

Elválasztástechnikai módszerek fejlesztése növényi fehérjék és szénhidrátok komplex jellemzésére

Kulcsszavak: szénhidrátok, FODMAP, keményítő, HPLC, polimer, rosttartalom, alapanyagjellemzés, növényi fehérjék

1. ÖSSZEFOGLALÁS

A BME Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszékén működő Gabonatudományi és Élelmiszerminőség Kutatócsoportban az elválasztástechnika már hosszú idő óta részét képezi az élelmiszerek, élelmiszer összetevők komplex minőségi értékeléséhez alkalmazott módszereknek. A jelenlegi és jogelőd tanszékünkön dolgozó kollégáink komoly eredményeket értek el az elválasztástechnikai módszerek segítségével például a fehérje és szénhidrát összetétel vizsgálatában, a lipidek (zsírsavak) analízisében, a biogén aminok és aminosavak mennyiségi és minőségi értékelésében, stb. Az alapanyag összetételi meghatározása mellett fontos kérdés volt az egyes molekulák minőségére, technológiai tulajdonságokra gyakorolt hatása. Ezt mindig az adott korban korszerűnek számító eszközöket és módszereket felhasználva volt lehetőség vizsgálni, így gélkromatográfia, nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia, gázkromatográfia és elektroforetikus technikák alkalmazása fémjelzte mind a kutatás, mind az oktatás színvonalát. Az elmúlt években a kutatócsoportunkban főként a gabonák minőségével, összetételükkel, technológia potenciáljukkal és élelmiszerbiztonsági szempontú értékelésükkel foglalkoztunk. Ezeknek a területeknek a kutatására a részletes molekuláris szintű (elsősorban fehérje és rost összetételi) vizsgálatok elengedhetetlenné váltak, amelyek kiváló eszközei a modern elektroforetikus és kromatográfiás módszerek. Ezek megfelelő alkalmazása azonban nagy kihívást jelent, mert rutinszerű használatukhoz a legtöbb esetben komoly módszerfejlesztési és/vagy módszeradaptálási, részleges validálási feladatok elvégzése szükséges. A következőkben néhány alkalmazási példán keresztül rövid áttekintést adunk a kutatócsoportunkban az elválasztástechnika területét érintő projektekről és elért eredményeinkről.

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék, Gabonatudományi és Élelmiszerminőség Kutatócsoport

SCHALL Eszter
TÖRÖK Kitti
JUHÁSNÉ SZENTMIKLÓSSY
Marietta Klaudia
NÉMETH Renáta
TÖMÖSKÖZI Sándor

schall.eszter@vbk.bme.hu
torokkitti@gmail.com

szentmiklossy.marietta@vbk.bme.hu
nemeth.renata@vbk.bme.hu
tomoskozi.sandor@vbk.bme.hu

<https://orcid.org/0000-0003-1660-8195>
<https://orcid.org/0000-0002-7045-0053>

<https://orcid.org/0000-0002-1306-3444>
<https://orcid.org/0000-0003-3064-5056>
<https://orcid.org/0000-0002-3444-8423>

2. Bevezetés

Növényi alapú élelmiszereink tárháza rendkívül széles, melyek fogyasztása szükséges az energiabevitelünk fedezésére, fehérje és rostforrásunkat is részben biztosítják, de emellett számos, szervezetünkre jótékony hatást gyakorló összetevővel is rendelkeznek. Sajnos emellett tartalmazhatnak olyan molekulákat, melyek összefüggésbe hozhatók emésztőrendszert érintő rendellenességgel (pl. allergia, cöliákia, irritábilis bélszindróma).

Az élelmiszeralitika területén számos módszer áll rendelkezésünkre az élelmiszerek adott szempontú jellemzésére, viszont nehéz feladattal állunk szemben, amikor olyan bonyolult, "sokszereplős" anyagi rendszereket próbálunk analizálni és ezen keresztül megérteni, mint pl. a gabonaalapú tészta, vagy sütőipari termékek. Hiszen a célzott mintaelőkészítés, a mintaelőkészítés során a natív szerkezet megtartása, a különböző összetevők szelektív elválasztása, vagy a komponensek detektálása is komoly kihívást jelenthet.

