



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

**Sütőipari minőség meghatározására alkalmas műszer- és
módszerfejlesztések és alkalmazásuk búzaalapú és
gluténmentes modelltermékek vizsgálatára**

Tézisfüzet

Szerző:

Németh Renáta

Témavezető:

Dr. Tömösközi Sándor



Alkalmazott Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék
Gabonatudományi és Élelmiszerminőség
Kutatócsoport

2019

1. Bevezetés, célkitűzések

A búza minősítésére és technológiai tulajdonságainak vizsgálatára számos módszer áll rendelkezésre. A búzaliszt tulajdonságai közül kiemelt szerepe van a sütőipari minőségnek, melynek közvetlen vizsgálatára a sütőipari végterméktesztek alkalmasak. Ezek az eljárások nagy idő-, munka- és mintaigényűek, az eredmények megbízhatóságát befolyásolja a mérést végző személy tapasztalata és a mérés körülményei. Az analitikai teljesítményjellemzők javításának egyik lehetősége a módszertan műszeres támogatása. Ennek megfelelően célunk egy olyan mérőműszer és módszertan kifejlesztése volt, mely alkalmas sütőipari végtermék tesztek részben automatizált elvégzésére makro és mikro üzemmódban. A makro üzemmód inkább a szabványos rutinmérések alternatívája lehet, míg a mikro módszer a mintaigény csökkentésével többek között a kutatás és nemesítés területén válhatna hasznossá.

A búzaalapú és ahhoz hasonló fehérjeösszetételű gabonákból készült élelmiszerek fogyasztása egyes fogyasztói csoportok számára lisztérzékenység, vagy más túlérzékenység miatt nem lehetséges. Esetükben jelenleg az egyetlen létező terápia a gluténmentes étrend kialakítása. A gluténmentes sütőipari termékek egy részének tápértéke és érzékszervi tulajdonságai azonban elmaradhatnak a hasonló jellegű búzaalapú termékekétől. Munkám második részében gluténmentes modelltermékek tápértékének és technológiai tulajdonságainak együttes javítását tűztük ki célul. Ennek egy lehetséges megoldása lehet gluténmentes tésztamatrix dúsítása keresztkötések kialakítására képes élelmi rostkomponensekkel (arabinoxilánokkal), melyek térhálósítása elősegíthető enzimreakciókon alapuló oxidatív közeg kialakításával. Mindez alkalmas lehet a sikérváz részleges helyettesítésére. Felmerül a kérdés, hogy az adagolások tésztulajdonságokra kifejtett hatásának vizsgálatára alkalmazhatóak-e a búzaminősítéshez kifejlesztett reológiai módszerek és milyen következtetések vonhatók le az általuk szolgáltatott eredményekből. Kérdés továbbá, hogy az AX adagolás és enzimekkel való kezelése milyen mértékben és jelleggel jelenik meg a végtermékek tulajdonságaiban. Ennek vizsgálatára a kísérleti rostizolátum és enzim korlátozott mennyisége miatt csak a munkám első részében kidolgozott, csökkentett mintaigényű sütőipari végtermék teszt lehet alkalmas.

A fentieknek megfelelően doktori munkám részletes célkitűzései az alábbiak:

- Sütőipari végterméktesztek méretcsökkentési lehetőségének és alkalmazhatóságának vizsgálata.
- Sütőipari végtermék teszt makro és mikro üzemmódban is működtethető műszeres változatának kifejlesztése, ide értve a hardver és a szoftver kialakítását és tesztelését.
- Műszeres makro és mikro sütőipari teszt végrehajtására alkalmas módszerek kidolgozása és részleges érvényesítése.
- A búzaminősítésben elterjedt, elsősorban reológiai módszerek alkalmazhatóságának vizsgálata és módosított változataik alkalmazása gluténmentes őrlmények technológiai tulajdonságainak jellemzésére.
- Rostadagolás és enzimes kezelés gluténmentes tézta/szuszpenzió reológiai tulajdonságaira, valamint a makromolekulák szerkezetére és mikromorfológiai tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata.
- Hagyományos és műszeres mikro sütéstartesztek kidolgozása és alkalmazása a kezelésekre végtermékre gyakorolt hatásának vizsgálatára gluténmentes élesztős és kovászos rendszerekben.

2. Irodalmi háttér

A búza minősítésére kidolgozott módszerek magukba foglalják a szemtermés tulajdonságainak, a lisztkihozatal, az őrlemények minőségének a vizsgálatát, valamint a végtermékteszt elvégzését. Ezek közül a sütőipari végtermékteszt teszi lehetővé a gabonaminőség összetett megítélését. A próbasütési tesztek fejlesztésének egyik fő iránya a szükséges mintamennyiség csökkentése, mely hasznos lehet olyan területen (pl. kutatás, termékfejlesztés, nemesítés korai fázisai), ahol a kísérleti anyagok (liszt, különféle adalékok, segédanyagok, stb.) csak korlátozott mennyiségben érhetőek el. A méretcsökkentett módszerek közül a nemzetközi AACCI 10-10.03 szabvány 10 g lisztre kidolgozott módszere tekinthető hivatalosan is elfogadottnak. Szintén 10 g lisztet igénylő módszerek a Kieffer, Belitz, Zweier, Ipfelkofer, & Fischbeck, (1993)¹ nevéhez fűződő MRMT (Micro Rapid Mix Test) és annak különféle adaptációi, módosításai, valamint nemrégiben kidolgoztak cipónként 15 g tésztát felhasználó módszert is². Azonban viszonylag kevés információ áll rendelkezésre a mikro cipók értékelhetőségéről, elsősorban a bélzet tulajdonságok tekintetében. A végtermék tesztek másik, a rutinszerű alkalmazás korlátját jelentő tulajdonsága, a viszonylag hosszú mérési idő, csökkentésének lehetősége szintén a műszerfejlesztések egyik irányát jelenti. Példaként a sütési idő szignifikáns csökkentését említem mikrohullámú³ vagy Joule hőn⁴ alapuló sütési technika alkalmazásával. Hátrányuk azonban, hogy a héjképződés csak kis mértékben játszódik le, márpedig a héj színe, íze és állaga is fontos a végtermék minőségének megítélés szempontjából.

