



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
VEGYÉSZMÉRNÖKI ÉS BIOMÉRNÖKI KAR
OLÁH GYÖRGY DOKTORI ISKOLA

A BÚZA ARABINOXILÁN TARTALMÁNAK NÖVELÉSE,
STABILITÁSÁNAK ÉS MOLEKULÁRIS HÁTTERÉNEK VIZSGÁLATA

Tézisfüzet

Szerző: **Tremmel-Bede Karolina**
Témavezető: **Dr. Rakszegi Marianna**
Konzulens: **Dr. Tömösközi Sándor**

Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet
Martonvásár

2019.

Bevezetés

A búzanesemesítés fő célja az elmúlt néhány évtizedben a termőképesség, a betegséggel szembeni ellenállóság, és/vagy a sütőipari minőség javítása volt, tehát elsősorban a termelők és a feldolgozóipar érdekeit tartották szem előtt. Az utóbbi időben azonban növekvő figyelem irányul az élelmiszerek egészségre gyakorolt pozitív hatásaira, valamint a táplálkozási minőségének javítására. Ezért a nemesítők is célul tűzték ki pozitív egészségügyi hatásokról ismert beltartalmi komponensek növelését.

A búzában több pozitív egészségügyi hatással bíró beltartalmi komponens is található. Ezek közül az antioxidánsok rendkívül érzékenyek a feldolgozóipari folyamatokra (hőmérséklet, nyomás, fény, stb), a mikroelem összetételt pedig nagymértékben befolyásolják olyan tényezők is, mint a talaj mikroelem tartalma, vagy a növény mikroelem felvevő képessége. A legkevésbé érzékeny komponenseknek a rostanyagok tekinthetők. Nagy biztonsággal várható, hogy ezek a komponensek megőrzik biológiai hatásukat a feldolgozás után is. Ezért ezen komponensek felhasználása reális célkitűzésnek tekinthető nemesítési programokban.

Korábbi vizsgálatokkal megállapították, hogy a rostanyagtartalom alapvetően genetikailag determinált tulajdonság, de a környezeti hatás nem hagyható figyelmen kívül, különösen, ha genetikai markerek nem állnak rendelkezésre, csupán biokémiai/beltartalmi mérésekre van lehetőségünk. Ezeket a mennyiségi tulajdonságokat ugyanis a környezeti tényezők jelentős mértékben befolyásolhatják. Célunk ezért a környezeti tényezők hatásának értékelése majd az eredményeink valamennyi tényezőt figyelembe vevő komplex elemzése.

A környezeti hatásoktól független eredmények és a hatékonyabb szelekció elérése és kivitelezése érdekében további célunk molekuláris markerek azonosítása, melyhez egy búza hasadó populáció beltartalmi tulajdonságai, terméskomponensei és a genetikai háttere között fennálló összefüggéseket vizsgáltuk.

Kutatásunk fő célkitűzése tehát a búza egészséggel kapcsolatos tulajdonságainak javítása nemesítéssel (különös tekintettel a rostanyagtartalomra), a rostanyagtartalmat befolyásoló tényezők vizsgálata, valamint a rostanyagtartalommal összefüggő markerek azonosítása. Ezek elérése érdekében a következő célokat tűztük magunk elé:

1. Nagy rostanyagtartalmú (arabinoxilán) búza törzsek előállítása és jellemzése
2. Az arabinoxilán tartalom örökölhetőségének, környezeti befolyásoltságának valamint stabilitásának vizsgálata
3. Az arabinoxilán tartalom stabilitásának vizsgálata búza populációkban és fajtakeverésekben
4. A rostanyagtartalommal összefüggő QTL-ek azonosítása az Mv Toborzó/Tommi populáció felhasználásával, molekuláris markerek fejlesztése céljából

Irodalmi háttér

Az emberi táplálkozásban a legfőbb rostanyag forrás a gabona, azon belül pedig a búza. A búzaszemben található legfőbb rostanyagok a sejtfalban található poliszacharidok, az arabinoxilánok (AX) és (1-3)(1-4)- β -D-glükánok (β -glükán), melyek 70 illetve 20%-át alkotják az összes sejtfalat alkotó poliszacharidoknak (Mares és Stone, 1973¹). A búza és a rozs arabinoxilánban, míg az árpa és a zab β -glükánban gazdag. Az AX-nak vízoldható (WE) és

¹ Mares, D. J., Stone, B. A. 1973. Studies on wheat endosperm. I. Chemical composition and ultra structure of the cell walls. Aust. J. Biol. Sci. 26:793-812.

vízoldhatatlan frakciója is van, ezek élettani hatásaikban különböznek. A vízben nem oldódó rostanyagok csökkentik az átmeneti időt a bélben, és növelik a széklet mennyiségét, az ürítés gyakoriságát, valamint a karcinogén anyagok megkötésében is szerepet játszanak. A vízoldható rostanyagok, különösen az AX, befolyásolja a búza feldolgozóipari tulajdonságait, például a sütőipari minőségét (Courtin és Delcour, 2002²), a siker és a keményítő elválaszthatóságát (Frederix és mtsai, 2004³), az állati takarmány minőségét (Bedford és Schulze, 1998⁴), valamint a szeszes italok és a bioüzemanyag előállítás folyamatát (Shewry és mtsai, 2010⁵).

A bioaktív komponensek variabilitását gabonafélékben az EU-FP6 Healthgrain projekt keretében kezdtük el vizsgálni, azzal a céllal, hogy teljes kiőrlésű búzából, vagy más gabonafélékből egészséges élelmiszeripari termékeket fejlesszen ki, és ezek egészségre kifejtett pozitív hatását klinikai vizsgálatokkal is igazolják. A pályázaton belül összesen 150 búza törzsből vizsgálták többek között a genotípusok rostanyag-, keményítő-, xilanáz-, alkilrezorcin-, lignán-, szterol-, tokol- és foláttartalmát, de meghatározták a fehérje- és siktartalmat, a Zeleny szedimentációt, és a keményítő viszkozitását, és a genotípusok agronómiai és sütőipari tulajdonságait is. A vizsgálatok eredményei alapján kiválasztották azon genotípusokat, melyek felhasználásával nemcsak, hogy jó sütőipari minőségű búza nemesíthető, de egyúttal rostanyagban és vitaminokban gazdag termékek készíthetők. Így azonosították többek között a rendkívül magas totál- és vízoldható AX tartalommal rendelkező Yumai-34 búza genotípust is, melyet 1988-ban regisztráltak Kínában. Ez a fajta kétszer olyan nagy rostanyag tartalommal rendelkezik, mint a projekt során vizsgált többi kb. 150 európai búzafajta. A Yumai-34 a kiemelkedően magas, genetikailag determinált rostanyag tartalmának (Shewry és mtsai 2010⁵) és a relatíve jó agronómiai tulajdonságainak köszönhetően jó nemesítési alapanyagként tekinthető (Ward és mtsai, 2008⁶).

Különböző környezeti és agronómiai körülmények között termesztett búza törzsek beltartalmi adatainak elemzésével lehetőség van szétválasztani a környezeti és genotípusos hatásokat. A liszt TOT-AX és a WE-AX tartalmának nagy örökölhetőségét többen is bizonyították: Hong és munkatársai (1989⁷) 18 búzatorzs 2 termőhelyen történő vizsgálatával, Martinant és munkatársai (1999⁸) 19 genotípus 3 termőhelyen történő vizsgálatával, Dornez és munkatársai (2008⁹) 14 genotípus 3 évben történő vizsgálatával, valamint Finnie és

² Courtin, C.M., and Delcour, J. A. 2002. Arabinoxylans and endoxylanases in wheat flour bread-making. *J. Cereal Sci.* 35:225-243.

