DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Tóth Marcell László

Budapest

2022

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Gluténmentes lisztkeverék fejlesztése és a végtermék vizsgálata a fogyasztói szempontok figyelembevételével

DOI: 10.54598/003080

Tóth Marcell László

Budapest

2022

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia
Egyetemi tanár, DSc
MATE, Élelmiszertudományi Kar
Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: Dr. Vatai Gyula
Egyetemi tanár, DSc
MATE, Élelmiszertudományi Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

Dr. Koris András
Egyetemi docens, PhD
MATE, Élelmiszertudományi Kar
Élelmiszeripari Műveletek és Gépek Tanszék

A doktori iskola- és a témavezetők jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

…… …..……

A témavezető jóváhagyása A témavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A sütőipari termékek évezredek óta fontos szerepet töltenek be a mindennapi étkezések során, azonban a lakosság egyre növekvő részének egészségügyi problémát jelent a búza-, árpa- vagy rozslisztből készült termékek fogyasztása. Ezeknek az embereknek gluténmentes lisztekből készült sütőipari termékeket kell fogyasztaniuk, ám azok mind a lisztek, mind a végtermékek esetén több, a minőséget döntően meghatározó szempontból különböznek a búzaliszttől, illetve az abból készült termékektől. Annak ellenére, hogy a gluténmentes alapanyagok és termékek köre folyamatosan bővül, a gluténmentes kenyerek íze, színe, állaga, szerkezete, eltarthatósága, a bélzet retrogradációs sebessége, valamint a kenyértészta reológiai tulajdonságai még mindig eltérnek a búzaliszt alapú hagyományos termékektől.

Doktori disszertációmat a Táplálékallergia Centrum megbízásából készítettem. Célja összetett, egyszerre több különböző, ám ugyanannyira fontos területet ölel fel. A gluténmentes sütőipari termékekkel és vizsgálatokkal kapcsolatos hazai és nemzetközi publikációk száma, valamint ezzel egy időben a jó minőségű gluténmentes alapanyagok és késztermékek iránti fogyasztói igény folyamatosan növekszik, azonban sajnálatos módon olyan alapinformációk hiányoznak, mint a piaci igények pontos felmérése, a jelenleg kereskedelmi forgalomban lévő gluténmentes lisztek és kenyerek sütőipari és érzékszervi vizsgálata, valamint a gyártókat segítő termékfejlesztési módszerek kidolgozása.

Ezek alapján disszertációmban a következő célokat tűztem ki:

1. Gluténmentes kenyeret fogyasztók között piackutatást végezni, melyből pontosan kiderülnek a hazai fogyasztói igények, prioritások, jelenleg is fennálló problémák

2. A jelenleg kapható gluténmentes lisztek farinográfos vizsgálatával képet kapni arról, hogy hol tartanak ma ezek a termékek a búzaliszthez és a rizsliszthez képest

3. Hidrokolloidok (xantán és hidroxipropil-metil-cellulóz) adagolásának tésztaképződésre gyakorolt hatását vizsgálni (a farinográf görbe melyik részén és mekkora mértékben fejtik ki hatásukat)

4. Szakirodalmi adatok és saját mérések alapján optimalizálási módszerrel új gluténmentes lisztkeveréket létrehozni, mely tészta képzési tulajdonságaiban minél jobban hasonlít a búzalisztéhez

5. Az új lisztkeverékből készült termékeket hiperspektrális (HSI) és reológiai (TPA) módszerrel vizsgálni, valamint fogyasztói tesztelésüket végrehajtani

6. Jelenlegi érzékszervi minősítési módszert gluténmentes kenyerekre alkalmazni és további javaslatokat kidolgozni

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Primer és szekunder piackutatás

A megfelelő fogyasztói információk gyűjtéséhez szekunder majd primer kutatást végeztem. A szekunder kutatás során a tudományos adatbázisok (Scopus, Web of Knowledge, PubMed és Google Scholar) vonatkozó cikkeiben kerestem arra vonatkozó információt, hogy mi a gluténmentes diéta kiváltó oka, mit gondolnak a termékekről, alapanyagokról, mik a legnagyobb minőségügyi problémák a gluténmentes kenyerekkel és lisztekkel. A primer kutatást online kérdőív formájában végeztem, a kitöltők arányát a Yamane formula (HALMOS et al., 2018) alapján határoztam meg minimum 400 főben.