A BME ABÉT Gabonatudományi és Élelmiszermínőség kutatócsoportban az elválasztástechnikán belül főként a fehérjék és szénhidrátok vizsgálatával foglalkozunk, mely kiterjed az alapanyagok jellemzésére vagy például a reológiai és technológiai viselkedés során tapasztalt jelenségek értelmezésére. A kutatási céljainkat és feladatainkat három nagy csoportra, a táplálkozási érték, egészségtámogató összetevők mennyiségének meghatározására, a technológiai viselkedést alapvetően meghatározó szénhidrátok és fehérjék jellemzésére és az élelmiszerbiztonsági szempontból kritikus egyes összetevők vizsgálatára oszthatjuk.

3. Szénhidrátok jellemzése

A növényi szénhidrátok közül alapvető jelentőségű a keményítő, mely táplálkozási szempontból energiaszükségletünk fedezése miatt fontos, technológiailag pedig például a gabonákból készülő termékek minőségét befolyásolja, továbbá számos esetben, natív vagy módosított formában állományjavító segédanyagként funkcionál. A nem keményítő szénhidrátok esetében az élelmi rostok mind táplálkozási, mint technológiailag fontos szerepet tölthetnek be minőségüktől függően, melyek közül a gabonák esetében a legkiemelkedőbb képviselők az arabinoxilán, a β -glükán és az arabinogalaktán-peptidek. A kis molekulaméretű szénhidrátok szintén fontosak az energiabevitelben (pl. cukrok), emellett pedig a termékek érzékszervi tulajdonságait határozhatják meg. Viszont e csoport egyes tagjai (FODMAP - fermentálható oligo-, di-, monoszacharidok és cukoralkoholok) élelmiszerbiztonsági szempontból problémát jelenthetnek bizonyos fogyasztók számára. [1, 2]

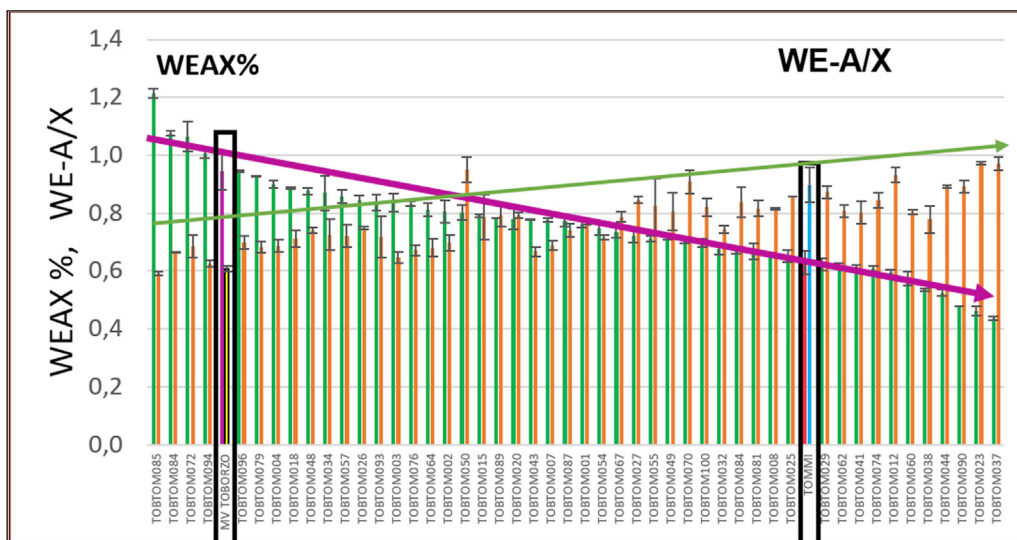
A keményítő szerkezete, amilóz/amilopektin aránya, mérete szolgálhat információval annak technológiai tulajdonságairól. A keményítőszemcsék mérete a vízfelvétellel van összefüggésben, mely tészta-rendszerekben a tészta nyújthatóságát, nyújtással szembeni ellenállását határozza meg. A keményítő alkotók közül az amilóz szilárdabb gélt eredményez. Viszont az amilóz az öregedési folyamatokban nagyobb mértékben érintett, mint az amilopektin, így magas aránya csökkenti a termékek eltarthatóságát. [1, 3]