³ Frederix, S. A., Courtin, C. M., and Delcour, J. A. 2004. Influence of process parameters on yield and composition of gluten fractions obtained in a laboratory scale dough batter procedure. *J. Cereal Sci.* 39:29-36.

⁴ Bedford, M.R. and Schulze, H. (1998) Exogenous Enzymes for Pigs and Poultry. *Nutrition Research Reviews*, 11, 91-114. <https://doi.org/10.1079/NRR19980007>

⁵ Shewry, P. R., Piironen, V., Lampi, A.-M., Edelman, M., Karluoto, S., Nurmi, T., Fernandez-Orozco, R., Ravel, C., Charmet, G., Andersson, A. A., Aman, P., Boros, D., Gebruers, K., Dornez, E., Courtin, J. A., Rakszegi, M., Bedő, Z., Ward, J. L. 2010a. The HEALTHGRAIN wheat diversity screen: effects of genotype and environment on phytochemicals and dietary fiber components. *J Agric Food Chem.* 58:9291-8.

⁶ Ward, J. L., Poutanen, K., Gebruers, K., Piironen, V., Lampi, A. M., Nyström, L., Andersson, A. A. M., Aman, P., Boros, D., Rakszegi, M., Bedő, Z., Shewry, P. R. 2008. The HEALTHGRAIN cereal diversity screen: concept, results, and prospects. *J. Agric. Food Chem.* 56:9699-9709.

⁷ Hong, B. H., Rubenthaler, G. L., and Allan, R. E. 1989. Wheat pentosans. II. Estimating kernel hardness and pentosans in water extracts by near-infrared reflectance. *Cereal Chem.* 66:374-377.

⁸ Martinant, J. P., Billot, A., Bouguennec, A., Charmet, G., Saulnier, L. and Branlard, G. 1999. Genetic and environmental variations in water-extractable arabinoxylans content and flour extract viscosity. *J Cereal Sci.* 30:45-8.

⁹ Dornez, E., Gebruers, K., Joye, I. J., De Ketelaere, B., Lenartz, J., Massaux, C., Bodson, B., Delcour, J. A., Courtin, C. M. 2008a. Effects of genotype, harvest year and genotype-by-harvest year interactions on arabinoxylan, endoxylanase activity and endoxylanase inhibitor levels in wheat kernels. *J Cereal Sci.* 47:180-9.

munkatársai (2006¹⁰) 7 tavaszi és 20 őszi búza 10 és 12 környezetben kivitelezett vizsgálatával. Li és mtsai (2009¹¹) azonban ellentétes eredményeket kaptak teljesörleményre, 25 őszi és 25 tavaszi búza 3 termőhelyes vizsgálata esetén. Kimutatták, hogy a környezetnek jóval nagyobb a hatása mint a genotípusnak az őszi búzák TOT-AX és WE-AX tartalmára, illetve a tavaszi fajták WE-AX tartalmára. A Gebruers és munkatársai (2010¹²) által publikált elemzések azt mutatják, hogy a liszt AX tartalma nagymértékben örökölhető tulajdonság. A genotípus határozta meg a teljes variancia kb 60%-át a WE-AX esetében, a TOT-AX esetében pedig 70%-át. Örleményben mért β -glükán és korpában mért WE-AX 50% körüli örökölhetőségi értéket adtak. Török és munkatársai (2019¹³) igen jelentős évjárat és GxE hatást mutatott ki TOT-AX esetén, míg a WE-AX total varianciáját 21%-ban a genotípus határozta meg 41 genotípus 3 éves vizsgálatával. Ilyenformán a liszt TOT-AX tartalmát tekintve ellentmondásosak az eredmények, de a liszt WE-AX tartalma különösen vonzó szelekciós cél lehet növénynevelési programokban.

Az ökológiai mezőgazdaság folyamatosan terjed, több mint 160 országban alkalmazzák már világszerte. Teljes vetésterülete mintegy 0,9%. Az 1900-as évek elején kezdtek alkalmazni, mígnem 2009-re az ökológiai termékek már a piac 5%-át tették ki. A környezet hatásainak kompenzálására a konvencionális mezőgazdaság több külső eszközzel rendelkezik (növényvédelem, műtrágyázás, stb), mint az ökológiai. Az eszköztelenség kompenzálására az ökológiai földművelési rendszerben olyan rugalmas, robosztus fajtákra van szükség, melyek képesek alkalmazkodni az adott környezeti körülményekhez, és megfelelően stabil terméshozamot és minőséget képesek biztosítani. A fajta diverzitás kérdése iránt az ökológiai termelők részéről is egyre nagyobb az érdeklődés, és a tudományos irodalom is egyre többet foglalkozik a populáció szinten megjelenő genetikai változatossággal. Ennek egyik oka az időben és térben változó környezet (Ceccarelli és mtsai 2007¹⁴, Østergård és mtsai 2009¹⁵, Wolfe és mtsai 2008¹⁶). Egy ilyen környezetben csak a kultúrnövények genetikai diverzitása és a biodiverzitás megőrzésére alkalmazott mezőgazdasági gyakorlat képes a fajta terméshozamát és minőségét megővni a biotikus és abiotikus stresszekkel szemben (Finckh és mtsai 2000¹⁷). Ezen tudásra alapozva a SOLIBAM EU-FP7 projekt keretén belül hét populációt és három fajtakeveréket, állítottak elő három nemesítő intézetben (UK, A, HUN), és vetették el 3 évben (2011-2013) különböző európai klimatikus és földművelési körülmények (ökológiai és low-

¹⁰ Finnie, S. M., Bettge, A. D. and Morris, C. F. 2006. Influence of cultivar and environment on water-soluble and water-insoluble arabinoxylans in soft wheat. *Cereal Chem.* 83:617-23.

¹¹ Li, S., Morris, C. F. and Bettge, A. D. 2009. Genotype and environment variation for arabinoxylans in hard winter and spring wheats of the US Pacific Northwest. *Cereal Chem.* 86:88-95.

¹² Gebruers, K., Dornez, E., Bedo, Z., Rakszegi, M., Fras, A., Boros, D., Courtin, C. M., Delcour, J. A. 2010. Environment and genotype effect on the content of dietary fibre and its components in wheat in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. of Agric. and Food Chem.* 58:9353–9361.

¹³ Török, K., Szentmiklóssy, M., Tremmel-Bede, K., Rakszegi, M., Tömösközi, S. 2019. Possibilities and barriers in fibre-targeted breeding: Characterization of arabinoxylans in wheat varieties and the breeding lines. *Journal of Cereal Science* 86, 117-123.

¹⁴ Ceccarelli, S., Grando, S., Baum, M. 2007. Participatory plant breeding in water-limited environments. *Exp. Agric.* 43:411–435.

¹⁵ Østergård, H., Finckh, M.R., Fontaine, L., Goldringer, I., Hoad, S.P., Kristensen, K., Lammerts van Bueren, E.T., Mascher, F., Munk, L., Wolfe, M.S. 2009. Time for a shift in crop production: Embracing complexity through diversity at all levels. *J. of Agric. and Food Information* 89:1439–1445.

