

SZEMLE

Review

Az amilóz/amilopektin arány hatása a búza feldolgozóipari minőségére

RAKSZEGI MARIANNA

MTA Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet,
Kalászos Gabona Nemesítési Osztály, Martonvásár

Összefoglalás

A keményítő a búzaszem azon komponense, mely a legnagyobb mennyiségben (65–70%) van jelen. Feldolgozóipari tulajdonságokra kifejtett hatását sokáig nem ismerték fel, mára azonban már ismert, hogy komponenseinek, azaz az amilóznak és az amilopektinnek a mennyiségi aránya (Am/Amp) alapvetően meghatározza egyes élelmiszeripari termékek tulajdonságait. Míg a kis amilóz tartalom az élelmiszerek eltarthatóságának javításával fejt ki pozitív hatását az élelmiszeriparban, a nagy amilóz tartalom, az emésztésnek ellenálló keményítő mennyiségének növelésével, az élelmiszerek rostanyag tartalmát javítja, és ezáltal hozzájárul az egészségesebb humán táplálkozáshoz. A kis amilóz tartalmú keményítő (waxy) vizsgálatáról számos publikáció született már, korlátozott azonban a nagy amilóz tartalmú búzakeményítő tulajdonságait és felhasználhatóságát tárgyaló irodalom. Az alábbiakban célul tűztük ki a waxy és nagy amilóz tartalmú búzakeményítő összehasonlítását és annak vizsgálatát, hogy az Am/Amp arány milyen hatással van a végtermékek minőségére.

Kulcsszavak: waxy, amilóz, keményítő, búza, feldolgozóipari minőség

The effect of amylose/amilopectin ratio on wheat processing quality

M. RAKSZEGI

Centre for Agricultural Research, Agricultural Institute,
Hungarian Academy of Sciences, Cereal Breeding Department, Martonvásár

Summary

Starch is the component of the wheat grain that is present in the highest quantity (65–70%). Its effect on the processing quality was unknown for a long time, but for today it is known, that the quantitative ratio of its components, the amylose and the amilopectin (Am/Amp), basically determines the properties of certain food products. While the low amylose content have the positive effect of improving food shelf-life in food industry, high-amylose content of starch increases the dietary fiber content of food by the increased quantity of resistant starch, which finally contribute to healthier human consumption. Several publications have already been existed on low-amylose starches (waxy), but only limited studies could be found on the properties and possible applications of high-amylose starches. The aim of this paper is to compare the waxy and high-amylose starches and to study the effect of the amylose/amilopectin ratio on the end-use quality of the food products.

Key words: waxy, high-amylose, starch, wheat, processing quality

Влияние соотношения амилозы и амилопектина на качество пшеницы в перерабатывающей промышленности

М. РАКСЕГИ

Венгерская Академия Наук (МТА АТК), Институт Сельского Хозяйства,
Отдел Селекции Колосковых, Мартонвашар

Резюме

Крахмал- присутствующий в наибольшем количестве (65–70%) компонент зерна пшеницы. Долгое время не признавали его влияние, оказываемое на свойства в пе-



perabatyvayoyshy promyshlennosty, no segodnya uye priznayut, chyto ego komponenty, t.e.kolichestvennoye sootnosheniye amillozy i amilopektina (Am/Amp) v osnovnom opredelyayet svoystva otdelnykh pishchevyykh produktov. Maloye sodержaniye amillozy okazывает pozitivnoye vliyaniye na uluchsheniye sroka khraneniya pishchevyykh poduktov, bolshoye sodержaniye amillozy, s uvelicheniym protivostoyashchego pishchevareniyu kolichestva krahmala, uluchshayet sodержaniye kletchatky produktov i etim sposobstvuyet boleye zdorovomu pitaniyu lyudey. Uye ponyavilos' mnogo publikatsiy ob issledovaniy malosodержashchego amillozu krahmala (waxy), no literatúra, opisyvayushchaya svoystva i ispol'zovaniye mnogosodержashchego amillozy pshenichnogo krahmala, ograniчена. V rabote postavili tsel'yu sravnyty vaksy i mnogo amillozy sodержashchego krahmala pshenitsy i issledovaty kakoye vliyaniye imyet sootnosheniye amillozy i amilopektina (Am/Amp) na kayestvo produktov.

Ключевые слова: ваксы (waxy), амилоса, крахмал, пшеница, kayestvo v pererabayvayushchey promyshlennosty

Bevezetés

A keményítő a búzaszem meghatározó komponense, az endospermiumban a legnagyobb mennyiségben megtalálható poliszacharid. Tartalék tápanyagként fontos szerepet kap a szem csírázási folyamatiban, a liszt alkotóelemeként pedig befolyásolja az élelmiszeripari termékek megjelenését, szerkezetét és minőségét. A keményítő fő komponensei az amilóz és az amilopektin, glükóz polimerek, melyek közül az amilóz 25–28%-ban míg az amilopektin 72–75%-ban van jelen a keményítőben. Az amilóz frakció szintéziséért a keményítőhöz kötött keményítő szintáz enzim (GBSS, granule-bound starch synthase) izoformjai felelősek. Az amilopektin szintézise ennél összetettebb, szintézisében a keményítő szintáz (SS), a branching (BE) és de-branching (DBE) enzimek egyaránt részt vesznek. Szerkezetét tekintve az amilóz egy lineáris molekula, mely α -(1,4)-kötésekkel összekötött D-glükopiranozil egységekből épül fel, a polimerizáció foka 500–6000 glükóz egység. Ma már az is jól ismert, hogy az amilóz molekulák egy része el is ágazik α -(1,6)-kötésekkel (*Hizukuri et al.* 1981, *Shibanuma et al.* 1994). Az amilózzal ellentétben az amilopektin egy nagyon nagyméretű, erősen elágazó láncmolekula, $3 \cdot 10^3$ -tól $3 \cdot 10^6$ glükózegységig terjedő polimerizációs fokkal. A molekula α -(1,4)-kötésű lánchoz kapcsolódó,

α -(1,6)- kötésekkel elágazó D-glükopiranozil egységeket tartalmaz (Zobel 1988). Az amilóz/amilopektin arány megváltozása a keményítőszemcse szerkezetének és fiziko-kémiai tulajdonságainak valamint a végtermék minőségének a megváltozását eredményezi. A waxy búza eredetét, tulajdonságait és felhasználását széleskörűen tanulmányozták már (Nakamura et al. 1995, Yasui et al. 1996, Hayakawa et al. 1997, Kiribuchi-Otobe et al. 1997, Yasui et al. 1997, Fujita et al. 1998, Abdel-Aal et al. 2002, Morita et al. 2002a, Graybosch et al. 2003, Hayakawa et al. 2004). Ezzel szemben csak néhány tanulmány foglalkozik a nagy amilóz tartalmú búza tulajdonságaival és alkalmazásaival (Yamamori et al. 2000, 2006, Morita et al. 2002a, Vrinten et al. 2012). Vita tárgyát képezi még ezen túl a genetikailag módosított búzakeményítő szerkezete és fiziko-kémiai tulajdonságai közötti összefüggés (Araki et al. 2000) valamint az amilóz/amilopektin arány élelmiszeripari termékek tulajdonságaira kifejtett hatása is. Génforrásként kukorica, árpa, rizs és búza mutáns vonalai között azonosítottak olyan genotípusokat, melyek nagy amilóz- (akár 70%) vagy nagy amilopektin- tartalommal (waxy keményítő 99–100%) rendelkeznek. Ezek, és más génforrások felhasználásával amilózmentes waxy és nagy amilóz tartalmú búzát elsősorban Japánban állítottak elő, de más országokból is vannak eredmények (Nakamura et al. 1995, Kiribuchi-Otobe et al. 1997, Yasui et al. 1997, Yamamori et al. 2000, Sestili et al. 2010, Botticella et al. 2011, 2012, Slade et al. 2012). Az előállított búzatörzsek többsége azonban még nem került kereskedelmi forgalomba Európában, annak ellenére, hogy már számos publikáció és szabadalom született a laboratóriumi vizsgálatok eredményeként.

