



SZENT ISTVÁN EGYETEM

**BÚZA GENOTÍPUSOK KALÁSZFUZÁRIUM-ELLENÁLLÓSÁGA
ÉS A REZISZTENCIA GENETIKAI HÁTTERÉNEK VIZSGÁLATA**

Doktori értekezés tézisei

Puskás Katalin

**Martonvásár
2013.**

A doktori iskola

megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

vezetője: Dr. Heszky László
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Genetika és Biotechnológiai Intézet

Témavezetők: Dr. Vida Gyula
tudományos főmunkatárs, PhD
MTA Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet
Kalászos Gabona Rezisztencia Nemesítési Osztály

Dr. Virányi Ferenc
egyetemi tanár, az MTA doktora
SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Növényvédelmi Intézet

.....
Dr. Vida Gyula
témavezető

.....
Dr. Virányi Ferenc
témavezető

.....
Dr. Heszky László
iskolavezető

A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A kalászfuzáriózis világszerte a búza egyik legjelentősebb gazdasági- és termésveszteséget okozó betegsége. Kétségtelen, hogy a *Fusarium* fajok számára kedvező környezeti feltételek mellett, hazánkban is ez a legfontosabb és legkártékonyabb az őszi búza valamennyi betegsége közül.

A *Fusarium* fajok mint fakultatív paraziták a növény teljes életciklusa során jelen vannak és fertőzhetik a gazdanövényt. Terméskárosító tevékenységüket már a szemképződés korai szakaszában megkezdik. A biotróf kórokozókval ellentétben fennmaradásukhoz nincs szükségük élő növényi szövetekre, toxin- és enzimermelésükkel aktívan arra törekszenek, hogy a gazdaszervezetet gyorsan kolonizálják, és tápanyagait a maguk javára hasznosítsák. Már a búza érése során is nagy koncentrációban szintetizálhatnak mikotoxinokat, ezt a tevékenységüket azonban a termény tárolása alatt is folytathatják. A mikotoxinokkal szennyezett búzatételek élelmiszeripari és takarmányozási célra sem értékesíthetők.

A búza kalászfuzárium-rezisztenciája kvantitatív tulajdonság, kialakításában több gén vesz részt. Ennek előnye, hogy amennyiben sikerül egy kiemelkedő ellenállóságú búzafajtát létrehozni, annak rezisztenciája feltehetően tartós lesz. Jó példa erre az 1970-es években elismert Sumai 3 kínai tavaszi búzafajta, amely a mai napig egyike a legjobb kalászfuzárium-ellenállóságú genotípusoknak. A mennyiségi jellegű genetikai tulajdonságok nyomon követése az utódgenerációkban nem egyszerű feladat. Ezért bár az utóbbi évtizedekben világszerte széles körű kutatást folytattak a búza kalászfuzárium gazdanövény–kórokozó kapcsolat tanulmányozása területén, a távol-keleti rezisztenciaforrásokét megközelítő kalászfuzárium-ellenállóságú, minősített őszi búzafajtákat a mai napig sem sikerült nemesíteni. Az ellenálló fajták használatával csökkenthető lenne a környezetünk vegyszerterhelése, a termény szermaradvány-tartalma és a termesztés költsége. Ezért a búzanemesítés kiemelkedően fontos célja olyan fajták létrehozása, melyek a kalászfuzárium-fertőzés számára kedvező időjárási körülmények között is képesek – kizárólag a rezisztenciájukkal – megakadályozni nagyobb kalászfertőzöttség kialakulását.

A mesterségesen fertőzött körülmények között végzett kalászfuzárium-ellenállósági vizsgálatokban a következő célokat tűztük ki:

1. A martonvásári őszi búza fajtasortiment kalászfuzárium-rezisztenciájának felmérését több inokulációs és értékelési módszerrel, melyek összehasonlító vizsgálata a fajták ellenállóságának alaposabb megismerését teszi lehetővé.
2. Potenciális rezisztenciaforrások keresését külföldi és hazai búza genotípusok körében, melyek a kalászfuzárium-ellenállóságra nemesítésben kiindulási alapanyagként szolgálhatnak a keresztezési programokban.
3. A kalászfuzárium-rezisztencia vizsgálatára alkalmazott inokulációs módszerek (permetezés és kalázkainjektálás) lehetőségeinek és korlátainak felmérését szántóföldi vizsgálatokban.
4. A kalászfuzáriummal szemben ellenálló Ning 8331 és a mérsékelt fogékony Martonvásári 17 keresztezéséből létrehozott térképező populáció utódtörzseinek fenó- és genotípusos vizsgálatát, és a rezisztencia meghatározásában jelentős QTL-ek azonosítását.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A fertőzőanyag előállítása

A kísérletekben két *Fusarium* faj, a *F. graminearum* 'IFA-65' és a *F. culmorum* 'IFA-104' izolátumait használtuk. A *F. graminearum* felszaporítását mungóbab folyékony táptalajban végeztük, a *F. culmorum* izolátumhoz búza- és zabszemek keverékét használtuk. A konídiumszuszpenzió koncentrációját a permetezéssel és kalászkainjektálásos inokulációhoz 5×10^4 , illetve 5×10^5 makrokonídium/ml-re állítottuk be.

Szántóföldi kalászfuzárium-rezisztencia kísérletek

A búzafajták és -törzsek szántóföldi vizsgálatát az MTA ATK Mezőgazdasági Intézet mesterségesen fertőzött kalászfuzárium-tenyészkertjében végeztük. A fertőzésnek kedvező magas páratartalmat automata mikroszórófejes öntözőberendezéssel biztosítottuk.