¹⁶ Wolfe, M.S., Baresel, J.P., Desclaux, D., Goldringer, I., Hoad, S., Kovacs, G., Löschenberger, F., Miedaner, T., Østergård, H., Lammerts van Bueren, E.T. 2008. Developments in breeding cereals for organic agriculture. *Euphytica* 163:323–346.

¹⁷ Finckh, M. R., Gacek, E. S., Goyeau, H., Lannou, C., Merz, U., Mundth, C. C., Munk, L. Nadziak, J., Newton, A., de Vallavieille-Pope, C., Wolfe, M. 2000. Cereal variety and species mixtures in practice, with emphasis on disease resistance. *Agronomie* 20:813-835.

input) között. Ezen alapanyagok kiváló eszközök lehetnek annak vizsgálatára, hogy a biodiverzitás és a termesztési rendszer milyen szerepet játszik a beltartalom és a minőség stabilitás, így a rostanyag tartalom megőrzésében.

A molekuláris genetikai módszerek fejlődése, különösen a QTL elemzések, áttörést hoztak a mennyiségi tulajdonságok genetikai elemzésében. A szakirodalomban számtalan eredményt találunk a rostanyagokkal kapcsolatban. Az arabinoxilán szintézisében résztvevő gének térképezésére Martinant és munkatársai (1998¹⁸) 2 térképező populációt használtak. Egyik populáció a Courtot és a Chinese Spring keresztezéséből származik és 91 dihaploid (DH) törzset tartalmaz, míg a másik a szintetikus W7984 és az Oparta keresztezéséből létrehozott 115 F₇ generációban lévő SSD (single seed descent) törzset tartalmazó populáció. Ezekben a populációkban mérték a törzsek WE-AX tartalmát, az extraktum viszkozitást (amit a WE-AX tartalom nagymértékben meghatároz), és a WE-AX-on belül az arabinóz-xilóz arányát. Mindhárom tulajdonság fő QTL-ét (azt a régiót a kromoszómákon belül, ahol a mennyiségi tulajdonság kialakításában szerepet játszó gének helyezkednek el) az 1B kromoszómán azonosították. Ez a QTL az extraktum viszkozitás variabilitásának 32-37%-át magyarázta, valamint az arabinóz-xilóz arány variabilitásának 35-42%-át. Quraishi és munkatársai (2010¹⁹) öt további térképező populáció létrehozásáról számoltak be. Ezek a: Courtot és Chinese Spring keresztezéséből származó 187 törzset tartalmazó RIL populáció (recombinant inbred lines) (Perretant et al 2000²⁰), az Arche és Recital keresztezéséből származó 241 dihaploid törzs (Laperche és mtsai 2007²¹), a Renan és Recital keresztezéséből származó 194 RIL törzs (Quraishi és mtsai 2009), a Valoris és Isengrain keresztezéséből származó 124 dihaploid törzs, és a RE006 és CF007 keresztezéséből származó 280 törzs (Charmet és mtsai 2009²²). Az utolsó két populáció létrehozásánál a szülői genotípusok jelentősen eltértek a WE-AX tartalmuk által okozott viszkozitás mértékében. Első lépésben 12 QTL-t azonosítottak az öt populációban, melyből három WE-AX viszkozitással összefüggő meta-QTL-t azonosítottak az 1B, 3D és 6B kromoszómákon. Martinant és munkatársai az 1B kromoszómán azonosítottak QTL-t (1998²³), míg Charmet és munkatársai azt találták, hogy a 6B-n található QTL felel a WE-AX viszkozításban fellépő variancia több mint 59%-áért a Valoris/Isengrain és a RE006/CF007 populációk esetében. Quarishi és munkatársai (2010¹⁹) kiegészítették ezt a meta-QTL analízist 156 búza genotípus (Ward és mtsai 2008⁵) asszociációs genetikai vizsgálatával. Ennek eredményeként azonosítottak 7 lókuszt, ami kapcsolódik a WE-AX okozta viszkozitás értékhez. Ezek közül három a meta-QTL-ekhez kapcsolhatóan az 1B, 3D és 6B kromoszómákon helyezkedik el, további négy lókuszt pedig a 3A, 5B, 7A és 7B

¹⁸ Martinant, J. P., Cadelen, T., Billot, A. and Chartier, S. 1998. Genetic analysis of water-extractable arabinoxylans in bread wheat endosperm. *Theor Appl Genet.* 97:1069-75.

¹⁹ Quraishi, U.-M., Murat, F., Abrouk, M., Pont, C., Confolent, C., Oury, F. X., Ward, J., Boros, D., Gebruers, K., Delcour, J. A., Courtin, C. M., Bedő, Z., Saulnier, L., Guillon, F., Balzergue, S., Shewry, P. R., Feuillet, C., Charmet, G., Salse, J. 2010. Combined meta-genomics analyses unravel candidate genes for the grain dietary fibre content in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Funct Integ Genom.* 11:71-83. (doi 10.1007/s10142-010-0183-2).

²⁰ Perretant, M.R., Cadalen, T., Charmet, G., Sourdille, P., Nicolas, P., Boeuf, C., Tixier, M. H., Branlard, G., Bernard, S. 2000. QTL analysis of bread-making quality in wheat using a doubled haploid population. *Theor Appl genet.* 100:1167-75.

²¹ Laperche A, Brancourt-Hulmel M, Heumez E, Gardet O, Hanocq E, Devienne-Barret, F., Le Gouis, J. 2007. Using genotyp x nitrogen interaction variables to evaluate the QTL involved in wheat tolerance to nitrogen constraints. *Theor Appl Genet.* 115:399-415.

²² Charmet, G., Masood-Quarishi, U., Ravel, C., Romeuf, I., Balfourier, F., Perretant, M. R., Joseph, J. L., Rakszegi, M., Guillon, F., Sado, P. E., Bedő, Z., Saulnier, L. 2009. Genetics of dietary fibre in bread wheat. *Euphytica.* 170:155-68.

²³ Martinant, J. P., Cadelen, T., Billot, A. and Chartier, S. 1998. Genetic analysis of water-extractable arabinoxylans in bread wheat endosperm. *Theor Appl Genet.* 97:1069-75.

kromoszómákon található. Mindkét megközelítésnél az 1B kromoszómán azonosított QTL-t találták a legjelentősebbnek. Később Quarishi és munkatársai (2010¹⁹) kimutatták, hogy a kromoszómának ez a régiója 4 DNS-szakaszt tartalmaz, melyek közreműködhetnek a tulajdonság kialakításában. Létrehoztak továbbá molekuláris markereket, amik a lókuszhoz kapcsolódva meghatározzák a WE-AX viszkozitást, és ennél fogva alkalmasak lehetnek arra, hogy növénynevelési programokban alkalmazzák őket.

