

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

**AKADÉMIAI DOKTORI ÉRTEKEZÉS  
TÉZISEI**

**VIDA GYULA**

**AGRÁRTUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT  
MEZŐGAZDASÁGI INTÉZET**

**MARTONVÁSÁR**

**2022**

## Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és kutatási célok .....	1
2. Eredmények.....	2
2.1. A meteorológiai tényezők és az évjárat hatása durumbúzafajták sikérindexére és Minolta b* értékére.....	2
2.2 Agronómiai kezeléskombinációk hatása durumbúzafajták sikérindexére és Minolta b* értékére .....	3
2.3. Széles genetikai bázisú őszi- és fakultatív durumbúza genotípus kör vizsgálata.....	5
2.4. A Minolta b* értéket és a sikérindexet meghatározó genetikai faktorok azonosítása kétszülős térképező populációban .....	6
2.4.1. A szülő- és a térképezési populációt alkotó törzsek fenotípusos vizsgálata.....	6
2.4.2. A kétszülős térképezési populáció molekuláris szintű vizsgálata .....	7
2.5. A sikérindex és a Minolta b* érték javítására irányuló szelekció eredményei .....	11
3. Új tudományos eredmények .....	13
Köszönetnyilvánítás .....	15
A disszertáció témájához kapcsolódó közlemények impakt faktoros és osztálylistás lapokban.....	16
A disszertáció témájához kapcsolódó konferencia közlemények .....	17

## 1. Bevezetés és kutatási célok

A durumbúza a második legnagyobb területen termesztett *Triticum* faj, a világpiacon értékesített termény mennyisége 1991 óta évente 26,2 és 41,0 millió tonna között változik. Európában, Amerikában és Ausztráliában a teljes mennyiség 94-98%-ából olasz típusú száraztészta (*pasta*) készül, melyből a világon előállított teljes mennyiség 2019-ben megközelítőleg 16,5 millió tonna volt.

A száraztészta és a durumbúzából készülő egyéb termékek egyszerű feldolgozási folyamat eredményeként készülnek, melynek során kevés egyéb összetevőt használnak, vagy még azt sem, ezért a termény technológiai minőségének kiemelkedően fontos hatása van a végtermék fogyasztói értékére. A modern durumbúza nemesítési programokban a technológiai minőség javítása kiemelt cél. A durumbúza több kedvező tulajdonsága is előnyt jelent a feldolgozási folyamat során. A főterméket jelentő dara, az ún. szemolina nagy mennyiségű sárgapigmentet (karotinoidokat) tartalmaz, ami a tésztakészítési- 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. Fehérjetartalma nagy, de emellett még a sikérszerkezete is különleges. Az erős sikérváz a feldolgozás, majd a főzés során képes visszatartani a keményítő molekulákat és ennek következtében a tészta felülete nem nyálkásodik, nem ragad, alakját stabilan megőrzi. Ez alapján megállapítható, hogy a durumbúza technológiai minőségének értékelésekor kiemelkedő jelentőségű a sárgapigment-tartalom és a sikérerősség. A sárgapigment-tartalom és a sikérerősség többféle módszerrel határozható meg. Napjainkra a vegyszermentes és gyors Minolta b\* érték mérése elterjedt módszerré vált a sárga szín intenzitásának mérésére. 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 durumbúza nemesítési programban is kiemelkedő jelentőséggel bír. Az utóbbi években született Mv fajták bizonyítják, hogy őszi durumbúzák is alkalmasak kiváló minőségű alapanyag előállítására.

Ez azonban nem egy öröktől fogva létező állapot. Az első valódi őszi típusú durumbúza fajták nemesítése során 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 üvegesség) alapján történő kiválogatás volt. Korábbi 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 sikérindex alapján végzett szelekció. A két és fél évtizedes munka eredményei alátámasztják a döntés helyességét. A martonvásári őszi durumbúza fajták 2020-ban piacvezetők voltak Magyarországon.

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.

## 2. Eredmények

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

A környezet (ebben az esetben az évjáratok) és a genotípusok kapcsolatrendszerének vizsgálatát GGE biplot analízissel végeztük. A különböző évjáratokat jelölő vektorok hossza eltérő volt, ugyanakkor az általuk bezárt szög minden esetben sokkal kisebb, mint 90°. Eszerint a különböző évjáratok közötti kapcsolat szoros és pozitív előjelű. 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 'Mv Makaróni' volt, a nagy sikerindexű fajták stabilitása is az átlagosnál jobbnak bizonyult.