A sütéspróba automatikus megvalósításának lehetőségét Doğan, Yildiz, & Taşan (2012)⁵ vizsgálták háztartási kenyérsütő gépek felhasználásával. Eredményeik azt mutatták, hogy az egyes készülékek eltérő teljesítményt nyújtottak, de alapvetően alkalmasnak bizonyultak a használt adalékok hatásának kimutatására. Trinh, Campbell & Martin (2016)⁶ összefoglaló cikkükben részletes áttekintést adnak az automata kenyérsütők kutatásban való alkalmazásáról. A szakirodalom és saját eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a kenyérsütőgépek által nyert eredmények többnyire nem tükrözik a hagyományos kenyérbélesztés során kialakuló tulajdonságokat és esetlegesen félrevezető információt nyújthatnak egyes adalékanyagok hatásáról. Ennek megfelelően a laboratóriumi sütőipari végtermék teszt műszerezett megoldása továbbra is hiányzó láncszem a teljes gabona, és főleg búzaminősítő rendszerben.

A gluténmentes kiscabonák (pl.: köles, cirok), valamint álgabonák (pl. hajdina, amaránt, quinoa) tápanyagösszetételüknek és részben technológiai tulajdonságuknak köszönhetően hozzájárulhatnak a változatosabb gluténmentes étrend kialakításához. Munkánk során a köles és hajdina vizsgálatával foglalkoztunk, így ezek tulajdonságait jellemeztem részletesebben.

A „köles” megnevezés alatt a kölesformák alcsaládjába és a *Panicum* (kölesek) és

¹ Kieffer, R. et al. (1993) 'Der Rapid-Mix-Test als 10-g-Mikrobackversuch', Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und -Forschung, 197, pp. 134–136.

² Frauenlob, J. et al. (2017) 'A new micro-baking method for determination of crumb firmness properties in fresh bread and bread made from frozen dough', Die Bodenkultur: Journal of Land Management, Food and Environment, 68(1), pp. 29–39. doi: 10.1515/boku-2017-0003.

³ Dogan, I. S., Yildiz, Ö. and Taşan, B. (2010) 'Spread and microwave oven baking test for bread making quality', International Journal of Agriculture and Biology, 12(5), pp. 697–700.

⁴ Gally, T. et al. (2016) 'Bread baking using ohmic heating technology; a comprehensive study based on experiments and modelling', Journal of Food Engineering. Elsevier Ltd, 190, pp. 176–184. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2016.06.029.

⁵ Dogan, I. S., Yildiz, Ö. and Taşan, B. (2012) 'Determination of the bread-making quality of flours using an automatic bread machine', Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 36(5), pp. 608–618. doi: 10.3906/tar-1202-48.

⁶ Trinh, L., Campbell, G. M. and Martin, P. J. (2016) 'Scaling down bread production for quality assessment using a breadmaker: Are results from a breadmaker representative of other breadmaking methods?', Food and Bioproducts Processing. Institution of Chemical Engineers, 100, pp. 54–60. doi: 10.1016/j.fbp.2016.06.004.

Pennisetum (tollborzfüvek) nemzetséghez tartozó számos, főként apró szemterméssel rendelkező fajt értjük. A hajdina (*Fagopyrum esculentum* Moench és *F. tataricum* Gaertn.) a keserűfűfélék (Polygonaceae) családjába tartozó kétszikű növény, tehát rendszertanilag nem gabonaféle (ún. álgabona), de mivel keményítőben gazdag, magját a gabonafélékhez hasonlóan fogyasztjuk.

