jelentősége volt a május második dekádjában bekövetkezett hőségnapok számának, valamint a szemtelítődés végső fázisában mért átlaghőmérsékletnek. A korai hőség pozitív, a késői negatív irányban befolyásolta a sikererősséget. A Minolta b\* értékre a termékenyülést rövid időn belül követő meleg időjárás pozitív, ezt követően negatív hatást fejt ki. Bár a sárgapigment mennyiségét sok meteorológia tényező határozza meg, a végleges Minolta b\* érték nagysága már jóval a teljes érés előtt jól becsülhető a durumbúzafajták többségénél.
3. A nitrogén ellátottság valamennyi évben hatott a sikerindexre, a Minolta b\* érték is szignifikánsan változott a háromból két évben és az évek átlagában. Csapadékos évjáratban a kijuttatott nitrogén-mennyiség növelésével erősödött a siker szerkezete, átlagos és száraz évjáratban a hatás éppen ellentétes volt. A Minolta b\* értékét a fajták és évjáratok átlagában javította a nagyobb mennyiségű tápanyag. Nem várt eredmény volt a fungicides kezelés kedvezőtlen hatásának kimutatása csapadékos évjáratban.
4. Széles genetikai bázisú fajtakörön bizonyítottuk, hogy a sikerindex és a Minolta b\* érték is rendkívül jól öröklődő genetikai tulajdonság őszi durumbúzában. A nemesítési programban hasznosítható értékes forrásokat azonosítottunk. Bár eredményeink alapján becsülhető az átlagos genetikai előrehaladás (sikerindex = 1,104; Minolta b\* = 0,131), azonban adataink szerint rendkívül nagy a szórás a néhány évvel ezelőtt elismert durumbúzafajtáknál mindkét vizsgált tulajdonság esetén. Ez arra enged következtetni, hogy a nemesítési programok egy részénél a technológiai minőség javítása még mindig nem számít prioritásnak, vagy a szelekció technikai háttere még nem épült ki.
5. Biokémiai és molekuláris markerek összefüggését vizsgáltuk széles genetikai bázisú durumbúza fajtakörön. A tavaszi durumbúzában már ismert összefüggést a 42/45  $\gamma$ -gliadin alegységgel őszi durumbúzafajták esetén is bizonyítottuk. Random (RAPD), valamint irodalmi forrásokban közölt mikroszatellit és génspecifikus molekuláris markerek előfordulását, valamint ezek kapcsoltságát vizsgáltuk a Minolta b\* értékkel. Három RAPD markernél kapcsoltságot mutattunk ki, ugyanakkor a közölt markerek használhatósága –

vagy az allélek szűk köre, vagy pedig a genetikai háttér különbözősége miatt – őszi durumbúzában korlátozott.

6. Egyedülálló térképezési populációt hoztunk létre a Minolta  $b^*$  értéket meghatározó QTL-ek azonosítására. A populáció a későbbiekben a sikérindex genetikai szabályozásának vizsgálatára is alkalmasnak bizonyult. Mindkét tulajdonság  $h^2$  értéke ebben az esetben is az erős genetikai meghatározottságot támasztotta alá (sikérindex = 0,896; Minolta  $b^*$  = 0,959).
7. Fenotípusos (szálkaszín) és molekuláris marker információk (RAPD, AFLP, SSR, DArT) alapján elkészítettük a 'PWD1216/MvTD10-98' populáció kapcsoltsági térképét. A végleges változat 454 marker alapján épült fel, teljes hossza 1550,1 cM.
8. QTL-analízissel meghatároztuk a Minolta  $b^*$  értékkel, vagy a sikérindexszel kapcsolt kromoszómaregiókat. A Minolta  $b^*$  értéket legerősebben a 7AL kromoszómakar disztális régióján található lokusz (feltételezhetően a *PsyI-A1* gén) szabályozta ( $\sigma^2\% = 29,6$ ), amit a 3BL karon elhelyezkedő lokusz követett ( $\sigma^2\% = 12,8$ ). A sikérindexet egyértelműen az 1BS kromoszómakaron található lokusz határozta meg. Később bizonyítottuk, hogy ez a lokusz a *Glu1-B1* HMW glutenineket kódoló génnel kapcsolt. Tavaszi durumbúzában az LMW glutenineket tartják a sikérerősséget legerősebben befolyásoló genetikai faktornak.
9. Jelentős genetikai előrehaladást értünk el mind a martonvásári durumbúzafajták sikérindexét (2,638/év), mind pedig a Minolta  $b^*$  értéket (0,189/év) tekintve az 1990-es évek közepén elismert fajtáinkhoz viszonyítva. A martonvásári durumbúzafajták technológiai minősége napjainkban már versenyképes a tavaszi fajtákéval, azokénál nagyobb termőképesség és jobb termésbiztonság mellett.

## 6. Záró gondolatok

Az őszi durumbúza az elmúlt évtizedek sikeres nemesítői munkájának köszönhetően napjainkban valós választási lehetőséget jelent a gabonatermesztők számára. A faj termesztésénél előnyt jelent a viszonylag stabil keresleti piac mellett az, hogy néhány kisebb módosítással a „hagyományos” búzatermesztési technológia alkalmazható, amihez a legtöbb növénytermesztéssel foglalkozó gazdaság megfelelő technikai és tudás háttérrel rendelkezik (Szunics és Vida 2010). A módosítások inkább finomhangolást jelentenek, ami a durumbúza és a kenyérbúza biológia, élettani, genetikai, valamint a feldolgozóipar eltérő igénye miatt fennálló különbségei miatt szükséges. Bár az első őszi genotípusok megszületése óta a faj hidegtűrése sokat javult, még mindig célszerű a tábla kiválasztásánál elkerülni a fagyzugos területeket. A durumbúza kalászfuzáriumra érzékenyebb, mint a kenyérbúza (Prat et al. 2014), ezért a kukorica nem tartozik a jó elővetemények közé, mivel ugyanazokkal a *Fusarium* fajokkal is fertőződik, mint a durumbúza, ezért nagy mennyiségű fertőzőanyagot hagyhat maga után a talaj felszínén. Az optimális tápanyagellátás, növényápolás, növényvédelem hozzájárul a nagy terméshez és a kiváló tésztaipari minőséghez. A technológia különösen érzékeny eleme a betakarítás időzítése. Amint lehetséges, az aratást azonnal meg kell kezdeni, hiszen már kis mennyiségű csapadék is jelentősen ronthatja a technológiai minőséget. A durumbúza – mint ahogy a neve is utal rá – rendkívül kemény szemszerkezettel rendelkezik. Az endospermiumban a keményítőszemcsék és a fehérjék szorosan egymáshoz kapcsolódnak, ami kinézetre a borostyánhoz hasonló állagú a szemtermést eredményez. Csapadék hatására a szem szerkezete fellazul, a szövetek közé bejut a levegő, ami az egyik lényeges értékmérőt, az üvegeességet lerontja (Delcour és Hosney 1987). A gazdák emiatt, ha fennáll a csapadék bekövetkezésének esélye, már 16%-os nedvességtartalomnál megkezdik a betakarítást és a terményt szárítóra viszik a minőség megőrzése érdekében.

Magyarországon több gabonatermesztő gazdaság durumbúza „specialistává” vált, sikeresen, nagy haszonnal állítják elő az értékes malomipari alapanyagot. Ebből alapvetően két nagy malom (Gyermely és Júlia Malom) állít elő szemolinát, ami a hazai tésztaipar szükségleteit fedezi. Növénynemesítőként feladatunk ezen igényes vertikum ellátása bőtermő, biotikus és aboitikus stresszfaktorokkal szemben ellenálló és főként kiváló technológiai minőségű durumbúzafajtákkal. A technológiai minőség kivételesen jelentős ezen a területen, hiszen a vásárlók számára vonzó, sárga színű és kiváló főzési tulajdonságú száraztészta csak megfelelő alapanyagból állítható elő. Ez a két tulajdonság a durumbúza mintákban a Minolta b\* értékkel és a sikerindexszel mérhető. Vizsgálatainkkal igyekeztünk minél részletesebben megismerni e technológiai minőségi tulajdonságok környezeti hatásokkal szembeni érzékenységét, öröklődését (ami meghatározza a nemesítési stratégiát), valamint azonosítani a sikerindexet és a Minolta b\* értéket meghatározó kromoszómarégiókat. Ez utóbbi tevékenység markerszelekciós módszer kidolgozását alapozhatja meg.

A klasszikus növénynemesítésben – beleértve a durumbúza nemesítést is – az utóbbi időszakban jelentős változások zajlanak. Terjednek a nagy-áteresztőképességű fenotipizálási módszerek (Mir et al. 2019), melyek stabil platformok kiépítésétől kezdve a könnyen mozgatható mobil szerkezeteken és a drónokon át egészen az okostelefonok e célra történő hasznosításáig terjed. A genotipizálás területén az utóbbi években a technológia fejlődése lehetővé tette molekuláris (DNS) szintű vizsgálatok elvégzését, melyek alapján egyre több információ áll rendelkezésre a durumbúza genomjáról és a hasznos agronómia, technológiai minőségi tulajdonságokat kódoló génekről. A kétszülős populációk vizsgálatán alapuló molekuláris térképek mellett (Alsaleh et al. 2014, Marcotuli et al. 2017), több populáció vizsgálatának összegzése alapján létrehozott konszenzus térképek (Maccaferri et al. 2014a és 2014b), vagy a széles genetikai bázison alapuló asszociációs térképek is elérhetők (Maccaferri

et al. 2014a, Giraldo et al 2016). Az egy pontos nukleotid polimorfizmuson (SNP) alapuló genotipizálással nagy számban azonosíthatók gazdaságilag jelentős gének allél-változatai, majd az eltérő szekvenciák alapján tervezett próbák markerszelekcióra használhatóak (Trebbi et al. 2011). A kódoló szekvenciák vizsgálatán alapuló *exome capture*, vagy *allelic capture* technikák olcsóbbá és egyben informatívabbá tehetik a genom megismerésére irányuló kutatásokat (Mascher et al. 2013, Holtz et al. 2016). Az e módszert használó, búza referencia genomon alapuló szolgáltatás igénybe vételével már 400 USD áron elérhető egy búza minta teljes exomjának vizsgálata (IWGSC 2019). Az utóbbi időben végbement technológiai fejlesztések a búzanevelés területén új lehetőséget teremtenek a genetikai variabilitás megismerésére, gazdaságilag hasznos allélek azonosítására és ezek hasznosítására, valamint a genom-alapú szelekció bevezetésére (Rasheed és Xia 2019). Ez utóbbi terület valódi paradigmaváltást jelent a növénynevelésben, hiszen a klasszikus folyamat során a fenotípusból következtünk a vizsgált növény genotípusára. A genom-alapú szelekció megjelenésével már a genotípus ismerete lesz az elsődleges, ami a szelekció hatékonyságát ugrásszerűen növelheti.

Nem hagyható figyelmen kívül a genetikai módosításokon alapuló módszerek jövőbeni terjedése sem. A transzgenikus növények esetén már ismert egy konkrét példa, az aranyrizs, amelynek létrehozása során a lutein szintézisben szerepet játszó, nárcisz eredetű fitoén-szintáz és likopin-cikláz, valamint *Erwinia*-ból származó fitoén-deszaturáz enzim kódolásáért felelős régiókat építettek be rizsbe (Beyer et al. 2002). A luteinszintézis folyamatában működő enzimeket és a tartalékfehérje-alegységeket kódoló gének szekvenciája már részben ismert. Emiatt a génszerkesztés felhasználása ezen a területen is várható rövid időn belül (Schmidt et al. 2020). E módszerek hazai bevezetése jelenleg kérdéses, azonban a világ több országában a génmódosított növények már elterjedtek a köztermesztésben és a génszerkesztéssel kapcsolatos kutatások is előrehaladott fázisnál tartanak.

A növénynevelés módszertana egy évszázadon keresztül szinte alig változott. Napjainkban sorra jelennek meg olyan információk, melyek új alapokra helyezhetik ezt a tevékenységet. Nagy öröm és egyben inspiráló részt venni e folyamatban. Az őszi durumbúza nevelésén keresztül magam is részt vehettem új szelekciós módszerek bevezetésében. Nyomon követhettem a molekuláris technikák fejlődését, alkalmazhattam azokat a növénynevelési programban. Hálás vagyok a sorsnak, valamennyi vezetőmnek és segítő kollégáimnak, hogy átélhettem e munka szépségeit.

## Köszönetnyilvánítás

Nagyon sokaknak tartozom köszönettel azért, amiért segítettek a disszertáció elkészülését. A köszönet első szava szóljon volt osztályvezetőmnek, Dr. Szunics Lászlónak, aki megismertetett a durumbúza nemesítéssel, atyai szigorral, de mindenkor jószándékkal irányította kezdeti lépéseimet. Sajnos ő már nem olvashatja e szavakat. A következő köszönet Dr. Veisz Ottót illeti, aki sok éven át osztályvezetőm volt. Precizitásával, kitartásával és emberségével mindenki számára példamutató kutató. Hosszú éveken át biztatott, hogy készítsem el a disszertációt, és a vele folytatott beszélgetésem mindig inspirálóak voltak. Köszönöm a bizalmát és a nyíltságát.

Köszönettel tartozom az ATK korábbi főigazgatóinak Dr. Bedő Zoltán és Dr. Balázs Ervin akadémikusoknak, valamint a Kalászos Gabona Nemesítési Osztály korábbi vezetőjének, Dr. Láng Lászlónak, akik támogatták a munkámat, segítettek a kutatáshoz szükséges tárgyi és anyagi feltételek megteremtésében.

A Kalászos Gabona Szekció valamennyi munkatársának köszönöm a segítségét, akik a kísérletek beállításával, gondozásával, betakarításával, majd a minőségvizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségükkel hozzájárultak az eredmények megszületéséhez. Közülük kiemelném Károlyiné Dr. Cséplő Mónikát, aki az utóbbi években jelentős részt vállalt a durumbúza nemesítési kísérletekkel kapcsolatos munkákból, valamint Horváth Zitát, Bertalan Adriennét és Gál Mariannét, akik a minőségvizsgálatokat végezték. Sokan vették ki részüket a molekuláris munkákból is. A kapcsoltsági térkép elkészítésében Dr. Karsai Ildikó és Dr. Puskás Katalin, az eredmények értelmezésében Dr. Cseh András segített. A molekuláris laboratóriumi vizsgálatok jelentős részét Horváth Zita, Mayer Marianna, Dr. Pribék Dalma, Dr. Puskás Katalin, Dr. Varga-László Emese és Tóth Viola végezte. A tartalékfehérje vizsgálatokban Illés Klára segített.

Végezetül megkülönböztetett köszönet illeti meg családomat. Köszönöm szüleimnek, hogy szabad döntést engedtek életem irányításában és mindenkor támogattak, igyekeztek minél több terhet levenni a vállamról. Köszönöm feleségemnek a megértést, amivel munkámból adódó elfoglaltságot elfogadja. Szeretete és kitartó ösztökélése nélkül ez a dolgozat biztosan nem született volna meg.

Kutatásainkat a Fejér Megyei Agrárkamara Regionális Műszaki Fejlesztési Pályázata, a KD\_INTEG\_07 MVDUR\_08, a GOP-1.1.1-09/1-2009-0053, az OTKA T038044 és OTKA K68127, valamint a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatta.

## Irodalomjegyzék

- AACC International (2010a): Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 14-50.01. Determination of pigments. Final approval April 13, 1961; Reapproval November 3, 1999.
- AACC International (2010b): Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 14-22.01. Color of pasta – reflectance colorimeter method. First approval October 8, 1976; Reapproval November 3, 1999.
- AACC International (2010b): Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 38-12.02. Wet gluten, dry gluten, water-binding capacity, and gluten index. First approval November 8, 2000.
- Aalami, M., Prasada Rao, U.J.S., Leelavathi, K. (2007): Physicochemical and biochemical characteristics of Indian durum wheat varieties: Relationship to semolina milling and spaghetti making quality. *Food Chemistry*, 102: 993–1005.
- Aaronsohn, A. (1910): Agricultural and botanical explorations in Palestine. U.S. Department of Agriculture, Bureau of Plant Industry – Bulletin no. 180. Government Printing Office, Washington. 64 pp.
- Aaronsohn, A., Schweinfurth, G. (1906): Die Auffindung des wilden Emmers *Triticum Dicocum* in Nordpalästina. *Altneuland: Monatsschrift für die wirtschaftliche Erschließung Palästinas / Zionistische Kommission zur Erforschung Palästinas*, 3: 213–220.
- Abad, A., Lloveras, J., Michelena, A. (2004): Nitrogen fertilization and foliar urea effects on durum wheat yield and quality and on residual soil nitrate in irrigated Mediterranean conditions. *Field Crops Research*, 87: 257–269.
- Abdel-Aal, E.M., Young, J.C., Rabalski, I., Hucl, P., Fregeau-Reid, J. (2007): Identification and quantification of seed carotenoids in selected wheat species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 787–794.
- Abinasa, M., Ayana, A., Bultosa, G. (2011): Genetic variability, heritability and trait associations in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) genotypes. *African Journal of Agricultural Research*, 6(17): 3972–3979.
- Alause J., Feillet P. (1970): Metodo semplice ed obiettivo per la previsione del colore delle paste alimentari. *Tecnica Molitoria*, 21: 511–517.
- Alemu, A., Feyissa, T., Tuberosa, R., Maccaferri, M., Sciara, G., Letta, T., Abeyo, B. (2020): Genome-wide association mapping for grain shape and color traits in Ethiopian durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*). *The Crop Journal*, 8: 757–768.
- Alsaleh, A (2011): Identification of QTL for grain quality traits in durum wheat (*Triticum turgidum* var. *durum* L.) mapping population derived from Kunduru x Cham1. M.Sc. thesis. Çukurova University, Turkey. Online: <http://libratez.cu.edu.tr/tezler/8576.pdf>. Ellenörizve 2021.08.13.
- Alsaleh, A., Baloch, F.S., Derya, M., Azrak, M., Kilian, B., Özkan, H., Nachit, M. (2015): Genetic linkage map of Anatolian durum wheat derived from a cross of Kunduru-1149 × Cham1. *Plant Molecular Biology Reporter*, 33: 209–220.
- Alves-Rodrigues, A., Shao A. (2004): The science behind lutein. *Toxicology Letters*, 150: 57–83.
- Amallah, L., Taghouti, M., Rhrib, K., Gaboun, F., Hassikou, R. (2015): Genetic variability in agromorphological and quality traits of Mediterranean durum wheat landraces. *Cereal Research Communications*, 43(1): 123–132.
- Ames, N. P., Clarke, J.M., Marchylo, B.A., Dexter, J.E., Woods, S.M. (1999): Effect of environment and genotype on durum wheat gluten strength and pasta viscoelasticity. *Cereal Chemistry*, 76: 582–586.

- Ames, N.P., Clarke, J.M., Dexter, J.E., Woods, S.M., Selles, F., Marchylo, B. (2003): Effects of nitrogen fertilizer on protein quantity and gluten strength parameters in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) cultivars of variable gluten strength. *Cereal Chemistry*, 80(2): 203–211.
- Anderson, O.D., Greene, F.C., Yip, R.E., Halfordt, N.G., Shewry, P.R., Malpica-Romero, J.M. (1989): Nucleotide sequences of the two high-molecular-weight glutenin genes from the D-genome of a hexaploid bread wheat, *Triticum aestivum* L. cv Cheyenne. *Nucleic Acid Research*, 17: 461–462.
- Antal J. (Szerk; 2005): Növénytermesztéstan 1. Gabonafélék. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 391 pp.
- Armstrong, G.A., Hearst, J.E. (1996): Genetics and molecular biology of carotenoid pigment biosynthesis. *FASEB Journal*, 10: 228–237.
- Arnaud, M.A. (1887): Dosage de la carotine contenue dans les feuilles des végétaux. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, 104: 1293–1296.
- Autran, J.C., Abecassis, J., Feillet, P. (1986): Statistical evaluation of different technological and biochemical tests for quality assessment in durum wheats. *Cereal Chemistry*, 63(5): 390–394.
- Autran, J.C., Galterio, G. (1989): Associations between electrophoretic composition of proteins, quality characteristics and agronomic attributes of durum wheats II. Protein-quality associations. *Journal of Cereal Science*, 9: 195–215.
- Balkan, A., Bilgin, O., Başer, İ. (2018): GGE biplot analyses for grain quality and yield of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* Desf.) landraces populations. *Journal of Life Sciences*, 12: 214–223.
- Balla, K., Karsai, I., Veisz, O. (2009): Analysis of the quality of wheat varieties at extremely high temperatures. *Cereal Research Communications*, 37, Supplement, Proceedings of the VIII. Alps-Adria Scientific Workshop, 27 April–2 May 2009, Neum, Bosnia-Herzegovina (March 2009): 13–16.
- Balla, K., Rakszegi, M., Bencze, S., Karsai, I., Veisz, O. (2010): Effect of high temperature and drought on the composition of gluten proteins in Martonvásár wheat varieties. *Acta Agronomica Hungarica*, 58(4): 343–353.
- Baracska, I., Balázs, G., Liu, L., Ma, W., Oszvald, M., Newberry, M., Tömösközi, S., Láng, L., Bedő, Z., Békés, F. (2011): A retrospective analysis of HMW and LMW glutenin alleles of cultivars bred in Martonvásár, Hungary. *Cereal Research Communications*, 39(2): 226–237.
- Bartholy, J., Pongráz, R., Gelybó, Gy. (2007): Regional climate change expected in Hungary for 2071-2100. *Applied Ecology and Environmental Research*, 5(1): 1–17.
- Bartley, G.E., Scolnik, P.A., Beyer P. (1999): Two *Arabidopsis thaliana* carotene desaturases, phytoene desaturase and  $\zeta$ -carotene desaturase, expressed in *Escherichia coli*, catalyze a poly-cis pathway to yield pro-lycopene. *European Journal of Biochemistry*, 259: 396–403.
- Bar-Yosef, O. (1998). On the nature of transitions: the Middle to Upper Palaeolithic and the Neolithic revolution. *Cambridge Archaeological Journal*, 8(02): 141–163.
- Bauhin, C. (1596):  $\Phi\upsilon\tau\omicron\pi\iota\nu\alpha\zeta$ , Seu enumeratio plantarum ab Herbarijsnostro seculo descriptarum, cum earum differentijs. Per Sebastianum Henricpetri, Basilea. 669 pp.
- Beach, E.F. (1961): Beccari of Bologna, the discoverer of vegetable protein. *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences*, 16: 354–373.
- Beccari, I.B. (1745): *De Frumento. De Bononiensi Scientiarum et Artium Instituto Atque Academia Commentarii, Tomi secundi, Pars prima*, 122–127.
- Beke, B., Szebellédy T. (1981): Selection of winter durum wheats (*T. durum* Desf.) in Hungary. *Cereal Research Communications*, 9: 47–54.