A Minolta b\* esetén is egyetlen főkomponensváltozó volt jelentős, és a környezeti vektorok által bezárt hegyes szög bizonyította a különböző évjáratokban mért adatok pozitív korrelációját. Az elemzés eredménye alapján az egyértelmű nyertes az 'Mv Hundur' durumbúzafajta volt, mely egyedüli fajtaként helyezkedett el a környezeti vektorokat magában foglaló szektorban. A fajták közül az 'Mv Makaróni' stabilitása kiemelkedőnek bizonyult.

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 sikerindex és a Minolta b\* vektorok két csoportban helyezkedtek el, a csoportok átlagvektorai megközelítőleg 90°-os szöget zártak be, ami a két tulajdonság függetlenségét jelzi. Az „ideális” genotípust legjobban megközelítő durumbúzafajta az 'Mv Pennedur' volt, ez a fajta hordozza a tulajdonságok legkedvezőbb kombinációját. Az ideális genotípustól legtávolabb az 'Mv Makaróni' helyezkedett el.

A különböző meteorológiai tényezők (csapadék, átlaghőmérséklet – augusztustól márciusig havi összes mennyiség, illetve átlag, áprilistól aratásig ugyanezek az adatok dekádonkénti bontásban, továbbá a szemtelítődés időszakában bekövetkezett hőségnapok száma dekádonként) két technológiai minőségi tulajdonsággal kimutatható összefüggését korrelációanalízissel és lépcsős regresszió számításal elemeztük. Az 59 meteorológiai faktorra (26 csapadék + 23 átlaghőmérséklet + 10 hőségnap adat)  $\times$  12 (5 fajta + átlag  $\times$  2 tulajdonság), a fajtákra vonatkozó adatmátrixon elvégzett korrelációanalízis alapján csak az összefüggések töredéke bizonyult szignifikánsnak. A fajtánként mért és az átlagos sikerindex adatokat a szignifikáns hatású meteorológiai faktorok többsége negatívan befolyásolta. A leginkább általánosítható hatást a június havi átlaghőmérséklet és július hónap első dekádjának átlaghőmérséklete váltotta ki, melyek növekedésével az Mv Makaróni durumbúzafajta kivételével valamennyi genotípus és a fajták átlagának sikerindexe is csökkent.

A Minolta  $b^*$  értéket több meteorológiai tényező is többségében pozitív irányban változtatta. A május 3. dekádjában bekövetkezett hőségnapok száma valamennyi fajta mintáiból származó szemolina és ezek átlagának sárga színét is erősítette. Ehhez hasonlóan a május és június havi összes hőségnap, valamint a tenyészidőszak alatt előfordult összes hőségnap is általánosítható hatást gyakorolt a Minolta  $b^*$  értékre. Június elején lehullott csapadék is kedvezően alakította a sárga szín intenzitását.

A komplex összefüggéseket lépcsős regresszióanalízissel elemeztük. 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. A fajták átlagából számított regressziós függvény sikerindexnél 0,873, Minolta  $b^*$  értéknél pedig 1,000  $R^2$  értéke alapján megállapítható, hogy az őszi durumbúzafajták 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.

## **2.2 Agronómiai kezeléskombinációk hatása durumbúzafajták sikerindexére és Minolta $b^*$ értékére**

Három egymást követő, szélsőséges csapadék-ellátottságú évben (2010-2012) 6 különböző N-ellátottsági szinten három eltérő sikererősségű őszi durumbúzafajta ('Mv Makaróni' gyenge, 'Mv Hundur' közepes és 'Mv Pennedur' erős típusú siker) sikerindexének és Minolta  $b^*$  értékének változását tanulmányoztuk, 5 növényvédelmi kezelést alkalmazva. Lineáris kevert modell alapján, REML analízissel elemeztük az adatokat.