Búzafajták és nemesítési törzsek szántóföldi ellenállóságának felmérése

A kísérletben martonvásári őszi búzafajtákat, fajtajelölteket, fejlett nemesítési törzseket (F₇ és későbbi generációk), valamint kalászfuzáriummal szemben ellenállóként leírt külföldi őszi és tavaszi búza genotípusokat vizsgáltunk. A búzafajtákat és nemesítési törzseket 1×2 méteres, 6-soros parcellákba vetettük. Virágzáskor a parcellákban kalászcsokokat kötöttünk, és a kalások teljes felületét permeteztük *F. graminearum* vagy *F. culmorum* izolátumból előállított fertőzőanyaggal, 3-3 ismétlésben. Értékeltek a kalászfertőzöttséget, majd az aratott minták szemfertőzöttségét, és meghatároztuk a kezetlen kontrollhoz viszonyított kalásonkénti szemtömeget, térfogattömeget, és ezerszemtömeget.

Kalászfuzárium rezisztenciaforrások keresése

A vizsgálat növényi anyagát külföldi búzafajták és -törzsek, a martonvásári búzanemesítési programból származó D-kísérletek törzsei (F₇-F₉ generáció), valamint régi magyar fajtákból (RMF) szelektált homogén törzsek képezték, melyeket 2-soros parcellákba vetettük el, ismétlés nélkül. Inokulumként a *F. culmorum* izolátumot használtuk, mellyel virágzáskor állománypermetezést végeztünk. A kalász- és szemfertőzöttséget értékeltük, valamint az RMF-törzseken a termésveszteséget is mértük.

A II. típusú kalászfuzárium-ellenállóság vizsgálata

A kísérletben martonvásári és külföldi búzafajtákat, -törzseket teszteltünk. A búza genotípusokat egysoros parcellákba vetettük, melyekben 5-5 kalászt kezeltünk *F. graminearum*, illetve *F. culmorum* izolátummal, kalászkainjektálásos inokulációval. A kalászfertőzöttséget Xu és Fang bonitálási skálája (1-5) szerint értékeltük.

A kalászfuzárium-ellenállóság genetikai hátterének vizsgálata

A genetikai vizsgálatok növényi anyaga

A kalászfuzáriummal szemben ellenálló Ning 8331 törzs (pedigréje: Yangmai 4/3/Aurora/Anhui 11//Sumai 3) és a mérsékelten fogékony Martonvásári 17 búzafajta utópopulációjából 228 rekombináns beltenyésztett törzset hoztunk létre.

A kalászfuzárium-ellenállóság fenotípusos vizsgálata

A szántóföldi (I.+II. típusú) rezisztencia felmérését a kalászfuzárium-tenyészkertben végeztük állománypermetezéssel inokuláció alkalmazásával. Értékeltek az utódtörzsek parcelláiban a kalászfertőzöttséget, betakarítást követően meghatároztuk a mintákban a láthatóan fuzáriumfertőzött szemek arányát és a termésvesztést (a relatív kalászankénti szemtömeget, valamint a térfogat- és ezerszemtömeget).

A II. típusú ellenállóságot üvegházban határoztuk meg kalászkainjektációs inokulációs módszerrel. Utódtörzsenként 4-8 növény főkalászát kezeltük virágzáskor, a fertőzöttséget 21 nap múlva értékeltük Xu és Fang bonitálási skálája (1-5) szerint.

A térképező populáció DNS-szintű vizsgálata

A Ning 8331 törzs és a Martonvásári 17 fajta DNS mintáit 166 mikroszatellit (SSR) primerpárral vizsgáltuk meg. A Ning 8331/Martonvásári 17 (NM) utópopuláció vizsgálatára 73 – a szülői genotípusokban polimorfizmust kimutató – SSR primerpárt, valamint 17 véletlenszerűen kiválasztott AFLP (Sse- és Mse-) primerkombinációt jelöltünk ki. A minták elválasztását és a jeldetektálást poliakrilamid-gélelektroforézissel végeztük, Li-Cor DNA Analyzer készülék alkalmazásával.

A kapcsoltsági térkép elkészítése, és a QTL-elemzés

Az NM utódtörzsek SSR és AFLP markeradatait JoinMap 4 szoftverrel elemeztük, és kapcsoltsági csoportokat alakítottunk ki. A program beállítási paraméter – LOD-érték, algoritmus – regressziós térképezés, Haldane térképfüggvény.

A kapcsoltsági térkép elkészítését követően mindhárom adatsort – a markeradatokat, a kapcsoltsági térképre vonatkozó információkat, és a kalászfuzárium-ellenállóság fenotípusos vizsgálata során kapott eredményeket egyaránt – MapQTL 5 program fájlba importáltuk. Az elemzés során intervallum térképezéssel, majd kofaktor-szelekciót követően a többszörös QTL-modell térképezési módszerrel kerestük a kalászfuzárium-rezisztenciát meghatározó QTL-eket.