Anyagok és módszerek

Kereszteztük a Yumai-34-et három olyan jó agronómiai tulajdonságú európai búza fajtával (Lupus, Mv Mambo és Ukrainka). Az F₂ hasadó populáció kalászeit kalászatúdsorokba vetettük, így jött létre az F₃ populáció. Ezután a növényeket szelektáltuk agronómiai tulajdonságaik, és nagy vízoldható pentozán tartalmuk alapján (lisztben, AX-ként mérve) minden generációban. Néhány szelekciós kör után 31 törzset (12 Lupus/Yumai-34, 3 Mv Mambo/Yumai-34, és 16 Ukrainka/Yumai-34) azonosítottunk, melyek az átlagosnál nagyobb vízoldható pentozán tartalommal, és jó agronómiai tulajdonságokkal is rendelkeztek. Ezeket vizsgáltuk részletesebben az F₇, F₈, és F₉ generációban (2013-2015), és a szülői búza fajtákat használtuk kontrollként. Annak érdekében, hogy olyan versenyképes búza alapanyagot hozzunk létre, melyek jól szerepelnek ökológiai és low-input körülmények között, hat populációt (cropping population) hoztak létre Ausztriában (A), Magyarországon (H), és az Egyesült Királyságban (UK) (POP-AT (A), Angol Kompozit (H, ENG-CCP), Elit Kompozit (H, ELIT-CCP), Magyar Kompozit (H, HUN-CCP), YQ-CCP (UK), és NIAB-Elite-CCP (UK, NIAB-CCP)). Ezeket a populációkat együtt vizsgáltuk három fajtakeveréssel (MIX-AT (A), YQ-MIX (UK), NIAB-Elite-MIX (UK, NIAB-MIX)), és egy Franciaországból származó diverz populációval (INRA-60parent-CCP, a továbbiakban INRA-CCP). Az YQ-CCP és YQ-MIX előállítását részletesen Döring és mtsai (2015²⁴) cikkében található. Egy őszi búza (*Triticum aestivum* L.) fajtát, az Mv Emesét használtuk kontrollként az összes termőhelyen. A populációk és fajtakeverékek vizsgálati éveit és a termőhelyek listáját Tremmel-Bede és mtsai (2016²⁵) cikkében szerepelnek. A genetikai vizsgálatokhoz az Mv Toborzót kereszteztük a Tommi fajtával, majd nyolc öntermékenyítési cikluson keresztül hoztuk létre a térképező populációt, amely 240 rekombináns beltenyésztett törzsből áll (RIL). A szülőket eltérő ökológiai körülmények között nemesítették. Az Mv Toborzó egy korai érésű magyar fajta, míg a német Tommi egy nagyon késői fajtának számít Magyarországon. Előzetes vizsgálatok szerint a két fajta eltérő allélokat hordoz a *PPD-D1* (2D) nappalhossz érzékenységi génben, valamint az *Rht-B1* (4B), *Rht-D1* (4D) és az *Rht8* (2D) törpésítő génekben (Kiss és mtsai, 2014²⁶), ezért igen variábilis a RIL vonalak kalászolási ideje, növénymagassága, valamint a terméskomponensei.

²⁴ Döring, T. F., Annicchiarico, P., Clarke, S., Haigh, Z., Jones, H. E., Pearce, H., Snape, J., Zhan, J., Wolfe, M. S. 2015. Comparative analysis of performance and stability among composite cross populations, variety mixtures and pure lines of winter wheat in organic and conventional cropping systems. *Field Crops Res.* 183:235–245.

²⁵ Tremmel-Bede K, Mikó P, Megyeri M, Kovács G, Howlett S, Pearce B, Wolfe M, Löschenberger F, Lorentz B, Láng L, Bedo Z, Rakszegi M. 2016. Stability analysis of wheat populations and mixtures based on the physical, compositional and processing properties of the seed. *Cereal Research Communications.* 44:(4) pp. 694-705. (2016)

²⁶ Tibor Kiss, Krisztina Balla, Ottó Veisz, La'szlo' La'ng, Zolta'n Bedo, Simon Griffiths, Peter Isaac, Ildiko' Karsai. 2014. Allele frequencies in the VRN-A1, VRN-B1 and VRN-D1 vernalization response and PPD-B1 and PPD-D1 photoperiod sensitivity genes, and their effects on heading in a diverse set of wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). DOI 10.1007/s11032-014-0034-2

Az 1. táblázatban szereplő fizikai-, beltartalmi és feldolgozóipari tulajdonságait vizsgáltuk a fentiekben szereplő genotípusoknak. Az alábbi genotípusos vizsgálatokat végeztük el az Mv Toborzó/Tommi populáción: Genomi DNS kivonása fiatal levelekből Dneasy Plant Mini Kit felhasználásával, 15K Infinium elemzés TraitGenetics GmbH (Gatersleben, Németország) 13007 SNP marker felhasználásával, kapcsoltsági térkép létrehozása Joinmap 4.0 (Kyazma, B. V., Wageningen, Hollandia) szoftverrel, QTL elemzés GenStat (VSN Nemzetközi Kft.) statisztikai programmal. Az adatok kiértékeléséhez Alkalmazott statisztikai módszerek a következők: Microsoft Excel (legkisebb szignifikáns különbségek, korreláció analízis), Statistica 6.0 (főkomponens analízis, terméshozamok összehasonlítása), SPSS 16.0 (SPSS RT., Chicago, IL, USA) (Diszkriminancia analízis, Tukey féle post hoc teszt, lineáris kevert modell analízis), Genstat 17.0 (VSN Nemzetközi Kft, Hemel Hemstead, UK) (GGE biplot analízis).

	Tulajdonság	Módszer	Készülék
Fizikai	ezerszemtömeg	MSZ 6367/4-86	Marvin Seed Analyser
	hektoltersúly	AACC39-25	Foss Tecator 1241
	szemkeménység	AACC 55-31	Perten Falling Number System
	szem szélesség és hosszúság		Marvin Digital Seed Analyzer
Beltartalmi	fehérjetartalom	ICC 105/2	Kjeltec 1035 Analyzer
	sikértartalom	ICC 137/1	Perten Glutomatic 2200
	pentozán tartalom	Douglas módszer (1981)	Thermo Spectrofotométer
	arabinoxilán tartalom	Gebruers és mtsai, 2009	GC Clarus 500
	β-glükán tartalom	AACC 32-23.01	Thermo Spectrofotométer
Feldolgozóipari	sikér index	ICC 155	Perten Glutomatic 2200
	sikér terület	MSZ 6369/5-87 (1987)	
	Zeleny szedimentáció	ICC 116/1	SediCom System
	Farinográf paraméterek	ICC 115/1	Brabender Farinográf

1.táblázat: A vizsgált fizikai-, beltartalmi és feldolgozóipari tulajdonságok

Eredmények

Nagy rostanyag (arabinoxilán) tartalmú búza törzsek előállítása és jellemzése

Az élelmiszerek táplálkozási minőségének és egészségügyi hatásának javítása egyre nagyobb érdeklődésre tart számot világszerte az elmúlt évtizedtől kezdve. A humán táplálkozásban a rostanyagok fő forrásai a tartós gabona alapú élelmiszerek. A legújabb kutatások eredményeként azonosítottak olyan búzafajtát, a kínai Yumai-34-et, mely szokatlanul nagy vízdoldható (WE-) és total- arabinoxilán (TOT-AX), azaz rostanyag tartalommal rendelkezik. Kereszteltük ezért a kínai fajtát három közép-európai búzafajtaival (Lupus, Mv-Mambo, Ukrainka) és összehasonlítottuk 31 szelektált, nagy AX tartalmú törzs fizikai (hektoltersúly, ezerszemtömeg, lisztkihozatal, szemkeménység), beltartalmi (fehérje, sikér, WEAX, TOTAX) és feldolgozóipari (sikér index, Zeleny szedimentáció, Farinográf paraméterek) tulajdonságait három éves kísérletben (2013-2015) az F₇-F₉ generációkban. A

liszt WE-AX tartalmában 42,37% növekedést, míg a TOT-AX tartalomban 24,09% növekedést értünk el, és emellett a tézsta tulajdonságok is javultak. Az ezerszemtömeg, a fehérjetartalom, a sikértartalom, a Zeleny szedimentáció és a liszt vízfelvétele szintén növekedett számos törzsben, melyek közül háromnak a szemtermés mennyisége is versenyképes volt a hivatalos kontroll fajtákéval.