A sikerindex adatok elemzése valamennyi évben és a három év átlaga alapján is a genotípus elsődlegességét bizonyította. A nitrogén hatóanyag mennyisége szintén minden esetben szignifikáns hatású volt. A műtrágya  $\times$  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 sikerindexhez hasonlóan elsősorban a genotípus, majd a nitrogén hatóanyag mennyisége befolyásolta. A sikerindextől eltérően a 2012. évben a tápanyag mennyisége nem volt szignifikáns hatású, továbbá a műtrágya  $\times$  genotípus kölcsönhatás is mindössze a 2010. és a 2011. évben volt jelentős. A három év átlagértékei alapján a sikerindex 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 sikerindex a hároméves átlagértékekhez és a többi év adataihoz viszonyítva éppen ellenkezőleg változott, a műtrágya mennyiségének növelésével szignifikánsan nőtt. A kezeletlen kontrolltól a 100 és 150 kg ha<sup>-1</sup>, valamint a 100+50 kg ha<sup>-1</sup> osztott kezelés mintáinak sikerindexe különbözött. A tápanyagtartalom 0-ról 100+50 kg ha<sup>-1</sup>-ig történő növelésével 61,10-ról 66,70-re nőtt a sikerindex, ugyanakkor az átlagosnál szárazabb, hűvös 2011. esztendőben a legkedvezőbb hatást az 50 kg ha<sup>-1</sup> nitrogén hatóanyag kijuttatásával érték el.

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. A 2010. és 2011. évben is nőtt a Minolta  $b^*$  érték, továbbá 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.

A vizsgálatokba vont három durumbúzafajta sikerindexe mindhárom évben, továbbá a három év, a kezelések, valamint az ismétlések átlagában szignifikánsan eltért. A REML analízis eredménye nem tette lehetővé a genotípus  $\times$  évjárat kölcsönhatás elemzését, de a különböző évjáratokban a vizsgált durumbúzafajták eltérő reakciója szembetűnő. Csapadékos évjáratban a gyenge sikérű 'Mv Makaróni' sikerindexe az átlagosnál gyengébb, míg az 'Mv Penneduré' megközelítőleg azonos volt a hűvösebb, szárazabb 2011. évben mért értékkel. Az Mv Hundur sikererőssége is csak kismértékben tért el az első két évben. Megfigyelésünk szerint az erős és közepesen erős sikértípusú fajták csapadékos évjáratban is stabilan képesek megőrizni a sikererősségüket, míg a gyenge sikérű fajta ekkor a rá jellemző átlagos értéknél is rosszabb minőségű lehet. Az extrém száraz évjárat (2012. év) azonban eltérő hatású volt. Ilyen évjáratban a durumbúzafajták sikerindexe közötti különbség lecsökken. Míg a gyenge sikértípusú 'Mv Makaróni' értéke az átlaghoz közelített, az 'Mv Penneduré' a kedvezőbb évjáratokhoz viszonyítva megközelítőleg 2/3-ára csökkent. 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.

A Minolta b\* érték alapján mindhárom évben és az évek átlagában is az 'Mv Hundur' volt a legjobb fajta. A további sorrend évről-évre változott. A különböző durumbúza-fajták Minolta b\* értékei az eltérő évről-évre szűk intervallumon belül változtak, ami a tulajdonság elsődlegesen genetikai meghatározottságát támasztja alá.

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

Öt egymást követő évben (2014–2018) 12 országból származó 100 őszi- és fakultatív típusú durumbúza-fajta/nemesítési törzs sikerindexét és Minolta b\* értékét vizsgáltuk. A varianciaanalízis eredménye alapján a két főtenyező, valamint ezek kölcsönhatása is szignifikánsnak bizonyult. REML analízissel (random modell alapján) meghatároztuk a varianciakomponenseket, majd ezekből kiszámítottuk az ismételhetőség (genotípusos/ fenotípusos variancia =  $h^2$ ) értékeket.

A széles genetikai bázisú fajtakör vizsgálatának eredménye alapján mindkét technológiai minőségi tulajdonság értékei tág intervallumon belül helyezkedtek el. A nagy ismételhetőség ( $h^2_{\text{Minolta b}^*} = 0,978$ ,  $h^2_{\text{sikerindex}} = 0,949$ ) értékek alapján a Minolta b\* érték és a sikerindex genetikai meghatározottsága rendkívül erős. Emiatt a transzgresszív utódok szelekciója már korai generációkban hatékonyan megkezdhető mindkét technológiai minőségi tulajdonság esetén.