EREDMÉNYEK

Martonvásári búzafajták és nemesítési törzsek ellenállósága

Eredményeink igazolták, hogy a jó minőséggel és termőképességgel rendelkező martonvásári búzák kalászfuzárium-ellenállósága általában jelentősen elmarad a távol-keleti tavaszi rezisztenciaforrásokétól. Több olyan martonvásári őszi búzafajtát is azonosítottunk azonban kísérleteinkben, melyek kalászfuzárium-ellenállósága az ismert európai őszi búza rezisztenciaforrásokéhoz (pl. Arina, Praag 8, F201R) hasonló vagy azoknál jobb volt. Közülük a szántóföldi rezisztencia vizsgálatában az Mv Emese éveken át megbízhatóan mérsékelten ellenállónak bizonyult. Az Mv Palotás, az Mv Csárdás, az Mv Táltos fajták terméscsökkenése is szignifikánsan kisebb volt a kísérleti átlagnál. A kalászkainjektálásos vizsgálatban az évek átlagos fertőzöttsége alapján két martonvásári fajta, az Mv Marsall és az Mv Kolo került a mérsékelt II. típusú ellenállóság kategóriájába, eredményeiket az évjárat azonban jelentősen befolyásolta.

Potenciális rezisztenciaforrások keresése

Eredményeink alátámasztották, hogy a legjobb kalászfuzárium-ellenállóság szinte kivétel nélkül távol-keleti (vagy azok keresztezéseiből származó) búzában azonosítható. Valamennyi inokulációs módszer körülményei között, minden évben kiemelkedő volt a Sumai 3 búzafajta rezisztenciája. A tavaszi genotípusok vizsgálatában azonban az adaptációs problémák következtében gyakran jelentős eltérést figyeltünk meg egyes genotípusok fertőződésében a különböző vizsgálati években, vagy azonos évben a kalász és a termés értékelésével.

A rezisztenciaforrások keresése során európai őszi búzafajtákat és -törzseket is teszteltünk. Néhány külföldi genotípus az évek során bizonyította átlagosnál jobb szántóföldi kalászfuzárium-ellenállóságát. A csokros permetezéssel, valamint a kalászkainjektálásos kísérletben azonban többségük fogékonyabbnak bizonyult, mint arra más kutatócsoportok eredményei alapján számítottunk. A Martonvásáron létrehozott nemesítési törzsek között a jó kalászfuzárium-ellenállóságú anyagok aránya sokkal kisebbnek bizonyult.

A tavaszi és őszi búzák vizsgálata során azonosított jó kalászfuzárium-rezisztenciájú genotípusok közül az elmúlt 10 évben több is szerepelt szülői genotípusként a Kalászos Gabona Nemesítési Osztály keresztezési programjában, ennek eredményeként száznál több utódpopulációt hoztak létre.

A Bánkúti 1201 fajta vizsgálatával igazoltuk, hogy szántóföldi kalászfuzárium-rezisztenciája általában jobb, mint napjaink őszi búzafajtáié. A populációjából létrehozott törzsek azonban ennél is jobbnak bizonyultak: a BKT9086-95 és a BKT9158-95 ellenállósága minden szempontból összevethető volt több ismert forrás genotípusával. A kiemelkedő ellenállóságot nem csak a Bánkúti 1201-ben, hanem más régi magyar fajtákban (Bánkúti 1205, Bánkúti 5, Béta-Bánkúti, Fertődi 293, Lovászpatonai 407) is kimutattuk, továbbá számos törzsben, melyeket régi magyar fajták heterogén populációiból hoztak létre.

Különböző kalászfuzárium inokulációs módszerek alkalmazásának lehetőségei és korlátai

Munkánk során két permetezési inokulációs technikát, valamint kalászkainjektálásos módszert is alkalmaztuk a növényi anyag kalászfuzárium-ellenállóságának tesztelésére.

Mindkét permetezési módszer megfelelt a szántóföldi ellenállóság felmérésére. A csokros technika előnye, hogy az inokulációt több ismétlésben, két *Fusarium* faj izolátumával végezhetjük. Ez az eredmények megbízhatóságát és pontosságát jelentősen növelte. A permetezést nem volt szükséges kétszörszönél több alkalommal ismételni, és a mintákba nem kerülhettek kezeletlen sarjkalászkok. Hátránya azonban e módszernek, hogy rendkívül munka- és időigényes. Öntözött tenyészkeretünkben a fertőződés gyakran túl erősnek bizonyult, ennek eredményeként a mérsékelt ellenállóságú búza genotípusok közötti különbség kevésbé fejeződött ki. Az állománypermetezési inokulációs módszer rendkívül alkalmasnak bizonyult több száz genotípus kalászfuzárium-ellenállóságának gyors felmérésére, azonban ismétlések hiányában kevésbé volt megbízható.

A permetezési és a kalászkainjektálásos inokuláció kombinálásával részletesebb ismeretekhez juthatunk a vizsgált martonvásári búzafajták, -törzsek, és egyéb – nemesítési szempontból érdekes – genotípusok kalászfuzárium-ellenállóságáról.

Környezeti tényezők hatása a kalászfuzárium-fertőzöttségre

A martonvásári kalászfuzárium-tenyészkeret ismétléses kísérleteinek statisztikai elemzése során, mind a permetezési, mind a kalászkainjektálásos vizsgálatban jelentős volt a genotípus×év kölcsönhatás. Az időjárási tényezők ugyanis nem önmagukban, hanem a búza különböző fiziológiai és morfológiai tulajdonságaival együttesen alkotják azt a komplex rendszert, mely felelős a rezisztenciakísérletek rossz ismételtetéséért. Megfigyelésünk szerint a kalászfuzárium-fertőzöttség mértékére kísérleti körülményeink között jelentős hatással volt a búza genotípusok:

a. virágzás ideje (ami azért vált meghatározóvá, mert egy vizsgálati év tavaszi hőmérsékletének alakulása jelentősen eltért a többitől); ennek hatását elsősorban a II. típusú ellenállóság vizsgálatában tapasztaltuk.

b. növénymagassága; esetenként a magasabb búzák állományának megdőlését figyeltük meg, ami fokozott fertőződéshez vezethetett.

c. gyenge télállósága; főként tavaszi búzafajták (köztük ismert rezisztenciaforrások) állományában a növények gyakran legyengültek, melyek kalászain a másodlagos kórokozók és a *Fusarium* fajok is könnyen elszaporodhattak.