- Beke, B., Barabás, Z. (1981): The first Hungarian durum wheat varieties. *Cereal Research Communications*, 9: 115–117.
- Beke, B., Matuz, J. (1996): Breeding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) in Szeged, Hungary. *Cereal Research Communications*, 24: 49–52.
- Békés, F., Wrigley, C.W. (2013): Gluten alleles and predicted dough quality for wheat varieties worldwide: A great resource—free on the AACC International Website. *Cereal Foods World*, 58(6): 325–328.
- Beleggia, R., Platani, C., Nigro, F., Cattivelli, L. (2010): A micro-method for the determination of yellow pigment content in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 52: 106–110.
- Beleggia, R., Platani, C., Nigro, F., Papa, R. (2011): Yellow pigment determination for single kernels. *Cereal Chemistry*, 88: 504–508.
- Bendelow, V.M. (1967): Early generation screening for gluten strength in durum wheat breeding. *Cereal Science Today*, 12: 366–367.
- Beres, B.L., Bremer, E., Sadasivaiah, R.S., Clarke, J.M., Graf, R.J., McKenzie, R.H., Dyck, R.J. (2008): Postemergence application of N fertilizer to improve grain yield and quality of irrigated durum and bread wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 88: 509–512.
- Beyer, P., Al-Babili, S., Ye, X., Lucca, P., Schaub, P., Welsch, R., & Potrykus, I. (2002): Golden Rice: Introducing the  $\beta$ -carotene biosynthesis pathway into rice endosperm by genetic engineering to defeat vitamin A deficiency. *The Journal of Nutrition*, 132(3): 506S–510S.
- Bianchi, A. (1998): Il ruolo dei frumenti di Nazareno Strampelli in Italia: passato e presente. In: Giorgi, B., Porfiri, O. (szerk.) *Proceedings of the meeting 'I frumento di Nazareno Strampelli: Una pietra miliare nella granicoltura Italiana e Mondiale'*. 26 September 199, Abbazia di Fiastra Tolentino MC, Italy. 16–27 p.
- Bietz, J.A., Shepherd, K.W., Wall, J.S. (1975): Single-kernel analysis of glutenin: use in wheat genetics and breeding. *Cereal Chemistry*, 52(4): 513–532.
- Bietz, J.A., Wall, J.S. (1972): Wheat gluten subunits: molecular weights determined by sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis. *Cereal Chemistry*, 49: 416–429.
- Blanco, A., Bellomo, M.P., Cenci, A., De Giovanni, C., D'Ovidio, R., Iacono, E., Laddomada, B., Pagnotta, M.A., Porceddu, E., Sciancalepore, A., Simeone, R., Tanzarella, O. A. (1998): A genetic linkage map of durum wheat. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 97(5-6): 721–728.
- Blanco, A., Cenci, A., Simeone, R., Gadaleta, A., Pignone, D., Galasso, I. (2002): The cytogenetics and molecular characteristics of a translocated chromosome 1AS.1AL-1DL with a *Glu-D1* locus in durum wheat. *Cellular and Molecular Biology Letters*, 7: 559–567.
- Blanco, A., Colasuonno, P., Gadaleta, A., Mangini, G., Schiavulli, A., Simeone, R., Digesù, A.M., De Vita, P., Mastrangelo, A.M., Cattivelli, L. (2011): Quantitative trait loci for yellow pigment concentration and individual carotenoid compounds in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 54: 255–264.
- Blandino, M., Pilati, A., Reyneri, A. (2009): Effect of foliar treatments to durum wheat on flag leaf senescence, grain yield, quality and deoxynivalenol contamination in North Italy. *Field Crops Research*, 114: 214–222.
- Blandino, M., Vaccino, P., Reyneri, A. (2015): Late-season nitrogen increases improver common and durum wheat quality. *Agronomy Journal*, 107: 680–690.
- Blum, A., Bebi Sinmena, Golan, G., Mayer, J. (1987): The quality of landraces of wheat as compared with modern cultivars. *Plant Breeding*, 99: 226–233.

- Blumenthal, C.S., Barlow, E.W.R., Wrigley, C.W. (1993) Growth environment and wheat quality: the effect of heat stress on dough properties and gluten proteins. *Journal of Cereal Science*, 18: 3–21.
- Boccaccio, G. (1961): Dekameron (Révay József fordítása). Európa Kiadó, Budapest. 1109 pp.
- Bock, H. (1539): New kreütter Buch. Vol. 2. Wendel Ribel Buchtrucker, Strassburg. 88 pp.
- Borodin, J. (1883): Ueber kristallinische Nebenpigmente des Chlorophylls. *Botanische Zeitung*, 41: 577–579.
- Borrelli, G.M., De Leonardis, A.M., Platani, C., Troccoli, A. (2008): Distribution along durum wheat kernel of the components involved in semolina colour. *Journal of Cereal Science*, 48: 494–502.
- Borrelli, G.M., Troccoli, A., Di Fonzo, N., Fares, C. (1999): Durum wheat lipoxygenase activity and other quality parameters that affect pasta color. *Cereal Chemistry*, 76: 335–340.
- Bouacha, O.D., Nouaigui, S., Rezgui, S. (2014): Effects of N and K fertilizers on durum wheat quality in different environments. *Journal of Cereal Science*, 59(1): 9–14.
- Bowden, W.M. (1959): The taxonomy and nomenclature of the wheats, barleys, and ryes and their wild relatives. *Canadian Journal of Botany*, 37: 657–684.
- Bowman, A.K. (1996): Egypt after the Pharaohs: 332 BC – AD 642 from Alexander to the Arab Conquest. University of California Press, Berkeley and Los Angeles. 270 pp.
- Boyacıoğlu, D., Hettiarachchy, N.S. (1995): Changes in some biochemical components of wheat grain that was infected with *Fusarium graminearum*. *Journal of Cereal Science*, 21: 57–62.
- Bozzini, A., David, J., Natoli, V. (2012): Origin and distribution of durum wheat genetic diversity in the World. In: Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., Carcea, M. (szerk.) *Durum wheat chemistry and technology* (2<sup>nd</sup> edition). AACC International, St. Paul MN, U.S.A. 1–14 p.
- Braaten, M.O., Lebsack, K.L., Sibbit, L.D. (1962): Intergeneration relations of physical properties of dough and carotenoid pigment content in durum wheat. *Crop Science*, 2: 277–281.
- Bradbury, P.J., Zhang, Z.W., Kroon, D., Casstevens, T.M., Ramdoss, Y., Buckler, E.S. (2007): TASSEL: software for association mapping of complex traits in diverse samples. *Bioinformatics*, 23: 2633–2635.
- Brainard, D.H. (2003): Color appearance and color difference specification. In: Shevell, S.K. (ed.) *The science of color*. Second Edition. Elsevier, Oxford, UK. p. 191–216.
- Branković, G.R., Dodig, D., Zorić, M.J., Šurlan-Momirović, G.G., Dragičević, V., Đurić, N. (2014): Effects of climatic factors on grain vitreousness stability and heritability in durum wheat. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38: 429–440.
- Branlard, G., Autran, J.C., Monneveux, P. (1989): High molecular weight glutenin subunit in durum wheat (*T. durum*). *Theoretical and Applied Genetics*, 78: 353–358.
- Branlard, G., Marion, D. (2011): Proteins and lipids for the 21st century. In: Bonjean A.P., Angus W.J., van Ginkel, M. (szerk.) *The World wheat book, Volume 2: a history of wheat breeding*. Lavoisier, Paris. 981–1023 p.
- Breitenbach, J., Kuntz, M., Takaichi, S., Sandmann, G. (1999): Catalytic properties of an expressed and purified higher plant type  $\zeta$ -carotene desaturase from *Capsicum annuum*. *European Journal of Biochemistry*, 265: 376–383.
- Breitenbach, J., Sandmann, G. (2005)  $\zeta$ -Carotene cis isomers as products and substrates in the plant poly-cis carotenoid biosynthetic pathway to lycopene. *Planta*, 220: 785–793.
- Breseghello, F., Sorrells, M.E. (2006): Association mapping of kernel size and milling quality in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Genetics*, 172: 1165–1177.

- Brites, C., Carillo, J.M. (2001): Influence of high molecular weight (HMW) and low molecular weight (LMW) glutenin subunits controlled by *Glu-1* and *Glu-3* loci on durum wheat quality. *Cereal Chemistry*, 78(1): 59–63.
- Bruneel, C., Pareyt, B., Brijs, K., Delcour, J.A. (2010): The impact of the protein network on the pasting and cooking properties of dry pasta products. *Food Chemistry* 120, 371–378.
- Bryant-Erdmann, S (2017): Global durum production expected to fall in 2017/18. Wheat letter - U.S. Wheat Associates. March 23, 2017. Online: <https://www.uswheat.org/wheatletter/global-durum-production-expected-to-fall-in-2017-18/>. Ellenőrizve: 2021.08.13.
- Burkhardt, S., Böhm, V. (2007): Development of a new method for the complete extraction of carotenoids from cereals with a special reference to durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 8295–8301.
- Bushuk, W., Wrigley, C.W. (1971): Effect of rust infection on Marquis wheat grain proteins. *Phytochemistry*, 10: 2975–2978.
- Bushuk, W., Zillman, R.R. (1978): Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams. I. Apparatus, method and nomenclature. *Canadian Journal of Plant Science*, 58: 505–515.
- Campos, K.M., Royo, C., Schulthess, A., Villegas, D., Matus, I., Ammar, K., Schwember, A.R. (2016): Association of phytoene synthase *Psy1-A1* and *Psy1-B1* allelic variants with semolina yellowness in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Euphytica*, 207: 109–117.
- Cátedra Cerón, M.M., Solis Martel, I. (2003): Effect of a fungicide treatment on yield and quality parameters of new varieties of durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) in western Andalusia. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 1(3): 19–26.
- Cato, M.P. (≈ie. 160): *De agri cultura: de agri cultura liber, post Henricum Keil iterum edidit Georgius Goetz* (1922). Verlag von B.G. Teubner in Leipzig und Berlin. 74 pp.
- Cenci, A., Somma, S., Chantret, N., Dubcovsky, J., Blanco, A. (2004): PCR identification of durum wheat BAC clones containing genes coding for carotenoid biosynthesis enzymes and their chromosome localization. *Genome*, 47: 911–917.
- Ceoloni, C., Biagetti, M., Ciaffi, M., Forte, P., Pasquini, M. (1996): Wheat chromosome engineering at the 4x level: the potential of different alien gene transfers into durum wheat. *Euphytica*, 89: 87–97.
- Ceoloni, C., Kuzmanović, L., Gennaro, A., Forte, P., Giorgi, D., Rosaria Grossi, M., Bitti, A. (2014): Genomes, chromosomes and genes of the wheatgrass genus *Thinopyrum*: the value of their transfer into wheat for gains in cytogenomic knowledge and sustainable breeding. Chapter 14. In: Tuberosa, R., Graner, A., Frison, E. (szerk.) *Genomics of plant genetic resources: Volume 2. Crop Productivity, Food Security and Nutritional Quality*. Springer Science+Business Media Dordrecht, The Netherlands. 333–358 p.
- Ceoloni, C., Margiotta, B., Colaprico, G., D’Egidio, M.G., Carozza, R., Lafiandra, D. (2003): Introgression of D-genome associated gluten protein genes into durum wheat. In: Pogna N.E. McIntosh R.R. (szerk.) *Tenth International Wheat Genetics Symposium: Proceedings*. Paestum, Italy, 1–6 September 2003. Vol 2. 1320–1322 p.
- Cervigni, G., Zhang, W., Picca, A., Carrera, A., Helguera, M., Manthey, F., Miranda, R., Dubcovsky, J., Echenique, V. (2005): QTL mapping for LOX activity and quality traits in durum wheat *Triticum turgidum* L. var. *durum*. *Proceedings of the 7th International Wheat Conference, Poster presentations*. Mar del Plata, Argentina Nov. 27– Dec. 2, 2005. CD melléklet.
- Chen, Y., Li, F., Wurtzel, E.T. (2010): Isolation and characterization of the Z-ISO gene encoding a missing component of carotenoid biosynthesis in plants. *Plant Physiology*, 153: 66–79.
- CIE (Commission Internationale l’Eclairage) (2008): Standard No. CIE S 017-4/E:2007 (ISO 11664-4:2008). Colorimetry – Part 4: CIE 1976 L\*a\*b\* colour space. Approved: December 1st, 2008.

- Clarke, F.R., Clarke, J.M., Ames, N.A., Knox, R.E., Ross, J.R. (2010): Gluten index compared with SDS-sedimentation volume for early generation selection for gluten strength in durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 90: 1–11.
- Clarke, F.R., Clarke, J.M., Pozniak, C.J., Knox, R.E., McCaig, T.N. (2009b): Protein concentration inheritance and selection in durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 89: 601–612.
- Clarke, F.R., Clarke, J.M., McCaig, T.N., Knox, R.E., DePauw, R.M. (2006): Inheritance of yellow pigment concentration in seven durum wheat crosses. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 133–141.
- Clarke, J.M., Clarke, F.R., McCaig, T.N., Knox, R.E., Ames N.P. (2000): Evaluation of predictors of quality for use in early generation selection. *Options Méditerranéennes, Série A: Séminaires Méditerranéens* 40: p. 439–446.
- Clarke, J.M., Howes, N.K., McLeod, J.G. and DePauw, R.M. (1993): Selection for gluten strength in three durum wheat crosses. *Crop Science*, 33: 956–958.
- Clarke, J., Pozniak, C., Clarke, F., Knox, R., Singh, A. (2009a): Association mapping of gluten index in durum wheat. In: Branlard, G. (szerk.) *Gluten proteins: proceedings of the 10th International Gluten Workshop*, 7-9 September, INRA Clermont-Ferrand, France. 235–237 p.
- Clusius, C. (1594): *Stirpium nomenclator Pannonicus., Ex officina Christofori Plantini, Antverpiae*. 14 pp.
- Colasuonno, P., Gadaleta, A., Giancaspro, A., Nigro, D., Giove, S., Incerti, O., Mangini, G., Signorile, A., Simeone, R., Blanco, A. (2014): Development of a high-density SNP-based linkage map and detection of yellow pigment content QTLs in durum wheat. *Molecular Breeding*, 34: 1563–1578.
- Colasuonno, P., Lozito, M.L., Marcotuli, I., Nigro, D., Giancaspro, A., Mangini, G., De Vita, P., Mastrangelo, A.M., Pecchioni, N., Houston, K., Simeone, R., Gadaleta, A., Blanco, A. (2017): The carotenoid biosynthetic and catabolic genes in wheat and their association with yellow pigments. *BMC Genomics*, 18: 122. 18 p.
- Colasuonno, P., Marcotuli, I., Blanco, A. Maccaferri, M., Condorelli, G.E., Tuberosa, R., Parada, R., de Camargo, A.C., Schwember, A.R., Gadaleta, A. (2019): Carotenoid pigment content in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*): An overview of quantitative trait loci and candidate genes. *Frontiers in Plant Science*, 10: 1347. 18 p.
- Colecchia, S.A., Basso, B., Cammarano, D., Gallo, A., Mastrangelo, A.M., Pontieri, P., Del Giudice, L., Pignone, D., De Vita, P. (2013): On the relationship between N management and grain protein content in six durum wheat cultivars in Mediterranean environment. *Journal of Plant Interactions*, 8(3): 271–279.
- Columella, L.I.M. (≈62): *Res Rustica*, Book II. In: *Lucius Junius Moderatus Columella, On Agriculture*, In three volumes, I, *Res rustica I-IV: With a recension of the text and an English translation by Harrison Boyd Ash* (1961). Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, William Heinemann Ltd, London. p. 104–223.
- Corbellini, M., Canevar, M.G., Mazza, L., Ciaffi, M., Lafiandra, D., Borghi, B. (1997): Effect of the duration and intensity of heat shock during grain filling on dry matter and protein accumulation, technological quality and protein composition in bread and durum wheat. *Australian Journal of Plant Physiology*, 24: 245–260.
- Coulson, C.B., Sim, A.K. (1964): Proteins of various species of wheat and closely related genera and their relationship to genetical characteristics. *Nature*, 202(4939): 1305–1308.
- Crawford, A.C., Francki, M.G. (2013): Lycopene- $\epsilon$ -cyclase (e-LCY3A) is functionally associated with quantitative trait loci for flour b\* colour on chromosome 3A in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Molecular Breeding*, 31:737–741.

- Crawford, A.C., Stefanova, K., Lambe, W., McLean, R., Wilson, R., Barclay, I., Francki, M.G. (2011): Functional relationships of phytoene synthase 1 alleles on chromosome 7A controlling flour colour variation in selected Australian wheat genotypes. *Theoretical and Applied Genetics*, 123: 95–108.
- Cseuz, L., Matuz, J., Beke, B. (2000): Annual effect on grain quality of winter durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) in Szeged, Hungary. In: Royo C., Nachit M., Di Fonzo N., Araus J.L. (szerk.) Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens, n. 40. 133–135 p.
- Cubbada, R., Carcea, M., Pasqui, L.A. (1992): Suitability of the gluten index method for assessing gluten strength in durum wheat and semolina. *Cereal Foods World*, 37: 866–869.
- Cunin, C., Handschin, S., Walther, P., Escher, F. (1995): Structural changes of starch during cooking of durum wheat pasta. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28: 323–328.
- Cunningham, F.X. Jr., Gantt, E. (2001): One ring or two? Determination of ring number in carotenoids by lycopene  $\epsilon$ -cyclases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98: 2905–2910.
- Cunningham, F.X. Jr., Pogson, B., Sun, Z., McDonald, K.A., DellaPenna, D., Gantt E. (1996): Functional analysis of the  $\beta$  and  $\epsilon$  lycopene cyclase enzymes of *Arabidopsis* reveals a mechanism for control of cyclic carotenoid formation. *Plant Cell*, 8: 1613–1626.
- D'Edigio, M.G., Mariani, B.M., Nardi, S., Novaro, P., Cubbada, R. (1990): Chemical and technological variables and their relationships: a predictive equation for pasta cooking quality. *Cereal Chemistry*, 67: 275–281.
- D'Ovidio, R., Porceddu, E. (1996): PCR-based assay for detecting IB-genes for low molecular weight glutenin subunits related to gluten quality properties in durum wheat. *Plant Breeding*, 115: 413–415.
- D'Ovidio, R., Tanzarella, O.A., Porceddu, E. (1990): Rapid and efficient detection of genetic polymorphism in wheat through amplification by polymerase chain reaction. *Plant Molecular Biology*, 15: 169–171.
- D'Ovidio, R., Tanzarella, O.A., Porceddu, E. (1992): Isolation of an alpha-type gliadin gene from *Triticum durum* Desf. and genetic polymorphism at the Gli-2 loci. *Journal of Genetics and Breeding*, 46: 41–48.
- Damidaux, R., Autran, J.C., Grignac, P., Feillet, P. (1978): Mise en évidence de relations applicables en sélection entre l'électrophorogramme des gliadines et les propriétés viscoélastiques du gluten de *Triticum durum* Desf. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences. Serie D: Sciences Naturelles*, 287: 701–704.
- Damidaux, R., Feillet, P. (1978): Relation entre les propriétés viscoélastiques du luten cuit, la teneur en protéines et la qualité culinaire des blés durs (*T. durum*). *Annales de Technologie Agricole*, 28(4): 799–808.
- Davidson, A. (2014): *The Oxford companion to food*. Oxford University Press, Oxford. 960 pp.
- De Vita, P., Li Destri Nicosia, O., Nigro, F., Platani, C., Riefolo, C., Di Fonzo, N., Cattivelli, L. (2007a): Breeding progress in morpho-physiological, agronomical and qualitative traits of durum wheat cultivars released in Italy during the 20th century. *European Journal of Agronomy*, 26: 39–53.
- De Vita, P., DiPaolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., Pisante, M. (2007b): No-tillage and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil & Tillage Research* 92(1–2): 69–78.
- Delcour, J.A., Hosney, R.C. (2010): *Principles of cereal science and technology*. Third edition. AACC International, St. Paul, MN, USA. 280 pp.

