

A sikerfehérjék összetétele, hatásuk a siker reológiai tulajdonságaira (Szemle)

Uri Csilla – Tóth Árpád – Sipos Péter –
Borbélyné Varga Mária – Győri Zoltán

Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum,
Mezőgazdaságtudományi Kar,
Élelmiszertudományi és Minőségbiztosítási Tanszék, Debrecen
urics@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A búza a világ egyik legfontosabb kenyérgabonája, melyet valamennyi földrészen termesztnek. A gabonák közül egyedül a kenyérbúzák – és kisebb mértékben a tritikálé – tartalmaznak tartalékfehérjéket, melyek a siker kialakításában játszanak fontos szerepet. A sikerkomplexet képző fehérjék két molekulatípusba sorolhatók:

- kis molekulatömegű (gliadin-) komponensek, és
- nagy molekulatömegű (glutenin-) komponensek.

A gliadinok jelentős heterogenitást mutatnak, gélelektroforézissel 40-50 komponensre választhatók szét. A gliadinösszetétel fajtára jellemző, így alkalmas a búzafajták azonosítására, továbbá a fajták tisztaságának vizsgálatára. A csökkenő elektroforézises mozgékonyság sorrendjében megkülönböztetünk α -, β -, γ - és ω -gliadinokat. A glutenin alegységek két csoportra oszthatók:

- nagy molekulatömegű glutenin alegységek (HMW-GS),
- kis molekulatömegű glutenin alegységek (LMW-GS).

A gluteninek szintén felhasználhatók fajtaazonosításra, valamint búza törzsek minőségre történő szelekciójához. A gliadin polipeptideket kódoló gének az 1A, 1B és 1D, a 6A, 6B és 6D kromoszómák rövid karjain helyezkednek el, a HMW-GS genetikai kódolása az 1A, 1B és 1D kromoszómák hosszú karjain, míg az LMW-GS-t kódoló gének az 1A, 1B és 1D kromoszómákon (Glu-3 lokuszok), a gliadinkódoló lokuszok közelében vannak.

A tartalékfehérjék két fő tényőcsoport révén befolyásolják a siker reológiai tulajdonságait:

1. a sikerkomplex fehérjekomponenseinek mennyisége és minősége,
2. a fehérjefrakciók közötti kölcsönhatások.

Kulcsszavak: siker, gliadin, glutenin, HMW-GS, LMW-GS

SUMMARY

Wheat is the major cereal component of bread in the world and is grown worldwide. Of the cereals only the bread wheats – and less the triticale – includes storage proteins that play an important role in the performance of gluten. Proteins of gluten complex may be present in two classes:

- low molecular weight (gliadin-) components, and
- high molecular weight (glutenin-) components.

Gliadins shown appreciable heterogeneity and can be separated into 40-50 components with gel electrophoresis. The composition of gliadins is employable for the identification the wheat varieties and to investigate the varieties. In the decreasing electrophoretic mobility sequence may be distinguish α -, β -, γ - and ω -gliadins. A glutenin subunits may be include in two classes:

- high molecular weight glutenin subunits (HMW-GS),
- low molecular weight glutenin subunits (LMW-GS).

Wheat varieties can be identified by glutenin and their quality selection is also possible. The gliadin's polypeptides encoding genes are located on the short arm of chromosomes 1A, 1B and 1D, 6A, 6B and 6D. Genetic coding for HMW subunits is located on the long arms of chromosomes 1A, 1B and 1D, the LMW-GS are also located on chromosomes 1A, 1B and 1D (Glu-3 loci) near the gliadin-coding loci.

Storage proteins affect the rheological properties of gluten by two factors:

1. The quality and quantity of the protein components of the gluten complex,
2. The interactions between the protein fractions.

Keywords: gluten, gliadin, glutenin, HMW-GS, LMW-GS

1. A BÚZA ENDOSZPERM TARTALÉK-FEHÉRJÉI

A búza a világ egyik legfontosabb kenyérgabonája, melyet valamennyi földrészen termesztnek. A gabonafélék között fehérjetartalom szempontjából a búza a leggazdagabb, hazánkban 12-15% a fehérjetartalma átlagosan. A búza endoszperm fehérjeinek csoportosítása kétféle szempont szerint történhet:

1. Osborne nyomán megkülönböztetünk:
 - vízdoldható albuminokat,
 - sóoldható globulinokat,
 - alkohololdható prolamínokat (gliadin),
 - sav-, illetve lúgdoldható glutelineket (glutenin).
2. Biológiai szempontból
 - tartalékfehérjéket (a klasszikus felosztás szerint ezek a gliadin és a glutenin),
 - metabolikusan aktív fehérjéket (a klasszikus felosztás szerint az albuminok, globulinok és egyes összetett fehérjék) különböztetünk meg.