A búzakeményítő szintézise

Búzában többféle fehérje kötődik szorosan a keményítő szemcsék felületéhez, melyek felelősek a keményítő szintéziséért (Graybosch 1998, Araki et al. 2000, Yamamori et al. 2000). A waxy búzafehérjék (GBSS - granule bound starch synthase) három izoformját azonosították 2D-SDS-PAGE-val (Nakamura et al. 1993). Ezek, az amilóz szintéziséért felelős enzimek három homológ waxy lókuszon kódoltak (Wx-A1, Wx-B1 és Wx-D1), sorban a 7AS, 4AL és 7DS kromoszómákon helyezkednek el, molekulatömegük 60.1, 59.2 és 59 kDa (Nakamura et al. 1993, Fujita et al. 1996, Chao et al. 1989). A GBSS fehérje jelenléte fajtától függően változó tulajdonság. A Wx-A1 null allél japán, koreai és török fajták-

ban gyakori, míg a Wx-B1 null allél nagy gyakorisággal fordul elő ausztrál fajtákban, a Wx-D1 null allélt pedig csak egyetlen kínai fajtában (Bai-Huo) azonosították ezidáig. A különböző null allélt tartalmazó fajták vizsgálatával megállapították, hogy a Wx-null allélok jelenléte és a fajták amilóz tartalma szorosan korrelál egymással (Miura és Tani 1994), de az egyes waxy gének hatása az amilóz tartalomra különböző mértékű. Így, a Wx-B1b allél hiánya csökkenti a legnagyobb mértékben az amilóz tartalmat, míg a Wx-A1b és a Wx-D1b allélok hatása ennél kisebb (Miura et al. 1994, Miura és Sugawara 1996). Ezzel ellentétben, a vad-típusú Wx-B1a allél hatása a legintenzívebb az amilóz szintézisére, míg a Wx-D1a és a Wx-A1a alléloké sorban egyre kisebb (Miura et al. 1999). A világ első waxy búzáját Nakamura et al. (1995) állították elő Japánban, a Wx-D1 null allélt tartalmazó BaiHuo és a Wx-A1+Wx-B1 null Kanto107 hagyományos hibridizációjával. Ennek eredményeként született meg az a genotípus, mely nem tartalmazza a GBSS egyetlen izoformját sem és nem tartalmaz amilózt sem. Később, két további módszert is alkalmaztak a waxy búza előállítására. Yasui et al. (1997) két waxy vonalat azonosítottak a dupla null Kanto 107 mutagén etil-metán-szulfonáttal (EMS) történő kezelése után, míg Kiribuchi-Otobe et al. (1997) öt waxy vonalat azonosítottak egy dihaploid nemeseítési programban, ahol a kis amilóz tartalmat mutáns vonalból próbálták meg átvinni jól adaptálódó fajtába. Később azonosítottak még egy fehérjét (SGP – starch granule protein) (Yamamori és Endo 1996), mely a búzakeményítő, pontosabban az amilopektin szintézisében vesz részt. Ennek a fehérjének szintén három izoformja létezik (SGP-1, -2, -3), melyek sorban, 100–105, 90 és 77 kDa nagyságúak (Denyer et al. 1995). Immunoblottolás alapján megállapították, hogy az SGP-1 kizárólag keményítőszemcsékhez kötött formában fordul elő (Denyer et al. 1995, Rahman et al. 1995, Li et al. 1999). Az immunoblottolás, aminosav szekvenálás és az enzimaktivitás mérése alapján pedig arra a következtetésre jutottak, hogy a búza SGP-2 enzime a kukorica IIB branching enzimével (Fisher et al. 1993), míg az SGP-3 allél a kukorica I típusú keményítő szintázával homológ (Knight et al. 1998). Yamamori et al. (2000) számoltak be először olyan nagy amilóz tartalmú búza mutáns vonalak előállításáról, melyekben az SGP-1 hiánya növelte a látszólagos amilóz tartalmat miközben az amilopektin mennyisége változó volt. Mindez azt bizonyítja, hogy az SGP-1 null mutáns gén jelenléte megnöveli a keményítő tulajdonságainak variabilitását búzában.

A keményítő tulajdonságai

A keményítőszemcsék szerkezetét úgy írhatjuk le, mint amorf és félkristályos váltakozva növekvő koncentrikus gyűrűket, melyeknek sugárirányú összvastagsága 120–400 nm (*French 1984, Donald et al. 1997, Buléon et al. 1998*). Az amorf részek sűrűsége kisebb, amilózt és talán rendezetlen amilopektint tartalmaznak, míg a félkristályos gyűrűkben 9–10 nm vastagságú amorf és kristályos lamellák váltogatják egymást. Ez utóbbi párhuzamosan rendeződött amilopektin kettős hélixekből áll, míg az előbbi elágazásos amilopektint (és talán kis mennyiségű amilózt) tartalmaz (*Jenkins et al. 1993*). A waxy búza hasonló amilopektin szerkezettel rendelkezik, mint a normál, nem-waxy búza, és nincs alapvető különbség a lánchossz eloszlásában és az amilopektin láncok polimerizációjának fokában sem (*Yasui et al. 1996, Hayakawa et al. 1997*). A röntgen diffrakciós vizsgálat azt is kimutatta, hogy a waxy keményítő A-típusú kristályokat is tartalmaz és a kristályosodás foka nagyobb, mint a normál búzakeményítőben (*Fujita et al. 1998*). Ehhez képest a nagy amilóz tartalmú búza keményítő (SGP-1 null) szignifikánsan eltérő keményítő szerkezettel rendelkezik. A rövid láncú amilopektin molekulák (DP13-24) mennyisége nagyobb, míg a DP11-25 hosszú láncok száma kisebb a nagy amilóz tartalmú búzakeményítőben. Ez az eredmény arra utal, hogy az SGP-1 B1 láncokat szintetizál (DP6-10) A típusú láncokból (DP13-25). A röntgen diffrakciós mintázat azt is kimutatta, hogy az SGP-1 null keményítő nem ad főcsúcsot. A két főcsúcs hiánya az eltérő amilopektin szerkezet hatása lehet, mely a keményítő kristályosságát csökkenti (*Yamamori et al. 2000*). A waxy és a nagy amilóz tartalmú keményítő termikus tulajdonságai Differencial Scanning Calorimetry (DSC) módszerrel mérve szintén szignifikánsan különböző, de fajtára jellemző képet mutat. A nagy amilóz tartalmú keményítő esetén két endoterm csúcs jelenik meg a normál búzakeményítőhöz hasonlóan: az első csúcs a keményítő gélesedésekor keletkezik, míg a másik az amilóz-lipid komplexek felbomlásával hozható összefüggésbe (*Eliasson 1980*). A waxy keményítő csak egy csúcsot ad a gélesedéskor, amilóz-lipid kölcsönhatás tehát nem jön létre. A nagy amilóz tartalmú búzakeményítő gélesedési hőmérséklete és entalpiája szignifikánsan alacsonyabb, míg a waxy keményítőé szignifikánsan nagyobb a normál búzáénál. (*Yasui et al. 1996, Hayakawa et al. 1997, Fujita et al. 1998*). Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a waxy búzakeményítő a nagymértékű kristályosodás és a túlsúlyban levő amilopektinnek köszönhetően nagyobb energiát

igényel a gélesedéséhez. Ezzel együtt azonban a waxy búzakeményítő a tárolás közbeni lebomlásnak jobban ellenáll. Három hetes tárolási idő alatt, a waxy búzakeményítő gél entalpiája alig változik, míg a normál búza keményítő géleké duplájára emelkedik (*Hayakawa et al.* 1997).