- Demmig-Adams, B., Gilmore, A.M., Adams, W.W. (1996): In vivo functions of carotenoids in higher plants. *FASEB Journal*, 10: 403–412.
- Derby Laws, W., France, W.G. (1948): A comparative study of some fractions of wheat flour. *Cereal Chemistry*, 25(4): 231–243.
- Desfontaines, R.L. (1798): *Flora atlantica: sive historia plantarum quae in Atlante, agro tunetano et algeriensi crescunt. Tomus primus. Parisiis, L.G. Desgranges.* 444 pp.
- Dexter, J.E., Crowle, W.L., Matsuo, R.R., Kosmolak, F.G. (1982): Effect of nitrogen fertilization on the quality characteristics of five North American amber durum wheat cultivars. *Canadian journal of Plant Science*, 62: 901–912.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., Clear, R.M., Clarke, J.M. (1997): Effect of Fusarium head blight on semolina milling and pasta-making quality of durum wheat. *Cereal Chemistry*, 74(5): 519–525.
- Dexter, J.E., Marchylo, B.A., Mellish, V.J. (1994): Effect of frost damage and immaturity on the quality of durum wheat, *Cereal Chemistry*, 71(5): 494–501.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R. (1977): Influence of protein content on some durum wheat quality parameters. *Canadian Journal of Plant Science*, 57: 717–727.
- Dexter, J.E., Matsuo, R.R. (1980): Relationship between durum wheat protein properties and pasta dough rheology and spaghetti cooking quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28: 899–902.
- Dexter J.E., Matsuo, R.R., Kosmolak, F.G., Leisle, D., Marchylo, B.A. (1980): The suitability of the SDS-sedimentation test for assessing gluten strength in durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 60: 25–29.
- Dexter J.E., Matsuo, R.R., Preston, K.R., Kilborn, R.H. (1981): Comparison of gluten strength, mixing properties, baking quality and spaghetti quality of some Canadian durum and common wheats. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 14: 108–111.
- Di Fonzo, N., De Vita, P., Gallo, A., Fares, C., Padalino, O., Troccoli, A. (2001): Crop management efficiency as a tool to improve durum wheat quality in Mediterranean areas. In: Abecassis, J., Autran, J.-C., Feillet P. (szerk.) *Durum wheat, semolina and pasta quality: Recent achievements and new trends. Les Colloques, n° 99, Montpellier (France), November 27, 2000.* INRA, Paris, France. 67–82 p.
- Dibari, B., Murat, F., Chosson, A., Gautier, V., Poncet, C., Lecomte, P., Mercier, I., Bergès, H., Pont, C., Blanco, A., Salse, J. (2012): Deciphering the genomic structure, function and evolution of carotenogenesis related phytoene synthases in grasses. *BMC Genomics*, 13: 221.
- Dick, J.W., Quick, J.S. (1983): A modified screening test for rapid estimation of gluten strength in early-generation durum wheat breeding lines. *Cereal Chemistry*, 60(4): 315–318.
- Digesù, A.M., Platani, C., Cattivelli, L., Mangini, G., Blanco, A. (2009): Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats. *Journal of Cereal Science*, 50: 210–218.
- Dioszkoridész, P. (I. sz.): Περί Ὑλῆς Ἰατρικῆς. In: Dioscorides, *De Materia Medica*. Being an herbal with many other medicinal materials. Written in Greek in the first century of the common era. A new indexed version in modern English by T.A. Osbaldeston and R.P.A Wood. Ibis Press, Johannesburg, South Africa. 927 pp.
- Dizlek, H., Islamoglu, M. (2015): Effects of sunn pest (*Eurygaster maura* L. Heteroptera; Scutelleridae) sucking number on physical and physicochemical characteristics of wheat varieties. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 88:10–15.
- Dorofejev, V.F., Filatenko, A.A., Migusova, E.F., Udacsin, R.A., Jakubciner, M.M. (1979): *Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница.* Kolosz, Leningrad. 346 pp.

- Dorofejev, V.F., Udacsin, P.A., Szemjonova, L.V., Novikova, M.V., Gradcsaninova, O.D., Sitova, I.P., Merezske, A.F., Filatenko, A.A., 1987. Пшеницы мира. Agropromizdat, Leningrad. 559 pp.
- Dowell, F.E., Maghirang, E.B., Xie, F., Lookhart, G.L., Pierce, R.O., Seabourn, B.W., Bean, S.R., Wilson, J.D., Chung, O.K. (2006): Predicting wheat quality characteristics and functionality using near-infrared spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 83: 529–536.
- Dubcovsky, J., Echaide, M., Giancola, S., Rousset, M., Luo, M.C., Joppa, L.R., Dvorak, J. (1997): Seed-storage-protein loci in RFLP maps of diploid, tetraploid, and hexaploid wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 95: 1169–1180.
- Dupont, F.M., Altenbach, S.B. (2003): Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*, 38(2): 133–146.
- Dvořáček, V., Štěrbová, L., Matějová, E., Bradová, J., Hermuth, J. (2018): Reflectance spectrometry as a screening tool for prediction of lutein content in diverse wheat species (*Triticum* spp.). *Food Analytical Methods*, 11(9): 2579–2589.
- Dvorak, J., McGuire, P.E., Cassidy, B. (1988): Apparent sources of the A genomes of wheats inferred from polymorphism in abundance and restriction fragment length of repeated nucleotide sequences. *Genome*, 30: 680–689.
- Eberhart, S.A., Russell, W.A. (1966): Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6(1): 36–40.
- Edwards, N.M., Gianibelli, M.C., McCaig, T.N., Clarke, J.M., Ames, N.P., Larroque, O.R., Dexter, J.E. (2007): Relationships between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse durum wheat genotypes. *Journal of Cereal Science*, 45: 140–149.
- Elouafi I., Nachit, M.M., Martin, L.M. (2001): Identification of a microsatellite on chromosome 7B showing a strong linkage with yellow pigment in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Hereditas*, 135: 255–261.
- Elton, G.A.H., Ewart, J.A.D. (1962): Starch-gel electrophoresis of cereal proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 13(1): 62–72.
- Erdei P., Sallai J-né, Gracza L-né, Péter A-né (1984): Műtrágyázás hatása a GK Basa durum búza (*Triticum durum* Desf.) minőségére. *Növénytermelés*, 33: 165–169.
- Eurostat (2021): EU cereals production, area and yield. Online: <https://circabc.europa.eu/sd/a/826456b2-1d40-456a-80a5-3665b9c7d06a/Cereals%20Production%252c%20Area%20%26%20Yield.xlsx>. Ellenőrizve: 2021.08.10.
- Fabriani, G., Lintas, C. (1988): Durum wheat: chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN. 332 pp.
- Feillet, P. (1984): The biochemical basis of pasta cooking quality, its consequences for durum wheat breeders. *Sciences des Aliments*, 4: 551–566.
- Feillet, P., Ait-Mouh, O., Kobrehel, K., Autran, J.C. (1989): The role of low molecular weight glutenin protein in the determination of cooking quality of pasta products: an overview. *Cereal Chemistry*, 66(1): 26–30.
- Feillet, P., Autran, J.C., Icard-Vernière, C. (2000): Pasta brownness: An assessment. *Journal of Cereal Science* 32: 215–233.
- Feldman, M. (2001): Origin of cultivated wheat. In: Bonjean, A.P., Angus W.J (eds.). *The World wheat book: a history of wheat breeding*. Lavoisier Publishing, London-Paris-New York. 3–56 p.
- Ferrise, R. Bindi, M., Martre, P. (2014): Grain filling duration and glutenin polymerization under variable nitrogen supply and environmental conditions for durum wheat. *Field Crops Research*, 171: 23–31.

- Ficco, D.B.M., Mastrangelo, A.M., Trono, D., Borrelli, G.M., De Vita, P., Fares, C., Beleggia, R., Platani, C., Papa, R. (2014): The colours of durum wheat. *Crop Pasture Science*, 65: 1–15.
- Fiedler, J.D., Salsman, E., Liu, Y., Michalak de Jimenez, M., Hegstad, J.B., Chen, B., Manthey, F.A., Chao, S., Xu, S., Elias, E.M., Li, X. (2017): Genome-wide association and prediction of grain and semolina quality traits in durum wheat breeding populations. *The Plant Genome*, 10(3): 1–12.
- Fifield, C.C., Smith, G.S., Hayes, J.F. (1937): Quality in durum wheats and a method of testing small samples. *Cereal Chemistry*, 14: 661–673.
- Finley, K.W., Wilkinson, G.N. (1963): The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14: 742–754.
- Finney, K.F., Fryer, H.C. (1958): Effect on loaf volume of high temperatures during the fruiting period of wheat. *Agronomy Journal*, 50(1): 28–34.
- Fleitas, M.C., Schierenbeck, M., Gerard, G.S., Dietz, J.I., Golik, S.I., Campos, P.E. Simón, M.R. (2018): How leaf rust disease and its control with fungicides affect dough properties, gluten quality and loaf volume under different N rates in wheat. *Journal of Cereal Science*, 80, 119–127.
- Fljakszberger, K.A. (1935): Хлебные злаки пшеница. In: Wulff, E.V. (szerk.): Культурная флора СССР. Goszudarsztvennoje Izdatel'stvo Szovhoznoj Kolhoznoj Literaturi, Moskva, Leningrad. 434 pp.
- Fois, S., Schlichting, L., Marchylo, B., Dexter, J., Motzo, R., Giunta, F. (2011): Environmental conditions affect semolina quality in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum* L.) cultivars with different gluten strength and gluten protein composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: 2664–2673.
- Forster S.M., Ransom, J.K., Manthey, F.A., Rickertsen, J.R., Mehring, G.H. (2017): Planting date, seeding rate, and cultivar impact agronomic traits and semolina of durum wheat. *American Journal of Plant Sciences*, 8: 2040-2055
- FOSS (2007): FOSS A/S announces the new Infratec 1241 grain and flour analyser. Online: <https://www.seedquest.com/News/releases/2007/september/20399.htm>. Ellenőrizve 2021.08.13.
- Fourcroy, A.-F. de (1790): Elements of natural history and chemistry: Translated from the last Paris edition, 1789, being the third, in 5 vols 8vo. Vol. III. C. Elliot and T. Kay, Edinburgh. 106 pp.
- Francki, M., Carter, M., Ryan, K., Hunter, A., Bellgard, M., Appels, R. (2004): Comparative organization of wheat homoeologous group 3S and 7L using wheat-rice synteny and identification of potential markers for genes controlling xanthophyll content in wheat. *Functional and Integrative Genomics*, 4: 118–130.
- Fратиани, А., Ирано, М., Панфили, Г., Аквиштуцци, Р. (2005): Estimation of color of durum wheat. Comparison of WSB, HPLC, and reflectance colorimeter measurements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53: 2373–2378.
- Gadaleta, A., Giancaspro, A., Giove, S.L., Zacheo, S., Mangini, G., Simeone, R., Signorile, A., Blanco, A. (2009): Genetic and physical mapping of new EST-derived SSRs on the A and B genome chromosomes of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 118: 1015–1025.
- Gadaleta, A., Giancaspro, A., Nigro, D., Giove, S.L., Incerti, O., Simeone, R., Piarulli, L., Colasuonno, P., Valé, G., Cattivelli, L., Blanco, A. (2014): A new genetic and deletion map of wheat chromosome 5A to detect candidate genes for quantitative traits. *Molecular Breeding*, 34: 1599–1611.
- Gale, M.D., Devos, K.M. (1998): Comparative genetics in the grasses. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95: 1971–1974.



- Gallagher, C.E., Matthews, P.D., Li, F., Wurtzel, E.T. (2004): Gene duplication in the carotenoid biosynthetic pathway preceded evolution of the grasses. *Plant Physiology*, 135: 1776–1783.
- Gennaro, A., Forte, P., Panichi, D., Lafiandra, D., Pagnotta, M. A., D'Egidio, M. G., Ceoloni, C. (2011): Stacking small segments of the 1D chromosome of bread wheat containing major gluten quality genes into durum wheat: transfer strategy and breeding prospects. *Molecular Breeding*, 30(1): 149–167.
- Giraldo, P., Royo, C., González, M., Carrillo, J.M., Ruiz, M. (2016): Genetic diversity and association mapping for agromorphological and grain quality traits of a structured collection of durum wheat landraces including subsp. *durum*, *turgidum* and *diccocon*. *PLoS ONE*, 11(11):e0166577. 24 p.
- Gollob, H.F. (1968): A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. *Psychometrika*, 33: 73–115.
- Goncharov, N.P., Golovina, K.A., Kondratenko, E.Ya. (2009): Taxonomy and molecular phylogeny of natural and artificial wheat species. *Breeding Science*, 59: 492–498.
- Grabner E. (1908): A gazdasági növények nemesítése. Az Országos Magyar Gazdasági Egyesület Könyvkiadó-Vállalata, Budapest. 227 pp.
- Grant, C.A., Di Fonzo, N., Pisante, M. (2012): Agronomy of durum wheat production. In: Sissons, M., Abecassis, J., Marchylo, B., Carcea, M. (szerk.) *Durum wheat chemistry and technology*, 2nd edition. AACCI International, St. Paul, MN, USA. 37–55 p.
- Giuliani, M.M., Giuzio, L., De Caro, A., Flagella, Z. (2011): Relationships between nitrogen utilization and grain technological quality in durum wheat: II. Grain yield and quality. *Agronomy Journal*, 103: 1668–1675.
- Guzmán, C., Autrique, J.E., Mondal, S., Singh, R.P., Govindan, V., Morales-Dorantes, A., Posadas-Romano, G., Crossa, J., Ammar, K., Peña, R.J. (2016): Response to drought and heat stress on wheat quality, with special emphasis on bread-making quality, in durum wheat. *Field Crops Research*, 186: 157–165.
- Güler, M. (2003): Irrigation effects on quality characteristics of durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 83(2): 327–331.
- Hadži-Tašković Šukalović, V., Didig, D., Zilic, S., Basic, Z., Kandic, V., Delic, N., Miritescu, M. (2013): Genotypic and environmental variation of bread and durum wheat proteins and antioxidant compounds. *Romanian Agricultural Research*, 30: 125–134.
- Haile, J.K., N'Diaye, A., Clarke, F., Clarke, J., Knox, R., Rutkoski, J., Bassi, F.M., Pozniak, C.J. (2018): Genomic selection for grain yield and quality traits in durum wheat. *Molecular Breeding*, 38: 75. 18 p.
- Halász Gy. (főszerk., 1995): *Britannica Hungarica, Világenciklopédia*, II. kötet. Magyar Világ Kiadó, Budapest. 764 pp.
- Halford, N.G., Field, J.M., Blair, H., Urwin, P., Moore, K., Robert, L., Thompson, R., Flavell, R.B., Tatham, A.S., Shewry, P. R. (1992): Analysis of HMW glutenin subunits encoded by chromosome 1A of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) indicates quantitative effects on grain quality. *Theoretical and Applied Genetics*, 83(3): 373–378.
- Hall, M.D., Rohrer-Perkins, W., Griffey, C.A., Liu, S.Y., Thomason, W.E., Abaye, O.A., Bullard-Schilling, A., Gundrum, P.G., Fanelli, J.K., Chen, J., Brooks, W.S., Seago, J.E., Will, B.C., Hokanson, E.G., Behl, H.D., Pitman, R.M., Kenner, J.C., Vaughn, M.E., Corbin, R.A., Dunaway, D.W., Lewis, T.R., Starnes, D.E., Gulick, S.A., Beahm, B.R., Whitt, D.L., Lafferty, J.B., Hareland, G.A. (2011): Registration of 'Snowglenn' winter durum wheat. *Journal of Plant Registrations*, 5(1): 81–86.

- Hamer, R.J., MacRitchie, F., Weegels, P.L. (2009): Structure and functional properties of gluten. In: Khan, K., Shewry, P.R. (szerk.) *Wheat Chemistry and Technology*, Fourth Edition. AACC International, St. Paul MN, USA. 153–178 p.
- Hare, R. : Durum wheat: Grain-quality characteristics and management of quality requirements. In: Wrigley, C., Batey, I., Miskelly, D. (szerk.) *Cereal grains: Assessing and managing quality*. Second edition, Chapter 6. Woodhead Publishing, Duxford, UK. 135–151 p.
- Harlan, J. R., Zohary, D. (1966): Distribution of wild wheats and barley. *Science*, 153: 1074–1080.
- Hartley, H. (1951): Origin of the word 'protein'. *Nature*, 168: 244.
- He, G.Y., Rooke, L., Steele, S., Békés, F., Gras, P., Tatham, A.S., Fido, R., Barcelo, P., Shewry, P.R., Lazzeri, P.A. (1999): Transformation of pasta wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) with high-molecular-weight glutenin subunit genes and modification of dough functionality. *Molecular Breeding*, 5: 377–386.
- He, X.Y., He, Z.H., Ma, W., Appels, R., Xia X.C. (2009a). Allelic variants of phytoene synthase 1 (Psy1) genes in Chinese and CIMMYT wheat cultivars and development of functional markers for flour colour. *Molecular Breeding*, 23: 553–563.
- He, X.Y., Wang, J.W., Ammar, K., Peña, R.J., Xia, X.C., He, Z.H. (2009b). Allelic variants at the Psy-A1 and Psy-B1 loci in durum wheat and their associations with grain yellowness. *Crop Science*, 49: 2058–2064.
- He, X.Y., Zhang, Y.L., He, Z.H., Wu, Y.P., Xiao, X.G., Ma, C.X., Xia, X.C. (2008): Characterization of phytoene synthase 1 gene (Psy1) located on common wheat chromosome 7A and development of a functional marker. *Theoretical and Applied Genetics*, 116: 213–221.
- Helbaek, H. (1956): Ancient Egyptian wheats. *Proceedings of the Prehistoric Society (New Series)*, 21: 93–95.
- Helmer, D., Roitel, V., Sana, M., Willcox, G. (1998): Interprétations environnementales des données archéozoologiques et archéobotaniques en Syrie du Nord de 16000 BP à 7000 BP, et les débuts de la domestication des plantes et des animaux. *Travaux de la Maison de l'Orient méditerranéen*, 28: 9–33.
- Hentschel V., Krankl, K., Hollmann, J., Lindhauer, M.G., Böhm, V., Bitsch, R. (2002): Spectrophotometric determination of yellow pigment content and evaluation of carotenoids by high-performance liquid chromatography in durum wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50: 6663–6668.
- Herrera-Foessel, S.A., Singh, R.P., Huerta-Espino, J., William, H.M., Garcia, V., Djurle, A., Yuen, J. et al (2008) Identification and molecular characterization of leaf rust resistance gene *Lr14a* in durum wheat. *Plant Disease*, 92: 469–473.
- Heun, M., Schäfer-Pregl, R., Klawan, D., Castagna, R., Accerbi, M., Borghi, B., Salamini, F. (1997): Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science*, 278: 1312–1314.
- Hillman, G. (1978): On the origins of domestic rye—*Secale cereale*: the finds from aceramic Can Hasan III in Turkey. *Anatolian Studies*, 28: 154–174.
- Hillman, G. (1996): Late Pleistocene changes in wild plant-foods available to hunter-gatherers of the northern Fertile Crescent: possible preludes to cereal cultivation. In: Hillman D. (ed.) *The origins and spread of agriculture and pastoralism in Eurasia*. UCL Press, London. 159–203 p.
- Hillman, G.C., Davies, M.S. (1990): Measured domestication rates in wild wheats and barley under primitive cultivation, and their archaeological implications. *Journal of World Prehistory*, 4: 157–222.

- Hirschberg, J., Cohen, M., Harker, M., Lotan, T., Mann, V., Pecker, I. (1997): Molecular genetics of the carotenoid biosynthesis pathway in plants and algae. *Pure and Applied Chemistry*, 69: 2151–2158.
- Holtz, Y., Ardisson, M., Ranwez, V., Besnard, A., Leroy, P., Poux, G., Roumet, P., Viader, V., Santoni, S., David, J. (2016): Genotyping by sequencing using specific allelic capture to build a high-density genetic map of durum wheat. *PLoS ONE* 11(5): e0154609. 20 p.
- Howitt, C.A., Cavanagh, C.R., Bowerman, A.F., Cazzonelli, C., Rampling, L., Mimica, J.L., Pogson, B.J. (2009): Alternative splicing, activation of cryptic exons and amino acid substitutions in carotenoid biosynthetic genes are associated with lutein accumulation in wheat endosperm. *Functional and Integrative Genomics*, 9: 363–376.
- Howitt, C.A., Pogson, B.J. (2006): Carotenoid accumulation and function in seeds and non-green tissues. *Plant, Cell and Environment*, 29: 435–445.
- Huang, X.Q., Cloutier, S., Lycar, L., Radovanovic, N., Humphreys, D.G., Noll, J.S., Somers, D.J., Brown, P.D. (2006): Molecular detection of QTLs for agronomic and quality traits in a doubled haploid population derived from two Canadian wheats (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 113: 753–766.
- Huh, J.H., Kang, B.C., Nahm, S.H., Kim, S., Ha, K.S., Lee, M.H., Kim, B.D. (2001): A candidate gene approach identified phytoene synthase as the locus for mature fruit color in red pepper (*Capsicum* spp.). *Theoretical and Applied Genetics*, 102: 524–530.
- Humphries, J.M., Graham, R.D., Mares, D.J. (2004): Application of reflectance colour measurement to the estimation of carotene and lutein content in wheat and triticale. *Journal of Cereal Science*, 40: 151–159.
- Hung, P.V., Hatcher, D.W. (2011): Ultra-performance liquid chromatography (UPLC) quantification of carotenoids in durum wheat: Influence of genotype and environment in relation to the colour of yellow alkaline noodles. *Food Chemistry*, 125: 1510–1516.
- Husnot, T. (1896-1899): Graminées, Descriptions, figures et usages des graminées spontanées et cultivées de France, Belgique, Iles Britanniques, Suisse. T. Husnot, à Cahen, par Athis (Orne). 92 pp.
- Huzsvai L. (2009): Biometriai módszerek az SPSS-ben: SPSS alkalmazások. Debreceni Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Debrecen. 277 pp. Online: <http://www.agr.unideb.hu/bioenergia/huzsvai/pub/spsskonyvphd.pdf>. Ellenőrizve 2021.08.13.
- ICC (International Association for Cereal Science and Technology) (1994): ICC Standard No. 155: Determination of wet gluten quantity and quality (gluten index ac. to Perten) of whole wheat meal and wheat flour (*Triticum aestivum*). Approved: 1995.
- ICC (International Association for Cereal Science and Technology) (1995): ICC Standard No. 158: Gluten index method for assessing gluten strength in durum wheat (*Triticum durum*). Approved: 1995.
- ICC (International Association of Cereal Science and Technology) (1990): ICC Standard No. 152: Determination of the yellow pigment content of durum wheat semolina and flour. Approved: 1990.
- Ierna, A., Lombardo, G.M., Mauromicale, G. (2016): Yield, nitrogen use efficiency and grain quality in durum wheat as affected by nitrogen fertilization under a mediterranean environment. *Experimental Agriculture*, 52(2): 314–329.
- Impiglia, A., Mullan, B., McTaggart R. (2000): Special wheats. In: Anderson, W.K., Garlingep, J.R. (eds.) *The wheat book: principles and practice*. Bulletin 4443. Agriculture Western Australia, Perth. 273–305 p.
- International Grains Council (2018): Durum outlook for 2018/19. *Grain Market Report*. 494 (22 November 2018): 8.