A vizsgált durumbúza-fajták és törzsek megközelítőleg az utóbbi ötven év nemesítési eredményeit reprezentálták. A különböző országokból származó genotípusok többségében a sikerindex és a Minolta b\* érték is széles határok között változott az 5 év átlagértékei alapján. Az olasz fajták átlagos sikerindexe volt a legnagyobb (78,80), míg az ukránoké 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 durumbúza-fajták átlagos Minolta b\* értéke a 19–21 közötti sávban található, ugyanakkor a maximum értékek alapján e genotípus körökben is azonosíthatók nagyon jó (24-et meghaladó Minolta b\* érték) technológiai minőségű durumbúza-fajták. A sikerindex adatok valamennyi ország esetén széles intervallumon belül található. Az adatok részletes vizsgálata alapján megállapítható, hogy elsősorban a régebbi, valódi őszi típusú durumbúza-fajtákra jellemző a gyengébb siker, aminek feltételezhető oka, hogy e fajták szelekciója során a sikererősség javítása még nem szerepelt a nemesítési programok prioritásai között.

A különböző országokból származó fajták mintáinak Minolta b\* értékei jelentősen eltértek egymástól. A legnagyobb átlagos értéket a német (25,30) és az osztrák (24,49) durumbúza-fajták mintáiban mértük, harmadik helyen az olasz fajták végeztek (23,64). 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 durumbúza-fajták nemesítése folyik. Ezekből az országokból (BGR, HUN, RUS, SVK) származó minták közül néhány megelőzte az olasz fajtákat. Ez egyben azt jelenti, hogy a valódi őszi durumbúza-fajták technológiai minőségüket tekintve napjainkban már versenyképesek a fakultatív fajtákkal Minolta b\* értékük alapján.

A kísérletben szereplő durumbúza fajták közül 50 genotípuson a sikererősséggel vagy a sárgapigment-tartalommal kapcsolt biokémiai/molekuláris markerekkel további vizsgálatokat végeztünk. A polimorfizmus kimutatását követően az eltérő típusú markereket hordozó csoportok közötti eltérést két változat esetén *t*-próbbával, 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 jelenlétét vizsgáltuk. Az őszi és fakultatív durumbúza fajták 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 sikerindexe a Kruskal-Wallis teszt eredménye alapján nem különbözött ( $\chi^2 = 0,548^{ns}$ ). Kísérletünkben a „klasszikus” 42/45 adatpár összehasonlítását végeztük el *t*-próbbával. Az elemzés eredménye alapján a két csoport szignifikánsan különbözött. A 42-es alegységet hordozó durumbúza fajták átlagos sikerindexe 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 durumbúza sikerindexét a 42-es és 45-ös gliadin alegységek (alapvetően az ezekkel kapcsolt LMW-1 és LMW-2 kis molekulatömegű glutenin alegységek) jelentős mértékben, de nem kizárólagosan határozzák meg.

A Minolta b\* értékben megfigyelhető különbségek genetikai hátterének vizsgálata során molekuláris (DNS-szintű) markereket használtunk. A vizsgálatba vont molekuláris markerek közül többnél statisztikailag igazolható összefüggést mutattunk ki a Minolta b\* értékkel.

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

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

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. Szélsőségesen nagy és kis Minolta b\* értékű törzsek közül kiválasztottunk két nemesítési törzset, melyekkel kétszülős térképező populációt hoztunk létre. Nagy sárgapigment-tartalmú szülőnek a 'PWD1216' osztrák, 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 végeztünk, 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.

Az átlagértékeket vizsgálva a térképező populációt alkotó törzsek és a szülők átlagértékei évenként, de az évek átlagában sem térnek el egymástól jelentősen. 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. 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 12 évben meghaladta a 24-et, ami nagyon jó feldolgozóipari alapanyagának 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 két szülő sikerindexe az évek átlagában szignifikánsan nem tért el, ennek ellenére a populáció törzseinek sikererőssége széles intervallumon belül változott. A legerősebb sikérszerkezetű törzsek sikerindexe jelentősen meghaladta mindkét szülőét. A leggyengébb sikerű törzs sikerindexe 1,18 és 9,93 közötti, évjáratától függetlenül rendkívül lágy sikerű volt. A legnagyobb sikerindexű törzs 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, mindössze a 2012. évi minta volt „átlag feletti”.