A liszt összetétele és tulajdonságai

A búzaliszt fő összetevői a keményítő (70–75%), a víz (12–14%), a fehérje (8–16%) és más minor komponensek, a nem-keményítő alapú poliszacharidok (2–3%), a lipidek (2%) és a hamu (1%). A búzaliszt minősége függ ezen összetevők mennyiségétől és tulajdonságaitól, melyek eltérhetnek az egyes fajtákban. A waxy- és a nagy amilóztartalmú- búzaliszt nagy fehérje, hamu, lipid, és rostanyag tartalommal rendelkezik a normál genotípusokhoz képest. Különösen meghatározó, nagy rostanyag tartalom jellemzi a nagy amilóz tartalmú genotípusokat (*Morita et al.* 2002a). A búzalisztben, a keményítő van jelen a legnagyobb mennyiségben az összetevők közül, és különösen fontos szerepet játszik a búzaliszt csirizedési/gélesedési tulajdonságainak kialakításában. Általánosságban, az alacsonyabb amilóz tartalom nagyobb csúcsviszkozitást eredményez és ezt követően a keményítő lebomlása is lassabb lesz. Néhány génmódosított fajta esetén azonban előfordul nagy amilóz tartalom mellett is nagy csúcsviszkozitás érték (*Miura et al.* 1994). Nagy duzzadási képességű, nagy csúcsviszkozitású, alacsony gélesedési hőmérsékletű és nagy görbeletörésű búzaliszt jó minőségű 'white-salted-noodle' előállítására alkalmas (*Oh et al.* 1985, *Crosbie* 1991, *McCormick et al.* 1991, *Konik et al.* 1992). Emellett az amilóz kisebb mennyisége gátolja a kenyér romlását is (*Lee et al.* 2001, *Morita et al.* 2002b). A waxy búzalisztnek a nagy csúcsviszkozitás mellett szignifikánsan alacsonyabb a csirizedési hőmérséklete is (*Abdel-Aal et al.* 2002, *Morita et al.* 2002a), mely azt jelzi, hogy a waxy búzalisztben található keményítő gyorsan gélesedik és nagy a viszkozitása. Ezzel ellentétben *Hayakawa et al.* (1997) azt állapították meg, hogy a waxy búzakeményítő csúcsviszkozitása és a görbe emelkedése sokkal kisebb, mint a normál búzáé. *Araki et al.* (2000) valamint *Graybosch* (1998) vizsgálatai magyarázatot adhatnak erre az ellentmondásra. Szerintük a waxy keményítő csirizedési/gélesedési tulajdonságait a waxy lókuszon keletkező null mutációk befolyásolják. A Wx-B1b allél hatására kialakult nagyobb csúcsviszkozitás és görbeletörés értékek nem voltak egyértelműen megállapíthatóak, ugyanakkor a Wx-A1 fehérje jelenléte

vagy hiánya jelentős variabilitást eredményezett a csúcs és a görbeletörés viszkozitás értékeiben. Megállapították továbbá, hogy a Wx-A1b hatása sokkal kisebb volt, mint a Wx-B1b allélé, továbbá, hogy a Wx-D1b null allél jelenléte nagyobb viszkozitás értékeket eredményezett, mint a vad-típusú Wx-D1a-é. A búzaliszt gélesedési tulajdonságait az α -amiláz aktivitás is befolyásolja, jelenléte csökkenti a csúcs és a végső viszkozitás értékét (Hung *et al.* 2004, 2005a). A nagy amilóz tartalmú búzaliszt csirizesedési hőmérséklete jóval kisebb, míg a csúcsviszkozitás elérésekor a hőmérséklete szignifikánsan nagyobb, a csúcsviszkozítása pedig szignifikánsan kisebb a waxy és a normál búzaliszténél (Yamamori *et al.* 2006, Park *et al.* 2013).

A tészta tulajdonságai

A liszt minőségét a tészta tulajdonságai is jellemzik, ennek készítése az egyik fő köztes lépés a késztermék (noodle, kenyér, keksz stb.) előállításának folyamatában. A különböző búzaliszt komponensek tésztakialakulásban betöltött szerepét több szemle is tárgyalja (Dobraszczyk és Morgenstern 2003, Goesaert *et al.* 2005). A tészta reológiai tulajdonságait, dagasztási igényét a sikérfehérjék mennyisége és minősége határozza meg. Az erős búzalisztek nagy fehérje tartalommal és jó sikerminőséggel eredményeznek megfelelő tészta tulajdonságokat, vagyis nagy vízfelvételt, farinográfus tészta-stabilitást és ellenálló képességet valamint Extenzográfus nyújthatóságot (Hung *et al.* 2005a). A puhaszemű, kis fehérjetartalmú, gyengébb sikerminőségű búzalisztból készült tészta ugyanakkor kisebb vízfelvétellel, tészta-stabilitással és -rugalmassággal rendelkezik (Hung és Morita 2004). A keményítő a tésztában natív állapotban van jelen és akár 46% vizet is megköt tésztakészítés során (Goesaert *et al.* 2005), tészta kialakulásban betöltött szerepe azonban még nem tisztázott, úgy ahogy az amilóz/amilopektin arányé sem. Ezen túlmenően egyéb komponensek, mint a lipidek és a nem-keményítő alapú poliszacharidok, szintén hatással vannak a tészta tulajdonságaira (Goesaert *et al.* 2005). A waxy és a nagy amilóz tartalmú búzalisztból készült tészta szignifikánsan nagyobb vízfelvétellel rendelkezik, mint a normál búzaliszt, mely a nagy mennyiségű fehérje és rostanyag tartalomnak köszönhető (Morita *et al.* 2002a). A waxy és nagy amilóz tartalmú búzalisztek a puhaszemű típushoz hasonlóan kisebb tésztastabilitással rendelkeztek (Morita *et al.* 2002a, Graybosch *et al.* 2003, Hung *et al.* 2005b). A waxy búzát ragadósabb, kevésbé erős siker és tészta jellemzi, mint



a normál búzát, miközben a nagy amilóz tartalmú búzaliszt erősebb és viszkózusabb tésztát ad (*Morita et al. 2002a, Hung et al. 2005b*). A waxy és a nagy amilóz tartalmú búzából készült tészta megjelenése scanning elektron mikroszkóppal is különböző. A nagy amilóz tartalmú búza lisztje durvább szemcsés szerkezetű, mint a waxy vagy normál genotípusoké. A fehérje-mátrix a waxy és a nagy amilóz tartalmú búzaszemben szabálytalan, vagyis nem-folytonosan veszi körbe a keményítőszemcséket. Ezt az eredményt a nagy amilóz tartalmú búzalisztben a nagyobb rostanyag tartalom okozhatja. Ebből következően tehát a waxy és a nagy amilóz tartalmú búza lisztjéből készített tészta gyengébb tulajdonságait a fehérjék minősége és/vagy a magas rostanyag tartalom együttesen határozzák meg. A waxy és a nagy amilóz tartalmú búza genotípusok fehérje összetételének és minőségének valamint rostanyag tartalmának részletes jellemzői azonban még nem ismertek. Ezek megismeréséhez a végtermékek minőségének vizsgálata is szükséges.

Sütőipari minőség

A kenyér egy szivacsos, rugalmas búza-alapú termék, szilárd része részben keresztköttött sikér molekulák rugalmas hálójából, részben, pedig felbomlott keményítő polimer molekulákból, elsősorban amilózból áll. Az amilóz poláris lipid molekulákkal komplexet alkotva vagy önmagában fordul elő ebben a mátrixban (*Grey és BeMiller 2003*). A sikérminőség és a keményítő tulajdonságok fontos szerepet játszanak a kenyér szerkezeti tulajdonságainak, textúrájának a kialakításában, de ezen túl az olyan minor komponenseknek is van hatásuk, mint a lipidek vagy a rostanyagok. Mint azt korábban említettük, a waxy és a nagy amilóz tartalmú lisztek minősége gyengébb, míg fehérjetartalmuk nagyobb, mint a normál genotípusoké. A waxy és a nagy amilóz tartalmú tészta gyenge erőssége rossz kenyérminőséget eredményez, mely nem alkalmas fogyasztási célokra (*Morita et al. 2002a*). A nagy amilóz tartalmú búzából készült kenyér térfogata szignifikánsan kisebb, míg a waxy genotípusé kicsit nagyobb, mint a normál búzaliszté. Waxy búzakeményítő arányának növelésével a kenyérbélzet szerkezete porózusabbá válik mivel az α -amiláz számára emészthetőbb komponensek jelenléte nagyobb mennyiségű gáz termelődését eredményezik. A tészta gázvisszatartó képessége ugyanakkor kisebb, mint normál genotípusoké (*Lee et al. 2001*), ennél fogva nagy amilopektin tartalom mellett nem tudjuk megbecsülni a kenyér minőségét, mivel azt a fehér-