Kimutattuk, hogy lehetséges növelni a vízdoldható és/vagy oldhatatlan étkezési rost tartalmat fehér búzalisztben hagyományos nemesítéssel, anélkül hogy a termés vagy minőség között választanunk kellene. Az így elért megnövelt rost tartalom nem csupán az egészségre fejthet ki pozitív hatást, de a feldolgozóipari tulajdonságokra is pozitív hatása lehet, például a liszt vízfelvételi kapacitásának növelésével.

Az AX tartalom örökölhetőségének, környezeti befolyásoltságának, valamint stabilitásának vizsgálata

Ugyanezen mintakörben vizsgáltuk a különböző tulajdonságok örökölhetőségét, a környezet és a genotípus hatását, valamint a tulajdonságok stabilitását különös tekintettel a beltartalmi komponensekre. Megállapítottuk, hogy mind a fehérje-, mind a keményítőtartalom genetikailag erősen meghatározott, ezért e beltartalmi tulajdonságok örökölhetősége nagymértékű (sorban 0.851 és 0.828). Emellett a keményítő tartalom esetén jelentős évjárat és $G \times E$ hatást is tapasztaltunk. A pentozánok teljes és vízdoldható mennyiségét mindhárom tényező (G , E , $G \times E$) szignifikánsan befolyásolta, de a TOT-pentozán örökölhetősége mégis jelentősen kisebbnek bizonyult (0,341) mint a WE-pentozáné (0,825). Ez az eredmény a spektrofotometriás módszer metodikai adottságaira vezethető vissza. A pentozánok fő komponense az arabinoxilán mennyiségét és összetételét a környezet határozta meg elsősorban és ennek megfelelően a tágabb értelemben vett örökölhetősége e paramétereknek közepes volt (0,516 és 0,772). A vízdoldható arabinoxilán mennyiségére és annak összetételére (A/X) azonban szignifikáns hatással volt a genotípus és így e tulajdonságok örökölhetősége is jelentős volt (0,840 és 0,721). A TOT-AX alacsony genetikai determináltsága valószínűleg annak köszönhető, hogy a kísérlethez használt 31 szelektált genotípus nagy része nagy AX tartalmú törzs volt, ami kisebb variabilitást eredményezett a vizsgált mintakör tulajdonságaiban a rostanyagok tekintetben. Mivel a WE-AX örökölhetősége jelentős mértékű, így alkalmas komponens lehet nemesítési célok elérésére. Továbbra is ellentétesek azonban az eredmények a TOT-AX tartalomra nézve, mivel annak örökölhetőségi értéke jelentős variabilitást mutat az egyes tanulmányokban. Ennek oka részben a metodikai eltérésekben keresendő, részben pedig a vizsgált mintakör összetételében. A vízfelvételt genetikailag meghatározott tulajdonságnak találtuk, melynek örökölhetősége 0,829 volt és a genotípus a teljes variancia 38,67%-át határozta meg. A legnagyobb vízfelvételi kapacitással a LU/YU_8,9,10 vonalak rendelkeztek, és ugyanezen vonalak fehérje- és pentozán tartalmai is a legnagyobbak között voltak. Mind a pentozánok, mind a fehérjék nagy mennyiségű vizet képesek megkötni. A feldolgozóipari tulajdonságokra ezért részben a vízfelvétel megváltoztatásán keresztül hatnak ezek a komponensek. A rost komponensek nagy vízmegkötő képessége nagyobb farinográfus vízfelvételt eredményez, mely bizonyos mértékig előnyös lehet a feldolgozóipar, elsősorban a sütőipar számára. Ezzel együtt a keményítő gélesedési tulajdonságai is megváltozhatnak.

GGE biplot elemzés és a CV értékek meghatározásával vizsgáltuk a szelektált genotípusok beltartalmának stabilitását. Azok a törzsek, amelyeknek stabilabb volt az ezerszem tömege, a keményítő tartalma is stabilabb volt. A stabilabb keményítőtartalom pedig maga után vonta a fehérjetartalom stabilitásának a növekedését is. A legszorosabb összefüggést a totál- és a vízdoldható pentozánok stabilitása között találtuk. Ez azt jelenti, hogy a stabilabb TOT-pentozán tartalmú genotípusok WE-pentozán tartalma is stabilabb volt a többi törzséhez képest. A WE-pentozán tartalom és a WE-AX tartalom stabilitása között is pozitív volt az összefüggés, sőt a WE-AX tartalom és összetétel (A/X) stabilitása is szorosan korrelált. A liszt vízfelvételének a

stabilitása ezzel ellentétben a WE-AX tartalom és összetétel (A/X) stabilitásával negatív összefüggést mutatott. Számos törzs tömörült egy csoportba a GGE biplot ábrán, amely arra utal, hogy e törzsek stabilitásában nincs szignifikáns eltérés. Minden tulajdonság esetén csupán néhány törzset és fajtát azonosíthatunk, amelyek stabilitásukban jelentősen eltérnek a fajták és környezetek átlagától.

Az AX tartalom stabilitásának vizsgálata búza populációkban és fajtakeverékekben

Európában, köztük Magyarországon őszi búzafajtákból előállított hét populáció és három fajtakeverék fizikai, beltartalmi és feldolgozóipari tulajdonságainak genetikai stabilitását vizsgáltuk és értékeltük három éves kísérletben (2011-2013) különböző klimatikus viszonyok között, különböző szántóföldi menedzsment stratégiát alkalmazva. Meghatároztuk a populációk előnyös összetételei és táplálkozástani tulajdonságait majd statisztikailag értékeltük a genetikai diverzitás hatását a tulajdonságok stabilitására különös tekintettel a rostanyag tartalomra. Low-input' és ökológiai termesztési körülmények között nem találtunk szignifikáns különbséget a populációk/keverékek vizsgált fizikai, beltartalmi és feldolgozóipari tulajdonságaiban, csak azok stabilitásában. A legtöbb vizsgált populáció a kontroll búzafajtáknál nagyobb stabilitást mutatott, és azok a populációk, amelyeket időben előbb állítottak elő, nagyobb stabilitással rendelkeztek, mint azok, amelyeket később. Néhány populáció különösen instabil volt néhány tulajdonságra nézve bizonyos termőhelyeken (elsősorban Ausztria, Svájc és Anglia organikus termőhelyein). A populációk/keverékek fehérjetartalma hasonlóan nagy volt (13,0-14,7%), de jelentős variabilitást találtak a siker- (28-36%) és a rostanyagok közül az arabinoxilán tartalomban (14,6-20,3 mg/g). A legkiemelkedőbb populáció, mind fehérje-, mind arabinoxilán tartalom tekintetében a Magyarországon előállított ELIT-CCP populáció volt. Végeredményben a diverzitás minőség stabilizáló hatását állapítottuk meg illetve azt, hogy a 'low-input' rendszerekben a minőségstabilitás megbízhatóbb, mint ökológiai rendszerekben. Ezek az eredmények hosszútávon előnyösek lehetnek nem csupán a nemesítők, de a fogyasztók számára is.