A keményítő és alkotóinak mennyiségi meghatározása és molekuláris tulajdonságainak jellemzése komoly kihívást jelent. Ugyanis a molekula szelektív oldatba vitele és specifikus, csak rá és alkotóira jellemző meghatározása alig lehetséges. Elérhető enzimes kitek a keményítő teljes mennyiségének és az amilóz/amilopektin arányának (amilóz tartalmának) meghatározására [4, 5], de ezek megbízhatósága a fent említett okok miatt kérdéses. Mi a kutatásainkhoz a keményítő jellemzést méretkizárásos nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával (HPLC) valósítjuk meg, amivel a keményítő méretéről és az amilóz/amilopektin arányról kaphatunk információt. Ezt számos kutatási projektben alkalmaztuk, például növényneveléssel előállított magas amilóz és magas amilopektin arányú minták vizsgálatára. Emellett búza alapú keményítő előállítás technológiai megvalósításában is részt vettünk, mely esetben főként az alapanyagok változékonyságának vizsgálatát, illetve a keményítő előállítás monitorozását oldottuk meg ilyen módon. [6, 7] (Kapcsolódó pályázatok: GINOP-2.1.1-15-2016-00855; OTKA K112179)

A rostok szerepet játszanak a gabonákból készült termékek technológiai tulajdonságainak alakításában, de szervezetünkre gyakorolt pozitív hatásai is döntő jelentőségűek. A rostalkotók táplálkozási és technológiai viselkedést alakító szerepének megítélése szempontjából fontos azok több szempontból történő jellemzése. Elválasztástechnikai módszerekkel részletesen jelenleg az arabinoxilánokat jellemezzük, melyek összetétele és mérete értékes információkkal szolgál. A molekula gerincét jelentő xilózok, és az oldalláncokat alkotó arabinózok aránya alapvetően meghatározza a polimer tulajdonságait, pl. oldhatóságát és méretét [8]. A polimert felépítő monomerek összetételéről és arányáról, továbbá abszolút mennyiségéről gázkromatográfiás módszer segítségével kapunk információt. Az összetétel mellett viszont a rost molekulák méretének feltérképezése is fontos a technológiai tulajdonságokat befolyásoló hatásuk vizsgálatához. Ehhez azonban a polimer szerkezetet változatlanul hagyjuk, és méretkizárásos folyadékkromatográfiával vizsgálhatjuk a méreteloszlást. Jelenleg nem megoldott probléma, hogy így azonban csak az oldható rostok tulajdonságainak meghatározása lehetséges.

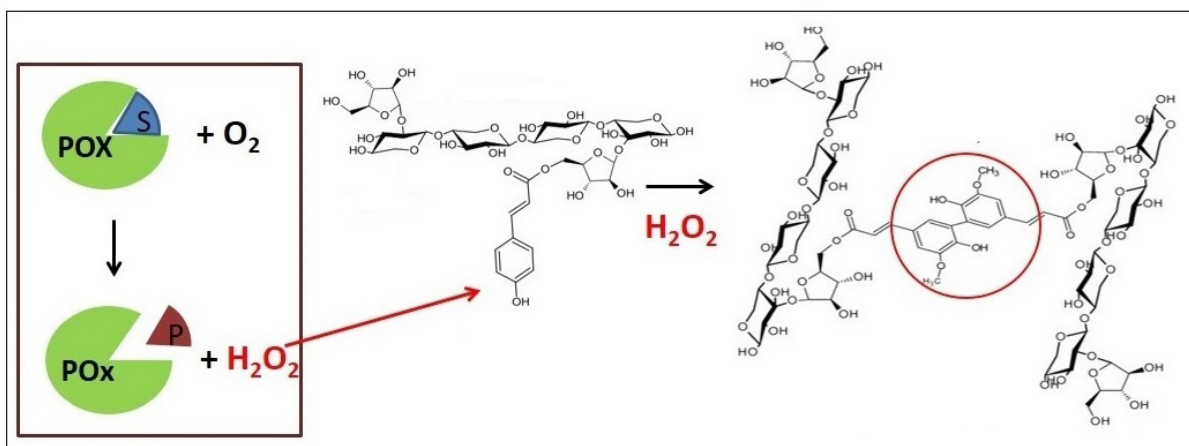
Továbbra is kérdéses, hogy a gabonák jelentős részében túlnyomó többségben jelen lévő oldhatatlan rostok jellemzése hogyan történjen. Hasonló módszertani problémákkal találkozunk pl. a HMW gluteninek (nagy molekulaméretű sikerfehérjék) vizsgálatánál is.