A köles és a hajdina (illetve más egyéb gabona és álgabona) őrlemények technológiai tulajdonságainak jellemzésére jelenleg nem áll rendelkezésre a búzáéhoz hasonló minősítőrendszer. A búzaliszt technológiai viselkedését számos tényező befolyásolja, melyek közül kiemelt jelentőségű a sikérfehérjék, valamint a keményítő összetétele és minősége, így a minősítés során alkalmazott módszereket elsősorban ezen összetevőktől függő tulajdonságok (dagasztási és viszkózus tulajdonságok, nyújthatóság, stb.) vizsgálatára fejlesztették ki. A köles esetén elsősorban lisztkeverékekben (búza-köles, gluténmentes keverékek) történő vizsgálatával kapcsolatos kutatások érhetőek el. Búzaliszthez történő kölesliszt adagolás nagyban befolyásolja a farinográffal mérhető tészta dagasztási tulajdonságait, az adagolt mennyiséggel arányosan alacsonyabb vízabszorpciót, hosszabb tésztakialakulási időt és gyengébb tésztastabilitást eredményez. Ezen kívül a kölesliszt adagolása csökkenti a tészta nyújthatóságát és nyújtással szembeni ellenállását. A hajdinaliszt általában alacsonyabb vízabszorpcióval és hosszabb tésztakialakulási idővel rendelkezik, mint a búzaliszt, emellett a kialakult tészta alacsonyabb maximális konzisztenciával jellemezhető, mint a búzalisztból készült tészta⁷. A keményítő minőségtől függő viszkózus tulajdonságok híg liszt-víz szuszpenzióban történő vizsgálatára alkalmazott gyakori módszer a gyors viszkoanalizátoros technika (RVA). A köles és hajdina keményítői jellemzően alacsonyabb csúcsviszkozitással, viszont stabilabb gélszerkezettel (alacsonyabb visszaesés) és magasabb végső viszkozitással rendelkeznek, mint a búzakeményítő⁸.

A dagasztási és viszkózus tulajdonságok tésztarendszerekben történő együttes vizsgálatára alkalmas technika a Mixolab, mely szintén ígéretes módszer a búzától eltérő alapanyagok vizsgálatára. A sikérváz hiánya számos problémát vet fel a gluténmentes tésztarendszerekben (híg, viszkózus tészta, gyenge gázvisszatartás, stb.), melyet orvosolni kell ahhoz, hogy a fogyasztók számára is elfogadható minőségű termékeket lehessen biztosítani.

A sikérháló részleges pótlásának egy lehetséges megoldása lehet nem keményítő jellegű szénhidrát, például arabinoxilán molekulák közötti hálózat kialakítása. Az arabinoxilánok (AX) a hemicellulózokhoz, azon belül is az ún. pentozánok közé tartozó rostalkotók, legnagyobb mennyiségben a rozsban, valamint a búzában fordulnak elő. Az AX-ok búza és rozs alapú tésztamátrixok, illetve végtermékek tulajdonságaiban betöltött szerepe számos tanulmány tárgyát képezi^{9,10}, azonban viszonylag kevés információ áll rendelkezésre gluténmentes mátrixokban történő alkalmazásukról. Az AX-ok molekulamérete és ezáltal fizikai-kémiai és reológiai tulajdonságai oxidatív enzimek (lakkáz, oxidázok) vagy kémiai oxidálószerrel segítségével befolyásolható. Az élelmiszerbiztonság és fogyasztói elfogadottság szempontjából az enzimek alkalmazása előnyösebb lehetne a kémiai oxidálószerrel szemben, és akár a kenyérbiztonság kelesztési lépésébe is beépíthetők lehetnek megfelelően szelektált élesztőtörzsek alkalmazásával. A szakirodalom alapján a piranóz-2-oxidáz (POx) alkalmazása egy

⁷ Marcela, S. et al. (2017) 'Effect of the dough mixing process on the quality of wheat and buckwheat proteins', Czech Journal of Food Sciences, 35(No. 6), pp. 522–531. doi: 10.17221/220/2017-cjfs.

⁸ Wu, K. et al. (2016) 'Buckwheat and Millet Affect Thermal, Rheological, and Gelling Properties of Wheat Flour', Journal of Food Science, 81(3), pp. E627–E636. doi: 10.1111/1750-3841.13240.

⁹ Bagdi, A. et al. (2016) 'Effect of aleurone-rich flour on composition, baking, textural, and sensory properties of bread', LWT - Food Science and Technology. Elsevier Ltd, 65, pp. 762–769. doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.073.

¹⁰ Buksa, K. et al. (2018) 'Arabinoxylan-starch-protein interactions in specially modified rye dough during a simulated fermentation process', Food Chemistry, 253, pp. 156–163. doi: 10.1016/j.foodchem.2018.01.153.

lehetséges megoldás lehet. A POx számos mono- és diszacharid oxidációját katalizálja a C2-es vagy C3-as pozícióban, mely során dikarbonil származékok és H₂O₂ keletkezik. Ebben a közegben az AX molekulák feruloil csoportjai oxidálódhatnak és ezáltal intermolekuláris keresztkötések jöhetnek létre¹¹. Ez a folyamat AX térháló kialakításához vezethet, mely alkalmasnak tűnik a siker sikerkomplex részleges helyettesítésére

A POx hatását jelenleg elsősorban a búzaliszt összetevőire vizsgálták tészta-, valamint kenyérfőzés során. Az eredmények alátámasztották az AX molekulák közötti keresztkötés kialakulását, valamint a fehérjék szabad tiol csoportjainak oxidációját. Továbbá valószínűsíthető, hogy az AX molekulák és a sikerfehérjék között is a létre jöhetnek keresztkötések¹². A gluténmentes tészta mátrixok technológiai viselkedésére gyakorolt lehetséges kedvező hatása mellett, az AX-oknak számos egészségtámogató hatása van, mint ételmi rostalkotó, illetve bioaktív komponens¹³.