A rostanyag tartalommal összefüggő QTL-ek azonosítása az Mv Toborzó/Tommi populáció felhasználásával, molekuláris markerek fejlesztése céljából

Megállapítottuk korábbi tanulmányokkal összhangban, hogy a vízdoldható arabinoxilán tartalom jól öröklődő tulajdonság és ezáltal alkalmas nemesítési célokra. A gabonafélék rostanyag tartalmának növelése azonban korlátokba ütközik, mivel a mai napig nem rendelkezünk szelekcióra alkalmas molekuláris markerekkel, a biokémiai szelekció pedig időigényes és költséges. Vizsgáltuk ezért az Mv Toborzó és a Tommi keresztezéséből származó 240 törzset tartalmazó Mv Toborzó/Tommi RIL populációban a rostanyag tartalom diverzitását a célból, hogy QTL-eket, majd molekuláris markereket azonosítsunk, ami megkönnyítheti a búzanemesítők számára a szelekciós munkát. Mértük a β -glükán, a totál pentozán, a vízdoldható pentozán, a totál arabinoxilán és a vízdoldható arabinoxilán mennyiségét. Bár a Tommi és az Mv Toborzó szülők között nem találtunk a várakozásunknak megfelelő, jelentős különbséget ezen tulajdonságokban, a populáció törzseinek rostanyag tartalma a szülőkénél jóval szélesebb tartományt ölelt fel, amely megfelelő variabilitást biztosított a genetikai vizsgálatok elvégzéséhez. Mivel búzában elsősorban az arabinoxilán található meg nagyobb mennyiségben, és ismereteink ezzel a komponenssel kapcsolatban korlátozottabbak, mint a β -glükán esetén, ezért az arabinoxilán állt vizsgálataink középpontjában. Az 1B kromoszómán találtuk a legerősebb QTL-t az arabinoxilán tartalommal és összetétellel összefüggésben, különös tekintettel a vízdoldható frakcióra. További QTL-eket is azonosítottunk a 2A, 2D, 4D 3B, 5A és 6B kromoszómákon. Az 1B kromoszóma markerei közül a vízdoldható pentozán és arabinoxilán tartalommal és összetétellel (A/X) összefüggő markerek határozták meg a fenotípusos varianciát a legnagyobb mértékben. Míg az arabinoxilánok nagyobb mennyisége az Mv Toborzó szülői

fajtának köszönhető az additív hatás értékek alapján, addig az összetételre (R.) vonatkozó értékeket a Tommi fajta hatása növelte. Vizsgálatainkban a 6B kromoszómán azonosított marker szintén a WE pentozán tartalommal függött össze és a nagyobb rostanyag tartalmú Mv Toborzó növelte a hatást elsősorban a liszt esetén. Több tulajdonság illetve frakció együttes figyelembe vételével is azonosítottunk a rostanyag tartalommal összefüggő markereket az 1D, 3A, 4B és az 5B kromoszómákon. Esetünkben a 3A kromoszóma allélje, a liszt és a korpa arabinóz/xilóz arányával, azaz a TOT-AX összetételével (A/X) volt összefüggésben és az Mv Toborzó növelte a mennyiségét, míg az 5B kromoszóma allélje a TOT-AX mennyiségét határozta meg a korpában a Tommi nagyobb hatásával. Ismert, hogy a búza különböző frakcióiban eltérő az arabinoxilánok összetétele és tulajdonsága. Ezeket a tulajdonságokat más-más allélek határozhatják meg. Vizsgálatunkban el tudtuk különíteni, hogy a korpa arabinoxilán tulajdonságait a 2A (single és multi-trait) és 5B (multi-trait) kromoszóma markerei határozták meg, míg a liszt tulajdonságaira az 1B kromoszóma volt befolyással. Több kromoszómán találtunk olyan markereket, amelyeknél a rostanyag tartalomra a Tommi fajta hatása volt erősebb a nagy rostanyag tartalmú Mv Toborzó helyett. Ezek a markerek a 2D, 4D kromoszómákon helyezkedtek el. Ennek az lehet a magyarázata, hogy a markerek nagyon közel helyezkednek el a növényfejlődést és szemméretet meghatározó allélekhez (Rht1, Rht2, Ppd-D1 stb), amely arra utal, hogy a szemek beltartalmi összetételét nagymértékben befolyásolhatják a növényfejlődéssel összefüggő tényezők. Szükséges ezért egyrészt több év eredményeinek figyelembe vétele, másrészt a különböző típusú növényfejlődési géneket tartalmazó genotípusok elkülönített elemzése is alapvető fontosságú lesz a korrekt következtetések levonásához.

Tézisek

1. Kimutattuk, hogy lehetséges növelni a vízdoldható és/vagy oldhatatlan étkezési rost tartalmat fehér búzalisztben hagyományos nemesítéssel, anélkül hogy a termés vagy minőség között választanunk kellene. Átlagosan 42,37% növekedést értünk el a búzaszemek WE-AX és 24,09%-ot a TOT-AX tartalomban (liszt szárazanyagra vonatkoztatva). (1.)
2. A vízdoldható arabinoxilán mennyiségére és annak összetételére szignifikáns hatással volt a genotípus és így e tulajdonságok örökölhetősége is jelentős volt, így alátámasztottuk, hogy alkalmas szelekciós komponensek nemesítési célok elérésére. Mindemellett a TOT-pentozán örökölhetőségét jelentősen kisebbnek találtuk, mint a WE-pentozánét. (4.)
3. Szoros összefüggést találtunk a totál és a vízdoldható pentozán tartalom genetikai stabilitása között; a stabilabb TOT-pentozán tartalmú genotípusok WE-pentozán tartalma is stabilabb volt. (4.)
4. Búzapopulációk és fajtakeverékek vizsgálatával megállapítottuk, hogy a genetikai diverzitásnak minőség stabilizáló és rostanyag tartalmat stabilizáló hatása van, mely 'low-input' termesztési rendszerekben kifejezettebb, mint organikus rendszerekben. (2.)
5. 240 vonalat tartalmazó Toborzó/Tommi RIL populációban a rostanyag tartalommal összefüggő QTL-eket azonosítottunk. Az 1B kromoszómán találtuk a legerősebb QTL-t az arabinoxilán tartalommal és összetétellel összefüggésben, különös tekintettel a vízdoldható frakcióra. További QTL-eket is azonosítottunk a 2A, 2D, 4D 3B, 5A és 6B kromoszómákon. Több tulajdonság illetve frakció együttes figyelembe vételével pedig az 1D, 3A, 4B és az 5B kromoszómákon azonosítottunk markereket. (3.)
6. Vizsgálatunkban el tudtuk különíteni, hogy a korpa arabinoxilán tulajdonságait a 2A (single és multi-trait) és 5B (multi-trait) kromoszóma markerei határozták meg, míg a liszt tulajdonságaira az 1B kromoszóma volt befolyással. (3.)