A teljes rosttartalom alakulásáról az irodalomban számos publikáció érhető el, viszont az egyes rostalkotók mennyiségéről már sokkal kevesebb. Csoportunkban számos projekt kötődik az arabinoxilánok meghatározásához, melyek során főként a genetikai és környezeti tényezők hatását, így ezen molekulák változékonyságát térképeztük, illetve térképezzük fel (**1. ábra**) [9, 10, 11]. (Kapcsolódó pályázat: OTKA K112179)

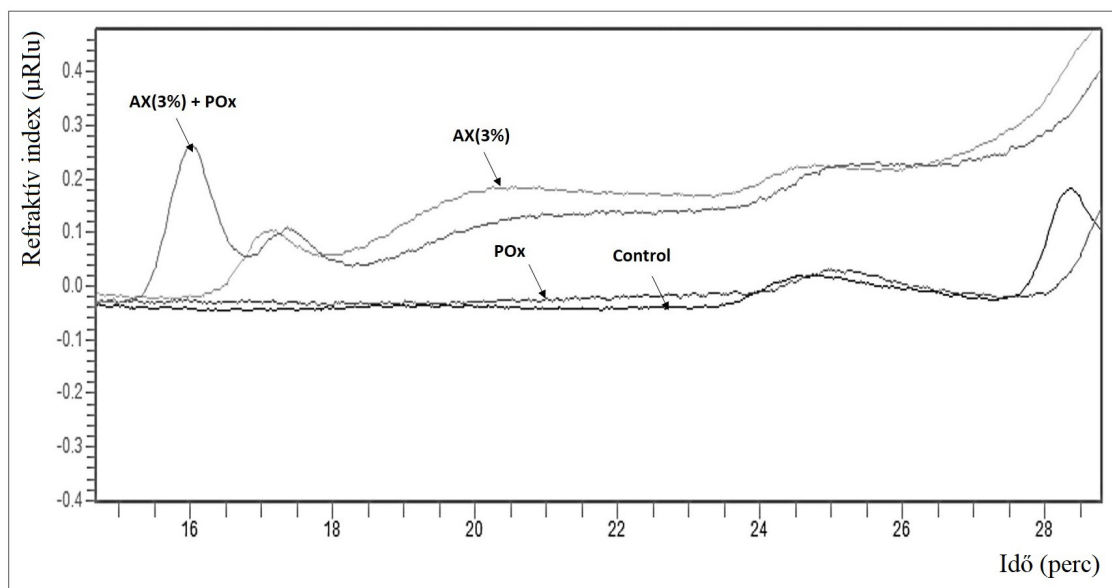


1. ábra. Célzott növényneveléssel előállított kísérleti vonalak oldható arabinoxilán tartalma (WEAX%) és arabinóz/xilóz aránya (WE-A/X) [11]

Az alapanyagjellemzés mellett a rostalkotók technológiai viselkedést befolyásoló hatását is vizsgáltuk. Az elmúlt évek egyik meghatározó kutatási feladata volt csoportunkban a gluténmentes termékek fejlesztésénél a sikértartalmú gabonákhoz hasonló tésztaszerkezet kialakítása. Mivel a gluténmentes alapanyagokból pont a megfelelő tésztaszerkezetet adó sikerfehérjék hiányoznak, ezért ezt valahogy pótolni kell. Kutatásunk során ezt szénhidrátokkal, méghozzá arabinoxilán hálózat kialakításával kíséreltük meg legalább részlegesen pótolni (**2. ábra**). Ennek nyomkövetésére, a hálózat kialakulásának bizonyítására és a polimerek enzimkezelés hatására kialakuló változására a folyadékkromatográfiás módszerünk alkalmasnak bizonyult (**3. ábra**). [12, 13, 14] (Kapcsolódó pályázatok: OTKA ANN-114554; TÉT_15-1-2016-0066)



2. ábra. Az enzimkezelés hatásának lehetséges mechanizmusa az arabinoxilán hálózat kialakítására (POx – piranóz-oxidáz; S (szubsztrát) – mono- és diszacharidok; P (termék) – dikarbonil származékok) [15]



3. ábra. Az enzimkezelés és az arabinoxilán hálózat kialakulásának vizsgálata SE-HPLC módszerrel teljes kiőrlésű köles mintán (AX – arabinoxilán; POx – piranóz-oxidáz) [15]

Az emésztőrendszert érintő rendellenességek közé sorolható irritábilis bélszindróma összefüggésbe hozható rövid szénláncú szénhidrátok fogyasztásával, melyek összefoglaló neve a FODMAP [16]. Ezek feltérképezésére fókuszáltunk az elmúlt időszakban, melyek minőségi és mennyiségi vizsgálatát folyadékkromatográfiai módszerekkel tudjuk megoldani.