2.2. Farinográfos vizsgálatok

Farinográfos módszerrel vizsgáltam különböző, kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes lisztkeverékeket, (SLUKOVÁ et al., 2017; GIRI és SAKHALE, 2021; BEITANE et al., 2015; LAZARIDOU et al., 2007), illetve vizsgáltam a hidrokolloidok hatását a TAC kenyérlisztekben: a hidroxipropil-metil-cellulóz (HPMC) és a xantán külön-külön, illetve egyidejű használata milyen hatást mutat a farinogram különböző szakaszaira (BEITANE et al., 2015), valamint hogy mekkora mennyiségben érdemes adagolni a hidrokolloidokat. A mérések során vizsgáltam a tésztakialakulási időt (min), stabilitási időt (min), az ellágyulás mértékét (FU), a tészta vízfelvételét (%) valamint a konzisztenciáját (FU).

2.3. Felhasznált anyagok

A kísérletek során illetve a termékfejlesztéshez használt hidrokolloidok (HPMC és xantán), pszeudocereáliák és gluténmentes lisztkeverékek ismertek voltak a Táplálékallergia Centrum (TAC) számára, ők állítják elő és/vagy forgalmazzák azokat. Minden felhasznált alapanyag gluténmentes, melyet akkreditált laborvizsgálat igazol. A TAC kenyérliszt fehérkenyér készítésére alkalmas, de a dolgozatomban vizsgáltam a barnakenyér készítéséhez alkalmas lisztkeveréket is. Előzetes kísérletként érzékszervi vizsgálatot végeztem pszeudocereáliákból egyre növekvő mennyiséget tartalmazó kenyerekkel, és ezek alapján határoztam meg a hozzáadott hajdina- és amarantliszt arányát. Az eredmények alapján 1%

amarantlisztet és 5% hajdinalisztet adtam az alap TAC lisztkeverékhez, így létrehozva a második lisztkeveréket amit a mérésekhez használtam (a továbbiakban barnakenyér lisztkeverék).

2.4. Optimalizálás

Munkám során TAC kenyérliszteket (fehérkenyér és barnakenyér lisztkeverék) használtam, melyeket erre a célra készültek hozzáadott hidrokolloid nélkül. Az ezekhez a keverékhez adott hidrokolloidok, pontosabban a HPMC és a xantán optimális keverési arányát kerestem. A Statistica (Tibco Statistica, California, USA) program segítségével a megadott anyagok minimális és maximális mennyiségének megadásával Design of Experiment (DoE) 3^2-n teljes faktoros kísérlettervet készítettem (3 szint, 2 faktor), külön mindkét alapként használt TAC kenyérliszt keverékre (fehérkenyérhez és barnakenyérhez). A lisztkeverékek vízfelvételét farinográffal vizsgáltam meg úgy, hogy a maximális konzisztenciát és stabilitást érjék el a keverékek (FARKAS et al., 2021). Függő változóként szerepelt a tésztakialakulás idő, a stabilitás ideje, az ellágyulás, vízfelvétel és a maximális konzisztencia, míg független változókként a HPMC és a xantán. A farinográfos méréseket mintánként háromszor ismételtem meg. Az alkalmazott hidrokolloidok min-max értékeinek meghatározásához szakirodalmi publikációkat vettem alapul, melynek eredményeként 0-3%-ban határoztam meg azokat (LAZARIDOU et al., 2007, SAHIN et al., 2020, HORSTMANN et al., 2018).