jék minősége és a liszt egyéb komponensei is befolyásolják. Megállapították, hogy a keményítő lebomlása valószínűleg a fő oka a kenyérbélzet romlásának (Hug-Iten et al. 1999), de az még sokáig vitatott kérdés volt, hogy az amilóz vagy az amilopektin-e a keményítő azon komponense, mely leginkább hozzájárul ehhez a romláshoz (Grey és BeMiller 2003). Számos tanulmány foglalkozik ezzel a kérdéssel, melyekben waxy keményítőt használnak fel az amilóz/amilopektin arány megváltoztatására (Ghiasi et al. 1984, Lee et al. 2001, Bhattacharya et al. 2002, Morita et al. 2002b, Hayakawa et al. 2004). Ezekben a tanulmányokban megállapították, hogy a waxy búzakeményítő bekeverésével a kenyérbélzet több nedvességet tart meg, a kenyér romlása gátolt, és ezzel a fogyaszthatóság élettartama nő. Morita et al. (2002a) megállapították, hogy a waxy búzalisztból készült kenyér bélzete szignifikánsan puhább, mint a nagy amilóz tartalmú és a normál búzalisztból készült kenyéré hét napos tárolás után és újramelegítés után is. A waxy búzaliszt hozzájárul továbbá ahhoz, hogy puha, viszkózus és ragadós kenyérbélzet jöjjön létre, mely a japán fogyasztók által nagyon kedvelt. Ily módon tehát, a waxy keményítő sütőipari alkalmazásának előnye, a kenyér romlásának lassítása és élettartamának meghosszabbítása, valamint egy olyan újfajta szerkezetű kenyér létrehozása, mely puha, viszkózus és ragadós kenyérbélzettel rendelkezik. A jó minőségű végtermék előállítására alkalmas, optimális amilóz/amilopektin arányt ezidáig még nem állapították meg. Megállapították azonban, hogy 20%-nál kevesebb waxy búzaliszt bekeverése a kenyérélettartam jelentős mértékű megnövekedését eredményezi, nagyobb waxy keményítő tartalom (50%-ig) azonban kisebb kenyértérfogatot és sokkal porózusabb kenyérszerkezetet eredményez valamint a hagyományos búzánál nagyobb mértékű keményítő lebomlást (Lee et al. 2001, Hayakawa et al. 2004). Ha részlegesen, 40%-ban helyettesítjük waxy búzaliszttal a normál típust, akkor nagyobb kenyértérfogatot és ragadósabb szerkezetű kenyeret kapunk (glutinous) (Morita et al. 2002b). Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a búzaliszt max. 40%-a helyettesíthető waxy búzaliszttal a sütőipari termékek előállításakor. Hasonlóképpen, a nagy amilóz tartalmú búzalisztnak is egyedi tulajdonságai vannak, rostanyag tartalmának és az emésztésnek ellenálló rezisztens keményítő (RS) mennyiségének köszönhetően jó hatása van az emberi egészségre (Brown et al. 2001, Topping és Clifton 2001, Slavin 2002). Élelmiszeripari termékek előállítására az egyik legkedveltebb alapanyagforrás a nagy amilóz tartalmú kukoricakeményítő (Eerlingen et al. 1994, Thompson 2000). Bár a nagy amilóz tartalmú búzaliszt önmagában gyenge tészta- és sütő-

ipari minőséggel rendelkezik, megfelelő arányú bekeverésével javítható a hagyományos búzaliszt néhány táplálkozástani és funkcionális tulajdonsága. *Hung et al.* (2005b) szerint a kenyér térfogata és keménysége nem változik szignifikánsan, ha max. 50%-ban adagoljuk a nagy amilóz tartalmú búzalisztet, ugyanakkor a kenyér rostanyag tartalma és a rezisztens keményítő mennyisége megnő. Mindez azt bizonyítja, hogy a nagy amilóz tartalmú búzaliszt max 50%-ban helyettesítheti a normál búzalisztet anélkül, hogy az a kenyérminőség rovására menne, ugyanakkor a rostanyag tartalmat növelje. Hasonlóképp a waxy búzaliszttek sem használhatók önmagukban kenyérbélesztésre, bekeverésük azonban a végtermékek eltarthatóságát javítja, textúráját és egyes funkcionális tulajdonságait pedig módosítja.

Tésztaipari minőség

Az egyik legfontosabb tartós étel sok ázsiai országban a metélt (noodle) tészta, melynek minősége és típusa rendkívül sokféle lehet nyersanyagtól és gyártási módszertől függően. A puha és rugalmas étkezési minőséggel rendelkező, japán 'white salted noodles' (udon) puhaszemű búzából készül, míg a kínai típusú kemény és rugalmas szerkezetű 'ramen' és 'yellow alkaline noodle' tésztaféléket keményszemű búzából és hajdina lisztből állítják elő (*Nagao* 1996). A tésztafélék étkezési tulajdonságaira a búzakeményítő- és a liszt-minőség egyaránt szignifikáns hatással vannak. A japán és a koreai 'white salted noodle' előállításához nagy csúcsviszkozitású és görbeletörésű, alacsony gélesedési hőmérsékletű, nagy duzzadóképeségű keményítő szükséges (*Crossbie et al.* 1991, *Panozzo és McCormick* 1993, *Endo et al.* 1988). *Oda et al.* (1980) szerint az alacsonyabb amilóz tartalom (waxy) nagyobb keményítő duzzadást eredményez és jobb minőségű 'white salted noodle' tésztaféle előállítását teszi lehetővé (*Miura és Tanii* 1994, *Wang és Seib* 1996, *Jane et al.* 1999, *Noda et al.* 2001.). A kínai 'yellow alkaline noodle' előállításához ugyanakkor kis csúcsviszkozitású keményítő szükséges (*Miskelly és Moss* 1985, *Akashi et al.* 1999). Lisztkeverékek vizsgálatakor a keményítő amilóz tartalma pozitívan korrelált a főtt tészta keménységével, és negatívan a tapadóságával (*Yamamori et al.* 2000, *Guo et al.* 2003.). A lisztkeverék fehérje tartalma ugyanakkor negatívan korrelált a főtt tészta keménységével, ami azt mutatja, hogy a nagy fehérje tartalmú lisztből jó minőségű 'white salted noodle' állítható elő kis amilóz tartalom mellett (*Baik és Lee* 2003, *Chibbar és Chakraborty* 2005). Az ázsiai 'white

Nincs a jegyzékben.

salted noodle' előállításához a liszt optimális amilóz tartalma 21–24% (*Baik és Lee 2003, Guo et al. 2003*), ennél fogva hagyományos keményszemű búza lisztjét keverik waxy búza lisztjével, hogy csökkentsék az amilóz tartalmat. A nagy amilóz tartalmú liszteknek alacsony a csúcsviszkozitása, ezért jó minőségű 'yellow alkaline noodle' előállítására alkalmasak. Tapasztalatok szerint, amennyiben a kanadai 'Western Red Spring' búza lisztjét 50%-ban keverjük nagy amilóz tartalmú búza lisztjével, úgy a durum tészta szerkezeti tulajdonságaihoz hasonló tésztát kapunk (*Morita et al. 2003*). Összetételét tekintve ez a tészta azonban a nagy amilóz tartalom miatt, nagy rostanyag tartalommal is rendelkezik, ezért valójában 'Yellow alkaline noodle' tészta előállítására csak korlátozottan használják. A nagy amilóz tartalmú búzaliszt alkalmazási lehetőségeinek megállapítása továbbra is kutatás tárgyát képezi.