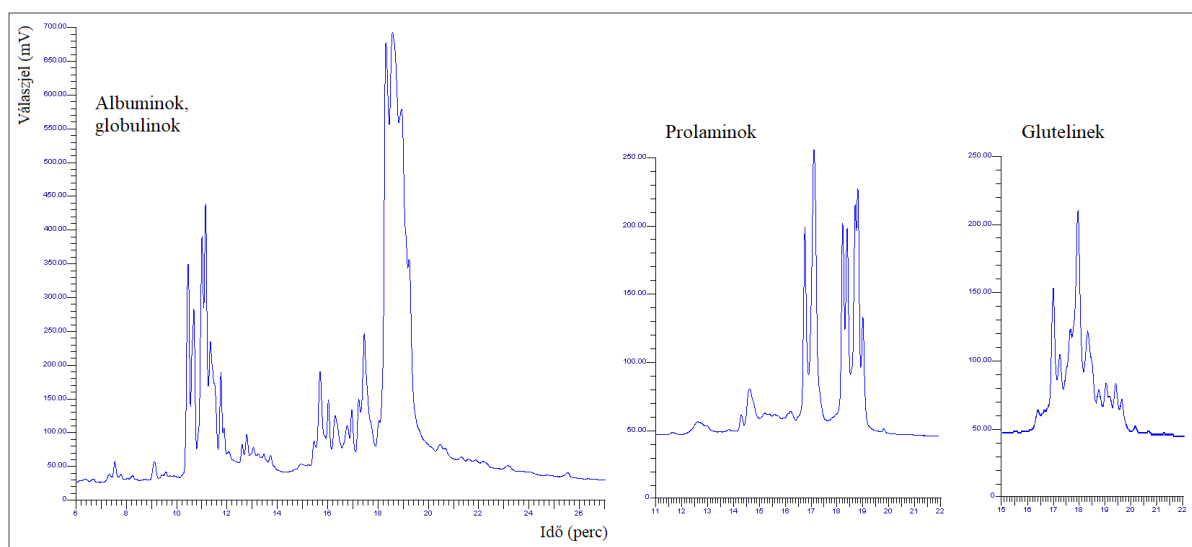
Számos olyan növényi alapú élelmiszer sorolható fel, mely FODMAP tartalom tekintetében magas kockázatúnak tekinthető. A gabonák többsége ide sorolható, ugyanakkor a szemtermékek FODMAP tartalmának fajta és környezet függő változékonyságáról szinte semmit sem tudunk. Az elmúlt években nemesítő és malomipari partnereinkkel közösen végzett kutatásaink során ezen összetevők meghatározására alkalmas analitikai módszerek fejlesztésén dolgoztunk. Ennek eredményeképpen adaptált és továbbfejlesztett módszerekkel ma már lehetőségünk van különböző gabona fajok és fajták, illetve különböző őrlmények kis molekulaméretű szénhidrát összetételéről információt szolgáltatni, ami lehetővé teszi ezen összetevők mennyiségi és minőségi változékonyságának a feltérképezését. (Kapcsolódó pályázat: 2017-1.3.1-VKE-2017-000)

4. Növényi fehérjék vizsgálati módszerei

A növényi fehérjék felosztása hagyományosan az Osborne frakcionáláshoz köthető, mely oldhatóság alapján különböztetni meg az egyes fehérjéket. Habár ez funkció, méret és összetétel tekintetében nem mindig jelent homogén csoportokat, így például a gabonafehérjék esetében más szempontokat is tartalmazó csoportosítást is kidolgoztak. [17, 18]

Csoportunkban főként a különböző minőségű fehérjék technofunkcionális tulajdonságainak megértésével, és az élelmiszerbiztonsági szempontból kritikus fehérjék jellemzésével, analitikai környezetének fejlesztésével foglalkozunk. A fehérjeösszetétel vizsgálatára főként méretkizáráson és fordított fázisú elválasztáson alapuló folyadékkromatográfiai módszereket alkalmazunk.