A farinográfos eredmények alapján modellt alkottam a függő és független változókhoz, melyek illeszkedését regressziós számítással (R^2) vizsgáltam. A modell egyenletek segítségével predikciós eszközt hoztam létre (Microsoft Excel 2018). A predikciós Excel makró segítségével 6 különböző lisztkeverékeket alkottam, és validáltam a modell eredményeit (RMSE). Az optimalizálási kísérlet végén kapott keveréket használtam tovább, és az ebből készült kenyereket használtam a dolgozat további méréseinél (próbasütés, reológia, érzékszervi minősítés).

2.5. Reológiai mérés kompressziós módszerrel

A kenyérbélzet vizsgálatának egyik leggyakrabban használt módszere a Texture Profile Analysis (TPA). A módszer lényege hogy a mintát adott erőhatással kétszer összenyomják, így imitálva az állkapocs működését és végeredményben a rágást. A létrejövő erő-idő görbéből számos paraméter meghatározható, és ezek összefüggésbe hozhatóak érzékszervi tulajdonságokkal (BOURNE, 2002). A kenyérbélzet TPA mérésére Stable Micro System TA.XT2 berendezést használtam az alábbi beállításokkal (Meretei, 2012):

- mérési mód: relaxációs
- mérőfej sebessége a mérés során: 0.2 mm/s
- mérőfej sebessége a mérés előtt és után: 2 mm/s
- mérőfej: A/BE35 35 mm átmérőjű plexi korong
- mérés ideje: 60 s
- tehermentesítés ideje: 60 s
- terhelő erő: 5 N
- minta magassága: 15 mm
- minta átmérője: 35 mm
- mintavételezés: 200 mérés/s

Az eredményül kapott diagramokról leolvashatóvá vált a minta keménysége, kohéziója és rugalmassága. A TPA mérések során a dolgozatban leírtak alapján fejlesztett lisztkeverékekből készült gluténmentes kenyérmintákat (fehér formakenyér, barna formakenyér, parasztkenyér) használtam. Referencia termékként kereskedelmi forgalomban kapható, tartósítószer és védőgázos csomagolás nélküli búzaliszt alapú termékeket választottam. Parasztkenyér esetében a Ceres Bükki parasztkenyeret (Ceres Zrt., Magyarország), fehér formakenyér esetében a Ceres Sütő Vajas Toast kenyeret (Ceres Zrt., Magyarország), barnakenyér esetében pedig Roberto Teljes kiőrlésű szeletelt kenyeret (Roberto Industria Alimentare, Olaszország). Minden kenyérmintából 7 szelet került mérésre a tárolási kísérlet minden napján, egy addig bontatlan csomagolásból. A kenyérminták egyike sem tartalmazott tartósítószert, módosított légterű vagy aktív csomagolást.

2.6. Hiperspektrális mérések

A mérés célja a kenyérszeletek nedvességtartalmának becslése, eloszlásának megállapítása és monitorozása tárolás során. A méréseket a Magyar Agár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszertudományi Karán, a Fizika Automatika Tanszéken végeztem az itt található Headwall Photonics XEVA-1648 XC134 (Specim spectrograph, Xeneth InGaAs) berendezéssel. A HSI vizsgálat push-broom módszerrel 1300-1600 nm közötti NIR tartományban végezte a mérést 5 nm léptéknöveléssel (TSENKOVA, 2009). A Tanszéken fejlesztett Argus szoftver (Firtha, 2011) segítségével végeztem a berendezés, a hiperspektrális képfeldolgozó rendszer, a léptetőmotorok és a szenzorok vezérlését. A HSI berendezéssel hiperkockába rögzített térbeli és spektrális adatok szegmentálását CuBrowser-rel végeztem (FIRTHA és ÉDER, 2012), a spektrumokon normálást és Savitzky-Golay simítást végeztem R Project szoftver segítségével. A kenyerek tárolása során bekövetkező spektrális változások nyomon követéséhez a képek közepére és a kenyérhéj közelébe pozícionált jelölőkkel 400 pixel

(20x20) nagyságú területet jelöltem ki, és az ezekhez a képpontokhoz tartozó spektrumokat exportáltam. A többváltozós statisztikai elemzések első kvalitatív értékelése főkomponens elemzéssel (PCA) történt, majd ezt követően a minták osztályba sorolását lineáris diszkriminancia elemzéssel (LDA) végeztem. A különböző kenyerek víztartalmának becslésére a NIR spektrumokból PSLR (parciális legkisebb négyzetek regressziója) módszert alkalmaztam.