Az évjáratok és a genotípusok hatását lineáris kevert modellel (REML analízis) elemeztük. 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. A REML analízis eredménye alapján a genotípusok Minolta b\* értéke és sikerindexe között is eltérés mutatható ki, az évjárat azonban mindössze a Minolta b\* értékre hatott.

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 döntő mértékben. A nedvessikér-tartalomra és a fitotroni hidegtűrésre ugyanez nem mondható el.

#### **2.4.2. A kétszülős térképezési populáció molekuláris szintű vizsgálata**

DNS szinten, molekuláris markerekkel a Minolta b\* értékkel és a sikerindexszel 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 markereket teszteltünk, utána rövid időn belül áttértünk az AFLP, a mikroszatellit, majd végül a DArT 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. E módszerrel a Minolta b\* értékkel kapcsolt molekuláris markereket azonosítottunk. 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.

A továbbiakban a 98 utód törzs és a két szülő, azaz összesen 100 törzs DNS-ének felhasználásával vizsgáltuk a populációban a markerek jelenlétét. Korrelációanalízissel megállapítottuk a markerek és a két évben mért Minolta b\* adatok átlagértékeinek kapcsoltságát. A vizsgált 9 marker közül 4 szignifikánsan korrelált a Minolta b\* értékkel. A legszorosabb összefüggést az OPA16<sub>800</sub> markerrel mutattuk ki, amellyel önmagában a Minolta b\* érték varianciájának 17%-át tudtuk magyarázni. 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 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.

Vizsgálataink második szakaszában 179 törzs DNS mintáit használtuk. A molekuláris vizsgálatok eredményeként összeállítottuk a 'PWD1216/MvTD10-98' populáció kapcsoltsági térképét. A Minolta b\* értékkel kapcsolt RAPD markerek közül ötöt 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 csökkent a redundáns és a mendeli hasadási arányoknak nem megfelelő eloszlású markerek kizárásával. 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 volt.

A térkép összeállítását követően QTL-analízissel a Minolta b\* értékkel és a sikéridexszel kapcsolt kromoszómaregiókat azonosítottunk. Az elemzést MapQTL5 szoftverrel végeztük, MQM (*multiple QTL mapping = composite interval mapping*) módszerrel, 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. A  $LOD \geq 3$  értékű kromoszómarégiókat tekintettük jelentős hatásúnak. 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*-próbbával teszteltük.

A 'PWD1216/MvTD10-98' populációban a két technológiai minőségi tulajdonságot komplex genetikai háttér szabályozta. A 14 durumbúza kromoszóma közül tizenkettőn azonosítottunk a Minolta b\* értéket, vagy a sikerindexet meghatározó QTL-t, 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, 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 Minolta b\* érték esetén négy, a sikerindexnél pedig egy marker rendkívül szorosan kapcsolódott (távolságuk a legnagyobb LOD értékű régiótól 0) a tulajdonságokat meghatározó QTL-hez 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.

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. A két csoport közötti különbség szignifikánsnak bizonyult, 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 csúcstól, 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, 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.

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 értékeket meghatározó kromoszómaszakaszok pozícionálására. Ez a lépés természetesen még nem tette lehetővé a QTL-ek szekvenciákhoz, feltételezett génekhez kapcsolását. Ezt követően több konszenzus térkép is megjelent, melyek közül egyben az általunk vizsgált populáció adatai is szerepeltek. A 'Svevo' olasz durumbúzafajta genomjának szekvenciáját 2019-ben publikálták. 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, ugyanakkor a 'Svevo' genomterképén ez a gén nem azonosítható. 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 alléljei szabályozzák elsődlegesen.

A sikérindex a sikérváz erősségének mérőszáma. A sikermátrixot 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. 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 törzsen SDS poliakrilamid gélelektroforézissel, fenotípusosan is megvizsgáltuk, hogy milyen alegységek jelenléte okozhatta az eltérést a törzsek sikérindexében. 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 sikérindexű törzsből jelen volt.