3. Kísérleti módszerek

3.1. Felhasznált anyagok

A fajtaazonos búzamintákat az MTA ATK Mezőgazdasági Kutatóintézet (Martonvásár) biztosította. A GK-Piroska fajtájú kölest a Gabonakutató Nonprofit Kft. (Szeged), míg a hajdinát a Caj. Strobl Naturmühle GmbH (Linz, Ausztria) szolgáltatta. A mérésekhez használt vegyszerek analitikai tisztaságúak voltak. Ezen kívül kísérleti AX koncentrátumokat és piranóz-2-oxidáz (POx) enzimet alkalmaztunk, melyeket partnerintézményünk, a bécsi BOKU (University of Natural Resources and Life Sciences) munkatársai állítottak elő.

3.2. Alkalmazott módszerek

A szemes búzákból kenyérfőzésre alkalmas fehér lisztet (MSZ EN ISO 27971:2015 alapján), míg a köles és hajdina szemekből fehér (250µm>) és teljes kiőrlésű liszteket állítottunk elő. A búzaminták és lisztek beltartalmi összetételét (fehérje, nedvesség, hamu, nedves siker) NIR módszerrel (Infratec 1241 Gran Analyser, Foss Tecator, Svédország) határoztuk meg.

A hajdina és köleslisztek esetén szabványos módszereket alkalmaztunk a kémiai összetétel (nedvesség (MSZ EN ISO 712:2010), hamu (MSZ EN ISO 2171:2010), fehérje (MSZ EN ISO 16634-2:2016), zsír (ICC Standard Method Nr. 136), ételmi rost (AOAC 991.43 és AACC32-07)) meghatározására. Az arabinoxilán tartalmat (TOTAX, WEAX) Gebruers et al. (2009)¹⁴ gázkromatográfiás módszerével mértük. A búzalisztek vízábszorpcióját és dagasztási tulajdonságait farinográfus módszerrel (ICC Standard Nr. 115/1) határoztuk meg. A köles és hajdina őrlmények és modellrendszerek dagasztási, valamint viszkózus tulajdonságainak vizsgálatára micro-doughLAB, RVA (ICC Standard Method Nr. 162) és Mixolab (módosított MSZ EN ISO 17718:2015) mérés technikákat alkalmaztunk. A búzalisztek sütőipari minőségének vizsgálatára az

¹¹ Decamps, K. et al. (2012) 'Glucose and pyranose oxidase improve bread dough stability', Journal of Cereal Science. Elsevier Ltd, 55(3), pp. 380–384. doi: 10.1016/j.jcs.2012.01.007.

¹² Decamps, K. et al. (2014) 'Impact of pyranose oxidase from *Trametes multicolor*, glucose oxidase from *Aspergillus niger* and hydrogen peroxide on protein agglomeration in wheat flour gluten-starch separation', Food Chemistry. Elsevier Ltd, 148, pp. 235–239. doi: 10.1016/j.foodchem.2013.10.036.

¹³ Bagdi, A. et al. (2016) 'Effect of aleurone-rich flour on composition, baking, textural, and sensory properties of bread', LWT - Food Science and Technology. Elsevier Ltd, 65, pp. 762–769. doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.073.

¹⁴ Gebruers, K., Domez, E., Bedö, Z., Rakszegi, M., Courtin, C.M., Delcour, J.A., 2010. Variability in xylanase and xylanase inhibition activities in different cereals in the HEALTHGRAIN diversity screen and contribution of environment and genotype to this variability in common wheat. J. Agric. Food Chem. 58, 9362–9371. <https://doi.org/10.1021/jf100474m>

ICC Standard Method Nr. 131 alapján, valamint saját fejlesztésű mikro módszerrel végeztünk próbasütéseket, mely utóbbit adaptáltuk műszeres, illetve gluténmentes sütésteszték kidolgozására. Az AX-ok méreteloszlásának vizsgálatát Bagdi et al. (2017)¹⁵ SE-HPLC módszere alapján végeztük. A fehérjék molekulaméret szerinti vizsgálatára Larroque and Békés (2000)¹⁶ SE-HPLC módszerét vettük alapul. A keményítőmolekulák méreteloszlásának vizsgálatát SE-HPLC Simsek et al. (2013)¹⁷ módszere alapján végeztük el. A szabad ferulasav tartalmat spektrofotometriás elven Buksa et al. (2012)¹⁸ alapján határoztuk meg. A mikromorfológiai tulajdonságokat pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) technikával vizsgáltuk Marcela et al. (2017) módszeréből kiindulva¹⁹.

Az eredmények statisztikai elemzését varianciánalízissel (ANOVA) végeztük el, melyhez TIBCO Statistica™ 13.5.0 (TIBCO Software Inc., USA) szoftvert használtuk. A statisztikai tesztek $\alpha=0,05$ szignifikancia szinten végeztük.

4. Eredmények

4.1. Sütőipari végtermékteszt műszer- és módszerfejlesztése

Munkánk egyik célja annak felderítése volt, hogy milyen mértékben csökkenthető a szükséges mintamennyiség, hogy a próbapipó tulajdonságai még alkalmasak legyenek a minősítő módszerek elvégzésére, valamint reprezentálják a hagyományos, nagyobb mintaigényű tesztek eredményeit. Előkísérleteink azt mutatták, hogy 10 g liszt felhasználásával még teljesülhetnek ezek a feltételek, így ennek megfelelően alakítottunk ki mikro vizsgálati módszert, mellyel végzett vizsgálatok eredményeit összevetettük a nemzetközi szabvánnyal (ICC Nr. 131.) végzett sütéspróba eredményeivel.