A kalászfuzárium-ellenállóság genetikai hátterének vizsgálata

Fenotípusos vizsgálatok

A genetikai vizsgálatra létrehozott populáció szülői genotípusán, a Ning 8331 törzsen a permetezési inokulációs kísérletben megbízhatóan jó szántóföldi ellenállóságot azonosítottunk. A kalászkainjektálásos kísérletben az évek során változó mértékben betegedett meg, esetenként csak a mérsékelten fogékony kategória szintjét érte el. A másik szülői genotípus, a Martonvásári 17 fajta fertőződése sem bizonyult sokkal erősebbnek, az üvegházi kalászkainjektálást követően mindhárom évben mérsékelten fertőződött. A szántóföldi ellenállóság vizsgálatában a felvételezett tulajdonságok közül mindössze a kalászfertőzöttség bizonyult alkalmasnak a szülői genotípusok közötti különbség kimutatására.

Valamennyi vizsgált tulajdonság esetében megfigyeltünk transzgresszív szegregációt a populációban. Számos utódtörzset azonosítottunk, melyek jobb ellenállóságúak voltak a Ning 8331 törzsnél, és olyanokat is, melyek fertőződése és termésvesztesége a Martonvásári 17 fajtánál volt nagyobb.

Genotípusos vizsgálatok és kapcsoltsági csoportok kialakítása

Az SSR-primerekkel 97, az AFLP-primerekkel 366 polimorfizmust mutattunk ki. Ezek közül a kapcsoltsági térkép elkészítéséhez összesen 441 polimorf marker adatait használtunk fel, melyek elemzésének eredményeként 44 kapcsoltsági csoportot alakítottunk ki. A kapcsoltsági térkép a hexaploid búza genom közel 1400 cM-nyi szakaszát fedte le.

Szántóföldi rezisztencia QTL-ek térképezése

A szántóföldi ellenállóság elemzése során nyolc kapcsoltsági csoport és egy magában álló SSR-marker mutatott összefüggést egyes vizsgált tulajdonságokkal.

A Ning 8331 legjelentősebb szántóföldi kalászfuzárium-ellenállóság QTL-jét a 3B kromoszóma rövid karján azonosítottuk. Ennek hatása, bár változó mértékben, de minden évben, illetve valamennyi vizsgált tulajdonság esetében kimutatható volt. A 3BS QTL az évek átlagában a fenotípusos variáció 10,2-19,5%-át magyarázta az egyes tulajdonságok esetén.

A rezisztenciaforrás 4B kromoszómáján található QTL kapcsolatát a kalászfuzárium-ellenállósággal kizárólag a terméskomponensek elemzésével, elsősorban a szemfertőzöttség és térfogat-tömeg-csökkenés vizsgálata során mutattuk ki. A Ning 8331 szülőben további QTL-eket is azonosítottunk az 1AS, 7BS és 7BL kromoszómakarokon, melyek hatását csak egy-egy évben és vizsgált tulajdonság esetén mutattuk ki.

Rezisztenciával kapcsolt QTL-eket a Martonvásári 17 fajtában is azonosítottunk. Az 5AL kromoszómakaron található lokusz a kalászfertőzöttség átlagával függött össze ($R^2=5,6\%$).

II. típusú rezisztencia QTL-ek térképezése

A QTL-elemzés során a Ning 8331 törzsben négy kromoszómaszakaszt azonosítottunk, melyek kapcsolatosak voltak a II. típusú ellenállósággal. Nagy hatású QTL-ek a 3B kromoszóma rövid karján és a 2D kromoszóma hosszú karján találhatóak, melyek hatását több évben is bizonyítottuk. A 2DL kromoszómakar lokuszának hatását mindhárom évben, a 3BS-ét két évben igazoltuk. E QTL-ek az évek átlagos fertőzöttsége alapján a II. típusú kalászfuzárium-ellenállóság fenotípusos variációjának 22,0, illetve 14,2%-át magyarázták. Egy-egy évben további QTL-eket térképeztünk a 3B kromoszóma hosszú, illetve az 5A kromoszóma rövid karján. Ez utóbbit az évek átlagos eredményének elemzése során is kimutattuk.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A szántóföldi (I.+II.) kalászfuzárium-rezisztencia vizsgálatára a jövőben javasolt egy olyan kísérleti elrendezés alkalmazása, mely a dolgozatban ismertetett permetezési inokulációs módszerek előnyös tulajdonságait ötvözi: különböző *Fusarium* fajok izolátumai, több ismétlés, gyorsaság, alacsonyabb kórokozónyomás. Megoldást jelenthet erre, ha az inokulációt kizárólag kétsoros parcellákban állománypermetezési módszerrel végezzük. Az eddigi csokros kísérlet egységnyi területen így egy-egy genotípust három ismétlésben tesztelhetünk. A parcellák növényállománya két *Fusarium* izolátummal is fertőzhető, azonban ezt a kezeletlen kontroll parcellarész rovására lehet kivitelezni. Kezeletlen kontroll hiányában a relatív termésmennyiség meghatározása nem végezhető el.