A gabonák között egyedül a kenyérbúzák – és kisebb mértékben a tritikálé – tartalmaznak tartalékfehérjéket, amelyeknek egyedülálló sajátosága, hogy a tésztakésztést követő kimosás után rugalmas, alakítható massa; a siker marad vissza, melynek képződése teszi lehetővé a legjobb minőségű sütőipari termékek előállítását. A sikerkomplexet képző fehérjék két molekulatípusba sorolhatók:

- kis molekulatömegű (gliadin-) komponensek,
- nagy molekulatömegű (glutenin-) komponensek.

Ezek adják a sikernek mintegy 82%-át, ezek mellett tartalmaz még: keményítőt, egyéb fehérjéket, lipideket, cukrokat.

2. A GLIADINOK

2.1. A gliadinfrakciók csoportosítása

A gliadinok jelentős heterogenitást mutatnak, és gélelektroforézissel 40-50 komponensre választhatók szét. A különböző fajták ezeket a komponenseket különböző kombinációban tartalmazzák. A gliadinösszetétel tehát fajtára jellemző, és így a búzafajták azonosítására, továbbá a fajták tisztaságának vizsgálatára alkalmas.

A csökkenő elektroforézises mozgékonyosság sorrendjében megkülönböztetünk α -, β -, γ - és ω -gliadinokat.

A gliadinkomponensek aminosav-összetételük alapján három csoportba sorolhatók: S-ben gazdag (α -, β - és γ -gliadinok), S-ben szegény (ω -gliadinok) komponensek, valamint nagy molekulatömegű (High Molecular Weight=HMW) prolaminok (Hajósné, 1999).

A gliadinokat molekulatömegük alapján is csoportosíthatjuk: az α -, β - és γ -gliadinok molekulatömege 30 kDa körüli, míg az ω -gliadinok molekulatömege ennek kb. kétszerese.

2.2. A gliadinok genetikai kódolása

Az elmúlt évtizedekben jelentős előrehaladás történt a búzafehérjék genetikai analizisében. A búza tartalékfehérjéit kódoló gének a genom 9 különböző lókuszában találhatóak. A gliadin polipeptideket kódoló gének az 1A, 1B és 1D, a 6A, 6B és 6D kromoszómák rövid karjain helyezkednek el. Az ω -gliadinokat, a legtöbb γ -gliadint és néhány β -gliadint kódoló gének az 1A, 1B és 1D kromoszómák rövid karjain találhatóak, a Gli-A1, Gli-B1 és Gli-D1 lókuszon. A többi γ - és β -gliadin, valamint az összes α -gliadin a 6A, 6B és 6D kromoszómák rövid karjain lévő lókuszon (Gli-A2, Gli-B2 és Gli-D2) vannak kódolva (Lásztity, 1999).

2.3. A gliadinok aminosav-összetétele

Minden gliadinkomponens rendkívül magas glutaminsav-tartalommal jellemezhető, némely ω -gliadin esetében ez több mint 50%. A gliadinok majdnem teljes glutaminsav-tartalma glutamin formájában van jelen, melynek legnagyobb részét az ω -gliadinok tartalmazzák.

A gliadinoknak magas a prolintartalma, ami szerepet játszik a gliadinpolipeptidek másodlagos szerkezetének kialakításában, ugyanis a prolin oldalláncok jelenléte gátolja az α -hélixek kialakulását.

Bázikus aminosavakban, különösen lizinben, a gliadinok szegények, így a búza kevésbé értékes fehérjefrakcióihoz tartoznak táplálkozási szempontból, ugyanis a búza tartalékfehérjéiben a lizin a limitáló esszenciális aminosav. Az ω -gliadinoknak relatíve magas a fenilalanin szintje (Lásztity, 1996).

2.4. A gliadinok molekuláris szerkezete

A gliadinkomponensekre jellemző, hogy egy polipeptidláncból állnak, diszulfid-kötéseik intramolekulárisak.