## 2.5. A sikérindex 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 üvegeesség alapján történt a kiválogatás. A műszeres vizsgálatok 1996-ban kezdődtek meg a nedvessikér-tartalom és a sikérindex mérésével. A vizsgálatok első négy éve elegendő volt annak felismerésére, hogy a sikérindex 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  $r = 0,87-0,96$ , ugyanakkor az őszi durumbúza mintákra ilyen mérések eredményei nem álltak rendelkezésre. A NÉBiH tordasi

minőségvizsgáló laboratóriumának spektrofotometriás módszerrel meghatározott sárgapigment-tartalom értékeit összehasonlítottuk a Minolta CR-300 kromaméterrel végzett méréseink eredményeivel. A laboratóriumunkban őrlött szemolina minták esetén a két tulajdonság között rendkívül szoros ( $r = 0,99$ ) korrelációt számítottunk. 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 ( $F_7$ – $F_{10}$  generáció), melyek között potenciálisan bejelenthető vagy az állami fajtakísérletben éppen vizsgált fajtajelöltek szerepeltek. E törzsek száma évjáratról függően 9 és 31 között változott. Mivel az évjárat mind a két technológiai minőségi tulajdonságot befolyásolja, így az abszolút értékek elemzése csekély információval bír. Ugyanakkor a vizsgálatok kezdetétől valamennyi évben elvetettünk két durumbúzafajtát ('Martondur 1' és 'GK Bétadur'), így ezeket standardként használva a relatív értékek alapján becsülhettük a genetikai előrehaladást.

A 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 40,28) volt. 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 értek el (56,57), azonban míg a 2012-ig tartó időszakban a törzsek átlaga a 'GK Bétadur' fajtaénál kisebb volt, addig 2013. évtől kezdve ezt meghaladták. Az elmúlt 25 év során jelentős javulást értünk el a nemesítési törzsek átlagos sikerindexében. A két standard durumbúzafajta átlagához viszonyítva a genetikai előrehaladás nagysága 5,60%, azaz 3,08 sikerindex érték.

A martonvásári nemesítési 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 genetikai előhaladás a két fajta átlagához viszonyítva 1,46%. Ez a 25 év alatt 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'. 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 Bétadurét'. A 2015. év óta e törzsek aránya 92,59 és 100% között változott.

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 Pelsodur' pedig „Jó”, de két évben (2014 és 2017) a „Nagyon jó” kategóriába tartozott.

A martonvásári őszi durumbúzafajtákban a kromaméteres mérésre alapozott szelekció bevezetését követően sikeresen növeltük a fajták Minolta b\* értékét is. 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' és az 'Mv Masnidur' esetén ez az érték még a 25-nél is nagyobb volt.

### 3. Új tudományos eredmények

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 a komplex technológiai minőség megítélése szempontjából kiemelt jelentőségű. 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.

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 (sikérindex = 1,104; Minolta  $b^*$  = 0,131), azonban adataink szerint rendkívül nagy a szórás a néhány évvel ezelőtt elismert durumbúza fajtáknál 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 durumbúza fajták 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 *Glul-B1* HMW gluteninének kódoló génnel kapcsolt. Tavaszi durumbúzában az LMW glutenineket tartják a sikérerősséget legerősebben befolyásoló genetikai faktornak.

9. Jelentős genetikai előrehaladást értünk el mind a martonvásári durumbúza fajták sikérindexét (2,638/év), mind pedig a Minolta  $b^*$  értéket (0,189/év) tekintve az 1990-es évek közepén elismert fajtáinkhoz viszonyítva. A martonvásári durumbúza fajták technológiai minősége napjainkban már versenyképes a tavaszi fajtákéval, azokénál nagyobb termőképesség és jobb termésbiztonság mellett.



## **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 Mariannt, 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.