A permetezve inokulált szántóföldi kísérletekben öt tulajdonságot felvételeztünk a kalászfuzárium-fertőzöttség meghatározására. Az eredményekből arra következtettünk, hogy bár a leartott termés részletes értékelésével árnyaltabb képet kaphatunk a búza genotípusok ellenállóságáról, nagy mintaszám esetén a kalász- és a szemfertőzöttség vizsgálatával is jól felmérhető a búzafajták és -törzsek rezisztenciája. E megfigyelésünket alátámasztotta a relatív termésmennyiségi adatok szoros összefüggése a szemfertőzöttséggel a genetikai analízis során. A relatív termésmennyiségi adatokkal nem lehetett olyan jelentős QTL-hatást kimutatni, melyet a kalász- és a szemfertőzöttségi adatsorok alapján ne azonosítottunk volna.

A búzanemesítési alapanyag vizsgálatának hatékony módszere a permetezési inokuláció, mellyel egyidejűleg mindkét fő rezisztenciátípusra szelektálhatunk. Szükségesnek tartjuk azonban folytatni a kalászkainjektációs vizsgálatainkat is. A két inokulációs módszer párhuzamos alkalmazásával a fajták kalászfuzárium-ellenállósága jobban megismerhető. Így például következtethetünk arra, hogy az Mv Emese búzafajta szántóföldi rezisztenciájának kialakításában az I. típusú kalászfuzárium-ellenállóságnak van nagyobb szerepe, mivel a II. típusú rezisztencia vizsgálatában e fajta mérsékelten fogékonyak bizonyult.

A hazai kalászfuzárium-rezisztencianemesítés szempontjából a külföldi búza genotípusoknál sokkal jelentősebbek lehetnek az általunk azonosított jó ellenállóságú, martonvásári eredetű fejlett nemesítési törzsek. E törzseket Magyarország természeti körülményei között szelektálták, a nemesítési munka során minőségi, agronómiai tulajdonságaikat, és betegségekkel szembeni ellenállóságukat ismételt vizsgálatokban ellenőrizték. Kalászfuzárium-rezisztenciájuk vizsgálata során nem kell számolnunk az adaptációs gondokból származó kalászfertőződés-fokozódással sem. Emellett a vizsgálatba vonható genotípusok száma is jóval meghaladja az ismert rezisztenciaforrásokét. Az adaptábilis genotípusokkal létrehozott kombinációkból jobb eséllyel válogathatók ki agronómiai és technológiai minőségi tulajdonságaik alapján megfelelő, és ugyanakkor az átlagosnál jobb kalászfuzárium-ellenállóságú utódok.

Többéves eredményei alapján megállapítottuk, hogy a Bánkúti 1201 kalászfuzárium-rezisztenciája genetikailag kódolt, így a tájfajtákhoz hasonlóan heterogén populációjának jelentős szerepe lehetett abban, hogy a modern búzafajták elterjedését megelőzően nem alakultak ki nagyobb kalászfuzárium-járványok. A kísérletünkben számos RMF-törzs szintén csak mérsékelten fertőződött. Ezeket a jövőben mindenképpen érdemes részletesebb vizsgálatnak alávetni, melyben felmérjük a szántóföldi és külön a II. típusú kalászfuzárium-rezisztenciájukat. Az újabb kísérletek megtervezésénél azonban fokozottan kell ügyelnünk arra, hogy megakadályozzuk az állomány megdőlését. Erre részben megoldást biztosíthat az, ha a törzseket nem egymás közvetlen szomszédságába vetjük. Bár a régi magyar fajták is több hátrányos tulajdonsággal rendelkeznek (megdőlés veszélye, levélbetegségekkel szembeni fogékonyság), agronómiai szempontból a külföldi rezisztenciaforrásoknál ideálisabb keresztezési partnerekké válhatnak a rezisztencianemesítésben, hiszen a hazai környezethez adaptálódtak, a Bánkúti 1201 fajtának pedig még a sütőipari minősége is kiváló.

A kalászfuzárium-rezisztencia térképezése során a Ning 8331 törzsben két nagy hatású QTL-t azonosítottunk, melyek a fenotípus kialakításához nagymértékben hozzájárultak, ezért alkalmasak lehetnek marker alapú szelekcióra. A 3BS QTL – kromoszomális helyzete alapján – feltételezhetően megegyezik a Sumai 3 fajtában leírt *Fhb1* lokusszal. Jelentőségét az ellenállóság javításában (elsősorban a II. típusú rezisztencia kialakításában) már számos közleményben ismertették, azonban vizsgálatainkban a kalász- és szemfertőzöttségre gyakorolt hatásán kívül a termésveszteséget meghatározó szerepét is igazoltuk. A II. típusú rezisztenciában a 2DL kromoszómakar QTL-jének volt elsődleges szerepe, melynek hatása az évek során stabilabb volt, mint a 3BS QTL-é.