Alkalmazás, alkalmazási lehetőség

A gabonafélék számos bioaktív komponenst tartalmaznak, köztük a rostanyagokat, amelyek előnyeit nem vagy csak részben használtuk ki eddig tudatosan. A fogyasztók többsége ugyanis a mai napig a fehér lisztből készült sütőipari termékeket preferálja, míg a teljeskiőrlésű lisztből készült termékek fogyasztása háttérbe szorul. Ezért is van különös jelentősége olyan gabonafélék előállításának, melyek lisztjükben tartalmazzák a megnövelt mennyiségű rostanyagot. Kutatási eredményeink így elsősorban a nemesítők munkáját hivatottak segíteni, majd az előállított rostanyagban gazdag liszttel rendelkező fajták a gazdák számára biztosítják olyan értéknövelt alapanyag előállításának lehetőségét, mely hozzájárulhat az egészségesebb sütőipari termékek előállításához. Ezek végső sorban a fogyasztók egészségesebb táplálkozásához járulnak hozzá és ezáltal egy egészségesebb társadalom kialakulásához.

Ezen túl az azonosított nagy rostanyag tartalommal összefüggő QTL-ek alkalmasak lehetnek olyan markerek fejlesztésére, amelyek hatékonyabbá, gyorsabbá és gazdaságosabbá tehetik ezen értéknövelt genotípusok szelekcióját, előállítását.

Közlemények

Tudományos folyóiratban megjelent, az értekezés alapját képező cikkek

1. K. Tremmel-Bede, L. Láng, K. Török, S. Tömösközi, Gy. Vida, P. R. Shewry, Z. Bedő, M. Rakszegi: Development and characterization of wheat lines with increased levels of arabinoxylan, *EUPHYTICA*, **2017** 213:(12) Paper 291. 15 p. IF: 1,626
2. K. Tremmel-Bede, P. Mikó, M. Megyeri, G. Kovács, S. Howlett, B. Pearce, M. Wolfe, F. Löschenberger, B. Lorentz, L. Láng, Z. Bedo, M. Rakszegi: Stability analysis of wheat populations and mixtures based on the physical, compositional and processing properties of the seeds *CEREAL RESEARCH COMMUNICATIONS*, **2016** 4:(4) pp. 694-705. IF: 0,515
3. A. Lovegrove, L. U. Wingen, A. Plummer, A. Wood, D. Passmore, O. Kosik, J. Freeman, R. A. C. Mitchell, M. Ulker, K. Tremmel-Bede, M. Rakszegi, Z. Bedő, M.-R. Petterant, G. Charmet, M. Leverington Waite, S. Orford, A. BurrIDGE, T. K. Pellny, P. R. Shewry and S. Griffiths: Identification of a major QTL and associated marker for high arabinoxylan fibre in white wheat flour, *PLOS ONE*, **2020** <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227826>
4. K. Török, M. Szentmiklossy, K. Tremmel-Bede, M. Rakszegi, S. Tömösközi: Possibilities and barriers in fibre-targeted breeding: Characterization of arabinoxylans in wheat varieties and the breeding lines, *JOURNAL OF CEREAL SCIENCE*, **2019** 86, 117-123 IF: 2,452.

Tudományos folyóiratban megjelent cikk

M. Rakszegi, P. Mikó, F. Löschenberger, J. Hiltbrunner, R. Aebi, S. Knapp, K. Tremmel-Bede, M. Megyeri, G. Kovács, M. Molnár-Láng, Gy. Vida, L. Láng, Z. Bedő: Comparison of quality parameters of wheat varieties with different breeding origin under organic and low-input

conventional conditions, *JOURNAL OF CEREAL SCIENCE*, **2016**, 69:pp. 297-305. IF: 2,223
Részvételi arány: 100%

Előadások

Tremmel-Bede Karolina, Török Kitti, Tömösközi Sándor, Vida Gyula, Karsai Ildikó, Rakszegi Marianna

Egy búza térképező populáció beltartalmi tulajdonságainak diverzitás vizsgálata.

XXV. Növénynevelési Tudományos Napok. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2019.03.06.-07. ISBN: 978-963-8351-45-6. (Szerk.: Karsai Ildikó)

Tremmel-Bede Karolina, Láng László, Török Kitti, Tömösközi Sándor, Vida Gyula, Shewry Peter R, Bedő Zoltán, Rakszegi Marianna

Nagy rostanyag tartalmú búza genotípusok előállítása és jellemzése

XXIV. Növénynevelési Tudományos Nap: Összefoglalók pp36-36. Konferencia helye, ideje: Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, Magyarország.

Proceedings

angol nyelvű

Tremmel-Bede K, Láng L, Bedő Z , Vida G, Rakszegi M. Identification and development of wheat lines with increased level of arabinoxylan In: Rapkova R , Copikova J , Sarka E (szerk.) Proceedings of the 12th international conference on polysaccharides-glycoscience .Konferencia helye, ideje: Prága , Csehország, 2016.10.19 -2016.10.21. (Czech Chemical Society) Prague: Czech Chemical Society, 2016. pp. 103-107. (ISBN:978-80-86838-59-3) - poszter

Bede K, Rakszegi M, Mikó P, Megyeri M, Láng L, Bedő Z. The identification of wheat genetic resources with high dietary fiber content In: Chable V , Goldringer I , Howlett SA , Barberi P , Mikó P , Mendes-Moreira PMR , Rakszegi M , Østergård H , Borgen A , Finckh MR , Pedersen T , Bocci R (szerk.) Diversity strategies for organic and low input agricultures and their food systems: Book of Abstracts. 155 p. Konferencia helye, ideje: Nantes, Franciaország, 2014.07.07 -2014.07.09.pp. 83-84. - poszter

Rakszegi M, Bede K, Mecha E, Bento da Silva A, Carbas B, Brites C, VazPatto MC, Bronze MR, Mendes-Moreira P, Aebi R, Hiltbrunner J, Windras C, Taupier-Letage B, Chable V. Diversity for quality in organic systems "soil to fork": GxExM effects on organoleptic, nutritional and end-use quality In: Chable V, Goldringer I, Howlett SA, Barberi P, Mikó P, Mendes-Moreira PMR, Rakszegi M, Østergård H, Borgen A, Finckh MR, Pedersen T, Bocci R (szerk.) Diversity strategies for organic and low input agricultures and their food systems: Book of Abstracts. 155 p. Konferencia helye, ideje: Nantes, Franciaország, 2014.07.07 -2014.07.09. pp. 71-73.- előadás

Rakszegi M, Kisgyörgy BN, Bede K, Lang L, Bedo Z. PRODUCTION OF WHEAT WITH ALTERED POLYSACCHARIDE CONTENT FOR HEALTHIER HUMAN CONSUMPTION In: Radmila Rápková (szerk.). Proceedings of the 9th International Conference on Polysaccharides-Glycoscience. Konferencia helye, ideje: Prague, Csehország, 2013.11.06 -2013.11.08. Prague: Institute of Chemical Technology, 2013. pp. 41-45. (ISBN:978-80-86238-58-6)-előadás

magyar nyelvű

Bede K., Rakszegi M , Mikó P , Megyeri M , Wolfe M , Howlett S , Löschenberger F , Láng L , Bedő Z Nagy rostanyag tartalmú búza génforrások azonosítása organikus nemesítési programokban In: Veisz Ottó (szerk.) Növény-nemesítés a megújuló mezőgazdaságban: XX. Növény-nemesítési Tudományos Nap. 522 p. Konferencia helye, ideje: Budapest , Magyarország , 2014.03.18 Budapest: MTA Agrártudományok Osztálya Növény-nemesítési Tudományos Bizottság, 2014. pp. 70-74. (ISBN:978-963-8351-42-5)- poszter