A waxy és a nagy amilóz tartalmú búzakeményítő módosítása

A keményítő fontos szerepet játszik számos élelmiszeripari termék texturájának kialakításában és az emberi szervezet számára is fontos energiaforrás. Néhány esetben, a natív keményítő nem rendelkezik azokkal a tulajdonságokkal, mely az élelmiszeripari feldolgozás, például a sűrítés és a stabilizáció során fontos lenne. Ebből következően az élelmiszeripar módosított keményítőt használ acélból, hogy a feldolgozás és a tárolás során a keményítő lebomlásából fakadóan ne változzon meg a termék állaga és külső megjelenése. A kereskedelmi forgalomban kapható módosított keményítő típusok, hidroxipropilált és/vagy keresztkötött, acetilált és/vagy keresztkötött keményítő széleskörűen alkalmazott az élelmiszeriparban és más iparágakban egyaránt. A waxy gabonakeményítő jól duzzad forró vízben és sűrű masszát hoz létre, mely nem kívánatos, tapadós, nyúlós állaggal rendelkezik. Hűtve tárolva bár sokkal ellenállóbb, mint a nem-waxy gabonafélék keményítője (vagy a gyökéré), főzés során azonban a keményítőszemcsék teljesen szétesnek, mely nagyon alacsony viszkozitást eredményez (*Zheng és Sosulski 1998*). Az élelmiszeriparban használt waxy keményítő ezért leginkább kémiai módon módosított (*White 1994*). A keresztkötött waxy gabona keményítő nagyobb stabilitással rendelkezik, a főzés során felépő nyíróerőknek valamint a hőmérsékleti hatásoknak és az alacsony pH-nak jobban ellenáll, mint a natív keményítő (*Whistler és BeMiller 1997*). A keresztkötött keményítőt gyakran észterezik vagy éterezik, hogy a nem kívánt tulajdonságokat kiküszöböljék. Számos tanulmány készült a waxy kukorica (*Katzback*

Nincs a jegyzékben.



1972, *Biliaderis* 1982, *Hirsch* és *Kokini* 2001, *Wilkins et al.* 2002), és az árpa (*Bhatty* és *Rosnagel* 1997, *Wilkins et al.* 2002) keményítő módosításáról. Ezeket a módosított waxy keményítő féléket sűrítőként használják pite töltelékben, szószok, húsöntetek és salátaöntetek készítésekor. Az oxidált és hidrolizált waxy kukorica keményítőt ugyanakkor bevonatok és ízesítőszerke hordozójaként használják (*Reddy* és *Seib* 1999). Mivel a duzzadási képessége a részlegesen waxy és a waxy genotípusok keményítő szemcséinek nagyobb, sűrítő képességük is a normál búzáé fölé emelhető, ha kétszeresen módosítjuk a keményítőt hidroxipropilálással és keresztkötéssel (*Reddy* és *Seib* 1999). A módosított waxy búzakeményítő alacsonyabb gélesedési hőmérséklettel és kevésbé opálos csirizzel rendelkezik, mint a módosított kukoricakeményítő, a fagyasztás-felengedés folyamatával szembeni stabilitása azonban jobb, mint a módosított kukoricáé (*Reddy* és *Seib* 2000). A waxy búzakeményítőt rezisztens keményítő előállítására is használják (RS₄) oly módon, hogy nátrium trimetafoszfát és nátrium tripolifoszfát keverékével keresztkötéseket hoznak létre. Ily módon szignifikánsan nagyobb mennyiségű rezisztens keményítő állítható elő waxy búza keményítőből, mint nem waxy búza, kukorica, waxy kukorica vagy burgonya keményítőjéből azonos körülmények között (*Woo* és *Seib* 2002). *Hung* és *Morita* (2004) szerint a sok keresztkötést tartalmazó kukoricakeményítő és a waxy kukoricakeményítő rezisztens része, használható kenyérbélesztésre is búzalisztel keverve anélkül, hogy ettől romolna a kenyér minősége. A módosított waxy keményítő élelmiszeripari alkalmazhatóságáról szóló tanulmányok száma kicsi, és egyelőre nem adnak átfogó képet az alkalmazási lehetőségekről, úgy ahogy a módosított és rezisztens waxy keményítő tulajdonságairól, és alkalmazhatóságáról sem. Hasonlóképpen, néhány tanulmány foglalkozik csupán a nagy amilóz tartalmú búzából származó keményítő módosításával és a rezisztens keményítő kinyerésével, miközben a nagy amilóz tartalmú kukoricakeményítő kémiai és fizikai módosításával sok cikk foglalkozik.

Nemesítési programjaink az amilóz tartalom változatosságának növelésére

150 őszi búza analízisével, a Healthgrain EU-FP6 programban, jelentős variabilitást találtak a fajták bioaktív komponens összetételében. Ez a változatosság több esetben öröklődő (liszt arabinoszilán és az őrlemény tokol-, szterol-, és



alkilrezorcín- tartalma) vagyis nemesítési célokra használható. Számos módszer is fejlesztettek a pályázat keretén belül (molekuláris markert, biokémiai kit-et és NIR kalibrációt), hogy a szelekciót ezen tulajdonságokra megkönnyítsék a nemesítők számára (*Shewry et al.* 2012).

Ismert, hogy búzakeményítőben az amilóz és az amilopektin aránya megközelítőleg 1:3 és hogy ebben a tulajdonságban csak kismértékű variabilitás fordul elő a vizsgált fajtól vagy a környezettől függően. A szerkezetbeli különbségek az amilóz és az amilopektin között ugyanakkor jelentősek és ez befolyásolja a komponensek emészthetőségét. Mivel az amilóz a kevésbé emészthető, jelenléte megnöveli a rezisztens keményítő mennyiségét az élelmiszerben.

A köztermesztésben megjelenő fajták között ugyan nincs jelentős különbség amilóz tartalom tekintetében, olyan nagy amilóz tartalmú búza mutáns genotípusokat azonban már azonosítottak, melyekben a mutáció a hexaploid búza mindhárom genomján jelen van (*Sestili et al.* 2010). A Healthgrain program keretén belül, a három mutáns gén (SSII – keményítő szintáz) kombinációjával 36% amilóz tartalmat sikerült elérni búzában EMS-el (etil-metil szulfonát) indukált mutációval. Később ebben a mutáns populációban TILLING technológiával kerestek SSIIa mutáns vonalakat, 40% amilóz tartalom fölötti vonalak azonosítására (*Botticella et al.* 2011, 2012). Ugyanez a csoport az N11 elnevezésű populációból is szelektált 6 db mindhárom SGP allélre mutáns (Sgp-A1, Sgp-B1, Sgp-D1 null) őszi búza genotípust (999-19, 999-20, 999-22, 993-11, 1061-24 és 1061-26), melyeket nemesítési célokra használtunk fel, hogy európai fajták genetikai hátterében növeljük az amilóz tartalmat (*Némethné et al.* 2014). A keresztezéshez öt eltérő származású, agronómiailag és minőségben különböző búzafajtát használtunk fel (Solstice, Lona, Koreli, Ukrainka, Yumai-34). Ezekkel a fajtákkal három visszakeresztezést végeztünk és közben minden generációban kb 400 növényből markerszelekcióval választottuk ki a mutáns allélt hordozó genotípusokat *Shimbata et al.* (2005) módszere szerint. Csak a mindhárom mutáns allélt hordozó vonalakat kereszteztük újra vissza. Az így előállított utódok közül a dupla-mutáns és tripla-mutáns heterozigóta egyedeket kalászutód sorokban elvetettük a szántóföldi kísérletekben majd az agronómiai szelekciót követően az F3 és F4 generációban vizsgáltuk 37 nemesítési vonal fizikai, beltartalmi és technológiai tulajdonságait két évben (2012–2013).

A 2013-ban szelektált 37 nemesítési vonal közül két Koreli fajtával keresztezett vonal keményítőjében találtunk 30% feletti amilóz mennyiséget (31,5% és 39,3%), ezek fehérje tartalma 12% és 15,9% volt. Ezen felül azonosítottunk két Solstice-al létrehozott és Ukrainka fajtával tovább keresztezett mutáns utódot is, melyek amilóz értéke 50% feletti volt (50,9% és 51,35%) Megazyme módszerrel mérve, vagyis meghaladta a mutáns szülői vonalak amilóz tartalmát (40%) is. Ezeknek a vonaloknak a fehérje tartalma 13,1% és 15% volt. Öt Lona és három Ukrainka utód amilóz tartalmát is kifejezetten kiemelkedőnek találtuk az F3 generációban 2012-ben (41,06–52,16%). Ezeknek a vonaloknak nagyon alacsony volt a csúcs- és a végső- viszkozitása Rapid Visco Analyser készülékkel mérve (RVA), mely eredmények alátámasztották az amilóz vizsgálat eddigi eredményeit.