A 4B kromoszómán található QTL elsősorban a szemfertőzöttséggel szembeni rezisztencia javításáért felelős, ugyanis szignifikáns hatását egyetlen évben sem tudtuk kimutatni a kalászfertőzöttségi értékekre. A rezisztencia QTL elhelyezkedése nagyon hasonló a Wangshuibai búzafajta *Fhb4* rezisztencia QTL-jéhez. A kromoszómaszakasz a növénymagassággal is összefüggött a térképező populációnkban, ezért nem zártuk ki azt a lehetőséget sem, hogy a növénymagasság közvetlen hatással volt a fertőződésre. E QTL jelentősége azonban kisebb, mint a nagyhatású QTL-eknek, melyek a növénymagasságtól függetlennek bizonyultak.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Magyarországon elsőként vezettük be a kalászkainjektálás módszerét a búzanemesítési alapanyag kalászfuzárium-ellenállóságának rutinszerű tesztelésére. Az inokuláció szántóföldi alkalmazásában évente legalább száz genotípus II. típusú rezisztenciájának vizsgálata kivitelezhető ismétléses kísérletben, két *Fusarium* izolátummal.

A szántóföldi permetezéssel és kalászkainjektálásos inokulációs módszer egyidejű alkalmazása lehetőséget biztosít arra, hogy a kalászfuzárium-ellenállóság összetevőiről pontosabb képet kapjunk. A martonvásári őszi búzafajták és nemesítési törzsek vizsgálata során megállapítottuk, hogy közöttük található olyan genotípusok, melyek kalászfuzáriummal mérsékelten fertőződnek. Több búzafajta a rezisztensként leírt európai őszi búza genotípusoknál is jobbnak bizonyult tenyészkertünkben, a legkisebb kalászfertőződést az Mv Emese fajta I. típusú kalászfuzárium-rezisztenciája biztosította. Ez azt bizonyítja, hogy a hazai termesztési körülményeknek megfelelő búzafajtákba a fuzárium kalászsövetbe hatolásával szembeni ellenállóság beépíthető.

2. Mesterséges fertőzéssel igazoltuk, hogy a Bánkúti 1201 fajta kalászfuzárium-ellenállósága általában jobb, mint a 2006-ig köztermesztésben lévő martonvásári búzafajtáké. További régi magyar búzafajták, és ezek törzseinek vizsgálata során is azonosítottunk olyan genotípusokat, melyek szántóföldi kalászfuzárium-ellenállósága jónak bizonyult. Ez valószínűsíti, hogy a genetikailag meghatározott ellenállóságnak is jelentős szerepe lehetett abban, hogy az 1970-es éveket megelőzően nem voltak gyakoriak a kalászfuzárium-járványok. A mérsékelt fertőződésű törzsek a rezisztencianemesítésben forrásként felhasználhatók.
3. Mikroszatellit és AFLP-primerek alkalmazásával elkészítettük a Ning 8331/Martonvásári 17 populáció kapcsoltsági térképét. Kialakításához 441 marker adatait használtuk fel, melynek eredményeként 44 kapcsoltsági csoportot hoztunk létre. A kapcsoltsági térkép a hexaploid búza genom közel 1400 cM-nyi szakaszát fedte le.
4. A kalászfuzárium-ellenállóság genetikai hátterét a Ning 8331/Martonvásári 17 populációban vizsgáltuk. Kimutattuk, hogy a Ning 8331 törzsben is kiemelkedő a 3BS kromoszómakaron található rezisztencia QTL hatása, melyet már több ellenálló fajtában leírtak. A szántóföldi permetezéssel inokulációs módszer alkalmazásával a kalász- és szemfertőzéssel szembeni rezisztencia kialakításában is jelentős szerepe volt. A QTL hatását a termésveszteséggel összefüggő tulajdonságok (kaláskonkénti szemtömeg, térfogat- és ezerszemtömeg) vizsgálata során is igazoltuk. A 3BS QTL hatását a Sumai 3 eredetű törzseknél általában a II. típusú kalászfuzárium-ellenállóságban tartják inkább meghatározónak, ennek ellenére a kalászkainjektálásos kísérletben csak a második legjelentősebb lokuszként azonosítottuk.

A legnagyobb hatású II. típusú kalászfuzárium-rezisztencia QTL-t a Ning 8331 törzsben a 2DL kromoszómakarra térképeztük. A QTL jelentőségét a fuzárium kalászban történő terjedésével szembeni ellenállóság kialakításában minden évben kimutattuk a kalászkainjektálással fertőzött kísérletben. Ez a QTL az évek átlagában a fenotípusos variáció 22%-át magyarázta.

A SZERZŐ PUBLIKÁCIÓS TEVÉKENYSÉGE

Tudományos publikációk:

Nemzetközi tudományos lapokban megjelent publikációk:

- Bedő Z., Szunics L., Láng L., Szunics Lu., Veisz O., Karsai I., Vida Gy., Szűcs P., Juhász A., Gál M., Bencze S., Megyeri M., **Puskás K.**, Horváth Cs. 2000. Items from Hungary, Department of Wheat Breeding, Agricultural Research Institute, Martonvásár. Annual Wheat Newsletter 46: 47–49.
- Bedő Z., Láng L., Szunics L., Veisz O., Vida Gy., Karsai I., Mészáros K., Juhász A., Rakszegi M., Szűcs P., **Puskás K.**, Kuti Cs., Megyeri M., Gál M., Nagy I. 2003. Department of Wheat Breeding, Agricultural Research Institute, Martonvásár. Annual Wheat Newsletter 49: 31–34.
- Bedő Z., Láng L., Veisz O., Vida G., Karsai I., Mészáros K., Rakszegi M., Szűcs P., **Puskás K.**, Kuti C., Megyeri M., Bencze S., Cséplő M., Láng D., Bányai J. 2004. Items from Hungary. Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences. Breeding. Annual Wheat Newsletter 50: 40–43.
- Bedő Z., Láng L., Veisz O., Vida G., Karsai I., Mészáros K., Rakszegi M., Pribék D., Bencze S., **Puskás K.**, Uhrin A. 2006. Items from Hungary. Breeding, Agricultural Research Institute, Martonvásár. Annual Wheat Newsletter 52: 27–30.