Némethné Kisgyörgy B , Bede K. , Láng L , Bedő Z , Rakszegi M. Magas amidon tartalmú búzatörzsek (*Triticum aestivum* L) nemesítése In: Veisz Ottó (szerk.) Növény-nemesítés a megújuló mezőgazdaságban: XX. Növény-nemesítési Tudományos Nap. 522 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2014.03.18 Budapest: MTA Agrártudományok Osztálya Növény-nemesítési Tudományos Bizottság, 2014. pp. 330-334. (ISBN:978-963-8351-42-5)- poszter

Rakszegi M, Bede K., Mikó P , Megyeri M , Kovács G , Hiltbrunner J , Löschenberger F , Láng L , Bedő Z. A búza nemesítési stratégiáinak összehasonlítása 'low-input' és organikus rendszerekben agronómiai és technológiai tulajdonságok alapján In: Veisz Ottó (szerk.) Növény-nemesítés a megújuló mezőgazdaságban: XX. Növény-nemesítési Tudományos Nap. 522 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2014.03.18 Budapest: MTA Agrártudományok Osztálya Növény-nemesítési Tudományos Bizottság, 2014. pp. 379-383. (ISBN:978-963-8351-42-5)- előadás

Rakszegi M , Mikó P , Megyeri M , Tremmel-Bede K. , Láng L , Kovács G , Lángné Molnár M Nemesítési és szántóföldi menedzsment stratégiák organikus és "low-input" körülményekre. In: Janda T (szerk.) III. ATK Tudományos Nap: A jövőt alakító Európai Unió agrárkutatói programok az MTA ATK-ban. 51 p. Konferencia helye, ideje: 2014.11.13 Martonvásár: MTA ATK, 2014. pp. 41-45. (ISBN:978-615-5387-03-6)- előadás

Konferencia absztraktok

angol nyelvű

Török K., Tremmel-Bede K., Szentmiklóssy M., Rakszegi M., Tömösközi S. The effects of genetic and environmental factors on arabinoxylan content of special Hungarian wheat lines. 2018. 7th International Dietary Fibre Conference, Hollandia.

Török K., Tremmel-Bede K., Rakszegi M., Tömösközi S. Investigation the variability of arabinoxylans in wheat varieties and breeding lines. In: LACC/IGW, 4th Latin American Cereals Conference, Book of Abstracts. 2018. pp. 127-127.

Török K., Tremmel-Bede K., Szentmiklóssy M., Gergely Sz., Rakszegi M., Tömösközi S. Arabinoxylans as main dietary fibre components in old Hungarian wheat landraces and in new lines. pp. 43-43. In EuroFoodChem XIX Conference Central Role of Food Chemistry within the Food Science. Budapest, Magyarország, Hungarian Chemical Society, 2017.

Tremmel-Bede K., Rakszegi M, Láng L, Bedő Z. Characterization of wheat genotypes with high dietary fiber content In: Breeding Research, Japanese Breeding Days . Konferencia helye, ideje: Kanazawa , Japán , 2016.03.21 -2016.03.22. Tokyo: p. 128.-poszter

Némethné Kisgyörgy B, Bede K, Kiss T, Sestili F, Lafiandra D, Láng L, Bedő Z, Rakszegi M. Development and characterization of high and low amylose wheat lines In: Weegels P, Tömösközi S, Auger F (szerk.) CEREALS&EUROPE SPRING MEETING: FINAL PROGRAMME. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2015.04.27 -2015.04.29. Budapest: Budapest University of Technology and Economics, p. 32.-poszter

Kitti Török, Karolina Tremmel-Bede, Marietta Szentmiklóssy, Szilveszter Gergely, Marianna Rakszegi, Sándor Tömösközi. Arabinoxylans main dietary fibre components in old Hungarian wheat landraces and in new lines In: Euro Food Chem XIX Conference: Central Role of Food Chemistry with in the Food Science. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2017.10.04 -2017.10.06. Budapest: Hungarian Chemical Society, p. 43. – előadás

Rakszegi M, Bede K, Mikó P, Howlett S, Pearce B, Wolfe M, Löschenberger F, Láng L, Bedő Z. Increasing the biodiversity of wheat for quality and nutrition In: Wheat – genetic improvement of end use quality, AAB Conference . Konferencia helye, ideje: Harpenden, Egyesült Királyság / Anglia, 2016.02.09 -2016.02.10. Warwick: Association of Applied Biologists, pp. 9-10.-előadás

Rakszegi M, Némethné Kisgyörgy B, Bede K, Láng L, Bedő Z. Altering the dietary fiber content of wheat flour by breeding to improve food nutritional value In: Brandstetter A, Geppner M, Grausgruber H (szerk.) Tagungsband der 66. Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, 23.-25. November, Raumberg-Gumpenstein. Konferencia helye, ideje: Raumberg-Gumpenstein, Ausztria, 2015.11.23 -2015.11.25. Tulln: Universität für Bodenkultur Wien, 2016. p. 21.(ISBN:978-3-900932-36-7)-előadás

Rakszegi M, Némethné Kisgyörgy B, Bede K, Láng L, Bedő Z. Quality-oriented wheat breeding targets in Hungary. In: Shewry PR (szerk.) Wheat Breeding2014: Tools, targets & progress. Konferencia helye, ideje: Harpenden, Egyesült Királyság / Anglia, 2014.01.29 -2014.01.30. Association of Applied Biologists, pp. 19-20.-előadás

Rakszegi M, Németh-Kisgyörgy B, Bede K, Láng L, Bedő Z. Production of wheat with altered polysaccharide content for healthier human consumption. **CHEMICKE LISTY** 107:(9) p. 743. (2013). előadás

Karolina Bede, Péter Mikó, Mária Megyeri, Géza Kovács, Mariann Rakszegi: Comparison of the varieties, growing sites and crop management systems based on the physical and breadmaking quality traits of cereals. Shaping the future of agriculture: The role of diversity in low-input and organic cropping systems SOLIBAM Stakeholder congress April 19 and 20, 2012 San Nilo Abbey (Grottaferrata-Rome Italy)

magyar nyelvű

Tremmel-Bede K, Rakszegi M, Láng L, Bedő Z. Nagy rostanyag tartalmú búza genotípusok jellemzése In: Veisz Ottó (szerk.) XXI. Növénynevelési Tudományos Napok: Összefoglalók, 155 p. Konferencia helye, ideje: Martonvásár, Magyarország, 2015.03.11 -2015.03.12. Martonvásár: MTA ATK, 2015. p. 132.(ISBN:978-963-8351-43-2)- poszter

Ismeretterjesztő cikkek

Bede K, Rakszegi M. Gabona és egészség: Számos hiánybetegség megelőzését segítenék a tartalmasabb magok, termékek *AGRÁRÁGAZAT* 7:(1) pp. 52-54. (2016)

Mikó P, Rakszegi M, Tremmel-Bede K, Megyeri M. Búzanemesítési stratégiák ökológiai és low-input gazdálkodásra *BIOKULTÚRA* 27:(2-3) pp. 20-22. (2016)

Rakszegi M, Tremmel-Bede K. Régi magyar búzafajták újrahasznosítása nemesítéssel *AGRÁRÁGAZAT* 17:(4) pp. 36-40. (2016)

Rakszegi M, Bede K, Mikó P, Megyeri M, Lángné Molnár M, Láng L, Bedő Z. Organikus és 'low-input' nemesítés hatása a búza minőségére *MARTONVÁSÁR* 25:(1) pp. 10-12. (2013)