2.7. Kenyérminták nedvességtartalmának meghatározása

A vizsgált kenyérminták (gluténmentes és búzaliszt alapú fehérkenyér, barnakenyér, parasztkenyér) kiindulási nedvességtartalmát, valamint annak a tárolási kísérlet alatt bekövetkező változását Kern MLB-50-3 nedvesség-meghatározó berendezés (Kern & Sohn, Németország) segítségével határoztam meg, tömegállandóságig történő szárítással. A méréshez használt minták nagysága 2g volt minden esetben. A tárolási kísérletnek megfelelően minden kenyérfajtából 4 azonos sütésből származó mintát vettem alapul, és a különböző napokon egy addig bontatlan csomagolású termékeket használtam. A tárolási kísérlet minden napján minden mintából 5 kenyérszeletet felhasználva (szeletvastagság: 12 mm) annak közepén, a szelet héjához közeli régióban és a két terület között mértem a nedvességtartalmat. A méréseket minden szelet esetében annak közepétől a héj felé három irányban végeztem el. A mérések kenyértípushoz, tárolási időhöz és a minta helyzetéhez tartozó átlag értékeit használtam fel a további elemzésekhez.

2.8. Érzékszervi minősítés

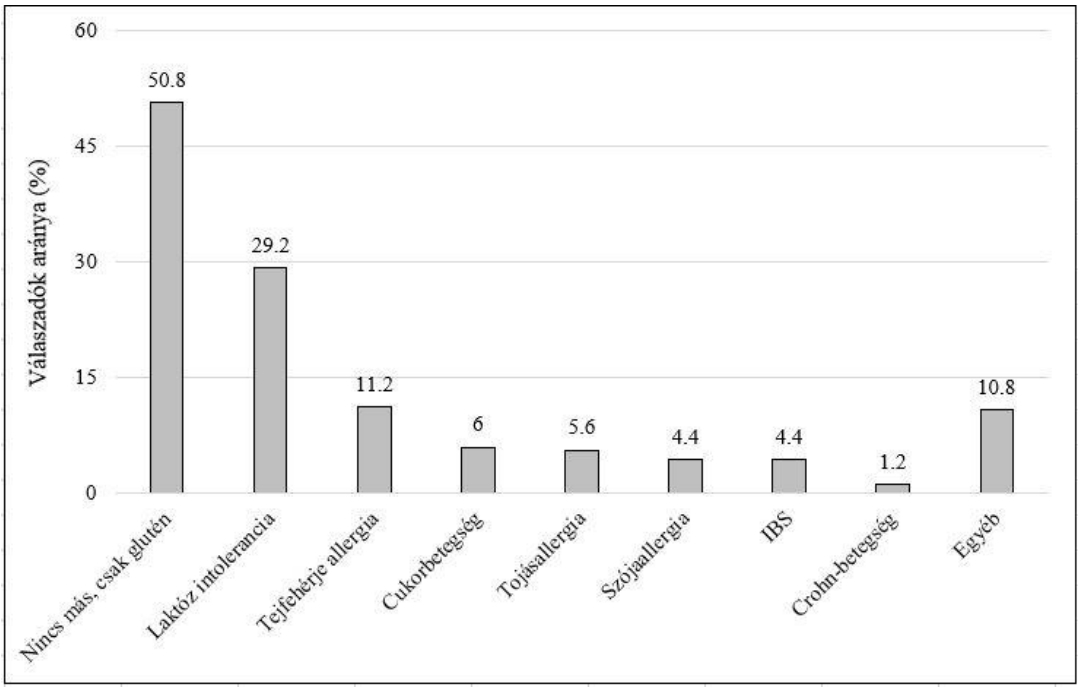
Az érzékszervi minősítés során leíró vizsgálatot (profilanalízist) valamint páros összehasonlító próbát végeztem az MSZ 20501-2:2018 leírása alapján. Profilanalízis során képzett bírálók csoportjával (10 fő) kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes fehér- és barnakenyér mintákat vizsgáltam az aromakerék segítségével. A kenyérszeletek 3 számjegyű, véletlenszerűen generált kóddal ellátott fehér tányéron kerültek a bírálók elé, akik egyéni munkával listát készítettek a mintákról annak színe, illata, textúrája (tapintás és kóstolás által) valamint íze alapján (KÓKAI és SIPOS, 2020). Az eredményeket az aromakerék segítségével csoportosan is vizsgálták, melynek eredményeként meghatározták a mindenki által egyértelműen érzékelt tulajdonságokat, valamint azokat, melyek nem szerepeltek az aromakeréken. Ennek összegzéseként létrejött a bírálati rendszer, és az érzékszervi tulajdonságokat 100 mm hosszúságú strukturálatlan skálán jelöltem. A későbbiekben a diétázók (50 fő) és a nem diétázók (50 fő) bírálói csoportok tagjai is ezzel megegyező bírálói lapot használtak a minősítés során. Az utóbbi két csoport tagjai laikus bírálónak minősülnek, mert