Hazai tudományos lapokban megjelent publikációk:

- Puskás K.**, Vida G., Komáromi J., Veisz O., Bedő Z. 2004. Field resistance of Martonvásár winter wheat cultivars against *Fusarium* head blight. *Acta Agronomica Hungarica* 52: 351–359.
- Komáromi J., Vida G., **Puskás K.**, Szunics L., Veisz O. 2006. Identification of wheat genotypes with adult plant resistance to powdery mildew. *Cereal Research Communications* 34: 1051–1058. IF: 1,037.
- Puskás K.**, Vida G., Komáromi J., Bürstmayr H., Lemmens M., Bedő Z., Veisz O. 2006. Study of *Fusarium* head blight resistance in wheat using microsatellite markers. *Cereal Research Communications* 34: 629–632. IF: 1,037.
- Karsai I., Szűcs P., Mészáros K., **Puskás K.**, Bedő Z., Veisz O. 2007. Barley (*Hordeum vulgare* L.) marker linkage map: a case study of various marker types and of mapping population structure. *Cereal Research Communications* 35: 1551–1562. IF: 1,190.
- László E., **Puskás K.**, Vida Gy., Bedő Z., Veisz O. 2007. Study of *fusarium* head blight resistance in old Hungarian wheat cultivars. *Cereal Research Communications* 35: 717–720. IF: 1,190.
- Vida Gy., László E., **Puskás K.**, Veisz O. 2007. Kalászfuzárium rezisztenciaforrások azonosítása régi magyar búzafajták populációiban. *Acta Agronomica Óváriensis* 49 (2): 563–567.
- László E., **Puskás K.**, Uhrin A. 2009. Molecular characterisation of *Fusarium* head blight resistance in the BKT9086-95/Mv Magvas wheat population. *Cereal Research Communications* 37: 333–336.
- László E., **Puskás K.**, Szunics L., Veisz O., Vida Gy. 2009. Régi magyar búzafajták kalászfuzárium-ellenállóságának vizsgálata mesterséges fertőzési körülmények között. *Növényvédelem* 45: 694–697.
- Vida Gy., Cséplő M., Gulyás G., Karsai I., Kiss T., Komáromi J., László E., **Puskás K.**, Wang Z. L., Pace C., Bedő Z., Láng L., Veisz O. 2011. Effectiveness of major resistance genes and identification of new sources for disease resistance in wheat. *Acta Agronomica Hungarica* 59 (3): 241–248.

Egyéb tudományos művek:

Tudományos könyvfejezet:

Vida Gy., Gál M., Károlyi-Cséplő M., László E., **Puskás K.**, Pribék D., Karsai I., Szunics L., Uhrin A., Bedő Z., Láng L., Veisz O. 2009. Őszi búza genotípusok betegségellenállóságának javítása hagyományos és molekuláris módszerekkel. In: Veisz O. (Szerk.) A martonvásári agrárkutatások hatodik évtizede, 1999-2009. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár: 65–70.

Konferencia kiadványok:

Puskás K., Vida Gy., Cséplő M., Veisz O. 2002. Tünetmentes búzagalaszok fuzáriumos szemfertőzöttsége. In: Sutka J., Veisz O. (Szerk.) A növénytermesztés szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában. 50 éves az Acta Agronomica Hungarica. Jubileumi tudományos ülés. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár: 269–274.

Vida Gy., Szunics L., Veisz O., Gál M., **Puskás K.**, Cséplő M., Láng L., Bedő Z. 2002. Martonvásári rezisztens búzafajták a környezetkímélő növénytermesztés szolgálatában. In: Sutka J., Veisz O. (Szerk.) A növénytermesztés szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában. 50 éves az Acta Agronomica Hungarica. Jubileumi tudományos ülés. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár: 355–363.

Puskás K., Vida G., Veisz O., Bürtstmayr. H., Bedő Z. 2004. Analysis of Fusarium head blight resistance QTLs in the 'Ning 8331' x 'Martonvásári 17' population. In: Vollmann J., Grausgruber H., Ruckenbauer P. (Szerk.) Genetic variation for plant breeding. Proc. 17th EUCARPIA General Congress. BOKU, Vienna: 189–194.

Vida Gy., László E., **Puskás K.**, Veisz O. 2007. *Fusarium* head blight resistance of old Hungarian wheat genotypes. In: Vogelgsang S., Jalli M., Kovács G., Vida G. (Szerk.) Proc. COST SUSVAR *Fusarium* workshop: *Fusarium* diseases in cereals – potential impact from sustainable cropping systems, Velence, Hungary. Risø National Laboratory, Denmark: 41–44.

Vida Gy., László E., **Puskás K.**, Szunics L., Bedő Z., Veisz O. 2008. *Fusarium* head blight resistance of old Hungarian wheat varieties. In: Mesterházy Á., Tóth B. (Szerk.) Proc. 3rd Internat. Symp. Fusarium Head Blight (10th European Fusarium Seminar). Cereal Research Communications 36 (Supplement B): 183–184.