A gliadinkomponensek primer struktúrájában legalább két jellegzetes polipeptidlánc-szakasz különböztethető meg. Az egyik szakaszra jellemző a nagy glutaminsav-, glutamin-, prolintartalom, ezen aminosavak egymás melletti ismétlődésével. A második szakaszban nagy a hidrofób oldalláncú aminosavak részaránya, s a hidrofób jellegű szakaszok a polipeptidlánc végén helyezkednek el. A S-ben gazdag gliadinok (α -, β -, γ -gliadinok) kompakt, szorosan feltekeredett molekulák, ezen jellegükből adódóan ellenállnak a hőkezelésnek (Lásztity, 1999). Molekulájuk viszonylag kevés α -hélixes részt tartalmaz (ez megfelel a magas prolintartalomnak). Az ω -gliadinok molekulája hosszúak alakú, szokatlan másodlagos struktúrával, amit ismétlődő β -redők jellemeznek.

3. A GLUTENINEK

A nagy molekulatömegű búza tartalékfehérjéknek vagy glutenineknek két fő tulajdonsága van: nem oldódnak híg sóoldatban és 70%-os alkoholban, valamint a makromolekula több polipeptidláncból áll, amelyeket intermolekuláris diszulfid-kötések kapcsolnak össze.

3.1. A gluteninek csoportosítása

A glutenin alegységek két csoportra oszthatók:

- nagy molekulatömegű (High Molecular Weight) glutenin alegységek (HMW-GS),
- kis molekulatömegű (Low Molecular Weight) glutenin alegységek (LMW-GS).

A glutenin alegységek is jelentős különbséget mutatnak az egyes fajták között, így felhasználhatók fajtaazonosításra. Nagy molekulatömegük és gyenge oldhatóságuk miatt azonban elektroforézissel (SDS-PAGE vagy IEF+SDS-PAGE) nehezen választhatók el, így elsősorban hasonló gliadin-összetételű fajták megkülönböztetésére használják őket. Speciális gluteninsávok jelenlétéből vagy hiányából a sütőipari értékre is lehet következtetni, így a glutenin mintázat búza törzsek minőségre történő szelekciójához is hasznos információt adhat (Hajósné, 1999).

3.2. A gluteninek genetikai kódolása

A HMW-GS genetikai kódolása az 1A, 1B és 1D kromoszómák hosszú karjain a Glu-A1, Glu-B1 és Glu-D1 lókuszon található. Minden lókuszt két kapcsolt gént tartalmaz, melyek két különböző típusú HMW-GS-t kódolnak, az X- és Y-típusú alegységeket. Az X-alegységnek alapvetően kisebb az elektroforetikus mozgékonyasága (SDS-PAGE módszerrel vizsgálva), és nagyobb a molekulatömege, mint az Y-alegységnek.

A kenyérbúzáknak hat különböző HMW-GS-t tartalmaznak, de az ezeket kódoló gének némelyike „csendes”, ezért a legtöbb búzafajtában 3-5 HMW-GS található (1-5 alegység a durum búzában). Minden hexaploid búza tartalmazza legalább az 1Bx, 1Dx és 1Dy alegységeket, néhány fajtában az 1By és az 1Ax alegység is megtalálható. Némely kenyérbúzában mind a hat HMW-GS megjelenik, bár

az 1Ay alegységet kódoló gén a legtöbb esetben csendes.

Az LMW-GS csoport fehérjéit kódoló gének szintén az 1A, 1B és 1D kromoszómákon helyezkednek el, de a gének a rövid karokon (Glu-3 lókuszon) vannak, a gliadinkódoló lókuszon közelében (Lásztity, 1999).

Branlard és mtsai (2003) a gluteninkódoló lókuszon allélvariációit tanulmányozták, és a Glu-A1-en, Glu-B1-en és Glu-D1-en kódolt HMW glutenineknek 3, 8 és 5 allélját észlelték. LMW gluteninek esetében hasonló polimorfizmust mutattak ki; 5 és 11 allél határozta meg a Glu-A3 és Glu-B3 lókuszon. A Glu-1 és a Glu-3 lókuszon különböző kromoszómakarokon helyezkednek el, és elméletileg egymástól függetlenek, bizonyos asszociációik alapján következtetni lehet egyes búzafajták közös származására.