- IPO (International Pasta Organization, 2020): Annual report. Online: <https://internationalpasta.org/annual-report/>. Ellenőrizve: 2021.08.10.
- ISO (International Organization for Standardization): ISO 3166 Country Codes. Online: <https://www.iso.org/obp/ui/#search>. Ellenőrizve: 2021.08.13.
- ITB-CNR (Institute for Biomedical Technologies at the Italian CNR Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italy, 2019): Assembly, Svevo.v1. Online: [https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCA\\_900231445.1](https://www.ncbi.nlm.nih.gov/assembly/GCA_900231445.1). Ellenőrizve: 2021.08.13.
- Iranipour, S., Pakdel, A.K., Radjabi, G. (2010): Life history parameters of the Sunn pest, *Eurygaster integriceps*, held at four constant temperatures. *Journal of Insect Science*, 10(106): 1–9.
- Irvine, G. N., Anderson, J. A. (1953): Variation in principal quality factors of durum wheat with a quality prediction test for wheat or semolina. *Cereal Chemistry*, 30: 334–342.
- Irvine, G.N., Bradley, J.W., Martin, G.C. (1961): A farinograph technique for macaroni dough. *Cereal Chemistry*, 38: 153–164.
- Irvine, G. N., Winkler, C. A. (1950): Factors affecting the color of macaroni. II: Kinetic studies of pigment destruction during making. *Cereal Chemistry*, 27: 205–218.
- Irvine, G.N., Anderson, J.A. (1949): Factors affecting the color of macaroni. I. Fractionation of the xanthophyll pigments of durum wheats. *Cereal Chemistry*, 26: 507–512.
- IWGSC (International Wheat Genome Sequencing Consortium; 2018): Shifting the limits in wheat research and breeding using a fully annotated reference genome. *Science*, 361(6403) eaar7191: 1–13.
- IWGSC (International Wheat Genome Sequencing Consortium; 2019): IWGSC Wheat Exome v1 now available for bread and durum wheat from Arbor Biosciences. Online: <https://www.wheatgenome.org/News/Latest-news/IWGSC-Wheat-Exome-v1-now-available-for-bread-and-durum-wheat-from-Arbor-Biosciences>. Ellenőrizve: 2021.08.13.
- Jaccoud, D., Peng, K., Feinstein, D., Kilian, A. (2001): Diversity Arrays: a solid state technology for sequence information independent genotyping. *Nucleic Acid Research*, 29(4): e25. 1–7 p.
- Jackson, E.A., Morel, M.H., Sontag-Stronhm, T., Branlard, G., Metakovsky, E.V. Redaelli, R. (1996): Proposal for combining the classification systems of alleles of Gli-1 and Glu-3 loci in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Genetics and Breeding*, 50: 321–336.
- Jakubziner, M.M. (1959): New wheat species. In: Jenkins, B.C. (szerk.) *Proceedings of the First International Wheat Genetics Symposium held at the University of Manitoba, Canada, August 11-15, 1958*. 207–220 p.
- Jannink, J., Bink, M.C.A.M., Jansen, R.C. (2001): Using complex plant pedigrees to map valuable genes. *Trends in Plant Science*, 6: 337–342.
- Jansen, R.C. (1993): Interval mapping of multiple quantitative trait loci. *Genetics*, 135: 205–211.
- Jansen, R.C. (1994): Controlling the type I and type II errors in mapping Quantitative Trait Loci. *Genetics*, 138: 871–881.
- Ji, X., Xie, C., Ni, Z., Yang, T., Nevo, E., Fahima, T., Liu, Z., Sun, Q. (2008): Identification and genetic mapping of a powdery mildew resistance gene in wild emmer (*Triticum dicoccoides*) accession IW72 from Israel. *Euphytica*, 159: 385–390.
- Jiang, X.L., Chen, G.F., Li, X.J., Li, G., Ru, Z.G., Tian, J.C. (2018): Genome-wide association study for flour color-related traits and polyphenol oxidase activity in common wheat. *Cereal Research Communications*, 46(3): 388–398.
- Johnson J.W., Baenziger P.S., Yamazaki W.T., Smith R.T. (1979): Effects of powdery mildew on yield and quality of isogenic lines of ‘Chancellor’ wheat. *Crop Science*, 19(3): 349–352.

- Johnson, M., Kumar, A., Olazad-Abbasabadi, A., Salsman, E., Aoun, M., Manthey, F.A., Elias, E.M. (2019): Association mapping for 24 traits related to protein content, gluten strength, color, cooking, and milling quality using balanced and unbalanced data in durum wheat [*Triticum turgidum* L. var. *durum* (Desf.)]. *Frontiers in Genetics*, 10: 717. 18 p.
- Johnston, R.A., Quick, J.S., Donnelly, B.J. (1980): Note on comparison of pigment extraction and reflectance colorimeter methods for evaluating semolina color. *Cereal Chemistry*, 57: 447–448.
- Johnston, R.A., Quick, J.S., Hammond, J.J. (1983): Inheritance of semolina color in six durum wheat crosses. *Crop Science*, 23: 607–610.
- Jones, R.W., Taylor, N.W., Senti, F.R. (1959): Electrophoresis and fractionation of wheat gluten. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 84: 363–376.
- Joppa, L.R., Hareland, G.A., Cantrell, R.G. (1991): Quality characteristics of the Langdon durum–dicoccoides chromosome substitution lines. *Crop Science*, 31: 1513–1517.
- Joppa, L.R., Klindworth, D.L., Hareland, G.A. (1998): Transfer of high molecular weight glutenins from spring wheat to durum wheat. In: Slinkard A.E. (szerk.) *Proceedings of the 9th International Wheat Genetic Symposium*. University Extension Press, University of Saskatchewan, Saskatoon, SK, Canada. 257–260 p.
- Joppa, L.R., Williams, N.D. (1988a): Genetics and breeding of durum wheat in the United States. In: Fabriani, G., Lintas, C. (szerk.) *Durum wheat chemistry and technology*. AACCC, St. Paul, MN, USA. 47–68 p.
- Joppa, L.R., Williams, N.D. (1988b): Langdon durum disomic substitution lines and aneuploid analysis in tetraploid wheat. *Genome*, 30(2): 222–228.
- Kanehisa, M., Goto, S., Sato, Y., Furumichi, M., Tanabe, M. (2012): KEGG for integration and interpretation of large-scale molecular datasets. *Nucleic Acids Research*, 40: D109–D114.
- Kasarda, D.D., Bernardin, J.E., Qualset C.O. (1976): Relationship of gliadin protein components to chromosomes in hexaploid wheats (*Triticum aestivum* L.). *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 73: 3646–3650.
- Kelley, J.J., Koenig, V.L. (1963): Electrophoretic analysis of flour proteins from various varieties of wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 14(1): 29–38.
- Kendal, E., Şener, O. (2015): Examination of genotype × environment interactions by GGE biplot analysis in spring durum wheat. *Indian Journal of Genetics*, 75(3): 341–348.
- Khalil, I.H., Carver, B.F., Krenzer, E.G., MacKown, C.T., Horn, G.W. (2002): Genetic trends in winter wheat yield and test weight under dual-purpose and grain-only management systems. *Crop Science*, 42: 710–715.
- Kihara, H. (1924): Cytologische und genetische Studien bei wichtigen Getreidearten mit besonderer Rücksicht auf das Verhalten der Chromosomen und Sterilität in den Bastarden. *Memoirs of the College of Science, Kyoto Imperial University, Series B*. 1(4): 1–200.
- Kihara, H. (1930): Genomanalyse bei *Triticum* und *Aegilops*. *Citologia*, 1: 263–270.
- Kiliç, H., Yağbasanlar, T. (2010): The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) cultivars. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38(1): 164–170.
- Kim, J., DellaPenna, D. (2006): Defining the primary route for lutein synthesis in plants: the role of *Arabidopsis* carotenoid β-ring hydroxylase CYP97A3. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 103: 3474–3479.
- Kimber, G. Sears, E.R. (1983): Assignment of genome symbols in the Triticeae. In: Sakamoto, S. (szerk.) *Proceedings of the Sixth International Wheat Genetics Symposium: Held at Kyoto, Japan, November 28-December 3, 1983*. 1195–1196 p.

- King, J., Gay, A., Sylvester-Bradley, R., Bingham, I., Foulkes, J., Gregory, P., Robinson, D. (2003): Modelling cereal root systems for water and nitrogen capture: towards an economic optimum. *Annals of Botany*, 91(3): 383–390.
- Kirk J.T.O., Tilney-Bassett R.A.E. (1978): *The Plastids: their chemistry, structure, growth and inheritance*. Elsevier/North Holland Biomedical Press, Amsterdam, The Netherlands. 960 pp.
- Kiricsenko, F.G., Makszimenko, Ja.K. (1967): Создание озимой твёрдой пшеницы для степи УССР. *Szelekciija i Szemenovodsztva*, 32(6): 5–12.
- Kislev, M.E., Nadel, D., Carmi I (1992): Epipalaeolithic (19,000 BP) cereal and fruit diet at Ohalo II, Sea of Galilee, Israel. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 73: 161–166.
- Kislev, M. (1981). The history of evolution of naked wheats. *Zeitschrift für Archäologie Berlin*, 15: 57–64.
- Kislev, M. E. (1984): Emergence of wheat agriculture. *Paleorient*, 10: 61–70.
- Kislev, M.E. (1980): *Triticum parvicoccum* sp. nov., the oldest naked wheat. *Israelian Journal of Botany*, 28: 95–107.
- Kizilgeci, F., Albayrak, O., Yildirim, M. (2019): Evaluation of thirteen durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes suitable for multiple environments using GGE biplot analysis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 28(9): 6873–6882.
- Kobrehel, K., Laignelet, B., Feillet, P. (1972): Relation entre les activités peroxydasiques et polyphénoloxydasiques des blés durs et le brunissement des pâtes alimentaires. *Comptes rendus des séances de l'Académie d'agriculture de France*, 58: 1099–1105.
- Koksel, H., Ozderen, T., Olanca, B., Ozay, D.S. (2009): Effects of suni bug (*Eurygaster* spp.) damage on milling properties and semolina quality of durum wheats (*Triticum durum* L.). *Cereal Chemistry*, 86(2): 181–186.
- Komarov, V.L., Rozsevic, R.Ju., Siskin, B.K. (1934): *Флора СССР, II*. Izdatel'stvo Akademii Nauk SzSzSzR, Leningrad. 778 pp.
- Konzak, C.F. (1977): Genetic control of the content, amino acid composition, and processing properties of proteins in wheat. *Advances in Genetics*, 19: 407–582.
- Kosmolak, F.G., Dexter, J.E., Matsuo, R.R., Leisle, D., Marchylo, B.A. (1980): A relationship between durum wheat quality and gliadin electrophoregrams. *Canadian Journal of Plant Science*, 60: 427–432.
- Körnicker, F. (1885): *Handbuch des Getreidebaues. Erste Band: Die Arten und Varietäten*. Verlag von Paul Parey, Berlin. 470 pp.
- Körnicker, F. (1889): *Ueber die wilden Stammformen unserer Kulturweizen*. Decheniana, Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande, Westfalens und des Reg.-Bezirks Osnabrück. Botanik. 21.
- Központi Statisztikai Hivatal (2018): A fontosabb növények vetésterülete, 2018. június 1. Statisztikai Tükör, 2018 augusztus 3.: 1–5.
- La Rota, M., Sorrels, M.E. (2004): Comparative DNA sequence analysis of mapped wheat ESTs reveals the complexity of genome relationships between rice and wheat. *Functional and Integrative Genomics*, 4: 34–46.
- Lafferty, J. (2011): Durum - zwischen Ertrag und Qualität? In: Brandstetter, A., Geppner, M., Grausgruber, H., Buchgraber, K. (szerk.) *Tagungsband der 61. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs*, 23.-25. November 2010, Raumberg-Gumpenstein. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, Irnding, Österreich. 41–44 p.

- Lawlor, D.W. (2002): Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of Experimental Botany*, 53(370): 773–787.
- Lawrence, G.J., Shepherd, K.W. (1981): Chromosomal location of genes controlling seed proteins in species related to wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 59(1): 25–31.
- Le Lamer, O., Rousselin, X. (2011): The durum wheat market. FranceAgriMer, Montreuil-sous-Bois. 44 pp.
- Lebsock, K.L. (1963): Transfer of Norin 10 genes for dwarfness to durum wheat. *Crop Science*, 3: 450–451.
- Lee, J., Kaltsikes, P.J., Bushuk, W. (1976): The inheritance of lipoxidase activity and pigment content in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 47: 243–250.
- Lee, J.W., Ronalds, J.A. (1967): Effect of environment on wheat gliadin. *Nature*, 213: 844–846.
- Leenhardt, F., Lyan, B., Rock, E., Potus, J., Chanliaud, E., Remesy, C. (2006): Genetic variability of carotenoid concentration, and lipoxygenase and peroxidase activities among cultivated wheat species and bread wheat varieties. *European Journal of Agronomy*, 25: 170–176.
- Lepage, M., Sims, P.A. (1968): Carotenoids of wheat flour: their identification and composition. *Cereal Chemistry*, 45: 600–604.
- Lerner, S.E., Cogliatti, M., Ponzio, N.R., Seghezzo, M.L., Molfese, E.R., Rogers, W.J. (2004): Genetic variation for grain protein components and industrial quality of durum wheat cultivars sown in Argentina. *Journal of Cereal Science*, 40: 161–166.
- Letta, T., Olivera, P., Maccaferri, M., Jin, Y., Ammar, K., Badebo, A., Salvi, S., Noli, E., Crossa, J., Tuberosa, R. (2014): Association mapping reveals novel stem rust resistance loci in durum wheat at the seedling stage. *The Plant Genome*, 7(1): 1–13.
- Levy, A.A., Feldman, M. (2004): Genetic and epigenetic reprogramming of the wheat genome upon allopolyploidization. *Biological Journal of the Linnean Society*, 82: 607–613.
- Li, D.A., Walker, E., Francki, M.G. (2015): Identification of a member of the catalase multigene family on wheat chromosome 7A associated with flour b\* colour and biological significance of allelic variation. *Molecular Genetics and Genomics*, 290: 2313–2324.
- Li, Y., Wang, Q., Li, X.Y., Xiao, X., Sun, F.S., Wang, C., Hu, W., Feng, Z.J., Chang, J.L., Chen, M.J., Wang, Y.S., Li, K.X., Yang, G.X., He, G.Y. (2012): Coexpression of the high molecular weight glutenin subunit 1ax1 and puroindoline improves dough mixing properties in durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*). *PLoS ONE*, 7(11): e50057.
- Li, Y.F., Wu, Y., Hernandez-Espinosa, N., Peña, R.J. (2013): Heat and drought stress on durum wheat: Responses of genotypes, yield, and quality parameters. *Journal of Cereal Science*, 57: 398–404.
- LI-COR (2009): Microsatellite analysis manual: Model 4300 DNA Analyzer. LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA. 48 pp. Online: <https://www.licor.com/documents/zqqs0mh7vjbdomidype6m8ba6z5y2lz>. Ellenörizve: 2021.08.07.
- Liebig, J. von (1840): *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, Braunschweig. 353 pp.
- Lin, C.S., Binns, M.R., Lefkovich, L.P. (1986): Stability analysis: Where do we stand? *Crop Science*, 26(5): 894–900.
- Lindgren, L.O., Stålberg, K.G., Höglund, A. (2003): Seed-specific overexpression of an endogenous *Arabidopsis* phytoene synthase gene results in delayed germination and increased levels of carotenoids, chlorophyll, and abscisic acid. *Plant Physiology*, 132: 779–785.
- Linné, Carl von (1753): *Species Plantarum. Impensis Laurentii Salvii, Holmiae*. 560 pp.

- Liu, C.Y., Rathjen, A.J., Shepherd, K.W., Gras, P.W., Giles, L.C. (1995): Grain quality and yield characteristics of D-genome disomic substitution lines in 'Langdon' (*Triticum turgidum* var. *durum*). *Plant Breeding*, 114: 34–39.
- Liu, J., Chen, G-F., Waterhouse, S., Zhao, Z-T., Tian, J-C., Wu, P. (2018): Genome-wide association study for colour traits of steamed wheat flour bread using single nucleotide polymorphism markers. *Journal of Food and Nutrition Research*, 57: 179–194.
- Longin, C.F.H., Sieber, A.N., Reif, J.C. (2013): Combining frost tolerance, high grain yield and good pasta quality in durum wheat. *Plant Breeding*, 132: 353–358.
- Löve, Á (1984): Conspectus of the Triticeae. *Feddes Repertorium*, 95: 425–521.
- Lukaszewski, A.J. Curtis, C.A. (1994): Transfer of the Glu-D1 gene from chromosome 1D to chromosome 1A in hexaploid triticale. *Plant Breeding*, 112(3): 177–182.
- Luo, M-C., Gu, Y.Q., Puiu, D., Wang, H., Twardziok, S.O., Deal, K.R., Huo, N., Zhu, T., Wang, L., Wang, Y., McGuire, P.E., Liu, S., Long, H., Ramasamy, R.K., Rodriguez, J.C., Van, S.L., Yuan, L., Wang, Z., Xia, Z., Xiao, L., Anderson, O.D., Ouyang, S., Liang, Y., Zimin, A.V., Perrea, G., Qi, P., Bennetzen, J.L., Dai, X., Dawson, M.W., Müller, H-G., Kugler, K., Rivarola-Duarte, L., Spannagl, M., Mayer, K.F.X., Lu, F-H., Bevan, M.W., Leroy, P., Li, P., You, F.M., Sun, Q., Liu, Z., Lyons, E., Wicker, T., Salzberg, S.L., Devos, K.M., Dvořák, J. (2017): Genome sequence of the progenitor of the wheat D genome *Aegilops tauschii*. *Nature*, 551: 498.
- Mac Key, J. (1988): A plant breeder's aspect on taxonomy of cultivated plants. *Biologisches Zentralblatt*, 107: 369–379.
- Mac Key, J. (2005): Wheat: its concept, evolution, and taxonomy. In: Royo, C., Nachit, M.M., Di Fonzo, N., Araus, J.L., Pfeiffer, W.H., Slafer, G.A. (szerk.) *Durum wheat breeding: current approaches and future strategies*, Vol. 1. Food Products Press, An Imprint of The Haworth Press, Inc., New York, London, Oxford. 3–61 p.
- Maccaferri, M., Cané, M.A., Sanguineti, M.C., Salvi, S., Colalongo, M.C., Massi, A., Clarke, F., Knox, R., Pozniak, C.J., Clarke, J.M., Fahima, T., Dubcovsky, J., Xu, S., Ammar, K., Karsai, I., Vida, G., Tuberosa, R. (2014a). A consensus framework map of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) suitable for linkage disequilibrium analysis and genome-wide association mapping. *BMC Genomics*, 15: 873.
- Maccaferri, M., Harris, N.S., Twardziok, S.O., Pasam, R.K., Gundlach, H., Spannagl, M., Ormanbekova, D., Lux, T., Prade, V.M., Milner, S.G., Himmelbach, A., Mascher, M., Bagnaresi, P., Faccioli, P., Cozzi, P., Lauria, M., Lazzari, B., Stella, A., Manconi, A., Gnocchi, M., Moscatelli, M., Avni, R., Deek, J., Biyiklioglu, S., Frascaroli, E., Corneti, S., Salvi, S., Sonnante, G., Desiderio, F., Marè, C., Crosatti, C., Mica, E., Özkan, H., Kilian, B., De Vita, P., Marone, D., Joukhadar, R., Mazzucotelli, E., Nigro, D., Gadaleta, A., Chao, S., Faris, J.D., Melo, A.T.O., Pumphrey, M., Pecchioni, N., Milanesi, L., Wiebe, K., Ens, J., MacLachlan, R.P., Clarke, J.M., Sharpe, A.G., Koh, C.S., Liang, K.Y.H., Taylor, G.J., Knox, R., Budak, H., Mastrangelo, A.M., Xu, S.S., Stein, N., Hale, I., Distelfeld, A., Hayden, M.J., Tuberosa, R., Walkowiak, S., Mayer, K.F.X., Ceriotti, A., Pozniak, C.J., Cattivelli, L. (2019): Durum wheat genome highlights past domestication signatures and future improvement targets. *Nature Genetics*, 51(5): 885–895.
- Maccaferri, M., Ricci, A., Salvi, S., Milner, S.G., Noli, E., Martelli, P.L., Casadio, R., Akhunov, E., Scalabrin, S., Vendramin, V., Ammar, K., Blanco, A., Desiderio, F., Distelfeld, A., Dubcovsky, J., Fahima, T., Faris, J., Korol, A., Massi, A., Mastrangelo, A.M., Morgante, M., Pozniak, C., N'Diaye, A., Xu, S., Tuberosa, R. (2014b): A high-density, SNP-based consensus map of tetraploid wheat as a bridge to integrate durum and bread wheat genomics and breeding. *Plant Biotechnology Journal*, 13(5): 648–663.
- Maccaferri, M., Sanguineti, M.C., Natoli, V., Araus Ortega, J.L., Ben Salem, M., Bort, J., Chenenaoui, C., De Ambrogio, E., del Moral, L.G., De Montis, A., El-Ahmed, A., Maalouf, F., Machlab, H., Moragues, M., Motawaj, J., Nachit, M., Nserallah, N., Ouabbou, H., Royo, C., Tuberosa, R.