László E., **Puskás K.**, Szunics L., Bedő Z., Veisz O., Vida Gy. 2009. Régi magyar búzafajták kalászfuzárium ellenállóságának vizsgálata. In: XIX. Keszthelyi Növényvédelmi Fórum. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely: 107–110.

László E., **Puskás K.**, Szunics L., Veisz O., Vida Gy. 2009. Régi magyar búzafajták, mint lehetséges kalászfuzárium rezisztenciaforrások. In: Veisz O. (Szerk.) Hagomány és haladás a növénynevelésben. XV. Növénynevelési Tudományos Napok. MTA Agrártudományok Osztályának Növénynevelési Bizottsága, Budapest: 292–296.

Vida Gy., Cséplő M., Gulyás G., Karsai I., Kiss T., Komáromi J., László E., **Puskás K.**, Wang Z. L., Bedő Z., Láng L., Veisz O. 2011. Molecular and traditional approaches for combating major diseases of wheat in Martonvásár. In: Veisz O. (Szerk.) Climate change: challenges and opportunities in agriculture: AGRISAFE Final Conference. Agricultural Research Institute, Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár, Hungary: 273–276.

Puskás K., Veisz O., Lemmens M., Bürtstmayr H., Vida Gy. 2013. Kalászfertőzést okozó *Fusarium* fajok összehasonlító vizsgálata őszi búzán. XXIII. Keszthelyi Növényvédelmi Fórum. Georgikon for Agriculture 16 (3): 110–115.

Konferencia absztraktok:

- Puskás K.**, Vida Gy., Szunics L., Veisz O., Bedő Z., Láng L. 2001. Kalászos gabona fajok fuzárium fertőzöttsége provokációs tenyészkertben. In: Sutka J. (Szerk.) VII. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest: 126. o.
- Puskás K.**, Vida Gy., Cséplő M., Veisz O. 2003. Kalászosok belső szemfertőzöttsége *Fusarium proliferatum*-mal. In: Kertész Z. (Szerk.) IX. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest: 130. o.
- Puskás K.**, Gál M., Vida Gy., Veisz O. 2004. Martonvásári őszi búzafajták ellenállósága a fuzárium kalászon belüli terjedésével szemben. In: Sutka J. (Szerk.) X. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest: 40. o.
- Puskás K.**, Vida Gy., Lemmens, M., Bürstmayr, H., Veisz O., Bedő Z. 2004. Őszi búzafajták ellenállóképessége kalászfuzárium fertőzéssel szemben. In: Kuroli G., Balázs K., Szemessy Á. (Szerk.) 50. Növényvédelmi Tudományos Napok. RePRINT Kft., Budapest: 153. o.
- Vida Gy., Szunics L., Gál M., **Puskás K.**, Cséplő M., Veisz O. 2004. A búza lisztharmit (*Blumeria graminis* (Dc.) Speer) virulencia felmérés eredményei 2001-2002-ben, valamint két tesztszortiment összehasonlítása. In: Kuroli G., Balázs K., Szemessy Á. (Szerk.) 50. Növényvédelmi Tudományos Napok. RePRINT Kft., Budapest: 160. o.
- Puskás K.**, Vida Gy., Komáromi J., Veisz O., Bedő Z. 2005. Martonvásári őszi búza genotípusok kalászfuzárium-ellenállóságának vizsgálata. In: Kertész Z. (Szerk.) XI. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest: 44. o.
- Puskás K.**, Komáromi J., Vida Gy., Veisz O., Bedő Z. 2005. Régi magyar búzafajták alkalmazhatósága a kalászfuzáriummal szembeni rezisztencianemesítésben. In: Horváth J., Haltrich A., Molnár J. (Szerk.) 51. Növényvédelmi Tudományos Napok. RePRINT Kft., Budapest: 93. o.
- Vida Gy., Karsai I., Pribék D., **Puskás K.**, Veisz O. 2006. PWD1216/MVTD10-98 őszi durum búza utódtörzsek sárgaindexének vizsgálata. In: Veisz O. (Szerk.) XII. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest: 177. o.
- Karsai I., Szűcs P., Mészáros K., **Puskás K.**, Bedő Z., Veisz O. 2007. Árpa marker kapcsoltsági térkép és alkalmazási lehetőségei. In: Heszky L., Kiss J. (Szerk.) XIII. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest: 75. o.
- László E., **Puskás K.**, Vida Gy., Bedő Z., Veisz O. 2007. A *Fusarium* kalászon belüli terjedésével szembeni ellenállóság fenotípusos vizsgálata Bánkúti 1201 × Mv Magvas búzatörzsekben. In: Heszky L., Kiss J. (Szerk.) XIII. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest: 92. o.
- Puskás K.**, Komáromi J., Vida Gy., Varga-László E., Veisz O. 2012. A II. típusú kalászfuzárium-ellenállóság vizsgálata őszi búza genotípusokon. In: Veisz O. (Szerk.) XVIII. Növénynevelési Tudományos Napok. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest: 119. o.
- Puskás K.**, Varga-László E., Vida Gy., Komáromi J., Bedő Z., Veisz O. 2012. Resistance of wheat cultivars against the spread of *Fusarium* in spikes. In: Bedő Z., Láng L. (Szerk.) Plant breeding for future generations. Proc. 19th EUCARPIA General Congress. Agricultural Institute, Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár: 407. o.