3.3. A gluteninek aminosav-összetétele

A búza endosperm nagy molekulatömegű tartalékfehérjéinek aminosav-összetétele hasonló a gliadinokéhoz. A glutenineknek valamivel nagyobb a bázikus aminosav-tartalma, kisebb a glutaminsav- és prolintartalma. A glutaminsav és aszparaginsav szabad karboxilcsoportjának amidáltsági fokában

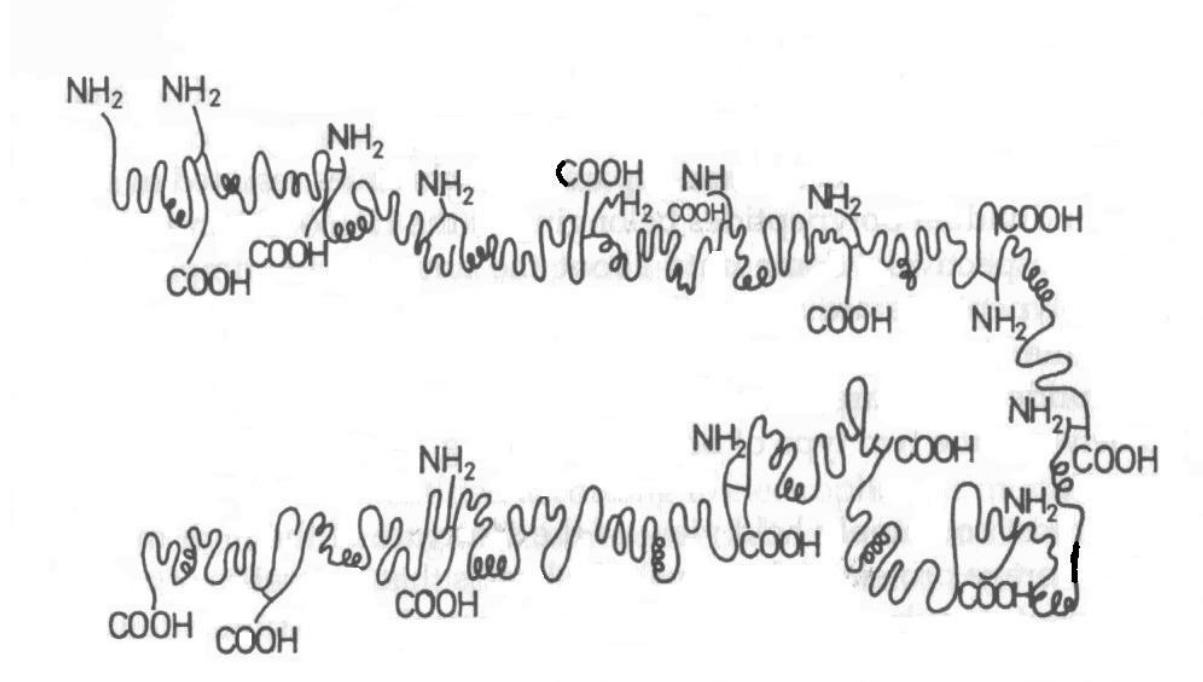
szintén megfigyelhető bizonyos különbség: az amidáltsági fok a gluteninben valamivel kisebb (Lásztity, 1996). A HMW-GS és LMW-GS alegységeket összehasonlítva azt láthatjuk, hogy minden polipeptidnek nagy a glutaminsav- és prolintartalma, de a csoportok között különbségek is vannak: a glicintartalom a HMW-GS fehérjékben jelentősen nagyobb, a valin- és leucintartalmuk viszont lényegesen kisebb az LMW-GS fehérjékhez viszonyítva.

3.4. A gluteninek molekuláris szerkezete

A gluteninre jellemző, hogy több polipeptidláncból állnak, lineáris jellegű molekulák, az α -hélixes részek aránya a molekulán belül viszonylag kicsi.

A nagy molekulatömegű tartalékfehérjék szerkezetét különböző modellekkel írták le. Egy korábbi modell szerint (Lásztity, 1999) a molekulák lineárisak, a polipeptidláncoakat diszulfidkötés kapcsolja össze (1. ábra). A diszulfidkötések hasítása – redukcióval vagy oxidációval – drasztikus változást eredményez a molekulában, már egészen kevés kötés bontása esetén is gyorsan csökken a gluteninoldatok viszkozitása.

1. ábra: A nagy molekulatömegű sikefehérjék szerkezete



Forrás: Lásztity és mtsai, 1987

Figure 1: Structure of high molecular weight gluten proteins

Graveland és mtsai (1985) szerint a molekula gerince csak HMW glutenin alegységeket tartalmaz (X- és Y-típusú, fej-farok elrendezésben). Az LMW-GS rövid polimer szakaszokkal diszulfidkötéssel kapcsolódik a gerinc Y-típusú alegységeihez. Kasarda (1989) szerint az LMW-GS-ek egyidejűleg diszulfidkötésekkel kapcsolódnak össze, főleg a

cisztein maradékokat tartalmazó C-terminális részben.