A mikro cipókra és a szabványos módszerrel készült cipókra kapott paraméterek hasonló tendenciát mutatnak, a fajlagos térfogatértékek között szignifikáns lineáris összefüggés áll fent ($r=0,712$). Mindezen tapasztalatok felhasználásával alakítottuk ki a műszeres sütésteszték makro és mikro változatainak eszközrendszerét és módszereit. A fejlesztéseket ipari partnerünkkel, a Labintern Kft-vel együttműködve valósítottuk meg, mely magába foglalta a hardver (készülék, sütőformák, egyéb eszközök) és a szoftver kialakítását és fejlesztését (1. ábra.).

A módszertani fejlesztések során elvégeztük a kenyértészta készítés folyamatának standardizálását, melyből kiindulva végül kidolgoztuk a programbeállításokat mind makro, mind mikro üzemmódban. Eredményeink alapján a műszeres makro módszerre kialakított programbeállítások mellett kellően megkeltek a cipók, a héj viszonylag egyenletes, barna színezetet kapott. A párhuzamos mérések ismételtetősége is megfelelően bizonyult, a térfogat relatív szórásának értéke mindössze 1,42%-nak adódott. Ez alapján a kialakított műszeres makro módszert alkalmasnak ítéltük a továbbiakban minősítő vizsgálatok elvégzésére.

¹⁵ Bagdi, A., Tömösközi, S., & Nyström, L. (2017). Structural and functional characterization of oxidized feruloylated arabinoxylan from wheat. *Food Hydrocolloids*, 63, 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.08.045>

¹⁶ Larroque, O. R., & Bekes, F. (2000). Rapid size-exclusion chromatography analysis of molecular size distribution for wheat endosperm protein. *Cereal Chemistry*, 77(4), 451–453. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2000.77.4.451>

¹⁷ Simsek, S., Whitney, K., & Ohm, J. B. (2013). Analysis of Cereal Starches by High-Performance Size Exclusion Chromatography. *Food Analytical Methods*, 6(1), 181–190. <https://doi.org/10.1007/s12161-012-9424-4>

¹⁸ Buksa, K., Ziobro, R., Nowotna, A., Praznik, W., & Gambuś, H. (2012). Isolation, modification and characterization of soluble arabinoxylan fractions from rye grain. *European Food Research and Technology*, 235(3), 385–395. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1765-0>

¹⁹ Marcela, S. et al. (2017) 'Effect of the dough mixing process on the quality of wheat and buckwheat proteins', *Czech Journal of Food Sciences*, 35(No. 6), pp. 522–531. doi: 10.17221/220/2017-cjfs.



1. ábra: Saját fejlesztésű laboratóriumi sütőgép prototípusa

A műszeres mikro módszer fejlesztésénél a makro módszer alapján indultunk ki, melyet csak kis mértékben kellett módosítanunk, hogy egyenletes színezetű és megfelelő bélzetminőségű cipókat állíthassunk elő. A végleges program párhuzamos méréseit viszonylag alacsony relatív (1,7%) szórással végeztük el, így a mikro módszert is alkalmasnak találtuk a későbbi vizsgálatok elvégzésére.

A véglegesített műszeres makro és mikro módszerek alkalmazhatóságának vizsgálatára és részleges validálására próbasütéseket végeztünk 10 fajtaazonos búza lisztjél használva. Az eredmények az ICC Nr. 131. szabványmódszerrel történő összevetése alapján elmondható, hogy az egyes fajták megkülönböztetése a szabványos próbasütéshez hasonló eredményeket adott. A bélzet keménységek alapján szignifikáns korreláció mutatkozik a szabványos és a makro/mikro cipók között, és a porozitásban is figyelhetők meg hasonlóságok.

A munka folytatása során tervezzük a készülék működésének finomhangolását, elsősorban a szabályozás tekintetében, valamint a műszeres makro és mikro módszer teljes validálását szélesebb minőség tartományt lefedő mintasorozat alkalmazásával.

4.2. Gluténmentes tészta modell rendszerek táplálkozási és technológiai tulajdonságainak módosítása rostadagolás és enzimkezelés alkalmazásával

Az alapanyagok (köles és hajdina őrlmények) összetételi jellemzése során megállapítottuk, hogy a vártnak megfelelően a fehér lisztek kémiai szempontból egyszerűbb anyagi rendszerek, amelyek főleg a magas keményítő tartalmú endospermet tartalmaznak. Ennek köszönhetően jelentősen alacsonyabb rost- és/vagy AX-tartalommal jellemezhetők, így kevesebb a reaktív csoportok mennyisége, mint a teljes kiőrlésű lisztekben. Ezekben a rendszerekben tehát a kutatómunkánk fő célját jelentő AX adagolás és enzimkezelés hatása valószínűsíthetően jobban azonosítható, mint a teljes kiőrlésű őrlményeknél. Az utóbbiak viszont közelebb állnak a reális mátrixokhoz, ezek vizsgálata ezért indokolt.