Vizsgáltuk az utódvonalak búzaszemeinek méretét, az ezerszem-tömegét és a lisztkihozatalát is és ezek az eredmények azt mutatják, hogy a nagy amilóz tartalom általában negatív hatással van a búzaszem fizikai tulajdonságaira. A nagy amilóz tartalmú genotípusok búzaszeme gyakran kisméretű, aszott, benne az endosperm frakció aránya általában kicsi, nagy korpa aránnyal. Mindez azt jelenti, hogy feldolgozóipari szempontból kifejezetten hátrányos tulajdonságokkal rendelkezik a vizsgált nagy amilóz tartalmú vonalak többsége. Ezt a gyakorlati tapasztalatot az eddig vizsgált minták eredményeinek korrelációanalízisével nem sikerült alátámasztani, mivel r 5% értéke a kritikus érték alatt maradt mind az ezerszem tömeg mind a lisztkihozatal összefüggés-vizsgálata esetén. Ez reményt ad arra, hogy a jövőben megfelelő szemméretű vonalakat szelektálhatunk (Némethné et al. 2014).

Keresztezéseket végeztünk waxy genotípusokkal is, hogy alacsony amilóz tartalmú genotípusokat állítsunk elő és befolyásoljuk/módosítsuk a feldolgozóipari minőséget és az élelmiszerek eltarthatóságát. Ebben az esetben az F4 generációig kizárólag szántóföldi szelekció történt. Az F5 generációban már mértük 150 vonal amilóz tartalmát, amely alapján 33 vonalat szelektáltunk további vizsgálatokra. Ennek a 33 vonalnak 20% alatt volt az amilóz tartalma, míg a fehérje tartalmuk 10,6% és 16,6% között változott. Ez azt jelenti, hogy széles variációs lehetőség áll a rendelkezésünkre, hogy a jövőben megfelelő, akár többcélú szelekciót végezzünk és a vonalak egészségre kifejtett hatását is vizsgálhassuk.

Konklúzió

A fiziko-kémiai és biológiai módszerek fejlődésének köszönhetően számos waxy és nagy amilóz tartalmú búza fajtát hoztak már létre. Ezen fajták keményítőjének és lisztjének számos előnyös tulajdonsága van. Egyrészt javítják a élelmiszeripari termékek textúráját és minőségét, másrészt növelhető velük a végtermékek rostanyag tartalma és a rezisztens keményítő mennyisége, melynek pozitív egészségügyi hatásai is lehetnek. Ilyen fajták azonban kereskedelmi forgalomban Európában még nincsenek. Nemesítési programunk eredményeként, olyan a különböző általános vagy speciális feldolgozóipari célnak megfelelő tulajdonságokkal rendelkező búza genotípusok előállítását várjuk, amelyek végeredményben és elsősorban a végső felhasználók, azaz a fogyasztók egészségének megőrzéséhez járulnak hozzá. A területen elért eddigi eredmények további kutatási témák indítását is várhatóan lehetővé fogják tenni, mivel a búza minőségi tulajdonságait sok tényező befolyásolja. A búzaszem keményítő tartalma bár genetikailag meghatározott, de szintézisében számos enzim vesz részt, melyek befolyásolják nemcsak a végső mennyiséget, de az összetételt és a szerkezetet is. Ezen túl a környezetnek is jelentős hatása van a minőségi tulajdonságokra, ami miatt további genetikailag determinálható markerek azonosítására lesz szükség. Ezen túl pedig nem elhanyagolható szempont a keményítő számos feldolgozóipari felhasználási lehetősége sem (bioetanol előállítás, állati takarmányozás, műanyagok, filmek- és ragasztóanyagok- előállítása, élelmiszeripari felhasználás), amely újabb utakat nyit a keményítő kutatások folytatására.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció a TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program című kiemelt projekt keretében, az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOM

- Abdel-Aal, E. S. M.–Hucl, P.–Chibbar, R. N.–Han, H. L.–Demeke, T.*: 2002. Physicochemical and structural characteristics of flour and starches from waxy and nonwaxy wheats. *Cereal Chemistry*. 79: 458–464.
- Akashi, H.–Takahashi, M.–Endo, S.*: 1999. Evaluation of starch properties of wheats used for Chinese yellow-alkaline noodles in Japan. *Cereal Chemistry*. 76: 50–55.
- Araki, E.–Miura, H.–Sawada, S.*: 2000. Differential effects of the null alleles at the three Wx loci on the starch-pasting properties of wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 100: 1113–1120.
- Baik, B. Y.–Lee, M. R.*: 2003. Effects of starch amylose content of wheat on textural properties of white salted noodles. *Cereal Chemistry*. 80: 304–309.
- Bhattacharya, M.–Erazo-Castrejon, S.–Doehlert, D. C.–McMullen, M. S.*: 2002. Staling of bread as affected by waxy wheat flour blends. *Cereal Chemistry*. 79: 178–182.
- Bhatty, R. S.–Rossnagel, B. G.*: 1997. Zero amylose lines of hullless barley. *Cereal Chemistry*. 74: 190–191.
- Biliaderis, C. G.*: 1982. Physical characteristics, enzymatic digestibility, and structure of chemically modified smooth pea and waxy maize starches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 30: 925–930.
- Botticella, E.–Sestili, F.–Hernandez-Lopez, A. –Philips, A.–Lafiandra, D.*: 2011. High resolution melting analysis for the detection of EMS induced mutations in wheat SbeIIa genes. *BMC Plant Biology*. 11: 156.
- Botticella, E.–Sestili, F.–Lafiandra, D.*: 2012. Characterization of SBEIIa homoeologous genes in bread wheat. *Molecular Genetics and Genomics*. 287: 515–524.
- Brown, I. J.–McNaught, K. J.–Andrew, D.–Morita, T.*: 2001. Resistant starch: Plant breeding, application, development, and commercial use. [In: McCleary, B. V.–Prosky, L. (eds.) *Advanced dietary fiber technology*.] Iowa State University Press. Ames, IA, USA. 401–412
- Buleon, A.–Colonna, P.–Planchot, V.–Ball, S.*: 1998. Starch granules: Structure and biosynthesis. *International Journal of Biological Macromolecules*. 23: 85–112.
- Chao, S.–Sharp, P. J.–Worland, A. J.–Warham, E. J.–Koebner, R. M. D.–Gale, M. D.*: 1989. RFLP-based genetic maps of wheat homoeologous group 7 chromosomes. *Theoretical and Applied Genetics*. 78: 495–504.
- Chibbar, R. N.–Chakraborty, M.*: 2005. Characteristics and uses of waxy wheat. *Cereal Foods World*. 50: 121–126.
- Crosbie, G. B.*: 1991. The relationship between starch swelling properties, paste viscosity and boiled noodle quality in wheat flours. *Journal of Cereal Science*. 13: 145–150.
- Denyer, K.–Hylton, C. M.–Jenner, C. F.–Smith, A. M.*: 1995. Identification of multiple isoforms of soluble and granule-bound starch synthase in developing wheat endosperm. *Planta*. 196: 256–265.