Az úgynevezett „blokk polimer modellt” Gao és mtsai (1992) készítették el, ez az imént említett két modellnek egy módosított változata. A blokk polimer modell szerint a szubmolekuláris blokkok – amelyek a legtöbb vagy összes glutenin alegységet

tartalmazzák – diszulfidkötések révén kapcsolódnak egymáshoz. A diszulfidkötéseknek legalább két különböző típusa van: azok, amelyek az alegységeket kötik össze a blokkon belül, és azok, amelyek a blokkokat kötik össze. A blokkok közötti diszulfidkötések felbomlása – nagyon enyhe redukció hatására – szabad blokkokat eredményez, ezeket géllkromatográfiával lehet elválasztani. További redukció eredményeként kizárólag HMW alegységekből álló dimereket, valamint HMW és LMW alegységekből álló dimereket kapunk.

4. A SIKÉR

A búza sütőipari minősége komplex fogalom, azon búzasajátságok összessége, amelyek lehetővé teszik búzalisztból jó minőségű sütőipari termék előállítását. A leglényegesebb tényezők a liszt vízfelvevő képessége, a tészta megfelelő reológiai tulajdonságai, valamint a megfelelő enzimes állapot (gázfejlesztő képesség). E három tényező közül kettő (vízfelvevő képesség és a mechanikai tulajdonságok) döntő mértékben a fehérjék mennyiségétől és sajátságaitól függ, az enzimes állapotban mutatkozó hiányosságok pedig ritkábban fordulnak elő (Lásztity, 1981). Mindezekből látható, hogy a sütőipari minőség kérdése elsősorban a búzafehérjével áll összefüggésben, ugyanakkor elsősorban genetikailag meghatározott, így fajtától függ, mivel a megfelelő sikerminőség eléréséhez olyan fehérjefrakció-eloszlás kívánatos, ami biztosítja az egyes frakciók szükségességét, minimális mennyiségének meglétét. Ha egy adott fajta genetikai adottságai által meghatározott frakcióeloszlása nem felel meg a minimális eloszlási követelményeknek, akkor ebből a fajtából nem állítható elő megfelelő minőségű liszt (sütőipari termék). A genetikai adottságok mellett az agrotechnikai tényezők (elsősorban a műtrágyázás) is jelentősen befolyásolhatják a fehérjék mennyiségét, minőségét. A tartalékfehérjék két fő tényezőcsoport révén befolyásolják a siker reológiai tulajdonságait:

1. a sikerkomplex fehérjekomponenseinek mennyisége és minősége (oldhatóság, aminosav-összetétel, szerkezet),
2. a fehérjefrakciók közötti kölcsönhatások (diszulfidkötések, hidrogénkötések, elektrostatikus és hidrofób kölcsönhatások) (Lásztity, 1999).

Hangsúlyozni kell, hogy a reológiai sajátságok és a kémiai szerkezet közötti összefüggések komplex jellegűek, így egy-egy kötéstípus, illetve frakció vizsgálata nem adhat teljes képet a tényleges viszonyokról.

4.1. A siker reológiai tulajdonságai és aminosav-összetétele közötti összefüggés

Mind a teljes búzafehérje, mind a sikerfehérje aminosav-összetétele állandó jellegű, az észlelt – sok esetben szignifikáns – különbségek kis mértékűek.

Fontos szerepe van a glutaminsav és az aszparaginsav amidáltsági fokának, hiszen a két

aminosav együttes mennyisége elérheti a 40%-ot is, valamint a szabad karboxil és az amidált karboxil viselkedése lényegesen eltérő lehet. Matematikai-statisztikai számítások szerint a 87%-os amidálási fok az optimális a reológiai sajátságok szempontjából. Az amidálás mértékének növelésével a létrejövő hidrogénkötések száma is nő, s ez a reológiai sajátságok javulásával jár együtt. Az optimális mértéken túli amidálási fok kedvezőtlen hatással van a reológiai tulajdonságokra. Feltételezhető, hogy egy bizonyos fokon túl már nincs lehetőség újabb hidrogénkötések kialakulására, lehetséges, hogy túl „tömör” szerkezet alakul ki, ami a hidratáció és a sikerképződés szempontjából kedvezőtlen, végül az is lehet, hogy a túl nagy amidálási fok folytán nem jöhetnek létre azok az egyéb fontos kötések, amelyek a sikérszerkezet szempontjából fontosak. Az ezek helyett kialakuló hidrogénkötések pedig vagy gyengébbek, vagy olyan a térbeli elhelyezkedésük, hogy a sikérszerkezet erősítése szempontjából kisebb szerepet játszanak (Lásztity, 1981).