A micro-doughLAB-bal és Mixolabbal vizsgált dagasztási tulajdonságok valamennyi vizsgált modellrendszer esetén hasonlóképpen, bár nem azonos mértékben változtak az AX adagolás és az enzimkezelés hatására, így feltételezhetjük, hogy a köles és hajdina alapú rendszerekben hasonló molekuláris folyamatok játszódhattak le. Az AX adagolás a legtöbb esetben a tészta mátrix konzisztenciájának jelentős csökkenését idézte elő, mely a fehér lisztek esetén volt nagyobb mértékű. Ez azzal magyarázható, hogy a hozzáadott

AX mennyisége a teljes őrleményekben, saját rosttartalmukhoz képest kisebb változást eredményezett, mint a fehér liszteké. A hozzáadott AX-t tartalmazó rendszerek enzimes kezelése során magasabb konzisztenciát mértünk, mint a kezeletlen AX adagolt tészták esetén. Ez utalhat az AX molekulák közötti keresztkötések kialakulására. Megfigyeltük azonban, hogy az oxidatív közeg létrehozása AX hozzáadása nélkül is változást okozott a tészta tulajdonságaiban. Ez a teljes kiőrlésű őrlemények esetén magyarázható a saját AX tartalommal, azonban az AX-t nem vagy csak kis mennyiségben tartalmazó fehér lisztek esetén ez a jelenség más okokra vezethető vissza. Az enzimtevékenység alatt keletkező H₂O₂ értelemszerűen nem specifikusan hat az egyes lisztalkotókra, így indukálhatja például a fehérjék közötti ditirozin vagy diszulfid hidak kialakulását, de nem kizárható az AX-fehérje kölcsönhatások létrejötte sem az AX molekula ferulasav és fehérjék tirozil csoportjai között.

Az RVA és Mixolab módszerekkel vizsgált viszkózus tulajdonságokban is jelentős változásokat észleltünk az adagolás és enzimkezelés hatásaként. Az AX-koncentrátumot tartalmazó rendszerek esetén jelentősen alacsonyabb lett mind a tészta, mind a híg szuszpenziók viszkozitása a megfelelő kontrollokhoz képest. Az AX-ok hozzáadása hasonló tendenciát mutatott Ayala-Soto, Serna-Saldívar, & Welti-Chanes (2017)²⁰ által végzett kutatás során is, amikor is kukoricából kivont AX-t gluténmentes kompozit lisztekhez adagoltak. A POx az AX-t nem tartalmazó rendszerekben alkalmazva is a legtöbb esetben hatással volt a viszkózus viselkedésre. A teljes kiőrlésű lisztek esetében ez magyarázható a natív AX molekulák közötti keresztkötéssel^{21,22}. Az AX-t nem vagy alig tartalmazó fehér lisztek esetén az enzim hatása kevésbé volt nyilvánvaló. Ezek esetében egyéb összetevő, például a keményítő oxidációja is állhat a viszkozitás változás hátterében. Erre Pereira et al. (2017)²³ munkájából is következtethetünk, akik tanulmányozták a H₂O₂ által oxidált zab keményítő termikus és gélesedési tulajdonságait. A natív keményítő oxidációja a gél keménységének, tapadosságának és ragacsosságának növekedéséhez vezetett, amit a karbonil- és karboxilcsoportok kialakulásának köszönhetően megnövekedett hidrogénkötések számával magyarázható. A keményítő kölcsönhatásba léphet az AX-ok fenolos csoportjaival (pl. ferulasav-csoportokkal), vagy a fehérjékkel is, amelyek gátolt keményítő-retrogradációt válthatnak ki²⁴.

A reológiai vizsgálatok eredménye közvetett bizonyítékot szolgáltat az AX molekulák, illetve más makromolekulák között esetlegesen kialakuló keresztkötések létrejöttére. Ennek megerősítése érdekében vizsgáltuk a kísérleti körülmények hatását az AX molekulák, fehérjék és a keményítő méreteloszlására, a szabad ferulasav tartalomra, valamint a tészta és gél rendszerek mikromorfológiájára. Az eredmények alapján megállapítható, hogy mind a köles, mind pedig a hajdina rendszerek esetén jelentős változás zajlott le az adagolt AX molekulák méretében, melyet a szabad ferulasav tartalom enzimkezelés hatására bekövetkező csökkenése is alátámasztott. Ez alapján

²⁰ Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 98–107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004>

²¹ Decamps, K., Joye, I. J., Rakotozafy, L., Nicolas, J., Courtin, C. M., & Delcour, J. A. (2013). The bread dough stability improving effect of pyranose oxidase from *trametes multicolor* and glucose oxidase from *aspergillus niger*: Unraveling the molecular mechanism. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(32), 7848–7854. <https://doi.org/10.1021/jf4021416>

²² Piber, M., & Koehler, P. (2005). Identification of dehydro-ferulic acid-tyrosine in rye and wheat: Evidence for a covalent cross-link between arabinoxylans and proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(13), 5276–5284. <https://doi.org/10.1021/jf050395b>

²³ Pereira, J. M., Evangelho, J. A., Moura, F. A., Gutkoski, L. C., Zavareze, E. R., & Dias, A. R. G. (2017). Crystallinity, thermal and gel properties of oat starch oxidized using hydrogen peroxide. *International Food Research Journal*, 24(4), 1545–1552.