nem szakemberek és nem kaptak előzetes képzést az érzékszervi minősítés előtt. Az érzékszervi minősítés során szerettem volna felmérni azt, hogy van-e szignifikáns különbség különböző bírálói csoportok között. Az eredmények közötti összefüggést ANOVA teszttel, majd további post-hoc vizsgálattal (Tukey, Games-Howell teszt) elemeztem IBM SPSS Statistics 25.0.2.2 szoftver segítségével. A fejlesztés eredményeként kapott termékeket a gluténmentes diétát követő képzetlen (n=50 fő), a diétát nem követő képzetlen bíráló (n=50 fő) és képzett bírálói (n=10 fő) csoportokban is megvizsgáltam, míg az utóbbi két csoport tagjai a reológiai mérésnél használt búzalisztes termékeket is kóstolták.

3. EREDMÉNYEK

3.1. Primer és szekunder piackutatás

Arra a kérdésre, hogy „van-e a gluténfogyasztás mellet valamilyen más ételallergiája vagy intoleranciája, emésztőrendszeri vagy arra kiható megbetegedése”, az 500 válaszadó csupán 50.8%-a felelte azt, hogy nincs (1. ábra). Az adatokból látszik, hogy gluténmentes termékfejlesztés során annak érdekében, hogy minél szélesebb fogyasztói kört tudjon a gyártó kiszolgálni, nem elég „csak gluténmentes” terméket előállítani, de szükséges a szója, a tejfehérje és a laktóz mellőzése, valamint az alacsony glikémiás indexű alapanyagok használata.



1. ábra: Fogyasztói válaszok megoszlása arra a kérdésre, hogy „van-e a gluténfogyasztás mellett egyéb élelmiszer intoleranciája, allergiája vagy egyéb betegsége”

Általánosan elmondható a kapott adatok alapján, hogy a vizsgálatban szereplők között korcsoporttól függetlenül kétszer olyan gyakran készítenek otthon kenyérfélét mind a férfiak mind a nők a késztermék vásárláshoz képest. A rendszeresen otthon kenyeret sütők és rendszeres kényelmi terméket vásárlók átfedése az összes válaszadóra nézve 8% volt, amely a rendszeres otthon sütők 15.7%-át, a rendszeres kényelmi terméket vásárlók 27.4%-át teszi ki. Az átfedést adó csoport tagjai közül 60%-nak nincs társuló betegsége, míg a fennmaradó 40%-nál a leggyakoribb egyéb élelmiszerhez köthető probléma a laktózintolerancia és a tejfehérje-allergia. Azok, akik hetente többször sütnek otthon kenyérfélét csak hetente egyszer vásárolnak késztermékeket, míg a hetente többször vásárlók csak hetente egyszer sütnek otthon.