## A disszertáció témájához kapcsolódó közlemények impakt faktoros és osztálylistás lapokban

- Vida, Gy;** Bedő, Z (1999) Őszi aestivum- és durumbúza-genotípusok szemkeménysége és más sütőipari minőségi tulajdonságai közötti összefüggések elemzése főkomponens-analízissel. *NÖVÉNYTERMELÉS* 48(1): 33–42. (*IF: 0,178*)
- Vida, Gy;** Szunics, L; Veisz, O; Gál, M; Bedő, Z (2002) Az őszi durum búza technológiai minőségi tulajdonságainak variabilitása a genotípus és a meteorológiai tényezők függvényében. *NÖVÉNYTERMELÉS* 51(3): 259–268. (*IF: 0,160*)
- Szűcs, P; Veisz, O; **Vida, G;** Bedő, Z (2003) Winter hardiness of durum wheat in Hungary. *ACTA AGRONOMICA HUNGARICA* 51(4): 389–396.
- Vida, Gy;** Szunics, L; Veisz, O; Láng, L; Bedő, Z (2004) A sárga index növelésére irányuló szelekció eredményei őszi durum búzában. *NÖVÉNYTERMELÉS* 53(1-2): 3–10.
- Szűcs, P; Veisz, O; **Vida, Gy;** Bedő, Z (2004) Durum búzák áttelelése és télállóság-dinamikája eltérő évjáratokban. *NÖVÉNYTERMELÉS* 53(4): 307–315.
- Vida, Gy** (2014) A durumbúza sárga pigment tartalma. *NÖVÉNYTERMELÉS* 63(1): 87–112.
- Vida, G;** Szunics, L; Veisz, O; Bedo, Z; Lang, L; Arendas, T; Bonis, P; Rakszegi, M (2014) Effect of genotypic, meteorological and agronomic factors on the gluten index of winter durum wheat. *EUPHYTICA* 197(1) 61–71. (*IF: 1,385*)
- Maccaferri, M; Cane', MA; Sanguineti, MC; Salvi, S; Colalongo, MC; Massi, A; Clarke, F; Knox, R; Pozniak, CJ; Clarke, JM; Fahima, T; Dubcovsky, J; Xu, S; Ammar, K; Karsai, I; **Vida G;** Tuberosa, R (2014) A consensus framework map of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) suitable for linkage disequilibrium analysis and genome-wide association mapping. *BMC GENOMICS* 15 Paper: 873 , 21 p. (*IF: 3,986*)
- Mikó, P; **Vida, G;** Rakszegi, M; Lafferty, J; Lorentz, B; Longin, CFH; Megyeri, M (2017) Selection of winter durum genotypes grown under conventional and organic conditions in different European regions. *EUPHYTICA* 213(8) Paper: 169, 14 p. (*IF: 1,546*)
- Rapp, M; Lein, V; Lacoudre, F; Lafferty, J; Müller, E; **Vida, G;** Bozhanova, V; Ibraliu, A; Thorwarth, P; Piepho, HP; Leiser, WL; Würschum, T; Longin, CFH (2018) Simultaneous improvement of grain yield and protein content in durum wheat by different phenotypic indices and genomic selection. *THEORETICAL AND APPLIED GENETICS* 131(6): 1315–1329. (*IF: 3,926*)
- Vida, Gy** (2019) A durumbúza eredete és taxonómiai besorolása. *NÖVÉNYTERMELÉS* 68(1): 85–104.
- Bányai, J; Kiss, T; Gizaw, SA; Mayer, M; Spitzkó, T; Tóth, V; Kuti, C; Mészáros, K; Láng, L; Karsai, I.; **Vida, G** (2020) Identification of superior spring durum wheat genotypes under irrigated and rain-fed conditions. *CEREAL RESEARCH COMMUNICATIONS* 48(3): 355–363. (*IF: 0,850*)
- Bányai, J; Maccaferri, M; Láng, L; Mayer, M; Tóth, V; Cséplő, M; Pál, M; Mészáros, K; **Vida, G** (2021) Abiotic stress response of near-isogenic spring durum wheat lines under different sowing densities. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES* 22(4) Paper: 2053, 19 p. (*IF: 5,923*)
- Vida, G;** Cséplő, M; Rakszegi, M; Bányai, J (2022) Effect of multi-year environmental and meteorological factors on the quality traits of winter durum wheat. *PLANTS-BASEL* 11(1): Paper: 113. 15 p. (*IF: 3,935*)