- (2006): A panel of elite accessions of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) suitable for association mapping studies. *Plant Genetic Resources*, 4: 79–85.
- Magyar Élelmiszerkönyv Bizottság (2014): Magyar Élelmiszerkönyv: 2-201 számú irányelv, Malomipari termékek. Online: [https://elelmiszerlanc.kormany.hu/akadalymentes/download/e/64/b1000/2-201\\_2016-06-09.pdf](https://elelmiszerlanc.kormany.hu/akadalymentes/download/e/64/b1000/2-201_2016-06-09.pdf). Ellenőrizve: 2021.08.13.
- Magyar Szabványügyi Testület (2017): Magyar Szabvány MSZ 6383:2017: Búza és durumbúza élelmezési célra. Érvényesség kezdete 2017.06.01.
- Maier U. (1996): Morphological studies of free-threshing wheat ears from a Neolithic site in southwest Germany, and the history of the naked wheats. *Vegetation History and Archaeobotany*, 5: 39–55.
- Makowska, A., Obuchowski, W., Sulewska, H., Koziara, W., Paschke, H. (2008): Effect of nitrogen fertilization of durum wheat varieties on some characteristics important for pasta production. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 7(1): 29–39.
- Malcolmson, L.J., Matsuo, R.R., Balshaw, R. (1993): Textural optimization of spaghetti using response surface methodology: effects of drying temperature and durum protein level. *Cereal Chemistry* 70, 417–423.
- Malosetti, M., Ribaut, J.M., Eeuwijk, F.A. (2013): The statistical analysis of multi-environment data: modeling genotype-by-environment interaction and its genetic basis. *Frontiers in Physiology* 4: 44. 17 p.
- Mangels, C.E. (1925): Effect of climate and other factors on the protein content of North Dakota wheat. *Cereal Chemistry*, 2: 288–297.
- Marcotuli, I., Gadaleta, A., Mangini, G., Signorile, A.M., Zacheo, S.A., Blanco, A., Simeone, R., Colasuonno, P., (2017): Development of a high-density SNP-based linkage map and detection of QTL for  $\beta$ -glucans, protein content, grain yield per spike and heading time in durum wheat. *International Journal of Molecular Sciences*, 18: 1329. 16 p.
- Mares, D.J., Campbell, A.W. (2001): Mapping components of flour and noodle colour in Australian wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52: 1297–1309.
- Marone, D., Laidò, G., Gadaleta, A., Colasuonno, P., Ficco, D.B.M., Giancaspro, A., Giove, S., Panio, G., Russo, M.A., De Vita, P., Cattivelli, L., Papa, R., Blanco, A., Mastrangelo, A.M. (2012): A high-density consensus map of A and B wheat genomes. *Theoretical and Applied Genetics*, 125: 1619–1638.
- Martini, D., Taddei, F., Ciccoritti, R., Pasquini, M., Nicoletti, I., Corradini, D., D'Egidio, M.G. (2015): Variation of total antioxidant activity and of phenolic acid, total phenolics and yellow coloured pigments in durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*) as a function of genotype, crop year and growing area. *Journal of Cereal Science*, 65: 175–185.
- Marchylo, B.A., Dexter, J.E., Clarke, F.R., Clarke, J.M. Preston, K.R. (2001): Relationships among bread-making quality, gluten strength, physical dough properties, and pasta cooking quality for some Canadian durum wheat genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 81: 611–620.
- Mares, D.J., Campbell, A.W. (2001): Mapping components of flour and noodle colour in Australian wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52: 1297–1309.
- Markley, M.C., Bailey, C.H. (1935): Determination of the carotenoid pigment concentration of small samples of whole wheat. *Cereal Chemistry*, 12: 49–53.
- Martinez, M.C., Ruiz, M., Carillo, J.M. (2005): Effects of different prolamins alleles on durum wheat quality properties. *Journal of Cereal Science*, 41: 123–131.
- Mascher, M., Richmond, T.A., Gerhardt, D.J., Himmelbach, A., Clissold, L., Sampath, D., Ayling, S., Steuernagel, B., Pfeifer, M., D'Ascenzo, M., Akhunov, E.D., Hedley, P.E., Gonzales, A.M., Morrell, P.L., Kilian, B., Blattner, F.B., Scholz, U., Mayer, K.F.X., Flavell, A.J., Muehlbauer,

- G.J., Waugh, R., Jeddalo, J.A., Stein, N. (2013): Barley whole exome capture: a tool for genomic research in the genus *Hordeum* and beyond. *The Plant Journal*, 76(3): 494–505.
- Matsuo R.R. (1994): Durum wheat: its unique pasta-making properties. In: Bushuk W., Rasper V.F. (szerk.) *Wheat: production, properties and quality*. Springer Science+Business Media, Dordrecht, The Netherlands. 169–178 p.
- Matsuo, R. R., Irvine, G.N. (1967): Macaroni brownness. *Cereal Chemistry*, 44: 78–85.
- Matsuo, R. R., Irvine, G.N. (1970): Effect of gluten on the cooking quality of spaghetti. *Cereal Chemistry*, 47: 173–180.
- Matsuo, R.R., Irvine, G.N. (1975): Rheology of durum wheat products. *Cereal Chemistry*, 52(3 Supplement): 131r–135r.
- Matuz J., Beke B., Kovács Zs. (1997): Az évjárat hatása az őszi durum búzatörzsek (*Triticum durum* Desf.) minőségére, valamint az  $F_1$ ,  $F_2$ , és  $F_3$  hibridpopulációk minőségének öröklődésére. *Növénytermelés*, 46(1): 1–11.
- Matz, S.A., Larsen, R.A. (1954): Evaluating semolina color with photoelectric reflectometers. *Cereal Chemistry*, 31: 73–86.
- McClung, A.M., Cantrell, R.G. (1986): Inheritance of glume color and gluten strength in durum wheat. *Euphytica*, 35(3): 885–890.
- McIntosh, R.A., Wellings, C.R., Park, R.F. (1995): *Wheat rusts: An atlas of resistance genes*. CSIRO Publications, East Melbourne, VI, Australia. 205 pp.
- McIntosh, R.A., Yamazaki, Y., Dubcovsky, J., Rogers, J., Morris, C., Appels, R., Xia, X.C. (2020): Catalogue of Gene Symbols for Wheat. Online: <https://shigen.nig.ac.jp/wheat/komugi/genes/symbolClassList.jsp>. Ellenőrizve: 2021.08.13.
- Melnikova, N.V., Kudryavtseva, A.V., Kudryavtsev A.M. (2012): Catalogue of alleles of gliadin-coding loci in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Biochimie*, 94(2): 551–557.
- Mesterházy, Á., Bartók, T., Kászonyi, G., Marga, M., Tóth, B., Varga, J. (2005): Common resistance to different *Fusarium* spp. causing *Fusarium* head blight in wheat. *European Journal of Phytopathology*, 112: 267–281.
- Metzger, M.J., Bunce, R.G.H., Jongman, R.H.G., Múcher, C.A., Watkins, J.W. (2005): A climatic stratification of the environment of Europe. *Global Ecology and Biogeography*, 14: 549–563.
- Mikó, P., Vida G., Rakszegi, M., Lafferty, J., Lorentz, B., Longin, C.F.H., Megyeri, M. (2017): Selection of winter durum genotypes grown under conventional and organic conditions in different European regions. *Euphytica*, 213: 169. 14 p.
- Mir, R.R., Reynolds, M., Pinto, F., Khan, M.A., Bhat, M.A. (2019): High-throughput phenotyping for crop improvement in the genomics era. *Plant Science*, 282: 60–72.
- Miranda, G.V., Vagno de Souza, L., Moreira Guimarães, L.J., Namorato, H., Rodrigues Oliveira, L., Oliveira Soares, M. (2009): Multivariate analyses of genotype x environment interaction of popcorn. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(1): 45–50.
- Miravalles, M., Lerner S., Seghezzo, M.L., Molfese, E., Möckel F.E. (2007): Use of the alveographic technique for gluten strength evaluation of durum wheat in Argentina. 1st Latin American Conference – ICC on Cereals and Cereal Products. Rosario, Argentina, September 23–26. CD, Volume: 1.
- Moreno-Amores, J., Michel, S., Miedaner, T., Longin, C.F.H., Buerstmayr, H. (2020): Genomic predictions for *Fusarium* head blight resistance in a diverse durum wheat panel: an effective incorporation of plant height and heading date as covariates. *Euphytica*, 216(22): 1–19.

- Morris, R., Sears, E.R. (1967): The cytogenetics of wheat and its relatives. In: Quisenberry, K.S., Reitz, L.P. (szerk.) Wheat and wheat improvement. American Society of Agronomy, Madison WI. 19–87 p.
- Motzo, R., Fois, S., Giunta, F. (2004): Relationship between grain yield and quality of durum wheats from different eras of breeding. *Euphytica*, 140: 147–154.
- Motzo, R., Fois, S., Giunta, F. (2007): Protein content and gluten quality of durum wheat (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) as affected by sowing date. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(8): 1480–1488.
- Mulder, G.J. (1838): Sur la composition de quelques substance animales. *Bulletin des Sciences Physiques et Naturelles en Néerlande*. Chez P.H. vanden Heuvel, Leyde. 104–119. p.
- Munsell, A.H. (1912): A pigment color system and notation. *American Journal of Psychology*, 23: 236–244.
- Murphy, D.J. (2007): *People, plants and genes: the story of crops and humanity*. Oxford University Press Inc., New York. 401 pp.
- Nachit, M.M., Elouafi, I., Pagnotta, A., El Saleh, A., Iacono, E., Labhilili, M., Asbati, A., Azrak, M., Hazzam, H., Benscher, D., Khairallah, M., Ribaut, J.M., Tanzarella, O.A., Porceddu, E., Sorrells, M.E. (2001). Molecular linkage map for an intraspecific recombinant inbred population of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. *durum*). *Theoretical and Applied Genetics*, 102(2-3), 177–186.
- Nalivkin, A.A. (1953): Твёрдые пшеницы. Goszudarsztvennoje Izdatel'stvo Szel'szkohozjajsztvennoj literaturü, Moszkva. 191 pp.
- Nazco, R., Peña, R.J., Ammar, K., Villegas, D., Crossa, J., Moragues, M., Royo, C. (2014): Variability in glutenin subunit composition of Mediterranean durum wheat germplasm and its relationship with gluten strength. *Journal of Agricultural Science*, 152: 379–393.
- N'Diaye, A., Haile, J.K., Cory, A.T., Clarke, F.R., Clarke, J.M., Knox, R.E., Pozniak, C.J. (2017): Single marker and haplotype-based association analysis of semolina and pasta colour in elite durum wheat breeding lines using a high-density consensus map. *PLoS One*, 12(10): e0187178. 24 p.
- N'Diaye, A., Haile, J.K., Nilsen, K.T., Walkowiak, S., Ruan, Y-F., Singh, A.K., Clarke, F.R., Clarke, J.M., Pozniak, C.J. (2018): Haplotype loci under selection in Canadian durum wheat germplasm over 60 years of breeding: association with grain yield, quality traits, protein loss, and plant height. *Frontiers in Plant Science*, 9: Article 1589. 19 p.
- NÉBIH (Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, 2020). A NÉBIH Mezőgazdasági Erőforrások Igazgatóság tájékoztatása a 2020. évi kalászos fajtaarányokról az alkalmasnak minősített vetőmagszaporító területek alapján. Online: <https://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/772462/2020kal%C3%A1szosrangsor.pdf/33d8e7ff-983c-533f-5dc3-62fac8888fb5?t=1607945988633>. Ellenőrizve: 2021.08.10.
- NÉBIH (Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, 2020): Nemzeti Fajtajegyzék: Szántóföldi növények. NÉBIH, Budapest. 54 pp.
- Odry P. (1929): A keménymagvú búza (*Triticum durum*) termesztése. *Köztelek*. 39: 2097–2098.
- Oikonomou, N.A., Bakalis, S., Rahman, M.S., Krokida, M.K. (2015): Gluten index for wheat products: main variables in affecting the value and nonlinear regression model. *International Journal of Food Properties*, 18(1): 1–15.
- Olteanu, G., Tabără, V. (2008): Quality indices of the *Triticum durum* (the Pandur cultivar) under the impact of density and agri-fund. *Research Journal of Agricultural Science*, 40(1): 145–150.
- Országos Meteorológiai Szolgálat (2020): Magyarország éghajlata, napi adatok - Szeged Online: [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/eghajlati\\_adatsorok/Szeged/adatok/napi\\_adatok/](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/Szeged/adatok/napi_adatok/). Ellenőrizve: 2021.08.13.

- Ottman, M.J., Doerge, T.A., Martin, E.C. (2000): Durum grain quality as affected by nitrogen fertilization near anthesis and irrigation during grain fill. *Agronomy Journal*, 92: 1035–1041.
- Osborne, T.B. (1907): The proteins of the wheat kernel. Carnegie Institution of Washington, Washington D.C., USA. 119 pp.
- Paikert A. (1908): Külföldi szemle: Durum-búza. *Köztelek*, 18(4): 78.
- Paine, J.A., Shipton, C.A., Chaggar, S., Howells, R.M., Kennedy, M.J., Vernon, G., Wright, S.Y., Hinchliffe, E., Adams, J.L., Silverstone, A.L., Drake, R. (2005): Improving the nutritional value of Golden Rice through increased pro-vitamin A content. *Nature Biotechnology*, 23: 482–487.
- Palamarchuk, A. (2005): Selection strategies for traits relevant for winter and facultative durum wheat. In: Royo, C., Nachit, M., Di Fonzo, N., Araus, J.L., Pfeiffer, W.H., Slafer, G.A. (szerk.) *Durum wheat breeding: current approaches and future strategies*. Food Products Press, New York. 599–644 p.
- Palmer L.S. (1922): Carotenoids and related pigments: the chromolipoids. The Chemical Catalog Company, Inc., New York, USA. 316 pp.
- Panayotova, G., Kostadinova, S., Valkova, N. (2017): Grain quality of durum wheat as affected by phosphorus and combined nitrogen-phosphorus fertilization. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 60: 356–363.
- Panfili, G., Fratianni, A., Irano, M. (2004): Improved normal-phase high-performance liquid chromatography procedure for the determination of carotenoids in cereals *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52: 6373–6377.
- Panin, V.M. (2011): Глиадины как генетические маркеры в генетике и селекции озимой твёрдой пшеницы. *Современные проблемы науки и образования*, 2011(3): 1–9. Online: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=4680>. Ellenőrizve: 2021.08.13.
- Panin, V.M., Necvetajev, V.P. (1986): Генетический контроль глиадина и некоторых морфологических признаков колоса твёрдой озимой пшеницы. *Научно-технический бюллетень ВСГИ. (Одесса)*, 60(2): 31–36.
- Park, H., Kreunen, S.S., Cuttriss, A.J., DellaPenna, D., Pogson, B.J. (2002): Identification of the carotenoid isomerase provides insight into carotenoid biosynthesis, prolamellar body formation, and photomorphogenesis. *Plant Cell*, 14: 321–332.
- Parker, G.D., Chalmers, K.J., Rathjen, A.J., Langridge, P. (1998): Mapping loci associated with flour colour in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 97: 238–245.
- Patil, R., Oak, M., Deshpande, A., Tamhakar, S. (2018): Development of a robust marker for *Psy-1* homoeologs and its application in improvement of yellow pigment content in durum wheat. *Molecular Breeding*, 38: 136. 13 p.
- Patil, R.M., Oak, M.D., Tamhankar, S.A., Sourdille, P., Rao, V.S. (2008): Mapping and validation of a major QTL for yellow pigment content on 7AL in durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*). *Molecular Breeding*, 21: 485–496.
- Patil, R.M., Oak, M.D., Tamhankar, S.A., Rao, V.S. (2009): Molecular mapping of QTLs for gluten strength as measured by sedimentation volume and mixograph in durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*). *Journal of Cereal Science*, 49: 378–386.
- Patil, R.M., Oak, M.D., Tamhankar, S.A., Sourdille, P., Rao, V.S. (2008): Mapping and validation of a major QTL for yellow pigment content on 7AL in durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*). *Molecular Breeding*, 21: 485–496.
- Payne, P.I., Corfield, K.G., Blackman, J.A. (1979): Identification of a high-molecular-weight subunit of glutenin whose presence correlates with bread-making quality in wheats of related pedigree. *Theoretical and Applied Genetics*, 55: 153–159.

- Payne, P.I., Holt, L.M., Jackson, E.A., Law, C.N. (1984a): Wheat storage proteins: their genetics and their potential for manipulation by plant breeding. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 304(1120): 359–371.
- Payne, P. I., Holt, L. M., Lawrence, G. J., & Law, C. N. (1982a): The genetics of gliadin and glutenin, the major storage proteins of the wheat endosperm. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition*, 31(3): 229–241.
- Payne, P.I., Holt, L.M., Worland, A.J., Law, C.N. (1982b): Structural and genetical studies on the high-molecular-weight subunits of wheat glutenin: Part 3. Telocentric mapping of the subunit genes on the long arms of the homoeologous group 1 chromosomes. *Theoretical and Applied Genetics*, 63: 129–138.
- Payne, P.I., Jackson, E.A., Holt, L.M. (1984b): The association between g-gliadin 45 and gluten strength in durum wheat varieties: a direct causal effect or the result of genetic linkage? *Journal of Cereal Science*, 2: 73–81.
- Payne, P.I., Nightingale, M.A., Krattiger, A.F., Holt, L.M. (1987): The relationship between HMW glutenin subunit composition and the bread-making quality of british-grown wheat varieties. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 40: 51–65.
- Peña R.J. (2000): Durum wheat for pasta and bread-making: comparison of methods used in breeding to determine gluten quality-related parameters. In: Royo C., Nachit M., Di Fonzo N., Araus J.L. (szerk.) *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, n. 40. 423–430 p.
- Pena, P., L'Obel, M. (1571): *Stirpium adversaria nova*. London, Thomas Purfoet. 499 pp.
- Percival, J. (1921): *The wheat plant*. Duckworth & Co, London. 463 pp.
- Perego, P., Sordi, A., Grivon, D., Converti, A., Dovì, V. (2002): Rheological study in the pasta industry by alveographic analysis. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 3(4) : 202–206.
- Perkins, J.M., Jinks, J.L. (1968): Environmental and genotype-environmental components of variability: III. multiple lines and crosses. *Heredity*, 23: 339–356.
- Perry, A., Rasmussen, H., Johnson, E.J. (2009): Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22: 9–15.
- Perten, H. (1990): A rapid measurement of wet gluten quality by the gluten index method. *Cereal Foods World*, 35: 401–402.
- Petitot, M., Abecassis, J., Micard, V. (2009): Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Trends in Food Science and Technology*, 20: 521–532.
- Pinheiro, N., Costa, R., Almeida, A.S., Coutinho, J., Gomes, C., Maças, B. (2013): Durum wheat breeding in Mediterranean environments - influence of climatic variables on quality traits. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(12): 962–973.
- Pirgozliev, S.R., Edwards, S.G., Hare, M.C., Jenkinson, P. (2003): Strategies for the control of *Fusarium* head blight in cereals. *European Journal of Plant Pathology*, 109: 731–742.
- Pisante, M., Basso F. (2000): Influence of tillage systems on yield and quality of durum wheat in Southern Italy. In: Royo C., Nachit M., Di Fonzo N., Araus J.L. (szerk.) *Durum wheat improvement in the Mediterranean region: New challenges. Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens*, n. 40. 549–554 p.
- Plinius Secundus, C. (2009): *Naturalis historia: Természetrájz (XIV–XVIII)*. JATE Press, Szeged. 223 pp.
- Pogna, N., Lafiandra, D., Feillet, P., Autran, J. C. (1988): Evidence for a direct causal effect of low molecular weight subunits of glutenins on gluten viscoelasticity in durum wheats. *Journal of Cereal Science*, 7(3): 211–214.

- Pollhamer E-né (1982): A tészta minősége fajták, módszerek és a környezet függvényében. *Növénytermelés*, 31(4): 317–330.
- Pompa, M., Giuliani, M.M., Giuzio, L., Gagliardi, A., Di Fonzo, N., Flagella, Z. (2009): Effect of sulphur fertilization on grain quality and protein composition of durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Italian Journal of Agronomy*, 4: 159–170.
- Popov, C., Trotuş, E., Vasilescu, S., Bărbulescu, A., Râşnoveanu L. (2006): Drought effect on pest attack in field crops. *Romanian Agricultural Research*, 23: 43–51.
- Pozniak, C.J., Knox, R.E., Clarke, F.R., Clarke, J.M. (2007): Identification of QTL and association of a phytoene synthase gene with endosperm colour in durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 114: 525–537.
- Pozniak, C., Regier, R. (2019): 10+ Genome Project. Online: <http://www.10wheatgenomes.com>. Ellenőrizve: 2021.08.13.
- Prat, N., Buerstmayr, M., Steiner, B., Robert, O., Buerstmayr, H. (2014): Current knowledge on resistance to Fusarium head blight in tetraploid wheat. *Molecular Breeding*, 34: 1689–1699.
- Qi, P-F., Wei, Y-M., Ouellet, T., Chen, Q., Tan, X., Zheng, Y-L. (2009): The  $\gamma$ -gliadin multigene family in common wheat (*Triticum aestivum*) and its closely related species. *BMC Genomics*, 10: 168. 14 p.
- Qin, X.Q., Zhang, W.J., Dubcovsky, J., Tian, L. (2012): Cloning and comparative analysis of carotenoid  $\beta$ -hydroxylase genes provides new insights into carotenoid metabolism in tetraploid (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) and hexaploid (*Triticum aestivum*) wheat grains. *Plant Molecular Biology*, 80: 631–646.
- Rafalski, J.A. (2002): Novel genetic mapping tools in plants: SNPs and LD-based approaches. *Plant Science*, 162: 329–333.
- Ramachandran, A., Pozniak, C.J., Clarke, J.M., Singh, A.K. (2010): Carotenoid accumulation during grain development in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 52: 30–38.
- Ranieri, R. (2015): Geography of the durum wheat crop. *Pastaria International*. 2015/6: 24–36.
- Rapp, M., Lein, V., Lacoudre, F., Lafferty, J., Müller E., Vida, G., Bozhanova, V., Ibraliu, A., Thorwarth, P., Piepho, H.P., Leiser, W.L., Würschum, T., Longin, C.F.H. (2018): Simultaneous improvement of grain yield and protein content in durum wheat by different phenotypic indices and genomic selection. *Theoretical and Applied Genetics*, 131: 1315–1329.
- Rasheed, A., Xia, X. (2019): From markers to genome-based breeding in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 132(3): 767–784.
- Reimer, S., Pozniak, C.J., Clarke, F.R., Clarke, J.M., Somers, D.J., Knox, R.E., Singh, A.K. (2008): Association mapping of yellow pigment in an elite collection of durum wheat cultivars and breeding lines. *Genome*, 51: 1016–1025.
- Rharrabti, Y., Villegas, D., Royo, C., Martos-Nuñez, V., García del Moral, L.F. (2003a): Durum wheat quality in Mediterranean environments: II. Influence of climatic variables and relationships between quality parameters. *Field Crops Research*, 80: 133–140.
- Rharrabti, Y., García del Moral, L.F., Villegas, D., Royo (2003b): Durum wheat quality in Mediterranean environments III. Stability and comparative methods in analysing G×E interaction. *Field Crops Research*, 80: 141–146.
- Riefolo, C., Ficco, D.B.M., Cattivelli, L., De Vita, P. (2011): Genetic diversity of gluten proteins in *T. turgidum* L.. *Cereal Research Communications* 39(3): 405–414.
- Romanenko, A.A., Beszpalova, L.A., Mudrova, A.A., Kudrjasov, I.H., Ablova, I.B., Terpugova, N.I. (2005): Технология возделывания озимой твердой пшеницы в Краснодарском крае. Российская академия сельскохозяйственных наук Краснодарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. П. П. Лукьяненко. 62 pp.