Összefoglalóan az állapítható meg, hogy a siker bruttó aminosav-összetétele viszonylag kevés információt szolgáltat a siker reológiai sajátságairól.

4.2. A fehérjefrakciók közötti kölcsönhatások szerepe a siker reológiai tulajdonságainak kialakításában

A diszulfidkötések szerepe:

Jól ismert a kéntartalmú aminosavak, különösen a cisztein, illetve a cisztin fontos szerepe a fehérjék szerkezetének létrehozásában. Számos nagy kéntartalmú fehérje (pl. keratin) szerkezetében meghatározó jelentőségűek a diszulfidkötések, sok enzim biológiai aktivitása szorosan kapcsolódik az enzimmolekula szulfhidril csoportjához. A diszulfidkötések fontos szerepet játszanak a sikermolekulák felépítésében is; a nagy molekulású sikérfehérje-frakciók diszulfidhidakkal összekapcsolt polipeptidláncokból állnak, ezeken kívül az intramolekuláris diszulfidkötések száma is jelentős. A diszulfidkötések abszolút száma önmagában még nem szabja meg egyértelműen a szerkezetet és a reológiai tulajdonságokat (Lásztity, 1981).

A hidrogénkötések szerepe:

A hidrogénkötések szerepe a siker reológiai sajátságainak meghatározásában jelentős. Az intermolekuláris hidrogénkötések kialakításában az amido- és primer aminocsoportok játszzák a fő szerepet.

A hidrogénkötések szerepét igazoló kutatásokat végzett Kretovics és Vakar (1964), akik natív sikerkészítményeket állítottak elő liofilezés segítségével. A sikért D₂O-val hidratálták, majd az így előállított nedves sikért reológiai elemzésnek vetették alá. Azt tapasztalták, hogy a D₂O-val képzett nedves sikernek nagyobb a nyújtási ellenállása, mint a vízzel képzett kontrollnak. Ezek az eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy a hidrogénkötések

szerepe jelentős a reológiai sajátságok kialakításában. A D₂O szerkezeterősítő hatását tésták esetében is jól lehetett érzékelni. D₂O-val képzett sikért tanulmányoztak van Velzen és mtsai (2003) is, ATR és FTIR spektroszkópiát használva. A dagasztott és megnyújtott sikérfehérjét kezeletlen, nedves sikerrel összehasonlítva szignifikáns különbséget találtak az amid I. és amid II. intenzitásában. Az amidcsoport vibrációs tulajdonságainak változásán kívül a fehérjék harmadlagos szerkezetének módosulását észlelték; a téstta dagasztása és nyújtása az α-hélixek mennyiségének nagymértékű csökkenését eredményezte, míg a β-lemezek mennyisége nőtt.

A hidrofób kölcsönhatások szerepe:

A sikérfehérjék számos hidrofób oldalláncú aminosavval rendelkeznek (alanin, leucin, fenilalanin, izoleucin, prolin). Emellett a hosszabb poláris oldalláncok hidrofób részei (például lizin és glutaminsav esetében) is kölcsönhatásba léphetnek. Mindezek alapján kétségtelenül megállapítható a hidrofób kötések létrejöttének potenciális lehetősége. A téstta-, illetve sikérképződés vizes közegben zajlik le. A termodinamikai tendencia az apoláris csoportok egymáshoz kapcsolódása irányába mutat. A hőmérséklet emelkedésével bizonyos határig erősödnek ezek a kötések, így különösen a fehérjék hőstabilitása szempontjából jelentősek.