²⁴ Karunaratne, R., & Zhu, F. (2016). Physicochemical interactions of maize starch with ferulic acid. *Food Chemistry*, 199, 372–379. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.033>

nagy valószínűséggel állítható, hogy az AX-ok keresztkötése lejátszódott a vizsgált gluténmentes rendszerekben. Az enzimkezelés hatására a vizsgált fehérjefrakciók mennyisége is szignifikánsan csökkent, mely aggregátumok vagy makromolekula komplexek képződésére utalhat. A keményítőmolekulák méreteloszlásában is méretnövekedés mutatható ki, ami utalhat a keményítőmolekulák oxidációjára. Vizsgálatainkkal tehát azt is alátámasztottuk, hogy a fehérjék és a keményítő molekulák módosulása, valamint azok AX molekulákkal esetlegesen kialakított kölcsönhatása is szerepet játszhatott a reológiai tulajdonságokban tapasztalt változásokban.

Célkitűzéseinknek megfelelően utolsó lépésként vizsgáltam, hogy a bemutatott jelenségek milyen mértékben befolyásolják a végtermékminőséget. Összességében bizonyítást nyert, hogy az AX és enzimkezelés hatása a végtermékek minőségének alakulásában is megjelenik. Az AX hatására többnyire csökkent a sütési veszteség, mely az oldható AX molekulák vízmegkötő képességének köszönhető. Ezzel párhuzamosan a cipók bélzete is jellemzően puhább lett. A kovászos rendszerekben a fajlagos térfogat általában csökkent az AX hatására, míg az élesztős cipók esetén nem, vagy csak kis mértékben változott. Eredményeink azt is mutatják, hogy a búzaminősítésre kidolgozott műszerrel támogatott végtermékteszt alkalmas lehet gluténmentes próbapipók vizsgálatára is.

A műszeres gluténmentes próbasütési módszer végleges kidolgozása, valamint a makromolekulák közötti kölcsönhatások részletesebb vizsgálata munkám további célkitűzései közé tartoznak.

5. Tézisek

1. Előkísérleteimben megállapítottam, hogy a 10 g lisztből készülő próbapipók még alkalmasak a részletes értékelő vizsgálatok elvégzésére. Ez alapján mikro sütési módszert dolgoztam ki, melynek szabványos módszerrel történő összehasonlító vizsgálatát is elvégeztem. Egyértelmű összefüggést találtam a mikro és a szabványos cipók fajlagos térfogatai között, mely alapján a mikro sütési módszert alkalmasnak találtam a szabványos teszt eredményeinek reprezentálására. (I. közlemény)
2. Munkatársaimmal kidolgoztam egy laboratóriumi makro és mikro sütési teszt kivitelezésére alkalmas műszert és hozzátartozó módszereket. (IV. közlemény)
3. Összehasonlító vizsgálatokkal igazoltam, hogy a műszeres sütőipari végtermék tesztek a szabványos módszerhez hasonlóan képesek a vizsgálati minták megkülönböztetésére. (IV. közlemény)
4. Reológiai vizsgálati módszerekkel kapott eredményekkel igazoltam, hogy AX adagolással és piranóz-oxidáz enzimmel kialakított oxidatív közeg alkalmazásával a gluténmentes tészta-rendszerek reológiai tulajdonságai jelentősen befolyásolhatók. (II-III. közlemények)
5. Elválasztástechnikai és szerkezetvizsgálati módszerekkel igazoltam az AX hálózat kialakulását. Ugyanakkor bizonyítást nyert, hogy más makromolekulák (fehérjék, keményítő) szerkezetének változása is szerepet játszhat a tészta reológiai viselkedésének alakításában. (III. közlemény)
6. Igazoltam, hogy a búzára kifejlesztett mikro sütési módszerek alkalmasak gluténmentes élesztős és kovászos tésztából készült próbapipók előállítására és minősítésére. Megállapítottam, hogy a tésztákban lejátszó változások a végtermék minőségében is egyértelműen kimutathatók.

6. Alkalmazások

Az általunk kidolgozott készülék és módszerek további fejlesztésekkel és a vezérlés finomításával alkalmasak lehetnek félautomatizált laboratóriumi végtermékeszték rutinszerű elvégzésére. A makro üzemmód inkább a szabványos rutinmérések alternatívája lehet, míg a mikro módszer a mintaigény csökkentésével többek között a kutatás és nemesítés területén válhatna hasznossá. Előzetes eredményeink alapján a búzaminősítésre fejlesztett műszeres sütési teszt alapvetően alkalmas lehet gluténmentes termékek végtermékminőségének összehasonlítására is.

Az AX-ok, mint bioaktív élelmi rostalkotók, gluténmentes sütőipari termékekhez való hozzáadása hozzájárulhat a termékek táplálkozási értékének javításához, hálózatképző és vízmegkötő tulajdonságai révén pedig javíthatja a termékek szerkezetét. A gyakorlati alkalmazás további fejlesztőmunkát igényel, mivel az AX izolátum előállítása még nem költséghatékony. Ugyanakkor az oxidatív közeg kialakításához használt enzimes folyamat a megfelelő mikroorganizmus (élesztő) szelekciójával –sok más, már létező enzimes megoldáshoz hasonlóan -akár a tésztaérlelés, illetve kelesztés folyamatába is beépíthető.