A búza esetében a fehérjeösszetétellel kapcsolatos irodalmi források száma nagy, viszont érdekesség, hogy a nagyon hasonló, és közeli rokonsági kapcsolatban lévő gabonákról (pl. rozs, árpa, zab) ez a tudásanyag sokkal kisebb. Ezért utóbbiakkal kapcsolatos kutatási feladataink végrehajtásába sokkal nehezebb dolgunk van, mert kevésbé támaszkodhatunk az irodalomban leírt módszerekre és adatokra. Így az eredmények értelmezése, a kapott kromatográfiai csúcsok azonosítása a hiányos ismeretanyag miatt sokszor nehéz. Ebből adódóan sokat foglalkozunk a zab és rozs részletes összetételi és reológiai, technológiai viselkedésének feltérképezésével párhuzamosan a folyadékkromatográfiai módszerek fejlesztésével és alkalmazásával, melynek eredményeképpen az eddigieknél részletesebb képet kaphatunk ezen gabonák fehérjeösszetételéről, illetve annak változékonyságáról (4. ábra). [19] (Kapcsolódó pályázat: 2017-1.3.1-VKE-2017-000)



4. ábra. A zab fehérjéinek Osborne frakcionálással és fordított fázisú folyadékkromatográfiával elválasztott profilja (saját)

Ezeket a módszereket viszont nem csak az alapanyagok jellemzésénél tudjuk a szolgálatunkba állítani. A megfelelő technológiai jellemzőkkel rendelkező termékek fejlesztésénél alapvető fontosságú, hogy megértsük a tésztarendszert alkotó összetevő között fellépő kölcsönhatásokat. A tanszékünkön folyó kutatások komoly eredményekkel járultak hozzá a siker komplex kialakulásának megértésében [20], azonban még nagyon sok kérdés merül fel a fehérjék és szénhidrátok kapcsolatáról, a rostok szerepéről és a külső forrásból adagolt molekulák tésztarendszerbe való beépüléséről. A minőségi javítást célzó termékfejlesztések során a pontos mechanizmusok megértése nélkülözhetetlen, aminek jó eszköze lehet a kromatográfiai módszerek nyújtotta lehetőségek. Ugyanis a termékfejlesztéseknél a különböző technológiai kezelések hatásának nyomonkövetésére is jól alkalmazhatók. Erre példa a szintén a gluténmentes termékfejlesztéseknél a dagasztási, kelesztési és sütési lépések, illetve az arabinoxilán adagolások hatásának vizsgálata a fehérjeösszetétel tekintetében. [21] (Kapcsolódó pályázat: OTKA ANN-114554)

Végül, de nem utolsó sorban az elválasztástechnikai módszerek segítségével az élelmiszerbiztonsági szempontból kritikus összetevők (pl. cöliákiát kiváltók fehérjék) is vizsgálhatók. A glutén szennyezettség kimutatására/meghatározására alkalmas analitikai módszerek megbízhatóságával kapcsolatban komoly problémaként merül fel a referencia anyagok hiánya. Ennek megoldásán már több éve foglalkozunk immunanalitikai gyorseszteket gyártó cégekkel és külföldi partner kutatócsoportokkal. A fejlesztés elengedhetetlen része a cöliákiát kiváltó fehérjék genetikai és környezeti változékonyságának feltérképezése, továbbá a fehérjék fizikai-kémiai tulajdonságainak megváltozása az élelmiszerek előállítása során. Előbbit főleg fordított fázisú HPLC, míg utóbbit méretkizárásos folyadékkromatográfia segítségével vizsgáltuk. A fehérjék részletesebb elemzését első körben a búzával kapcsolatban végeztük, azonban a rozs és árpa fehérjék is érintettek a rendellenesség kiváltásában, melyek vizsgálata jelenleg is folyik a kutatócsoportunkban. [22, 23, 24, 25] (Kapcsolódó pályázat: FOODCT-2006-036337)

6. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet mondani minden volt és jelenlegi munkatársnak, PhD hallgatónak és egyetemi hallgatónak, akik munkájukkal hozzájárultak a kutatócsoportunk elválasztástechnikai tudásanyagának bővítéséhez. Külön köszönet Balázs Gábornak és Harasztos Annának, akik hosszú ideig voltak meghatározó tagjai a csoportnak, és akiknek számos, ma is alkalmazott módszer fejlesztésének elindítását köszönhetjük.