4.3. A fehérjekomponensek hatása a siker reológiai tulajdonságaira

Korábbi kutatások rámutattak, hogy a siker tulajdonságait leginkább a gliadin és glutenin típusú fehérjék aránya befolyásolja. Ez a nézet azon a tényen alapul, hogy a sikerkomplex rugalmassága a HMW-gluteninekkel van kapcsolatban, az LMW-gluteninek a siker szilárdságát, a gliadinok pedig a viszkozitását (nyújthatóságát) határozzák meg. Korábban az 1:1 gliadin-glutenin arányt tartották optimálisnak. Később megállapították a könnyen diszpergálható fehérjék arányát (olyan híg szerves savakat használva, mint a tejsav). Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a könnyen diszpergálható komponensek mennyisége negatív korrelációban van a siker és a téstta reológiai tulajdonságaival. A nem diszpergálható frakciók mennyiségének növelése javító hatású. Ezen megfigyeléseken alapulnak a búza sütési tulajdonságainak meghatározására szolgáló némely eljárások (a siker duzzadási tesztje, Zeleny szedimentációs teszt) (Lásztity, 1999).

MacRitchie (1973) rámutatott, hogy a sikérfehérjék oldhatósága és molekulatömeg-eloszlása fontos szerepet játszik a siker minőségének kialakításában. A kevésbé oldódó nagy molekulatömegű fehérjefrakció nagy aránya növeli a farinográfus tésttakialakulási időt és az extenziográfus magasságot és területet, és csökkenti a farinográfus tésttaellágyulást.

Payne (1987) kidolgozta a „Glu-1 minőségi jel” rendszert a búzafajták minőségének értékelésére (*1. táblázat*). Minden egyes búzafajta-hoz rendelhető egy Glu-1 jel, ami mindhárom HMW-GS lókuszt minőséghez való hozzájárulásának összege. A Glu-1

minőségi jel rendszer nem tökéletes; bevezetése után megállapították, hogy két különböző 8-as alegység létezik (8 és 8*), ugyanígy a 7-es alegységből is kettő van (7 és 7*). A Glu-1 rendszer a 7+8 alegységpárhoz csupán egy jelzést társít, miközben valójában négy alegységpár létezik (7+8, 7*+8, 7+8* és 7*+8*), s ezek között vannak, amik ellenkezően hatnak a búza minőségére. Így látható, hogy a Glu-1 minőségi jel rendszer időnként félrevezető lehet, mégis jól használható a gyakorlatban búzafajták minőségének előrejelzésére.

1. táblázat

A Glu-1 minőségi jel rendszer

Kromoszóma(1)	Alegységek(2)	Jel(3)			
		1	2	3	4
1A	1			+	
	2			+	
1B	17+18			+	
	7+8			+	
	13+16			+	
	7+9		+		
	7	+			
	6+8	+			
	20	+			
1D	5+10				+
	2+12		+		
	3+12		+		
	4+12	+			

Forrás: Payne, 1987

Table 1: The Glu-1 quality score system
Chromosome(1), Subunits(2), Score(3)

Uthayakumaran és mtsai (2002) igazolták a HMW-GS alegységek hozzájárulását a téstta erősségének és stabilitásának kialakulásához. Megállapították, hogy a Glu-D1-en kódolt 5+10 alegység jelenléte nagyobb mértékben járul hozzá a téstta tulajdonságaihoz, mint a Glu-B1-en kódolt 17+18 alegység, legkevésbé a Glu-A1 által kódolt 1 alegység befolyásolja a tulajdonságokat.

He és mtsai (2005) kínai kenyérbúzák tanulmányozásával a HMW és LMW glutenin alegységek tésttatulajdonságokra gyakorolt hatását vizsgálták. Variancia analízissel feldolgozott adataik alapján kimutatták, hogy a Glu-A1, Glu-B1, Glu-D1, Glu-A3 és Glu-B3 hatása a siker erősségére, a farinográfus stabilitásra és a cipótérfogatra (a Glu-B3 kivételével) szignifikáns. A lókusztok interakciói (mint a Glu-B1x Glu-B3 és Glu-D1x Glu-A3) szintén befolyásolják a farinográfus stabilitást, cipótérfogatot. Ugyancsak szignifikáns kapcsolat mutatható ki a Glu-A1, Glu-B1, Glu-B3 és az extenziográfus nyújthatóság, valamint a Glu-B1, Glu-A3 és a fehérjetartalom között. Úgy találták, hogy a Glu-A1, Glu-B1, Glu-D1, Glu-B3 nagyobb mértékben befolyásolják a téstta tulajdonságait, mint a Glu-3 és a lókusztok interakciói.

Ugyancsak He és mtsai (2005) tanulmányozták a HMW-GS és LMW-GS alegységek és allélok

szerepét a tézsta tulajdonságainak kialakításában. Kimutatták, hogy a Glu-1 lókuszon kódolt 1, 7+8 és 5+10 alegységek, illetve a Glu-A3d, Glu-B3d, Glu-B3b és Glu-B3f allélok pozitívan járulnak hozzá a siker erősségéhez, míg a Glu-B3j a fehérjetartalom kivételével valamennyi minőségi paraméterre negatívan hat.