- Roncallo, P.F., Cervigni, G.L., Jensen, C., Miranda, R., Carrera, A.D., Helguera, M., Echenique, V. (2012): QTL analysis of main and epistatic effects for flour color traits in durum wheat. *Euphytica*, 185: 77–92.
- Roselló, M., Royo, C., Álvaro, F., Villegas, D., Nazco, R., Soriano J.M. (2018): Pasta-making quality QTLome from mediterranean durum wheat landraces. *Frontiers in Plant Science* 9: 1512. 16 p.
- Rossini, F., Provenzano, M.E., Sestili, F., Ruggeri, R. (2018): Synergistic effect of sulfur and nitrogen in the organic and mineral fertilization of durum wheat: Grain yield and quality traits in the mediterranean environment. *Agronomy* 2018, 8, 189. 16 p.
- Royo, C., Elias, E.M., Manthey, F.A. (2009): Durum wheat breeding. In: Carena, M.J. (szerk.) *Handbook of plant breeding* (Vol. 3): Cereals. Springer-Verlag, New York. 199–226 p.
- Röder, M.S., Korzun, V., Wendehake, K., Plaschke, J., Tixier, M-H., Leroy, P., Ganal, M.W. (1998): A microsatellite map of wheat. *Genetics*, 149: 2007–2023.
- Ruckenbauer, P., Buerstmayr, H., Lemmens, M. (2001): Present strategies in resistance breeding against scab (*Fusarium* spp.). *Euphytica*, 119: 121–127.
- Ruel, J. (1537): *De Natura Stirpium Libri Tres*. Basileae, In Officina Frobeniana. 666 pp.
- Ruiz, M., Carillo, J.M. (1995): Separate effects on gluten strength of *Gli-1* and *Glu-3* prolamin genes on chromosomes 1A and 1B in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 21: 137–144.
- Salamini, F., Özkan, H., Brandolini, A., Schäfer-Pregl, R., Martin, W. (2002): Genetics and geography of wild cereal domestication in the Near East. *Nature Reviews Genetics*, 3: 429–441.
- Sakamura, T. (1918): Kurze Mitteilung über die Chromosomenzahlen und die Verwandtschaftsverhältnisse der *Triticum*-Arten. *Shokubutsugaku Zasshi*, 32: 150–153.
- Sallai J-né (1986): A durum búza tézstaipari minőségét meghatározó tényezők és a köztük levő összefüggések tanulmányozása. Kandidátusi értekezés tézisei, Szeged. 12 pp.
- Salis, L., Goula, M., Valero, J., Gordún, E. (2010): Prolamin proteins alteration in durum wheat by species of the genus *Eurygaster* and *Aelia* (Insecta, Hemiptera). *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(1): 82–90.
- Sallai J-né, Erdei P., Gyenes I. (1983): Szempontok a durum búza átvételi minőségének meghatározásához. *Növénytermelés*, 32: 131–135.
- Sandmann, G. (1994): Carotenoid biosynthesis in microorganisms and plants. *European Journal Biochemistry*, 223: 7–24.
- Santra, M., Rao, V.S., Tamhankar, S.A. (2003): Modification of AACC procedure for measuring  $\beta$ -carotene in early generation durum wheat. *Cereal Chemistry*, 80: 130–131.
- Santra, M., Santra, D.K., Rao, V.S., Taware, S.P., Tamhankar, S.A. (2005): Inheritance of  $\beta$ -carotene concentration in durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*). *Euphytica*, 144: 215–221.
- Santra, M.D., Tamhankar, S.A., Degaonkar, A.M., Rao, V.S., Gupta, V.S. Ranjekar, P.K. (2000): Identification of molecular markers associated with  $\beta$ -carotene content and grain weight in durum wheat. Abstracts of 6<sup>th</sup> International Wheat Conference, 5-9 June 2000, Budapest, Hungary. 151.
- Scarascia Mugnoza, G.T. (2005): The contribution of Italian wheat geneticists: from Nazareno Strampelli to Francesco D'Amato. In: Tuberosa, R., Phillips, R.L., Gale, M. (szerk.) *Proceeding of the International Congress 'In the wake of the double helix: From the Green Revolution to the Gene Revolution'*. 27–31 May 2003, Bologna, Italy. 53–75 p.
- Scheele, K.W. (1901): *The chemical essays of Charles-William Scheele: Translated from the Transactions of the Academy of Sciences at Stockholm, with additions*. Scott, Greenwood & Co., London. 294 pp.

- Schneider, C., Boger, P., Sandmann, G. (1997): Phytoene desaturase: heterologous expression in an active state, purification, and biochemical properties. *Protein Expression and Purification*, 10: 175–179.
- Schuelke M. (2000): An economic method for the fluorescent labeling of PCR fragments. *Nature Biotechnology*, 18: 233–234.
- Schulthess, A., Schwember, A.R. (2013): Improving durum wheat (*Triticum turgidum* L. var *durum*) grain yellow pigment content through plant breeding. *Ciencia e Investigación Agraria*, 40: 475–490.
- Schulz, A. (1913): Die Geschichte der kultivierten Getreide. Vol 1. Halle a.d.S., Louis Neberts Verlag. 134 pp.
- Schlumbaum, A., Jacomet, S., Neuhaus, J-M. (1998): Coexistence of tetraploid and hexaploid naked wheat in a Neolithic lake dwelling of Central Europe: Evidence from morphology and ancient DNA. *Journal of Archaeological Science*, 25: 1111–1118.
- Schmidt, C., Scindele, P., Puchta, H. (2020): From gene editing to genome engineering: restructuring plant chromosomes via CRISPR/Cas. *aBIOTECH*, 1: 21–31.
- Scolnik, P.A., Bartley, G.E. (1994): Nucleotide sequence of an Arabidopsis cDNA for phytoene synthase. *Plant Physiology*, 104: 1471–1472.
- Scsipák, G.V., Nedosztupov, R.A., Scsipák, V.G. (2012): Селекция озимой твердой пшеницы на повышение адаптивного потенциала и урожайность. *Vavilovskij Zurnál Genetiki i Szelekcii*, 16: 455–463.
- Shepherd, K.W. (1968): Chromosomal control of endosperm proteins in wheat and rye. In: Finley, K.W., Shepherd, K.W. (szerk.) *Proceedings 3rd International Wheat Genetics Symposium*, Canberra, 5–9 August, 1968. Australian Academy of Science, Canberra, Australia. 86–96 p.
- Shewry, P.R., Halford, N.G. (2002): Cereal seed storage proteins: structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53(370): 947–958.
- Shewry, P.R., Mifflin, B.J., Kasarda, D.D. (1984): The structural and evolutionary relationships of the prolamin storage proteins of barley, rye and wheat. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*. 304(1120): 297–308.
- Shewry, P.R., Tathan, A.S. (1997): Disulphide bonds in wheat gluten proteins. *Journal of Cereal Science*, 25(3): 207–227.
- Shukla, G.K. (1972): Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity*, 29: 237–245.
- Simmonds, D.H., Winzor, D.J. (1961): Chromatographic fractionation of the acetic acid soluble proteins of wheat flour on carboxymethyl-cellulose. *Australian journal of Biological Sciences*, 14(4): 690–699.
- Sieber, A.-N., Würschum, T., Longin, C.F.H. (2014): Vitreosity, its stability and relationship to protein content in durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 61: 71–77.
- Singh, A., Reimer, S., Pozniak, C.J., Clarke, F.R., Clarke, J.M., Knox, R.E., Singh, A.K. (2009): Allelic variation at *Psy1-A1* and association with yellow pigment in durum wheat grain. *Theoretical and Applied Genetics*, 118: 1539–1548.
- Singh, G., Saini, J.S., Bains, N.S., Singh, R.P. (2014): Positive influence of *Lophopyrum ponticum* derived *Y* gene on yellow pigment content - A major durum wheat quality trait. *Indian Journal of Genetics*, 74(4) Suppl.: 651–655.
- Singh, N.K., Shepherd, K.W. (1988): Linkage mapping of genes controlling endosperm storage proteins in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 75: 628–641.



- Sissons, M. (2016): GlutoPeak: a breeding tool for screening dough properties of durum wheat semolina. *Cereal Chemistry*, 93(6): 550–556.
- Sissons, M.J., Ames, N.P., Hare, R.A., Clarke, J.M. (2005): Relationship between glutenin subunit composition and gluten strength measurements in durum wheat. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85: 2445–2452.
- Sissons, M., Kadkol, G., Taylor, J. (2020): Genotype by environment effects on durum wheat quality and yield-implications for breeding. *Crop Breeding, Genetics and Genomics*, 2(4): e200018. 39 p.
- Sissons, M. Osborne, B. Sissons, S. (2006): Application of near infrared reflectance spectroscopy to a durum wheat breeding programme. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 14: 17–25.
- Sissons, M., Fleming, D., Margiotta, B., D'Egidio, M.G., Lafiandra, D. (2014): Effect of the introduction of D-genome related gluten proteins on durum wheat pasta and bread making quality. *Crop & Pasture Science*, 65: 27–37.
- Sisson, M., Smit, J. (2018): Small-scale methods to assess the gluten properties of durum wheat. *Cereal Chemistry*, 95(3): 456–468.
- Sivri, D., Sapirstein, H.D., Köksel, H., Bushuk, W. (1999): Effects of wheat bug (*Eurygaster maura*) protease on glutenin proteins. *Cereal Chemistry*, 76(5): 816–820.
- Soller, M., Beckmann. (1990): Marker-based mapping of quantitative trait loci using replicated progenies. *Theoretical and Applied Genetics*, 80: 205–208.
- Somers, D., Isaac, P., Edwards, K. (2004): A high-density microsatellite consensus map for bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 109: 1105–1114.
- Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. (2010): Talajtan. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft., Budapest. 470 pp.
- Sun, Z., Gantt, E., Cunningham, F.X.Jr. (1996): Cloning and functional analysis of the  $\beta$ -carotene hydroxylase of *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Biological Chemistry*, 271: 24349–24352.
- Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest. 557 pp.
- Szunics L. (1986): A durum búza Magyarországon a hazai szakirodalom tükrében. *Növénytermelés*, 35: 259–267.
- Szunics, L., Bedő, Z., Szunics, Lu., Láng, L., Veisz, O. (1998): Results of durum wheat breeding in Martonvásár. *Acta Agronomica Hungarica*, 46: 135–148.
- Szunics L., Vida Gy. (2010): A durum búza termesztése. In: Radics L. (szerk.) Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztés. Agroiinform Kiadó, Budapest. 537–550 p.
- Taghouti, M., Nsarellah, N., Gaboun, F., Rochdi, A. (2017): Multi-environment assessment of the impact of genetic improvement on agronomic performance and on grain quality traits in Moroccan durum wheat varieties of 1949 to 2017. *Global Journal of Plant Breeding and Genetics*, 4(7): 394–404.
- Tamburic-Ilicic, L., Smid, A., Griffey, C. (2012): OAC Amber winter durum wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 92(5): 973–975.
- Taneva, K., Bozhanova, V., Petrova, I. (2019): Variability, heritability and genetic advance of some grain quality traits and grain yield in durum wheat genotypes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(2): 288–295.
- Tatham, A.S., Shewry, P.R. (2012): The S-poor prolamins of wheat, barley and rye: revisited. *Journal of Cereal Science*, 55: 79–99.
- Teofrasztosz (≈ie. 350-287): Περὶ φυτῶν ἱστορίαις. In: Theophrastus, Inquiry into plants, and minor works on odours and weather signs, with an English translation by Sir Arthur Hort, In two Volumes, Vol II (1916). William Heinemann, London, G.P. Putnam's Sons. 499 pp.

- Thellung, A. (1918): Neuere Wege und Ziele der botanischen Systematik, erläutert am Beispiele unserer Getreidearten. *Naturwissenschaftliche Wochenschrift*, 33: 465–480.
- Tian, L., Musetti, V., Kim, J., Magallanes-Lundback, M., DellaPenna, D. (2004): The *Arabidopsis* LUT1 locus encodes a member of the cytochrome p450 family that is required for carotenoid  $\epsilon$ -ring hydroxylation activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101: 402–407.
- Tischner, T., Kőszegi, B., Veisz, O. (1997): Climatic programmes used in the Martonvásár Phytotron most frequently in recent years. *Acta Agronomica Hungarica* 45(1): 85–104.
- Tiselius, A. (1937): A new apparatus for electrophoretic analysis of colloidal mixtures. *Transactions of the Faraday Society*, 33: 524–531.
- Torbica, A., Drašković, M., Tomić, J., Dodig, D., Bošković, J., Zečević, V. (2016): Utilization of Mixolab for assessment of durum wheat quality dependent on climatic factors. *Journal of Cereal Science*, 69: 344–350.
- Torbica, A.M., Mastilović, J.S., Pojić, M.M., Kevrešan, Ž.S. (2014): Effects of wheat bug (*Eurygaster* spp. and *Aelia* spp.) infestation in preharvest period on wheat technological quality and gluten composition. *The ScientificWorld Journal*, Volume 2014: Article ID 148025, 1–6.
- Tournefort, J.P. de (1694): *Eléments de botanique, ou méthode pour connaître les plantes*. De l’Imprimerie Royale, Paris. 562 pp.
- Trebbi, D., Maccaferri, M., de Heer, P., Sørensen, A., Giuliani, S., Salvi, S., Sanguineti, M.C., Massi, A. van der Vossen, E.A.G., Tuberosa, R. (2011): High-throughput SNP discovery and genotyping in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Theoretical and Applied Genetics*, 123: 555–569.
- Trocchi, A., Borrelli, G.M., De Vita, P., Fares C., Di Fonzo, N. (2000): durum wheat quality: a multidisciplinary concept. *Journal of Cereal Science*, 32: 99–113.
- Tschermak, E. von (1914): Die Verwertung der Bastardierung für phylogenetische Fragen in der Getreidegruppe. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 2: 291–312.
- Tsialtas, J.T., Theologidou, G.S., Karaoglanidis, G.S. (2018): Effects of pyraclostrobin on leaf diseases, leaf physiology, yield and quality of durum wheat under Mediterranean conditions. *Crop Protection*, 113: 48–55.
- Tsunewaki, K. (1976): Genetic diversity of the cytoplasm in *Triticum* and *Aegilops*. V: classification of 23 cytoplasms into eight plasma types. *Japanese Journal of Genetics*, 51: 175–191.
- Tsunewaki, K. (2015): Prof. H. Kihara’s genome concept and advancements in wheat cytogenetics in his school. In: Ogihara, Y., Takumi, S., Handa, H. (eds.) *Advances in wheat genetics: from genome to field*. *Proceedings of the 12th International Wheat Genetics Symposium*. Springer Tokyo, Heidelberg, New York, Dordrecht, London. 445 pp.
- Tswett, M. (1911): Über den makro- und mikrochemischen Nachweis des Carotins. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 29: 630–636.
- USDA-ARS (U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, 2015): USDA National Nutrient Database for Standard Reference, Release 28. <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md-bhnrc/beltsville-human-nutrition-research-center/methods-and-application-of-food-composition-laboratory/mafcl-site-pages/sr11-sr28/>. Ellenőrizve 2021.08.13.
- Vallega, V., Waines, J.G. (1987): High molecular weight subunit variation in *Triticum turgidum* var. *dicoccum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 74: 706–710.
- van den Berg, H., Faulks, R., Fernando Granado, H., Hirschberg, J., Olmedilla, B., Sandmann, G., Southon, S., Stahl, W. (2000): The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. *Journal of Science of the Food and Agriculture*, 80: 880–912.

- van Ooijen, J.W. (1999): LOD significance thresholds for QTL analysis in experimental populations of diploid species. *Heredity*, 83: 613–624.
- van Ooijen, J. W. (2004): MapQTL<sup>®</sup>5, Software for the mapping of quantitative trait loci in experimental populations. Kyazma B.V., Wageningen, Hollandia. 57 pp.
- van Ooijen, J.W. (2006): JoinMap<sup>®</sup>4. Software for the calculation of genetic linkage maps in experimental populations. Kyazma B.V., Wageningen, Hollandia. 59 pp.
- van Slageren M.W. (1994): Wild wheats: a monograph of *Aegilops* L. and *Amblyopyrum* (Jaub. & Spach) Eig (*Poaceae*). Wageningen Agricultural University Papers No. 94-7. 513 pp.
- van Zeist, W., Bakker-Heeres, J.A.H. (1985): Archaeobotanical studies in the Levant: I. Neolithic sites in the Damascus basin: Aswad, Ghoraife, Ramad. *Palaeohistoria*, 24: 165–256.
- Vargas, V.H., Schulthess, A., Royo, C., Matus, I., Schwember, A.R. (2016): Transcripts levels of Phytoene synthase 1 (*Psy-1*) are associated to semolina yellowness variation in durum wheat (*Triticum turgidum* L. ssp. *durum*). *Journal of Cereal Science*, 68: 155–163.
- Varro, M.T. (≈i.e 36): *Rerum rusticarum libri tres*. In: M.Terrenti Varronis *Rerum rusticarum libri tres*, post Henricum Keil iterum editit Georgius Goetz (1912). Verlag von B.G. Teubner in Leipzig ung Berlin. 162. pp
- Vasiljevic, S., Banasik, O.J., Shuey, W.C. (1977): A micro unit for producing durum semolina. *Cereal Chemistry*, 54: 397–404.
- Vauquelin L.N., Robiquet, P.J. (1806): La découverte d'un nouveau principe végétal dans le suc des Asperges (*asparagus sativus*. Linn.). *Annales de Chimie*, 57, p88–93.
- Vavilov, N.I. (1913): Материалы к вопросу об устойчивости хлебных злаков против паразитических грибов. Труды Селекционной Станции при Московском Сельскохозяйственном Институте. Vol 1. Moskva. 110 pp.
- Vavilov, N.I. (1915): Immunity to fungous diseases as a physiological test in genetics and systematics, exemplified in cereals. *Journal of Genetics*, 4: 49–65.
- Veisz, O., Bencze, S., Balla, K., Vida, G. (2008): Change in water stress resistance of cereals due to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Cereal Research Communications*, 36, Supplement, Proceedings of the VII. Alps-Adria Scientific Workshop, 28 April-2 May 2008, Stara Lesna, Slovakia (June 2008): 1095–1098
- Veneny L. (1930): A keményszemű búza (*Triticum durum*) Oroszországban. *Köztelek*. 40(8): 104–106.
- Vida, Gy., Szunics, L., Veisz, O., Bedő, Z., Láng, L., Árendás, T., Bónis, P., Rakszegi, M. (2013): Effect of genotypic, meteorological and agronomic factors on the gluten index of winter durum wheat. *Euphytica*, 197: 61–71.
- Vida, Gy, Szunics L, Veisz O., Láng L., Bedő Z. (2002): Selection for yellow index in winter durum wheat. Proceedings of the ICC Conference 2002, May 26-29, Budapest, Posters, 131–135.
- Vida Gy., Veisz O. (2012): Mv Pennedur és Mv Hundur: két új durum búzafajta Martonvásárról. Martonvásár, az MTA Agrártudományi Kutatóközpont Közleményei, 24(1): 12–13.
- Virk, D.S., Pandit, D.B., Sufian, M.A., Ahmed, F., Siddique, M.A.B., Samad, M.A., Rahman, M.M., Islam, M.M., Ortiz-Ferrara, G., Joshi, K.D., Withcombe, J.R. (2009): REML is an effective analysis for mixed modelling of unbalanced on-farm varietal trials. *Experimental Agriculture*, 45: 77–91.
- Visconti, A., Pascale, M. (2010): An overview on Fusarium micotoxins in the durum wheat pasta production chain. *Cereal Chemistry*, 87(1): 21–27.

- Vos, P., Hogers, R., Bleeker, M., Reijans, M., van de Lee, T., Hornes, M., Frijters, A., Pot, J., Peleman, J., Kuiper, M. (1995): AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research*, 23(21): 4407–4414.
- Walsh, D.E., Gilles, K.A., Shuey, W.C. (1969): Color determination of spaghetti by the tristimulus method. *Cereal Chemistry*, 47: 7–13.
- Wang, C., Zeng, J., Li, Y., Hu, W., Chen, L., Miao, Y., Deng, P., Yuan, C., Ma, C., Chen, X., Zang, M., Wang, Q., Li, K., Chang, J., Wang, Y., Yang, G., He, G. (2014): Enrichment of provitamin A content in wheat (*Triticum aestivum* L.) by introduction of the bacterial carotenoid biosynthetic genes *CrtB* and *CrtI*. *Journal of Experimental Botany*, 65(9): 2545–2556.
- Wang, J.W., He, X.Y., He, Z.H., Wang, H., Xia, X.C. (2009): Cloning and phylogenetic analysis of phytoene synthase 1 (*Psy1*) genes in common wheat and related species. *Hereditas*, 146: 208–219.
- Wehrle, K., Seibel, W., Gerstenkorn, P., Kuhn, M (1997): Schnellmethoden zur qualitativen Beurteilung von Durumweizen. 2. Teil: Beziehung der Rohstoffeigenschaften Farbe und Protein zur Teigwarenqualität. *Getreide, Mehl und Brot*, 51: 73–78.
- Weiss, E., Wetterstrom, W., Nadel, Nadi., Bar-Yosef, O. (2004): The broad spectrum revisited: Evidence from plant remains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101: 9551–9555.
- Werner, H. (1885): *Handbuch des Getreidebaues. Zweiter Band: Die Sorten und der Anbau des Getreides.* Berlin, Verlag von Paul Parey. 1009 pp.
- Wheat Genetic and Genomic Resources Center (2018): Wheat taxonomy: *Triticum* comparative classification table. Online: [https://www.k-state.edu/wgrc/wheat\\_tax/triticum\\_comparative\\_classification\\_table.html](https://www.k-state.edu/wgrc/wheat_tax/triticum_comparative_classification_table.html). Ellenőrizve: 2021.08.13.
- Wickham, H. (2016): *ggplot2: Elegant graphics for data analysis. Second Edition.* Springer International Publishing AG, Cham, Switzerland. 260 pp.
- Williams, P.C., Sobering, D.C. (1993): Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 1: 25–32.
- Winkler, H. (1920): *Verbreitung und Ursache der Parthenogenesis im Pflanzen - und Tierreiche.* Verlag von Gustav Fischer, Jena. 229 pp.
- WITS (World Integrated Trade Solution, 2019): Hungary Cereals: durum wheat exports by country in 2019. Online: <https://wits.worldbank.org/trade/comtrade/en/country/HUN/year/2019/tradeflow/Exports/partner/ALL/product/100110>. Ellenőrizve: 2021.08.10.
- Wolde, T., Eticha, F., Alamerew, S., Assefa, E., Dutamo, D. (2016): Genetic variability, heritability and genetic advance for yield and yield related traits in Durum wheat (*Triticum durum* L.) accessions. *Sky Journal of Agricultural Research*, 5(3): 42–47.
- Wong, J.C., Lambert, R.J., Wurtzel, E.T., Rocheford, T.R. (2004): QTL and candidate genes phytoene synthase and  $\zeta$ -carotene desaturase associated with the accumulation of carotenoids in maize. *Theoretical and Applied Genetics*, 108: 349–359.
- Woychik, J.H., Boundy, J.A, Dimler, R.J. (1961): Starch gel electrophoresis of wheat gluten proteins with concentrated urea. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 94(3): 477–482.
- Woychik, J.H., Dimler, R.J., Senti, F.R. (1960): Chromatographic fractionation of wheat gluten on carboxymethylcellulose columns. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 91(2): 235–239.
- Wricke, G. (1962): Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 47: 92–96.