A munkák finanszírozását számos kutatási projekt és támogatás segítségével tudunk fenntartani, melyek közül az elmúlt évek legmeghatározóbb projektjei a következők:

- „A tönkölybúzában rejlő genetikai, összetételi és feldolgozóipari lehetőségek feltárása” című OTKA 135211 pályázat
- TKP2021 pályázati program, BME-EGA-02 és BME TKP-BIO 2020 projektek
- „GalgaGabona projekt: Élelmiszerbiztonsági, agrotechnikai, feldolgozástechnológiai és táplálkozási érték növelését célzó fejlesztések a zab és rozs humán célú hasznosítási feltételeinek javítása érdekében” című projekt (2017-1.3.1-VKE-2017-00004)

- „Gluténmentes tészta minőségének javítása hemicellulóz hálózat kialakításával” (OTKA ANN 114554) (FWF I1842-N28)
- „Módosított szénhidrátrendszeren alapuló gluténmentes és végtermék modellek szerkezeti, reológiai és funkcionális tulajdonságainak vizsgálata” (TÉT_15-1-2016-006)
- „Új szempontok a búzanemesítésben: a bioaktív komponens-összetétel javítása és annak hatásai” (OTKA 11279)(FWF-I1842-N28)
- „Vállalatok K+F+I tevékenységének támogatása: Minőségorientált komplex ipari termelési rendszer és modell kifejlesztése, új módosított keményítő kialakítása, illetve új rostalapú feldolgozott termék hasznosításának kutatása” című projekt (GINOP-2.1.1-15)
- „Egészségmegőrzés és hagyomány: alapanyag-, termék- és technológiafejlesztés a gabonavertikumban” (TECH_08_A/2-2008-0425)
- „Minőségorientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen” (TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002)
- EU 6. Keretprogramja által támogatott MoniQA Kiválósághálózat (FOOD-CT-2006-036337)

5. Irodalom

- [1] 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 & Technology* **16** (1-3) pp. 12-30. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.02.011>
- [2] Khan K., Shewry P.R. (2009): *Wheat: Chemistry and Technology*. 4th ed. AACCI International, Inc.
- [3] Gray J.A., Bemiller J.N. (2003): Bread Staling: Molecular Basis and Control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* **2** (1) pp. 1-21. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x>
- [4] McCleary B.V., Charnock S.J., Rossiter P.C., O’Shea M.F., Power A.M., Lloyd R.M. (2006): Measurement of carbohydrates in grain, feed and food. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **86** (11) pp. 1648-1661. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2497>
- [5] McCleary B.V., Charmier L.M.J., McKie V.A. (2018): Measurement of Starch: Critical Evaluation of Current Methodology. *Starch – Stärke* **71** (1-2) 1800146. <https://doi.org/10.1002/star.201800146>
- [6] Jaksics E., Paszerbovics B., Egri B., Rakszegi M., Tremmel_Bede K., Vida Gy., Gergely Sz., Németh R., Tömösközi S. (2020): Complex rheological characterization of normal, waxy and high-amylose wheat lines. *Journal of Cereal Science* **93** 102982 pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102982>
- [7] Fekete D. (2021): A fajtahatás vizsgálata a búzakeményítő előállítás laboratóriumi modellezése során nyert termékekben. *MSc Diplomamunka*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
- [8] Saulnier L., Sado P.-E., Branlard G., Charmet G., Guillon F. (2007). Wheat arabinoxylans: Exploiting variation in amount and composition to develop enhanced varieties. *Journal of Cereal Science* **46** (3) pp. 261-281. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.014>
- [9] Török K., Szentmiklóssy M., Tremmel-Bede K., Rakszegi M., Tömösközi, S. (2019): Possibilities and barriers in fibre-targeted breeding: Characterisation of arabinoxylans in wheat varieties and their breeding lines. *Journal of Cereal Science* **86** pp. 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.01.012>
- [10] Tremmel-Bede K., Szentmiklóssy M., Tömösközi S., Török K., Lovegrove A., Shewry P.R., Láng L., Bedő Z., Vida Gy., Rakszegi M. (2020): Stability analysis of wheat lines with increased level of arabinoxylan. *PLoS ONE* **15** (5) pp. 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232892>
- [11] Szentmiklóssy M., Török K., Pusztai É., Kemény S., Tremmel-Bede K., Rakszegi M., Tömösközi S. (2020): Variability and cluster analysis of arabinoxylan content and its molecular profile in crossed wheat lines. *Journal of Cereal Science* **95** 103074 pp. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103074>
- [12] Bender D., Nemeth R., Cavazzi G., Turoczi F., Schall E., D’Amico S., Török K., Lucisano M., Tömösközi S., Schoenlechner, R. (2018): Characterization of rheological properties of rye arabinoxylans in buckwheat model systems. *Food Hydrocolloids* **80** pp. 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.035>
- [13] Németh R., Bender D., Jaksics E., Calicchio M., Langó B., D’Amico S., Török K., Schoenlechner R., Tömösközi S. (2019): Investigation of the effect of pentosan addition and enzyme treatment on the rheological properties of millet flour based model dough systems. *Food Hydrocolloids* **94** pp. 381–390. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.036>