- Dobraszczyk, B. J.–Morgenstern, M. P.*: 2003. Rheology and the breadmaking process. *Journal of Cereal Science*. 38: 229–245.
- Donald, A. M.–Waigh, T. A.–Jenkins, P. J.–Gidley, M. J.–Debet, M.–Smith, A.*: 1997. Internal structure of starch granules revealed by scattering studies. [In: Frazier, P. J. et al. (eds.) *Starch: Structure and functionality.*] Royal Society of Chemistry. Cambridge. 172–179.
- Eerlingen, R. C.–Van Haesendonck, I. P.–De Paepe, G.–Delcour, J. A.*: 1994. Enzyme resistant starch III. The quality of straight dough bread containing varying levels of enzyme resistant starch. *Cereal Chemistry*. 71: 165–170.
- Eliasson, A. C.*: 1980. Effect of water content on the gelatinization of wheat starch. *Starch/Staerke*. 32: 270–272.
- Endo, S.–Karobe, S.–Nagao, S.*: 1988. Factors affecting gelatinization properties of starch. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*. 35: 7–14.
- Fisher, D. K.–Boyer, C. D.–Hannah, L. C.*: 1993. Starch branching enzyme II from maize endosperm. *Plant Physiology*. 102: 1045–1046.
- French, D.*: 1984. Organization of starch granules. [In: Whistler, R. L. et al (eds.) *Starch chemistry and technology* (2nd ed.)] New York: Academic Press. 183–212.
- Fujita, N.–Wadano, A.–Kozaki, S.–Takaoka, K.–Okabe, S.–Taira, T.*: 1996. Comparison of the primary structure of waxy protein (granule-bound starch synthase) between polyploidy wheats and related diploid species. *Biochemical Genetics*. 34: 403–413.
- Fujita, S.–Yamamoto, H.–Sugimoto, Y.–Morita, N.–Yamamori, M.*: 1998. Thermal and crystalline properties of waxy wheat (*Triticum aestivum* L.) starch. *Journal of Cereal Science*. 27: 1–5.
- Ghiasi, K.–Hoseney, R. C.–Zeleznek, K.–Rogers, D. E.*: 1984. Effect of waxy barley starch and reheating on firmness of bread crumb. *Cereal Chemistry*. 61: 281–285.
- Goesaert, H.–Brijs, K.–Veraverbeke, W. S.–Courtin, C. M.–Gebruers, K.–Delcour, J. A.*: 2005. Wheat flour constituents: How they impact bread quality, and how to impact their functionality. *Trends in Food Science and Technology*. 16: 12–30.
- Gray, J. A.–BeMiller, J. N.*: 2003. Bread staling: Molecular basis and control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2: 1–21.
- Graybosch, R. A.–Souza, E.–Berzonsky, W.–Baenziger, P. S.–Chung, O.*: 2003. Functional properties of waxy wheat flours: Genotypic and environmental effects. *Journal of Cereal Science*. 38: 69–76.
- Graybosch, R. A.*: 1998. Waxy wheats: Origin, properties, and prospects. *Trends in Food Science and Technology*. 9: 135–142.
- Guo, G.–Jackson, D.–Graybosch, R.–Parkhurst, A.*: 2003. Asian salted noodle quality: Impact of amylose content adjustments using waxy wheat flour. *Cereal Chemistry*. 80: 437–445.
- Hayakawa, K.–Tanaka, K.–Nakamura, T.–Endo, S.–Hoshino, T.*: 1997. Quality characteristics of waxy hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.): Properties of starch gelatinization and retrogradation. *Cereal Chemistry*. 74: 576–580.



- Hayakawa, K.–Tanaka, K.–Nakamura, T.–Endo, S.–Hoshino, T.:* 2004. End use quality of waxy wheat flour in various grainbased foods. *Cereal Chemistry*. 81: 666–672.
- Hirsch, J. B.–Kokini, J. L.:* 2001. Understanding the mechanism of cross-linking agents (POCl₃, STMP, and EPI) through swelling behavior and pasting properties of cross-linked waxy maize starches. *Cereal Chemistry*. 79: 102–107.
- Hizukuri, S.–Takeda, Y.–Yasuda, M.:* 1981. Multi-branched nature of amylose and the action of debranching enzymes. *Carbohydrate Research*. 95: 205–213.
- Hug-Itten, S.–Handschin, S.–Conde-Petit, B.–Escher, F.:* 1999. Changes in starch microstructure on baking and staling of wheat bread. *Food Science and Technology*. 32: 255–260.
- Hung, P. V.–Maeda, T.–Yamauchi, H.–Morita, N.:* 2005a. Dough and breadmaking properties of various strong wheat grains cultivated in Japan. *Journal of Applied Glycoscience*. 52: 15–21.
- Hung, P. V.–Maeda, T.–Yoshikawa, R.–Morita, N.:* 2004. Dough properties and baking quality of several domestic wheat flours as compared with commercial foreign wheat flour. *Food Science and Technology Research*. 10: 389–395.
- Hung, P. V.–Morita, N.:* 2004. Dough properties and bread quality of flours supplemented with cross-linked cornstarches. *Food Research International*. 37: 461–467.
- Hung, P. V.–Yamamori, M.–Morita, N.:* 2005b. Formation of enzyme-resistant starch in bread as affected by high-amylose wheat flour substitutions. *Cereal Chemistry*. 82: 690–694.
- Jane, J.–Chen, Y. Y.–Lee, L. F.–McPherson, A. E.–Wong, K. S.–Radosavljevic, M.:* 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chemistry*. 76: 629–637.
- Jenkins, P. J.–Cameron, R. E.–Donald, A. M.:* 1993. A universal feature in the structure of starch granules from different botanical sources. *Starch/Staerke*. 45: 417–420.
- Katzback, W.:* 1972. Phosphate cross-bonded waxy corn starches solve many food application problems. *Food Technology*. 4: 32–36.
- Kiribuchi-Otobe, C.–Nagamine, T.–Yanagisawa, T.–Ohnishi, M.–Yamaguchi, I.:* 1997. Production of hexaploid wheats with waxy endosperm character. *Cereal Chemistry*. 74: 72–74.
- Knight, M. E.–Harn, C.–Lilley, C. E. R.–Guan, H.–Singletary, G. W.–Mu-Forster, C.:* 1998. Molecular cloning of starch synthase I from maize (W64) endosperm and expression in *Escherichia coli*. *Plant Journal*. 14: 613–622.
- Konik, C. M.–Miskelly, D. M.–Gras, P. W.:* 1992. Contribution of starch and non-starch parameters to the eating quality of Japanese white salted noodles. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 58: 403–406.
- Lee, M. R.–Swanson, B. G.–Baik, B.:* 2001. Influence of amylose content on properties of wheat starch and breadmaking quality of starch and gluten blends. *Cereal Chemistry*. 78: 701–706.



- Li, Z.-Chu, X.-Mouille, G.-Yan, L.-Kosar-Hashemi, B.-Hey, S.*: 1999. The localization and expression of the class II starch synthases of wheat. *Plant Physiology*. 120: 1147-1156.
- McCormick, K. M.-Panozzo, J. F.-Hong, S. H.*: 1991. A swelling power test for selecting potential noodle quality wheats. *Australian Journal of Agricultural Research*. 42: 317-323.
- Miskelly, D. M.-Moss, H. J.*: 1985. Flour quality requirements for Chinese noodle manufacture. *Journal of Cereal Science*. 3: 379-387.
- Miura, H.-Araki, E.-Tarui, S.*: 1999. Amylose synthesis capacity of the three Wx genes of wheat cv. Chinese Spring. *Euphytica*. 108: 91-95.
- Miura, H.-Sugawara, A.*: 1996. Dosage three Wx genes on amylase synthesis in wheat endosperm. *Theoretical and Applied Genetics*. 93: 1066-1070.
- Miura, H.-Tanii, S.-Nakamura, T.-Watanabe, N.*: 1994. Genetic control of amylose content in wheat endosperm starch and differential effects of three Wx genes. *Theoretical and Applied Genetics*. 89: 276-280.
- Miura, H.-Tanii, S.*: 1994. Endosperm starch properties in several wheat cultivars preferred for Japanese noodles. *Euphytica*. 72: 171-175.
- Morita, N.-Maeda, T.-Hung, P.V.-Watanabe, M.-Handoyo, T.-Yamamori, M.*: 2003. Textural properties and microscope observation of noodles made from various novel wheat flours. *Proceedings of the 53rd Australian cereal chemistry conference*. 153-156.
- Morita, N.-Maeda, T.-Miyazaki, M.-Yamamori, M.-Miura, H.-Ohtsuka, I.*: 2002a. Dough and baking properties of highamylose and waxy wheat flours. *Cereal Chemistry*. 79: 491-495.
- Morita, N.-Maeda, T.-Miyazaki, M.-Yamamori, M.-Miura, H.-Ohtsuka, I.*: 2002b. Effect of substitution of waxy-wheat flour for common flour on dough and baking properties. *Food Science and Technology Research*. 8: 119-124.
- Nagao, S.*: 1996. Processing technology of noodle products in Japan. [In: Kruger, J. E. et al. (eds.) *Pasta and noodle technology*.] St. Paul. MN. USA. American Association of Cereal Chemists. 169-194.
- Nakamura, T.-Yamamori, M.-Hirano, H.-Hidaka, S.-Nagamine, T.*: 1995. Production of waxy (amylose free) wheats. *Molecular and General Genetics*. 248: 253-259.
- Nakamura, T.-Yamamori, M.-Hirano, H.-Hidaka, S.*: 1993. Identification of three Wx proteins in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Biochemical Genetics*. 31: 75-86.
- Némethné Kisgyörgy N. B.-Bede K.-Láng L.-Bedő Z.-Rakszegi M.*: 2014. Magas amidóz-tartalmú búzatörzsek (*Triticum aestivum* L.) nemesítése. XX: Növény-nemesítési Tudományos Napok. 2014. március 18. Budapest. 330-334.
- Noda, T.-Tohnooka, T.-Taya, S.-Suda, I.*: 2001. Relationship between physicochemical properties of starches and white salted noodle quality in Japanese wheat flour. *Cereal Chemistry*. 78: 395-399.
- Oda, M.-Yasuda, Y.-Okazaki, S.-Yamauchi, Y.-Yokoyama, Y.*: 1980. A method of flour quality assessment for Japanese noodles. *Cereal Chemistry*. 57: 253-254.
- Oh, N. H.-Seib, P. A.-Ward, A. B.-Deyoe, C. W.*: 1985. Noodles. IV. Influence of flour protein, extraction rate, particle size, and starch damage on the quality characteristics of dry noodles. *Cereal Chemistry*. 62: 441-446.