- Wrigley C.W., Bietz J.A. (1988): Proteins and amino acids. In: Pomeranz Y. (ed) Wheat: chemistry and technology, Vol. 1. American Association of Cereal Chemists, Inc, St. Paul, MN, USA. p. 159–275.
- Wrigley, C.W., Shepherd, K.W. (1973): Electrofocusing of grain proteins from wheat genotypes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 209: 154–162.
- Xu, S.S., Faris, J.D., Cai, X., Klindworth, D.L. (2005): Molecular cytogenetic characterization and seed storage protein analysis of 1A/1D translocation lines of durum wheat. *Chromosome Research*, 13(6): 559–568.
- Xu, Y., Li, P., Yang, Z., Xu, C. (2017): Genetic mapping of quantitative trait loci in crops. *The Crop Journal*, 5(2): 175–184.
- Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., Szlavnic, Z. (2000): Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Science*, 4(3): 597–605.
- Yan, W., Kang, M.S., Ma, B., Woods, S., Cornelius, P.L. (2007): GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47: 643–655.
- Yan, W., Tinker, N.A. (2006): Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science*, 86: 623–645.
- Yates, F., Cochran, W.G. (1938): The analysis of groups of experiments. *Journal of Agricultural Science*, 28(04): 556–580.
- Yildirim, M., Barutcular, C., Koc, M., Dizlek, H., Hossain, A., Islam, M.S., Toptas, I., Basdemir, F., Albayrak, O., Akinci, C., El Sabagh, A. (2018): Assessment of the grain quality of wheat genotypes grown under multiple environments using GGE biplot analysis. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(7): 4830–4837.
- Zade, A. (1914): Serologische Studien an Leguminosen und Gramineen. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung*, 2: 101–151.
- Zadoks, J.C., Chnag, T.T., Konzak, C.F. (1974): A decimal code for growth stages of cereals. *Weed Research*, 14: 415–421.
- Zaïm, M., Kabbaj, H., Kehel, Z., Gorjanc, G., Filali-Maltouf, A., Belkadi, B., Nachit, M.M., Bassi, F.M. (2020): Combining QTL analysis and genomic predictions for four durum wheat populations under drought conditions. *Frontiers in Genetics*, 11(316): 1–15.
- Zandomenighi, M., Fest, C., Carbonaro, L. (2000): Front-surface absorbance spectra of wheat flour: determination of carotenoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 2216–2221.
- Zechmeister L., Cholnoky L. (1940): Carotenoids of Hungarian wheat flour. *Journal of Biological Chemistry*, 135: 31–36.
- Zhai, S., Li, G., Sun, Y., Song, J., Li, J., Song, G., Li, Y., Ling, H., He, Z., Xia, X. (2016): Genetic analysis of phytoene synthase 1 (*Psy1*) gene function and regulation in common wheat. *BMC Plant Biology*, 16: 228. 15 p.
- Zhang, W., Chao, S., Manthey, F., Chicaiza, O., Brevis, J.C., Echenique, V., Dubcovsky, J. (2008): QTL analysis of pasta quality using a composite microsatellite and SNP map of durum wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 117: 1361–1377.
- Zhang, W., Lukaszewski, A. J., Kolmer, J., Soria, M. A., Goyal, S., Dubcovsky, J. (2005): Molecular characterization of durum and common wheat recombinant lines carrying leaf rust resistance (*Lr19*) and yellow pigment (*Y*) genes from *Lophopyrum ponticum*. *Theoretical and Applied Genetics*, 111(3): 573–582.
- Zhang, W., Dubcovsky, J. (2008): Association between allelic variation at the phytoene synthase 1 gene and yellow pigment content in the wheat grain. *Theoretical and Applied Genetics*, 116: 635–645.

- Zhang, Y., Wu, Y., Xiao, Y., He, Z., Zhang, Y., Yan, J., Zhang, Y., Xia, X., Ma, C. (2009): QTL mapping for flour and noodle colour components and yellow pigment content in common wheat. *Euphytica*, 165: 435–444.
- Ziegler, J.U., Wahl, S., Würschum, T., Longin, C.F.H., Carle, R., Schweiggert, R.M. (2015): Lutein and lutein esters in whole grain flours made from 75 genotypes of 5 *Triticum* species grown at multiple sites. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(20): 5061–5071.
- Zobel, R.W., Wright, M.J., Gauch, H.G. (1988): Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal*, 80: 388–393.
- Zohary, D., Hopf, M., Weiss, E. (2012): Domestication of plants in the Old World: the origin and spread of domesticated plants in South-west Asia, Europe, and the Mediterranean Basin (4th edition). Oxford University Press, Oxford. 243 pp.
- Zohary, M. (1982): *Plants of the Bible*. Cambridge University Press, Cambridge. 223 pp.

**Mellékletek**

1. melléklet. Meteorológiai faktorok, valamint a sikerindex és a Minolta b\* érték összefüggése  
(Martonvásár, 2005–2020)

Meteorológiai faktor		GK Bétadur		GK Selyemdur		Mv Makaróni		Mv Pennedur		Mv Hundur		5 fajta átlaga	
		SI	MB	SI	MB	SI	MB	SI	MB	SI	MB	SI	MB
AUGCS	Pearson r	,091	,056	-,080	,003	-,127	,174	,179	,191	,078	-,084	,029	,068
	Szignifikancia	,739	,838	,767	,992	,639	,520	,506	,480	,774	,757	,916	,801
SZEPCS	Pearson r	-,016	-,342	-,206	-,438	,049	-,282	,122	-,296	,118	-,376	,018	-,367
	Szignifikancia	,952	,195	,444	,089	,856	,290	,652	,266	,663	,152	,947	,162
OKTCS	Pearson r	-,371	-,447	-,126	-,396	-,342	-,459	-,017	-,318	-,216	-,179	-,270	-,378
	Szignifikancia	,157	,082	,641	,129	,195	,073	,952	,231	,421	,506	,311	,149
NOVCS	Pearson r	,438	,214	,332	,092	-,024	,203	,517*	,234	,395	,324	,370	,226
	Szignifikancia	,090	,426	,209	,736	,929	,450	,040	,382	,130	,221	,158	,399
DECCS	Pearson r	,318	,239	,084	,216	,382	,229	,016	,048	,219	,283	,257	,214
	Szignifikancia	,230	,373	,757	,421	,144	,394	,952	,859	,416	,289	,336	,425
JANCS	Pearson r	-,144	-,162	,040	-,208	,206	-,187	-,017	-,282	-,127	-,169	-,023	-,212
	Szignifikancia	,596	,550	,884	,438	,444	,488	,950	,291	,640	,531	,934	,430
FEBCS	Pearson r	-,178	-,227	,137	-,222	-,053	-,224	-,049	-,274	-,104	,063	-,071	-,185
	Szignifikancia	,510	,398	,614	,408	,846	,404	,857	,305	,702	,816	,793	,494
MARCS	Pearson r	-,012	,077	,189	,191	,072	,037	,102	,138	-,040	,122	,055	,120
	Szignifikancia	,966	,776	,483	,478	,791	,891	,707	,611	,884	,651	,841	,657
APR1CS	Pearson r	-,462	-,213	-,467	,112	-,390	-,073	,733**	-,046	-,600*	,039	-,589*	-,040
	Szignifikancia	,071	,429	,068	,680	,135	,787	,001	,866	,014	,887	,016	,884
APR2CS	Pearson r	,205	,095	,326	,119	-,192	,134	,177	,148	,209	,349	,162	,180
	Szignifikancia	,447	,726	,218	,661	,477	,620	,512	,583	,437	,186	,549	,506
APR3CS	Pearson r	,167	,287	,215	,272	-,208	,332	,097	,229	,239	,561*	,123	,356
	Szignifikancia	,536	,281	,425	,307	,441	,208	,720	,393	,373	,024	,651	,176
APRCS	Pearson r	,056	,110	,147	,214	-,313	,193	-,068	,168	,047	,447	-,025	,240
	Szignifikancia	,837	,684	,587	,427	,238	,474	,803	,534	,862	,083	,927	,371
MAJ1CS	Pearson r	-,433	-,243	-,491	-,218	-,363	-,118	-,451	-,154	-,394	-,183	-,479	-,195
	Szignifikancia	,094	,364	,054	,418	,167	,663	,079	,568	,131	,498	,060	,469
MAJ2CS	Pearson r	-,037	-,155	-,034	-,063	-,262	,025	-,175	,018	-,146	,173	-,145	-,002
	Szignifikancia	,890	,568	,900	,818	,328	,927	,517	,948	,590	,522	,592	,996
MAJ3CS	Pearson r	-,361	-,062	-,398	-,032	-,063	,118	-,517*	-,118	-,433	-,095	-,392	-,044
	Szignifikancia	,170	,819	,127	,905	,817	,663	,040	,664	,094	,727	,133	,872
MAJCS	Pearson r	-,336	-,208	-,371	-,129	-,316	,027	-,497*	-,096	-,422	,000	-,433	-,089
	Szignifikancia	,203	,440	,157	,634	,233	,921	,050	,724	,104	1,000	,094	,744
JUN1CS	Pearson r	,284	,465	,264	,583*	-,053	,546*	,129	,617*	,188	,623*	,191	,597*
	Szignifikancia	,286	,069	,323	,018	,845	,029	,634	,011	,486	,010	,479	,015
JUN2CS	Pearson r	-,090	-,111	-,142	-,131	-,129	-,194	,020	-,063	-,151	-,064	-,122	-,117
	Szignifikancia	,739	,682	,599	,628	,635	,472	,941	,816	,577	,813	,652	,666
JUN3CS	Pearson r	,205	-,300	,021	-,404	,566*	-,236	-,084	-,418	,269	-,288	,255	-,349
	Szignifikancia	,447	,259	,939	,120	,022	,379	,756	,107	,314	,280	,340	,186

## Az 1. melléklet folytatása

JUNCS	Pearson r	,247	,001	,065	-,012	,246	,027	,042	,058	,178	,150	,195	,048
	Szignifikancia	,355	,998	,812	,965	,359	,921	,877	,832	,509	,580	,470	,861
JUL1CS	Pearson r	-,009	,158	,291	,104	-,303	,202	,322	,040	,144	,158	,073	,139
	Szignifikancia	,975	,558	,274	,701	,254	,453	,225	,884	,594	,560	,787	,609
JUL2CS	Pearson r	-,128	-,337	-,197	-,331	-,164	-,417	-,078	-,273	-,062	-,116	-,142	-,308
	Szignifikancia	,636	,203	,464	,211	,543	,108	,774	,307	,819	,668	,601	,247
JUL12CS	Pearson r	-,123	-,254	-,050	-,271	-,301	-,306	,078	-,246	,011	-,040	-,099	-,233
	Szignifikancia	,651	,343	,854	,309	,257	,248	,773	,358	,967	,883	,716	,385
OCSK	Pearson r	-,106	-,072	-,207	-,066	,024	,071	-,291	-,057	-,204	,017	-,166	-,024
	Szignifikancia	,695	,790	,441	,809	,929	,793	,273	,835	,449	,949	,539	,928
OCSAUG	Pearson r	-,015	-,193	-,039	-,199	-,100	-,055	,026	-,104	-,012	,056	-,035	-,106
	Szignifikancia	,956	,473	,885	,459	,712	,840	,924	,701	,964	,838	,898	,697
OCS	Pearson r	,016	-,017	,071	,038	-,058	,106	-,079	,020	-,056	,300	-,023	,094
	Szignifikancia	,954	,950	,793	,888	,831	,697	,771	,942	,838	,259	,934	,729
OKTH	Pearson r	-,149	,596*	-,046	,416	-,100	,481	-,002	,445	-,184	,495	-,126	,515*
	Szignifikancia	,582	,015	,864	,109	,713	,059	,995	,084	,494	,051	,642	,041
NOVH	Pearson r	-,003	,035	,115	-,254	,053	-,095	,391	-,008	,035	-,016	,102	-,068
	Szignifikancia	,990	,897	,671	,343	,845	,727	,134	,976	,899	,952	,707	,801
DECH	Pearson r	-,105	,156	-,160	-,001	,123	,008	-,011	-,070	,000	,085	-,033	,040
	Szignifikancia	,700	,563	,554	,998	,650	,977	,968	,797	1,000	,754	,902	,883
JANH	Pearson r	-,101	,369	-,152	,483	-,225	,392	-,059	,497	-,182	,322	-,170	,435
	Szignifikancia	,710	,159	,575	,058	,403	,134	,828	,050	,501	,224	,529	,093
FEBH	Pearson r	-,212	,105	-,045	-,084	-,149	-,043	,174	,114	-,222	-,133	-,139	-,007
	Szignifikancia	,430	,699	,868	,756	,582	,873	,520	,674	,409	,623	,608	,979
MARH	Pearson r	-,114	-,177	-,254	-,247	-,161	-,181	-,074	-,133	-,084	-,430	-,154	-,248
	Szignifikancia	,673	,512	,342	,357	,551	,502	,786	,622	,756	,097	,570	,354
APR1H	Pearson r	,356	-,197	,032	-,356	,348	-,253	,197	-,210	,463	-,165	,346	-,248
	Szignifikancia	,175	,465	,906	,175	,186	,343	,465	,436	,071	,542	,189	,355
APR2H	Pearson r	,046	,232	,085	,170	,274	,092	,131	,148	,091	,316	,138	,205
	Szignifikancia	,864	,388	,753	,530	,304	,735	,630	,586	,738	,234	,609	,446
APR3H	Pearson r	-,060	,188	-,041	,326	,163	,310	-,258	,162	-,158	,167	-,070	,241
	Szignifikancia	,826	,485	,879	,218	,547	,243	,334	,549	,560	,537	,796	,370
APRH	Pearson r	,206	,100	,034	,054	,442	,072	,026	,036	,234	,146	,236	,087
	Szignifikancia	,445	,712	,901	,843	,086	,790	,922	,895	,383	,590	,378	,748
MAJ1H	Pearson r	-,342	-,216	-,143	,020	-,112	-,175	-,231	-,147	-,305	-,106	-,269	-,132
	Szignifikancia	,195	,421	,597	,943	,679	,516	,390	,588	,251	,696	,313	,626
MAJ2H	Pearson r	,347	,249	,444	,132	,477	,117	,432	,115	,439	,010	,482	,132
	Szignifikancia	,189	,353	,085	,626	,062	,665	,095	,673	,089	,970	,059	,625
MAJ3H	Pearson r	,232	-,038	,061	,044	-,053	-,024	,106	,180	,282	,109	,160	,058
	Szignifikancia	,387	,888	,822	,872	,845	,929	,696	,505	,290	,688	,555	,832
MAJH	Pearson r	,100	-,038	,154	,099	,116	-,064	,125	,078	,194	,010	,158	,019
	Szignifikancia	,713	,890	,568	,716	,669	,815	,644	,774	,472	,970	,558	,945
JUN1H	Pearson r	-,347	-,431	-,502*	-,400	-,315	-,390	-,050	-,190	-,211	-,607*	-,335	-,428
	Szignifikancia	,188	,096	,048	,125	,234	,135	,853	,481	,433	,013	,205	,098



## Az 1. melléklet folytatása

JUN2H	Pearson r	-,535*	,190	-,409	,177	-,177	,282	-,623*	,199	-,586*	,065	-,528*	,190
	Szignifikancia	,033	,481	,116	,513	,513	,290	,010	,460	,017	,810	,035	,481
JUN3H	Pearson r	-,107	,229	-,192	,255	-,159	,204	-,353	,251	-,197	,135	-,213	,226
	Szignifikancia	,693	,394	,475	,340	,557	,449	,180	,348	,465	,618	,429	,399
JUNH	Pearson r	-,556*	-,054	-,660**	-,021	-,403	-,001	-,557*	,129	-,546*	-,296	-,615*	-,054
	Szignifikancia	,025	,843	,005	,938	,121	,996	,025	,634	,029	,266	,011	,843
JUL1H	Pearson r	-,517*	-,364	-,616*	-,164	-,223	-,298	-,592*	-,369	-,498*	-,546*	-,545*	-,371
	Szignifikancia	,040	,166	,011	,543	,407	,262	,016	,159	,050	,029	,029	,158
JUL2H	Pearson r	,403	,070	,434	,011	,331	,247	,264	,070	,383	,069	,421	,095
	Szignifikancia	,122	,796	,093	,969	,210	,356	,323	,797	,143	,799	,104	,726
JUL12H	Pearson r	-,082	-,236	-,136	-,125	,095	-,036	-,258	-,240	-,084	-,381	-,090	-,220
	Szignifikancia	,762	,379	,614	,646	,728	,894	,334	,371	,758	,145	,740	,413
OHK	Pearson r	-,052	-,011	-,208	-,029	-,084	,071	-,190	,208	-,058	-,126	-,120	,022
	Szignifikancia	,847	,969	,439	,914	,756	,794	,481	,439	,830	,641	,658	,936
OH	Pearson r	-,157	,150	-,185	-,041	-,034	,081	,063	,150	-,142	-,062	-,118	,059
	Szignifikancia	,562	,579	,492	,881	,901	,765	,815	,580	,600	,819	,663	,828
MAJ1HN	Pearson r	-,050	,006	-,191	,228	-,244	,009	-,280	,063	-,073	,222	-,170	,112
	Szignifikancia	,855	,983	,480	,396	,363	,974	,293	,818	,788	,408	,528	,678
MAJ2HN	Pearson r	,533*	,248	,376	-,001	,859**	,006	,352	-,010	,511*	,102	,617*	,077
	Szignifikancia	,034	,354	,151	,998	,000	,982	,182	,969	,043	,708	,011	,778
MAJ3HN	Pearson r	,273	,671**	,266	,626**	,026	,568*	,174	,777**	,123	,609*	,195	,688**
	Szignifikancia	,306	,004	,319	,010	,924	,022	,518	,000	,649	,012	,470	,003
MAJHN	Pearson r	,333	,617*	,252	,586*	,146	,477	,145	,663**	,197	,593*	,253	,622*
	Szignifikancia	,207	,011	,346	,017	,589	,062	,591	,005	,464	,015	,344	,010
JUN1HN	Pearson r	-,006	,146	,069	,058	-,240	,231	,222	,266	,029	-,074	-,002	,129
	Szignifikancia	,981	,590	,799	,831	,371	,389	,409	,319	,916	,786	,993	,633
JUN2HN	Pearson r	-,304	,412	-,256	,396	,061	,483	-,544*	,345	-,423	,150	-,321	,374
	Szignifikancia	,253	,112	,338	,129	,823	,058	,029	,190	,102	,579	,225	,154
JUN3HN	Pearson r	,045	,355	,039	,403	-,081	,330	-,203	,379	-,068	,260	-,048	,364
	Szignifikancia	,867	,177	,886	,122	,766	,212	,450	,148	,801	,331	,859	,166
JUNHN	Pearson r	-,170	,520*	-,115	,503*	-,099	,583*	-,378	,536*	-,298	,215	-,233	,494
	Szignifikancia	,528	,039	,672	,047	,716	,018	,149	,032	,263	,424	,385	,052
JUL1HN	Pearson r	-,273	-,151	-,285	-,048	,012	-,136	-,309	-,220	-,308	-,464	-,262	-,218
	Szignifikancia	,307	,577	,284	,860	,964	,615	,245	,412	,245	,070	,327	,417
JUL2HN	Pearson r	,538*	,237	,505*	,182	,368	,407	,248	,185	,412	,164	,487	,244
	Szignifikancia	,032	,377	,046	,501	,161	,118	,354	,492	,113	,543	,056	,362
JUL12HN	Pearson r	,174	,057	,145	,088	,250	,178	-,039	-,023	,068	-,196	,148	,017
	Szignifikancia	,518	,835	,593	,746	,351	,510	,885	,934	,802	,466	,585	,949
OHN	Pearson r	,166	,662**	,111	,611*	,080	,728**	-,195	,703**	-,053	,483	,042	,670**
	Szignifikancia	,539	,005	,682	,012	,768	,001	,468	,002	,845	,058	,877	,005

\* A korrelációs koefficiens  $p = 0,05$  szinten szignifikáns (kétoldali)\*\* A korrelációs koefficiens  $p = 0,01$  szinten szignifikáns (kétoldali)\*\*\* A korrelációs koefficiens  $p = 0,001$  szinten szignifikáns (kétoldali).

A Meteorológiai faktor rövidítése: a hónap 3 betűs rövidítése + a dekád jelölése [nincs (ha a teljes hónapra vonatkozik), 1, 2, 3, vagy 12 (ha az első két dekádra vonatkozik)] + CS = csapadék, H = átlaghőmérséklet, HN = hőségnapok száma.