- [14] Farkas A., Szepesvári P., Németh R., Bender D., Schoenlechner R., Tömösközi, S. (2021): Comparative study on the rheological and baking behaviour of enzyme-treated and arabinoxylan-enriched gluten-free straight dough and sourdough small-scale systems. *Journal of Cereal Science* **101** 103292. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103292>
- [15] Németh R., Bender D., Jaksics E., Calicchio M., Langó B., D'Amico S., Török K., Schoenlechner R., Tömösközi S. (2019): Investigation of the effect of pentosan addition and enzyme treatment on the rheological properties of millet flour based model dough systems. *Food Hydrocolloids* **94** pp. 381-390. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.036>
- [16] Ispiryan L., Zannini E., Arendt E.K. (2020): Characterization of the FODMAP-profile in cereal-product ingredients. *Journal of Cereal Science* **92** 102916. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102916>
- [17] Osborne, T. B. (1907): *The protein of the wheat kernel*. Publication No. 84. Carnegie Institute: Washington, DC
- [18] Shewry P.R., Halford N.G., Lafiandra D. (2003): Genetics of wheat gluten proteins, *Advances in Genetics* **49** pp. 111–184. [https://doi.org/10.1016/S0065-2660\(03\)01003-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2660(03)01003-4)
- [19] Járó K. (2021): Különböző zab minták fehérjeösszetételének jellemzése nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás módszerekkel. *MSc Diplomamunka*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
- [20] Lásztity R., Békés F., Örsi F., Smied I., Ember-Kárpáti M. (1996). protein-lipid and protein-carbohydrate interactions in the gluten complex. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* **44** (1-2) pp. 29-40.
- [21] Németh R. (2019): Sütőipari minőség meghatározására alkalmas műszer- és módszerfejlesztések és alkalmazásuk búzaalapú és gluténmentes modelltermékek vizsgálatára. *Doktori értekezés*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
- [22] Török K., Hajas L., Bugyi Z., Balázs G., Tömösközi S. (2015). Investigation of the effects of food processing and matrix components on the analytical results of ELISA using an incurred gliadin reference material candidate. *Acta Alimentaria* **44** (3) pp. 390–399. <https://doi.org/10.1556/AAlim.2014.0018>
- [23] Hajas L., Scherf K.A., Török K., Bugyi Z., Schall E., Poms R.E., Koehler P., Tömösközi, S. (2018): Variation in protein composition among wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars to identify cultivars suitable as reference material for wheat gluten analysis. *Food Chemistry* **267** pp. 387–394. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.005>
- [24] Schall E., Scherf K.A., Bugyi Z., Hajas L., Török K., Koehler P., Poms R.E., D'Amico S., Schoenlechner R., Tömösközi, S. (2020): Characterisation and comparison of selected wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars and their blends to develop a gluten reference material. *Food Chemistry* **313** 126049. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126049>
- [25] Schall E., Scherf K.A., Bugyi Z., Török K., Koehler P., Schoenlechner R., Tömösközi S. (2020): Further Steps Toward the Development of Gluten Reference Materials – Wheat Flours or Protein Isolates? *Frontiers in Plant Science* **11** 906. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00906>