3.2. Farinográfos mérések

A kísérletterv alapján elvégzett farinográfos mérések eredményeit az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: A kísérletterv alapján elvégzett farinográfos mérések eredményei

	Minta	Lisztkeverék (%)	HPMC (%)	Xantán (%)	Kialakulás (min)	Stabilitás (min)	Ellágyulás (FU)	Konzisztencia (FU)	Vízfelvétel (%)
Fehérkenyér	1	100	0	0	17.1	0.1	23	300	70
	2	98.5	0	1.5	0.9	0.1	75	403	67.6
	3	97	0	3	19.2	0.7	28	459	64
	4	98.5	1.5	0	0.7	0	213	559	74.5
	5	97	1.5	1.5	3.5	0.1	130	419	68
	6	95.5	1.5	3	13	0	145	495	69.9
	7	97	3	0	0.6	0.1	228	614	77.9
	8	95.5	3	1.5	1.7	6.4	26	339	76
	9	94	3	3	5.3	0	220	524	70.6
Barnakenyér	10	100	0	0	19.1	0.9	35	419	68
	11	98.5	0	1.5	7.6	0.2	22	470	64.3
	12	97	0	3	18.8	1.2	25	526	65.7
	13	98.5	1.5	0	0.8	0	180	531	75.8
	14	97	1.5	1.5	0.7	0.1	142	435	68.4
	15	95.5	1.5	3	3.1	0.2	132	423	68.1
	16	97	3	0	0.6	0	175	581	77
	17	95.5	3	1.5	0.8	0	238	476	69.4
	18	94	3	3	11.9	0	151	476	69.4

Erre lineáris modellt illesztettem, azonban a kapott eredmények azt mutatták, hogy a különböző anyagok összefüggésére nem illeszthető kellő pontosságú lineáris modell egyik vizsgált paraméter esetében sem (Kialakulás – R^2=0.16; Stabilitás – R^2= 0.29; Ellágyulás – R^2= 0.18). Ezek alapján nem-lineáris modell illesztését végeztem el.

A tésztakialakulási időre (DT) a HPMC volt szignifikáns ($p<0.05$) hatással, ami az előzetes méréseknek és szakirodalmi adatoknak megfelelő eredmény (SAHIN et al., 2020). Az eredmények alapján jól illeszkedő modellt sikerült illeszteni a mérési pontokra (R^2 = 0.85) barnakenyér liszt esetén, míg a fehérkenyér lisztnél az R^2=0.71 volt az illesztett modellnél. Az illesztett modellek Surface plot diagramjai által láthatóvá váltak a pszeudocereáliák hatása érvényesült a barnakenyér liszt esetében, mert az optimális tészta kialakulási időhöz kevesebb HPMC-re volt szükség azonos xantán mennyiség mellett. Ennek hátterében a hajdinaliszt és amarantliszt fehérjéi állnak, melyek hidrokolloidokkal és borsófehérjével alkotott szerkezete erősebb (MARIOTTI et al., 2009; TORBICA et al., 2010).

A tészta stabilitására vonatkozó eredmények alapján szintén jól illeszkedő (R^2 = 0.78) modellt sikerült illeszteni az adatokra 95%-os konfidencia szint mellett a barnakenyér lisztre, míg fehérkenyér esetén R^2=0.56. Ebben az esetben is, ahogy a tészta kialakulási idejének vizsgálatakor a HPMC volt szignifikáns hatással ($p<0.05$) mindkét esetben, és a fehér- valamint barnakenyér lisztek stabilitása eltért egymástól azonos hidrokolloid mennyiség mellett. Az illesztett modell Surface plot diagramjai alapján a barnakenyér esetében a minél alacsonyabb HPMC adagolás segítette a tészta stabilitását, a xantán szintjétől függetlenül. Ezzel ellentétben a xantán már kis mennyiségben is hatékonyan növelte a stabilitást, annak növekvő mennyisége nem mutatott hatást a stabilitásra. Fehérkenyér esetén a minél magasabb HPMC adagolás eredményezett a xantán 1-2%-os adagolása mellett nagyobb stabilitást. Az így kapott eredmények alapján a tészta stabilitása jelentősen nőtt a barnakenyérhez képest.