## A disszertáció témájához kapcsolódó konferencia közlemények

- Vida, G;** Szunics, L; Veisz, O; Láng, L; Bedő, Z (2002) Selection for yellow index in winter durum wheat. In: Salgó, A; Tömösközi, S; Lásztity, R (szerk.) ICC Conference 2002, Novel raw materials, technologies and products - new challenge for the quality control. Budapest, Magyarország: Budapest University of Technology and Economics 163 p. pp. 131–135.
- Vida, G;** Szunics, L; Veisz, O; Gál, M; Bedő, Z (2003) Variability in the technological quality parameters of winter durum wheat. In: Mare, C; Faccioli, P; Stanca, AM (szerk.) Proceedings of the EUCARPIA Cereal Section Meeting. 481 p. pp. 402–404.
- Vida, G;** Szunics, L; Veisz, O; Bedő, Z (2004) Improvement in the yellow index of winter durum wheat. In: J, Wollmann; H, Grausgruber; P, Ruckenbauer (szerk.) Genetic variation for Plant Breeding: Proceedings of the 17th EUCARPIA Congress. Vienna, Ausztria: BOKU pp. 387–390.
- Vida, Gy;** Szunics, L; Veisz, O (2006): A durum búza (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) hidegtűrésének javítására irányuló nemesítés eredményei Martonvásáron. In: Láng, I; Jolánkai, M; Csete, L (szerk.) A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok: KvVM - MTA "VAHAVA" Projekt: poszterek a projekt zárókonferenciáján [eletr. dok.] : VAHAVA zárókonferencia. Budapest, Magyarország : Akaprint Kiadó p. <http://www.vahava.hu/>
- Árendás, T; Bónis, P; **Vida, Gy;** Veisz, O (2012) A durum búza évjáráttól függő tápelemtartalma háromtényezős szabadföldi kisparcellás kísérletben. In: Lehoczky, Éva (szerk.) I. Talajtani, Vizgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Nap: Talaj-víz-növény kapcsolatrendszer a növénytermesztési térben. Budapest, Magyarország: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet (MTA ATK TAKI) pp. 95–98.
- Vida, Gy;** Szunics, L; Karsai, I; Veisz, O (2013) Az őszi durum búza nemesítése Martonvásáron. In: Janda, T (szerk.) II. ATK Tudományos Nap : Velünk Élő Tudomány (A Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából). Martonvásár, Magyarország: MTA Agrártudományi Kutatóközpont 273 p. pp. 89–92.
- Vida, G;** Veisz, O (2014) Breeding for improved technological quality in winter durum wheat In: Porceddu; Damania, AB; Qualset, CO (szerk.) Proceedings of the International Symposium on Genetics and breeding of durum wheat. Roma, Olaszország: Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes 636 p. pp. 595–601.
- Vida, Gy;** Veisz, O (2014) Őszi durumbúza fajták technológiai minősége és agronómiai jellemzői. In: Veisz, Ottó (szerk.) Növénytermesztés a megújuló mezőgazdaságban : XX. Növénytermesztési Tudományos Nap. Budapest, Magyarország : MTA Agrártudományok Osztálya Növénytermesztési Tudományos Bizottság 522 p. pp. 503-507.
- Bányai, J; Kiss, T; Mayer, M; Tóth, V; Pál, M; Spitkó, T; Mészáros, K; Láng, L; Karsai, I; **Vida, Gy** (2019) Szárazságstressz hatása a morfológiai, fiziológiai, biokémiai és terméshiológiai tulajdonságokra durumbúza közel izogén törzsekben. In: Karsai, Ildikó (szerk.) Növénytermesztés a 21. század elején: kihívások és válaszok : XXV. Növénytermesztési Tudományos Nap. Budapest, Magyarország : MTA Agrártudományok Osztálya Növénytermesztési Tudományos Bizottság 502 p. pp. 218–221.
- Vida, Gy;** Károlyiné Cséplő, M; Szunics, L; Rakszegi, M; Puskás, K; Varga-László, E; Árendás, T; Bónis, P; Tóth, Viola; Mayer, M; Veisz, O (2019): Az őszi durumbúza technológiai minőségének javítására irányuló nemesítése Martonvásáron. In: Karsai, Ildikó (szerk.) Növénytermesztés a 21. század elején: kihívások és válaszok : XXV. Növénytermesztési Tudományos Nap. Budapest, Magyarország : MTA Agrártudományok Osztálya Növénytermesztési Tudományos Bizottság (2019) 502 p. pp. 193–197.