## 2. melléklet. Az eredeti és a regressziós függvénnyel becsült sikéridex és Minolta b\* értékek

Évjárat	GK Bétadur			GK Selyemdur			Mv Makaróni			Mv Pennedur			Mv Hundur			Fajták átlaga		
	<i>Sikéridex</i>																	
	E	BT	BR	E	BT	E	BT	BR	E	BT	BR	E	BT	BR	E	BT	BR	
2004/2005	72,741	72,643	78,455	87,629	93,829	1,887	8,036	3,254	91,444	92,416	92,357	62,490	65,353	62,996	63,238	64,149		
2005/2006	75,078	75,819	71,122	91,728	76,929	29,783	18,838	17,327	79,729	79,625	81,790	61,599	58,662	59,440	67,583	58,115		
2006/2007	67,269	66,545	58,700	83,883	88,064	22,820	23,141	23,146	85,863	85,342	83,592	48,008	47,299	44,577	61,569	61,179		
2007/2008	77,720	78,537	73,736	82,017	79,822	10,785	9,120	7,897	88,125	88,421	87,334	48,039	51,672	57,251	61,337	67,242		
2008/2009	98,224	98,571	102,526	93,711	86,239	68,543	68,345	68,383	98,607	98,885	99,741	89,948	90,324	91,672	89,807	90,013		
2009/2010	64,860	64,702	52,690	76,724	79,781	15,945	14,310	13,528	77,631	77,673	73,783	42,917	42,051	40,557	55,615	49,408		
2010/2011	83,335	82,763	81,518	80,530	82,786	21,433	24,611	21,237	94,359	93,924	92,696	72,150	71,417	71,044	70,361	66,874		
2011/2012	37,476	37,469	35,957	48,673	49,279	1,673	4,339	13,198	59,692	58,732	58,931	22,483	21,993	18,965	33,999	33,090		
2012/2013	31,407	32,391	34,376	78,580	76,818	7,526	5,127	5,261	74,462	74,296	70,956	9,902	8,642	16,740	40,375	39,588		
2013/2014	66,874	66,340	66,512	87,606	71,869	1,758	-2,098	-3,266	93,164	91,159	93,909	58,878	52,027	42,641	61,656	63,209		
2014/2015	39,421	38,558	43,404	69,822	72,522	1,635	0,841	3,799	90,211	92,974	91,554	41,204	38,686	47,653	48,459	45,681		
2015/2016	42,648	42,997	37,826	69,673	65,678	7,579	5,655	5,525	80,883	81,125	84,172	35,730	33,840	36,587	47,303	49,487		
2016/2017	47,293	46,630	48,213	80,517	70,723	3,972	5,200	6,497	90,049	88,069	88,784	55,296	58,866	46,755	55,425	49,358		
2017/2018	43,103	42,979	48,380	65,238	79,839	3,747	8,436	6,188	82,453	81,930	81,887	45,990	46,558	50,571	48,106	47,718		
2018/2019	26,006	26,367	32,109	39,754	52,770	1,497	-1,337	0,013	60,768	62,650	67,783	9,369	13,449	12,627	27,479	38,550		
2019/2020	50,808	51,021	58,971	69,597	78,840	1,77	9,440	10,398	90,612	91,002	88,771	39,281	42,866	43,354	50,414	59,212		
	<i>Minolta b*</i>																	
2004/2005	24,725	26,163		26,105	26,173	25,720	26,051		27,055	27,469		31,795	31,805	32,211	27,080	27,058	26,994	
2005/2006	26,180	25,064		27,125	27,015	28,400	23,879		26,370	24,181		30,510	30,510	30,763	27,717	27,686	27,586	
2006/2007	26,970	26,933		27,280	27,646	27,600	27,680		29,240	29,935		29,630	29,634	28,892	28,144	28,129	28,418	
2007/2008	24,955	23,243		27,850	26,631	26,430	25,508		29,025	26,647		28,990	28,994	28,699	27,450	27,497	27,011	
2008/2009	22,595	22,355		22,630	22,417	22,845	23,879		22,710	24,181		26,905	26,894	27,105	23,537	23,539	23,711	
2009/2010	20,840	21,419		23,160	22,275	24,260	23,879		24,360	24,181		26,760	26,765	27,403	23,876	23,904	24,591	
2010/2011	20,005	20,548		22,050	22,495	22,720	23,879		23,795	24,181		25,225	25,217	24,429	22,759	22,787	23,423	
2011/2012	20,405	19,969		24,715	24,547	23,165	23,879		23,525	24,181		25,120	25,125	25,060	23,386	23,365	23,623	
2012/2013	22,635	23,350		25,180	26,115	24,380	23,879		25,275	24,181		27,565	27,561	26,627	25,007	25,038	25,340	
2013/2014	22,525	21,660		24,305	23,477	25,210	23,879		24,805	24,181		27,560	27,577	27,100	24,881	24,839	24,530	
2014/2015	21,470	22,183		22,500	22,298	23,795	23,879		23,150	24,181		25,140	25,131	26,441	23,211	23,203	23,961	
2015/2016	20,055	19,957		21,715	22,285	21,790	23,879		22,720	24,181		25,795	25,782	25,904	22,415	22,437	22,162	
2016/2017	19,600	20,659		20,710	21,875	21,640	23,879		21,930	24,181		23,240	23,250	24,544	21,424	21,419	21,798	
2017/2018	21,197	21,024		23,597	24,444	23,580	24,422		24,404	25,003		26,960	26,944	26,762	23,948	23,958	23,804	
2018/2019	22,799	22,828		23,696	22,739	24,813	23,879		25,373	24,181		26,683	26,680	26,351	24,673	24,672	23,156	
2019/2020	23,269	23,079		24,227	24,429	23,873	23,879		25,493	24,181		27,183	27,192	27,022	24,809	24,784	24,116	

Megjegyzés: E = eredeti adatsor; BT = a teljes regressziós függvénnyel becsült érték; BR = Az egyszerűsített regressziós függvénnyel becsült érték

3. melléklet. Őszi és fakultatív durumbúzafajták sikérindexe és Minolta b\* értéke  
(Martonvásár, 2014–2018, 5 év átlaga)

#	Genotípus	Ország	Sikérindex	Minolta b*	#	Genotípus	Ország	Sikérindex	Minolta b*
1	Odmadur 1	HUN	2,668	20,682	51	Helios	RUS	11,147	20,754
2	Odmadur 2	HUN	6,986	19,698	52	Terra	RUS	41,937	21,629
3	Martondur 1	HUN	31,078	17,748	53	Axinite	RUS	51,745	18,750
4	Martondur 2	HUN	3,273	20,015	54	Kurant	RUS	17,152	20,606
5	Martondur 3	HUN	17,740	21,033	55	Amazonka	RUS	73,360	18,379
6	Mv Maxidur	HUN	64,315	20,820	56	Kremona	RUS	9,499	19,066
7	Mv Makaroni	HUN	7,562	23,240	57	Agat Donskoj	RUS	22,227	21,839
8	Mv Gyémánt	HUN	10,296	20,193	58	Kristella	RUS	75,672	21,575
9	Mv Pennedur	HUN	70,098	22,582	59	Auradur	AUT	29,294	24,891
10	Mv Hundur	HUN	48,402	24,564	60	Heradur	AUT	47,331	23,495
11	MvTD07-09	HUN	73,314	22,638	61	Prowidur	AUT	31,246	26,667
12	GK Basa	HUN	41,945	19,630	62	Inverdur	AUT	34,848	26,340
13	GK Minaret	HUN	57,863	22,494	63	Superdur	AUT	88,329	24,117
14	GK Novodur	HUN	88,991	18,817	64	Windur	AUT	51,792	21,998
15	GK Pannondur	HUN	36,215	18,401	65	Lupidur	AUT	78,898	22,968
16	GK Tiszadur	HUN	24,102	19,585	66	Lunadur	AUT	66,452	22,689
17	GK Bétadur	HUN	60,745	21,871	67	Elsadur	AUT	81,030	25,882
18	GK Selyemdur	HUN	60,285	22,989	68	Logidur	AUT	81,143	22,564
19	Condur	ROM	50,985	18,970	69	Troubadur	AUT	89,052	24,399
20	Pandur	ROM	54,784	20,286	70	Kiradur	AUT	53,309	25,996
21	Elidur	ROM	63,061	18,937	71	Clidur	AUT	60,877	25,885
22	Grandur	ROM	65,090	18,889	72	PWD1321-93	AUT	49,765	24,909
23	Ns-dur	SRB	27,695	20,987	73	BA07	DEU	14,947	21,020
24	Durumko	SRB	2,399	19,427	74	HWD6-007-01-02	DEU	58,708	25,621
25	Dolap	SRB	18,624	21,096	75	HWD6-029-01-01	DEU	66,466	22,257
26	Dusan	SRB	29,195	21,338	76	HWD6-035-01-05	DEU	51,815	26,295
27	Vendur	SVK	2,168	19,709	77	HWD2-047-99-02	DEU	80,863	25,530
28	IS Pentadur	SVK	47,668	21,102	78	HWD6-008-04-04	DEU	86,404	23,182
29	IS Karmadur	SVK	41,996	25,517	79	HWD6-010-03-01	DEU	35,279	26,270
30	SOD77	SVK	6,032	17,575	80	HWD6-012-03-01	DEU	60,601	25,308
31	Ajsberg Odesskii	UKR	4,042	19,490	81	HWD6-052-04-04	DEU	67,165	27,976
32	Csernomor	UKR	5,994	18,753	82	HWD6-029-05-03	DEU	81,222	27,471
33	Jantar Odesskii	UKR	42,984	18,663	83	HWD6-056-05-01	DEU	30,921	24,631
34	Korall Odesskii	UKR	3,942	21,144	84	HWD12-61-45	DEU	83,088	27,230
35	Zsemcsug	UKR	13,291	20,535	85	HWD12-61-53	DEU	66,265	26,163
36	Atoll	UKR	12,020	19,245	86	BCTD1300-99	HRV	6,602	17,882
37	Delfin Odesskii	UKR	30,646	20,744	87	BCTD7205-96	HRV	67,262	20,336
38	Perlyna	UKR	4,567	18,700	88	Mirela	BGR	41,249	24,232
39	Parus	UKR	7,881	21,399	89	Saturn1	BGR	53,575	21,454
40	Makar	UKR	4,479	18,906	90	Severina	BGR	21,314	19,728
41	Leukurum 36	RUS	2,424	19,214	91	Denitsa	BGR	42,792	20,343
42	Kristall 2	RUS	14,716	17,580	92	DAI2174-1-06	BGR	23,447	20,627
43	Leukurum 21	RUS	15,049	20,822	93	DAI2165-250-06	BGR	8,276	18,954
44	Alena	RUS	31,820	18,025	94	Yilmaz	TUR	1,772	20,414
45	Krupinka	RUS	40,209	21,652	95	Kiziltan	TUR	22,343	21,269
46	Kermen	RUS	37,509	21,477	96	Altin	TUR	31,700	20,892
47	Uniya	RUS	15,884	21,499	97	Kundurur 1149	TUR	4,123	20,795
48	Zolotko	RUS	30,801	19,472	98	G1252	TUR	56,308	19,772
49	Laska	RUS	10,579	24,313	99	Ionio	ITA	68,433	24,627
50	Donskoj Jantar	RUS	15,131	21,303	100	Saragolla	ITA	89,161	22,651

## 4. melléklet. A Minolta b\* értékkel és a sikerindexszel kapcsolt QTL csúcsok az évenkénti értékek elemzése alapján

QTL	KCS	LOD érték	Pozíció	Legközelebbi marker	$\sigma^2$ %	Additív hatás PWD1216-hoz viszonyítva
<i>Minolta b*</i>						
2001						
qMB_1A	16	4,96	64,147	wPt-4886	7,3	0,7810
qMB_1B	10	3,25	101,280	tPt-7980	6,6	0,7169
qMB_3B.1	21	2,71	58,175	wPt-6467	2,5	-0,4178
qMB_3B.2	3	17,08	20,476	sAGmGA-202	12,8	0,9808
qMB_4A.1	26	4,01	41,364	Gwm666_3	6,8	-0,7069
qMB_4B.2	12	3,25	1,816	wPt-6892	4,6	0,6026
qMB_7A	17	7,20	95,164	Cfd6_2	12,1	0,9726
2003						
qMB_1B	10	5,41	98,280	Gwm437b	13,7	0,9698
2004						
qMB_3B.2	3	7,46	14,633	tPt-0353	12,3	1,6472
qMB_7A	17	8,09	100,281	sAGmTC-252	12,5	1,2199
2005						
qMB_1B.2	10	6,76	113,869	wPt-0459	6,2	1,068
qMB_3B.2	3	14,77	18,633	sAGmGA-202	15,9	1,7522
qMB_4A.2	26	4,13	92,757	sGTmTC-540	3,8	0,8359
qMB_4B.2	12	6,44	53,766	sTCmTC-224	5,7	1,0471
qMB_5A.2	30	3,24	22,102	Barc151	2,9	0,7255
qMB_7A	17	16,90	97,164	Cfd6_2	18,9	1,8462
2005						
qMB_1B.2	10	6,76	113,869	wPt-0459	6,2	1,068
qMB_3B.2	3	14,77	18,633	sAGmGA-202	15,9	1,7522
qMB_4A.2	26	4,13	92,757	sGTmTC-540	3,8	0,8359
qMB_4B.2	12	6,44	53,766	sTCmTC-224	5,7	1,0471
qMB_5A.2	30	3,24	22,102	Barc151	2,9	0,7255
qMB_7A	17	16,90	97,164	Cfd6_2	18,9	1,8462
2006						
qMB_1B.2	10	6,52	114,140	wPt-0459	6,6	0,8785
qMB_2B.2	8	3,67	25,169	sGCmTC-421	3,6	0,6398
qMB_3B.2	3	8,06	20,476	sAGmGA-202	8,4	1,0029
qMB_4B	12	2,01	24,441	sAGmGA-510	1,9	0,4758
qMB_5B	22	2,81	73,973	wPt-3329	3,2	0,6034
qMB_7A	17	14,25	98,360	Cfd6_2	16,1	1,3619
2007						
qMB_1A	16	5,41	55,034	wPt-1720	5,2	0,9631
qMB_1B.2	10	3,99	114,140	wPt-0459	3,9	0,7781
qMB_3B.2	3	7,56	20,476	sAGmGA-202	7,7	1,1165
qMB_4A.2	26			sGTmTC-540		
qMB_4B	12	2,50	55,363	tPt-0602	2,2	0,6351
qMB_5A.3	13	3,03	0,000	wPt-5231	2,9	0,7493
qMB_5B	22			wPt-3329		
qMB_7A	17	23,21	99,360	Cfd6_2	29,5	2,1371

## A 4. melléklet folytatása

QTL	KCS	LOD érték	Pozíció	Legközelebbi marker	$\sigma^2$ %	Additív hatás PWD1216-hoz viszonyítva
<i>Minolta b*</i>						
2008						
qMB_1A	16	6,85	54,108	wPt-1720	5,1	0,8418
qMB_1B.2	10	5,66	114,140	wPt-0459	3,8	0,7283
qMB_3A.1	24	4,76	8,563	sGCmTC-106	3,6	0,7081
qMB_3A.3	11	5,89	32,936	sGCmTC-158	3,7	0,7443
qMB_3B.2	3	15,06	20,476	sAGmGA-202	12,2	1,3199
qMB_4B.2	12	3,62	17,394	wPt-6209	2,6	0,6252
qMB_5B	22	2,35	71,973	sAGmGA-292	1,4	0,4984
qMB_7A	17	34,70	98,360	Cfd6_2	34,9	2,2229
2009						
qMB_1B.3	10	4,82	82,026	sTCmTC-74	5,4	0,9427
qMB_2B	8	3,33	9,811	wPt-7506	4,6	0,7752
qMB_3B.2	3	9,42	20,476	sAGmGA-202	10,9	1,4843
qMB_5A.4	18	3,98	55,566	sAGmGA-382	4,7	0,7459
qMB_5B	22	3,59	75,973	wPt-3329	4,9	1,6531
qMB_6A.2	29	5,33	0,000	wPt-8764	6,0	-0,9287
qMB_7A	17	21,25	99,360	sAGmTC-252	28,1	1,9604
2010						
qMB_1A.2	16	2,84	9,965	sTCmTC-306	2,5	0,4921
qMB_2B.3	8	5,00	0,000	sGCmTC-421	4,8	0,6333
qMB_3A.1	24	4,95	9,133	sGCmTC-106	4,8	0,6965
qMB_3A.2	24	3,62	30,861	sGAmGA-498	3,8	-0,6312
qMB_3B.2	3	7,00	20,476	sAGmGA-202	6,6	0,7825
qMB_6A.1	2	4,68	1,000	wPt-2426	4,9	0,6707
qMB_5A.4	18	4,31	55,566	sAGmGA-382	3,9	0,5795
qMB_5B	22	2,23	68,973	sAGmGA-292	1,9	0,4477
qMB_7A	17	19,61	99,360	sAGmTC-252	22,6	1,3812
2011						
qMB_1A.2	16	4,35	9,965	wPt-1720	3,9	0,6230
qMB_1B	10	9,56	91,280	Gwm437b	10,8	1,0988
qMB_1B.3	10	4,62	56,718	wPt-9937	6,2	-0,7797
qMB_2B.2	8	3,69	0,000	sGCmTC-421	3,6	0,5779
qMB_3A.1	24	5,67	11,133	sGCmTC-106	6,0	0,9075
qMB_3A.2	24	3,59	33,837	Gwm666_1	3,3	-0,6288
qMB_3B.2	3	11,53	20,476	sAGmGA-202	11,2	1,0726
qMB_5A	13	5,63	70,313	wPt-5231	5,8	0,7457
qMB_5A.5	30	2,94	12,00	Gwm666_4	2,9	0,5817
qMB_5B.2	22	3,12	61,205	wPt-5803	2,8	0,5203
qMB_7A	17	23,92	98,360	Cfd6_2	27,1	1,7522
2012						
qMB_1B	10	5,56	95,280	Gwm437b	7,8	0,8593
qMB_2B.2	8	3,93	0,000	sGCmTC-421	4,1	0,6490
qMB_2B.4	6	2,96	27,688	wPt-1646	3,4	0,5916
qMB_3A.3	24	3,49	0,000	sAGmTC-200	3,3	0,6190
qMB_3B.2	3	8,42	20,476	sAGmGA-202	9,1	1,0022
qMB_5B	22	3,10	66,557	sAGmGA-292	3,3	0,5767
qMB_6A.3	2	4,76	5,339	wPt-3468	5,2	0,7281
qMB_6B/2	20	3,28	19,818	wPt-1532	3,6	-0,5755
qMB_7A	17	16,53	99,360	sAGmTC-252	19,8	1,3985

## A 4. melléklet folytatása

QTL	KCS	LOD érték	Pozíció	Legközelebbi marker	$\sigma^2$ %	Additív hatás PWD1216-hoz viszonyítva
<i>Minolta b*</i>						
2013						
qMB_1A.3	16	4,57	5,000	Gwm312_2	4,1	0,6778
qMB_1B	10	9,76	92,280	Gwm437b	9,7	1,1101
qMB_2B.2	8	7,80	0,000	sGCmTC-421	6,6	0,8375
qMB_3B.2	3	12,18	19,633	sAGmGA-202	10,5	1,1283
qMB_4B	12	3,39	54,804	sAGmTC-222	2,4	0,5455
qMB_5B.3	22	3,45	61,557	sAGmAG-310	2,4	0,5286
qMB_6A.1	2	5,30	1,000	wPt-2426	4,2	0,7345
qMB_7A	17	32,16	100,281	sAGmTC-252	34,3	2,0223
2014						
qMB_1A	16	3,72	55,034	wPt-1720	3,2	0,5945
qMB_1B.2	10	3,58	114,140	wPt-0459	3,3	0,5667
qMB_3A.1	24	5,27	11,133	sGCmTC-106	6,3	0,8994
qMB_3B.3	19	4,17	2,780	wPt-8559	3,8	0,6201
qMB_3B.2	3	5,30	19,633	sAGmGA-202	5,5	0,7525
qMB_4B.2	12	4,85	19,645	wPt-6209	4,6	0,6864
qMB_5B	22	4,35	76,860	wPt-3329	4,1	0,6516
qMB_7A	17	19,64	99,360	sAGmTC-252	23,0	1,5154
<i>Sikérindex</i>						
2007						
qGI_1B	10	29,27	71,556	wPt-5235	46,6	-30,9167
2011						
qGI_1A	16	5,55	0,000	Bla1	7,1	10,765
qGI_1B	10	18,70	71,556	wPt-5235	32,1	-23,1294
qGI_3B	3	3,02	23,928	wPt-1762	3,8	8,1917
qGI_5A.2	18	3,23	70,313	wPt-9549	4,3	8,4787
2012						
qGI_1A	16	5,17	0,000	Bla1	5,1	8,1671
qGI_1B	10	29,79	71,556	wPt-5235	47,9	-26,0372
qGI_2A	23	3,35	3,395	wPt-1722	3,1	-6,8451
qGI_2B	15	4,20	47,539	wPt-7158	3,8	-7,6771
qGI_4A	26	5,77	40,364	sTCmTC-503	5,9	-8,9941
qGI_5B	9	3,43	19,317	sTCmTC-380	3,4	-6,6311
2013						
qGI_1A	16	4,80	1,000	Bla1	6,5	11,2646
qGI_1B	10	29,29	70,556	wPt-5235	58,6	-33,8857
qGI_3B.2	21	3,32	32,363	wPt-3536	4,7	10,0604
qGI_3B.3	21	2,54	38,175	wPt-2757	15,0	-35,0263
qGI_5A	18	3,39	31,677	Gwm154	6,4	10,9106
2014						
qGI_1B	10	19,92	69,556	wPt-5235	54,5	-35,9764

Megjegyzés: A QTL elnevezése: q = QTL; MB = Minolta b\* érték; GI = sikérindex; az aláhúzás után a kromoszóma megnevezése szerepel, ahol a QTL található. KCS = kapcsoltsági csoport; LOD (logarithm of odds) = az esély 10-es alapú logaritmus;  $\sigma^2$ % = az adott QTL a rendszer teljes varianciájának hány %-át magyarázza.