7. Közlemények

A tézisek alapjául szolgáló közlemények

- I. Németh, R., Bánfalvi, Á., Csenedes, A., Kemény, S., Tömösközi, S., 2018. Investigation of scale reduction in a laboratory bread-making procedure: Comparative analysis and method development. *Journal of Cereal Science*. 79, 267–275. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.11.009>, **IF: 2,302**
- II. Bender, D., Németh, 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, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.01.035>, **IF: 5,089**
- III. 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, 381–390. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.036>, **IF: 5,089**
- IV. Németh, R., Farkas, A., Tömösközi, S., 2019. Investigation of the possibility of combined macro and micro test baking instrumentation methodology in wheat research. *Journal of Cereal Science*. 87, 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.04.006>, **IF: 2,302**

Egyéb kapcsolódó közlemények

Langó, B., Fehér, A. G., Bicskei, B. Z., Jaksics, E., Németh, R., Bender, D., D’Amico, S. Schoenlechner, R., Tömösközi, S. (2018). The Effect of Different Laboratory-scale Sample Preparation Methods on the Composition of Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) and Millet (*Panicum miliaceum* L.) Milling Fractions. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 62(4), 426–431. <https://doi.org/10.3311/PPch.12846>, **IF: 0.877**

Tömösközi, Sándor, Németh, Renáta, Roznár, Petra, Denisse, Bender, Jaksics, Edina, Turóczi, Fanni, Török, Kitti, Regine, Schönlechner (2018). A sikerfehérjéket nem tartalmazó (gluténmentes) termékek táplálkozási és technológiai minőségének fejlesztése. *Magyar Kémiai Folyóirat – Kémiai közlemények (1997-)* 124 : 3 pp. 101-107, 7 p. <http://doi.org/10.24100%2FMKF.2018.03.101>, **IF: 0**

Bender, D., Németh, R., Wimmer, M., Götschhofer, S., Biolchi, M., Török, K., Tömösközi, S., D’Amico, S., Schoenlechner, R. (2017). Optimization of Arabinoxylan Isolation from Rye Bran by Adapting Extraction Solvent and Use of Enzymes. *Journal of Food Science*, 00(0), 1–7. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13920>, **IF: 1,815**

Bender, D., Schmatz, M., Novalin, S., Németh, R., Chrysanthopoulou, F., Tömösközi, S., Török, K., Schoenlechner, R., Amico, S. D. (2017). Chemical and rheological characterization of arabinoxylan isolates from rye bran. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 4(14), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s40538-017-0096-6>, **IF:0**

Németh Renáta, Szendi Szilvia, Bánfalvi Ágnes, Csenedes András, Tömösközi Sándor (2015). Sütőipari végtermékteszt mintamennyiségének csökkentése - módszerfejlesztés, összehasonlító vizsgálatok. *Élelmiszer-Tudomány Technológia* LXIX:(3) pp. 20-26. (2015). **IF: 0**

Konferencia előadások

Németh Renáta, Jaksics Edina, Turóczy Fanni, Török Kitti, Denisse Bender, Regine Schönlechner, Tömösközi Sándor (2018). Gluténmentes termékek táplálkozási és technológiai tulajdonságainak javítása hemicellulóz hálózat kialakításával. XV. Oláh György Konferencia, Budapest, 2018. február 1.

Németh Renáta, Jaksics Edina, Turóczy Fanni, Szepesvári Pálma, Nagy Judit, Langó Bernadett, Török Kitti, Denisse Bender, Regine Schönlechner, Tömösközi Sándor (2017) Gluténmentes termékek táplálkozási és technológiai tulajdonságainak javítása hemicellulóz hálózat kialakításával. Magyar Táplálkozástudományi Társaság XLII. Vándorgyűlése, Siófok, 2017. október 12-14. ISBN: 978-615-5606-04-5

Renáta Németh, Petra Roznár, Judit Nagy, Denisse Bender, Stefano D'Amico, Regine Schoenlechner and Sándor Tömösközi (2017) Effect of arabinoxylan addition and enzyme treatment on the rheological properties of millet dough. 16th European Young Cereal Scientists and Technologists Workshop, 18-21 April 2017, Thessaloniki, Greece

Németh Renáta, Roznár Petra, Nagy Judit, Regine Schoenlechner, Tömösközi Sándor: Gluténmentes termékfejlesztés (2017) Köles táplálkozási és technológiai tulajdonságainak javítása hemicellulóz hálózat kialakításával. Táplálkozástudományi kutatások c. VII. PhD konferencia, Budapest, 2017. február 2. ISBN: 978-615-5606-03-8

Renáta Németh, Ágnes Bánfalvi, András Csendes, Sándor Tömösközi. Investigation of the applicability of a micro-scale baking test in wheat quality research.(2016) 15th European Young Cereal Scientists and Technologists Workshop, 26-29 April 2016, Bergamo, Italy

Poszterek

Sándor Tömösközi, Renáta Németh, Kitti Török, Bettina Paszerbovics, Blanka Egri, László Láng, Zoltán Bedő, Francesco Sestili, Domenico Lafiandra, Marianna Rakszegi (2018). Rheological behavior of wheat lines with altered amylose content. 13th Gluten Workshop, Mexikó, 2018. március 14-17.

Tömösközi Sándor, Langó Bernadett, Bicskei Bernadett, Németh Renáta, Denisse Bender, Stefano D'Amico, Regine Schoenlechner (2017). Kisgabonák minőségének vizsgálata laboratóriumi módszerekkel. XIV. Oláh György Konferencia, Budapest, 2017. február 2.

Tömösközi Sándor, Szabó-Hevér János, Szendi Szilvia, Németh Renáta, Harasztos Anna, Varga János, Békés Ferenc (2015). Application of small-scale methods in cereal quality related research, 5th C&E Spring Meeting, Budapest, 2015. április 27-29.