Köztudott, hogy a környezeti tényezők hatással vannak a gabonaszem tömegére, fehérjetartalmára. Triboi és mtsai (2000) bizonyították, hogy a tenyészidőszak alatti hőmérséklet és N-ellátás jelentősen befolyásolja a búza fehérjetartalma mellett

a gliadinfrakció összetételét is: A liszt fehérje- és gliadintartalma mind a hőmérséklet, mind a N-trágyázás hatására növekszik, míg a szemenkénti fehérje- és gliadinmennyiség magas hőmérsékleten mérsékelten csökken, N-trágyázás esetén kismértékben növekszik.

Az ω -gliadinok aránya a gliadinfrakción belül mindkét tényező hatására emelkedik, az α - és β -gliadinok mennyisége a hőmérséklet emelésével nő, N-utánpótlás hatására csökken. A γ -gliadinok mennyisége magasabb hőmérsékleten csökken, N-trágyázás hatására nő.

IRODALOM

- Branlard, G.-Dardevet, M.-Amiour, N.-Igrejas, G. (2003): Allelic diversity of HMW and LMW glutenin subunits and omega-gliadins in French bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50. 7. 669-679.
- Gao, L.-NG. P.K.W.-Bushuk, W. (1992): Structure of glutenin based on farinograph and electrophoretic results. *Cereal Chemistry*, 69: 452.
- Graveland, A.-Bosveld, P.-Lichtendonk, W.J.-Marseille, J.F.-Moonen, J.H.E.-Sheepstra, A.A. (1985): A model for the molecular structure of the glutenins from wheat flour. *J. Cereal Sci.*, 3:1.
- Hajósné Novák M. (1999): Genetikai variabilitás a növénynevelésben, Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- He, Z.H.-Liu, L.-Xia, X.C.-Liu, J.J.-Pena, R.J. (2005): Composition of HMW and LMW Glutenin Subunits and Their Effects on Dough Properties, Pan Bread, and Noodle Quality of Chinese Bread Wheats. *Cereal Chemistry*, 82. 4. 345-350.
- Kasarda, D.D. (1989): „Glutenin structure in relation to wheat quality.” In: *Wheat is Unique*. Pomeranz, Y., ed., American Association of Cereal Chemists, St. Paul, 277.
- Kretovics, V.L.-Vakar, A.B. (1964): *Dokladü AN. SZSZSZR* 115: 465.
- Lásztity R. (1981): *Gabonafehérjék*, Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Lásztity, R. (1996): *The chemistry of cereal proteins*, CRC Press, Boca Ralton, New York, London, Tokyo.
- Lásztity, R. (1999): *Cereal chemistry*, Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Lásztity, R.-Békés, F.-Örsi, F.-Smied, I.-Kárpáti, M. (1987): „Protein-lipid and protein-carbohydrate interactions in the gluten complex.” In: *Gluten Proteins* (Eds: Lásztity R.-Békés F.) World Scientific, Singapore, 343.
- MacRitchie, F. (1973): Conversion of a weak flour to a strong one by increasing the proportion of its high molecular weight gluten protein. *J. Sci. Food Agric.*, 24: 1325
- Payne, P.I. (1987): The genetical basis of breadmaking quality of wheat. *Aspects Appl. Biol.*, 15: 79.
- Triboi, E.-Daniel, C. (2000): Effects of Temperature and Nitrogen Nutrition on the Grain Composition of Winter Wheat: Effects on Gliadin Content and Composition. *Journal of Cereal Science*. 32. 45-56.
- Uthayakumaran, S.-Beasley, H.L.-Stoddard, F.L.-Keentok, M.-Phan-Thien, N.-Tanner, R.I.-Békés, F. (2002): Synergistic and Additive Effects of Three High Molecular Weight Glutenin Subunit Loci. I. Effects on Wheat Dough Rheology. *Cereal Chemistry*, 79. 2. 294-300.
- van Velzen E.J.J.-van Duynhoven, P.M.-Pudney, P.-Weegels, P.L.-van der Maas, J.H. (2003): Factors Associated with Dough Stickiness as Sensed by Attenuated Total Reflectance Infrared Spectroscopy. *Cereal Chemistry*, 80. 4. 378-382.