- Park, I.-Kim, S. H.-Chung, I. M.-Shoemaker, C. F.*: 2013. Effect of amylopectin long chain on measured amylose content and their correlation with pasting properties. *Starch/Starke*. 65: 227-235.
- Panozzo, J. F.-McCormick, K. M.*: 1993. The rapid viscoanalyser as a method of testing for noodle quality in a wheat breeding programme. *Journal of Cereal Science*. 17: 25-32.
- Rahman, S.-Kosar-Hashemi, B.-Samuel, M. S.-Hill, A.-Abbott, D. C.-Skerritt, J. H.*: 1995. The major proteins of wheat endosperm starch granules. *Australian Journal of Plant Physiology*. 22: 793-803.
- Reddy, I.-Seib, P. A.*: 1999. Paste properties of modified starches from partial waxy wheats. *Cereal Chemistry*. 76: 341-349.
- Reddy, I.-Seib, P. A.*: 2000. Modified waxy wheat starch compared to modified waxy corn starch. *Journal of Cereal Science*. 31: 25-39.
- Sestili, F.-Botticella, E.-Bedő, Z.-Phillips, A.-Lafiandra, D.*: 2010. Production of novel allelic variation for genes involved in starch biosynthesis through mutagenesis. *Molecular Breeding*. 25: 145-154.
- Shewry, P. R.-Charmet, G.-Branlard, G.-Lafiandra, D.-Gergely, Sz.-Salgó, A.-Saulnier, L.-Bedő, Z.-Mills, C. E. N.-Ward, J. L.*: 2012. Developing new types of wheat with enhanced health benefits. *Trend in Food Science and Technology*. 25: 70-77.
- Shibanuma, K.-Takeda, Y.-Hizukuri, S.-Shibata, S.*: 1994. Molecular-structures of some wheat starches. *Carbohydrate Polymers*. 25: 111-116.
- Shimbata, T.-Nakamura, T.-Vrinten, P.-Saito, M.-Yonemaru, J.-Seto, Y.-Yasuda, H.*: 2005. Mutations in wheat starch synthase II genes and PCR-based selection. *Theoretical and Applied Genetics*. 111: 1072-1079.
- Slade, A. J.-McGuire, C.-Loeffler, D.-Mullenberg, J.-Skinner, W.-Fazio, G.-Holm, A.-Brandt, K. M.-Steine, M. N.-Goodstal, J. F.-Knauf, V. C.*: 2012. Development of high amylose wheat through TILLING. *BMC Plant Biology*. 12: 69.
- Slavin, J. L.*: 2002. Whole grains, dietary fiber, and resistant starch. [In: Marquart L. et al. (eds.) *Whole-grain foods in health and disease*.] St. Paul. MN. USA. American Association of Cereal Chemists Inc. 283-299.
- Thompson, D. B.*: 2000. Strategies for the manufacture of resistant starch. *Trends in Food Science and Technology*. 11: 245-253.
- Topping, D. L.-Clifton, P. M.*: 2001. Short-chain fatty acids and human colonic function: Roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiological Reviews*. 81: 1031-1064.
- Vrinten, P. L.-Shimbata, T.-Yanase, M.-Sunohara, A.-Saito, M.-Inokuma, T.-Takiya, T.-Takaha, T.-Nakamura, T.*: 2012. Properties of a novel type of starch found in the double mutant „sweet wheat”. *Carbohydrate Polymers*. 89: 1250-1260.
- Wang, L.-Seib, P. A.*: 1996. Australian salt-noodle flours and their starches compared to US wheat flours and their starches. *Cereal Chemistry*. 73: 167-175.

- Whistler, R. L.-BeMiller, J. N.*: 1997. Starch. [In: Whistler, R. L.-BeMiller, J. N. (eds.) Carbohydrate chemistry for food scientists.] St. Paul. MN. USA. Eagan Press. 117-151.
- White, P. J.*: 1994. Properties of corn starch. [In: Hallauer, A. (ed.) Specialty corns.] Boca Raton. FL. USA. CRC Press. 29-54.
- Wilkins, M. R.-Wang, P.-Xu, L.-Niu, Y.-Tumbleson, M. E.-Rausch, K. D.*: 2002. Variability in starch acetylation efficiency from commercial waxy corn hybrids. *Cereal Chemistry*. 80: 68-71.
- Woo, K. S.-Seib, P. A.*: 2002. Cross-linked resistant starch: Preparation and properties. *Cereal Chemistry*. 79: 819-825.
- Yamamori, M.-Endo, T. R.*: 1996. Variation of starch granule proteins and chromosome mapping of their coding genes in common wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 93: 275-281.
- Yamamori, M.-Fujita, S.-Hayakawa, K.-Matsuki, J.-Yasui, T.*: 2000. Genetic elimination of starch granule protein, SGP-1, of wheat generates and altered starch with apparent high amylase. *Theoretical and Applied Genetics*. 101: 21-29.
- Yamamori, M.-Kato, M.-Yui, M.-Kawasaki, M.*: 2006. Resistant starch and starch pasting properties of a starch synthaseIIa - deficient wheat apparent high amylose. *Australian J. of Agricultural Research*. 57: 531-535.
- Yamamori, M.-Nakamura, T.-Endo, T. R.-Nagamine, T.*: 1994. Waxy protein deficiency and chromosomal locations of coding genes in common wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 89: 179-184.
- Yasui, T.-Matsuki, J.-Sasaki, T.-Yamamori, M.*: 1996. Amylose and lipid contents, amylopectin structure, and gelatinization properties of waxy wheat (*Triticum aestivum* L.) starch. *Journal of Cereal Science*. 24: 131-137.
- Yasui, T.-Matsuki, J.-Sasaki, T.-Yamamori, M.*: 1997. Waxy endosperm mutants of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) and their starch properties. *Breeding Science*. 47: 161-163.
- Zheng, G. H.-Han, H. L.-Bhatti, R. S.*: 1999. Functional properties of cross-linked and hydroxypropylated waxy hull-less barley starches. *Cereal Chemistry*. 76: 182-188.
- Zobel, H. F.*: 1988. Starch crystal transformations and their industrial importance. *Starch/Staerke*. 40: 1-7.

A szerző levelezési címe - Address of the author:

Dr. Rakszegi Marianna
MTA Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet
Martonvásár
Brunszvik u 2.
H-2462