A tészta ellágyulását (Softening) leíró eredmények alapján szoros összefüggést mutató (R^2 = 0.92) modellt sikerült illeszteni az adatokra 95%-os konfidencia szint mellett barnakenyér liszt esetén, míg fehérkenyér liszt esetén a modell illeszkedése nem volt ilyen szoros (R^2=0.62). Korábbi publikációk alapján elmondható, hogy a kukoricakeményítő tartalom emelése növeli az ellágyulást (TORBICA et al., 2010, WOJCIK et al., 2021). Az illesztett modell Surface plot diagramjai alapján látható, hogy barnakenyér esetében a HPMC szintjének emelésével nőtt az ellágyulás mértéke. Ezzel szemben a xantán mennyiségi változása a modell alapján nem befolyásolta a nyerstészta ellágyulását. Az ideális mértékű ellágyuláshoz az illesztett modellek

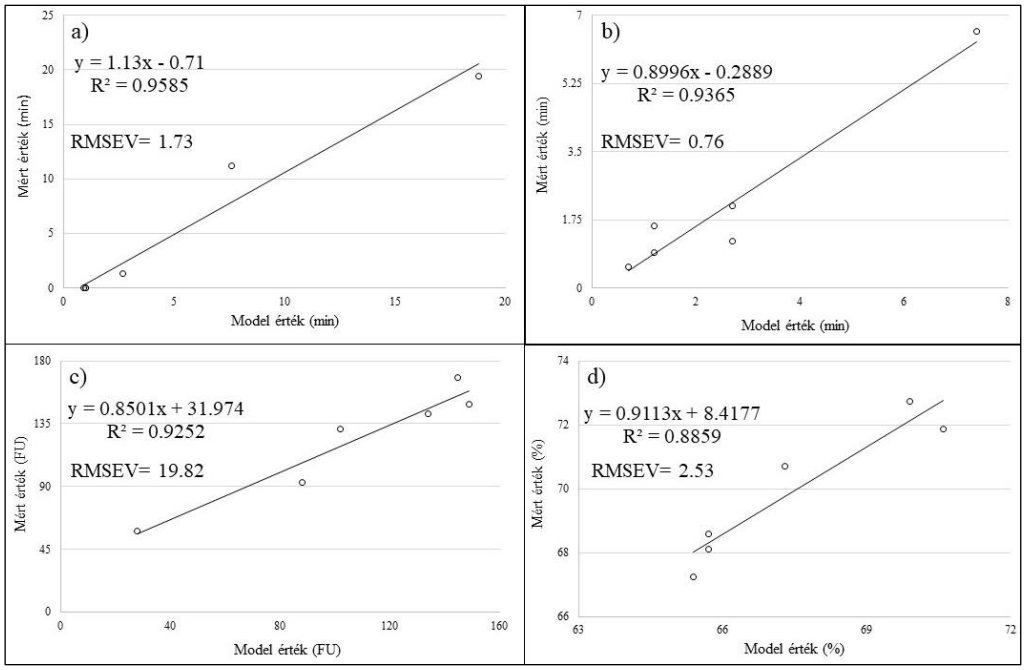
alapján 0-0.5% HPMC adagolása mellett lehetséges mind a fehérkenyér liszt, mind a barnakenyér liszt esetén, függetlenül a xantán mennyiségétől.

A farinográfos mérések során fix paraméterként a nyerstészta nedvességtartalma került meghatározásra (14%), melynek a sütőiparban gépi feldolgozhatóság szempontjából van jelentősége. Mivel a lisztkeverékek eltérő arányban tartalmaztak hidrokolloidokat, melyek nagymértékben befolyásolják a tészta vízfelvevő képességét, ezért a vizsgált mintáknál is eltérő volt a vízfelvétel. A tészta vízfelvételét (water absorption) leíró modell barnakenyér liszt esetén szoros összefüggést mutatott (R^2=0.93), ahogy a fehérkenyér liszt esetén is (R^2=0.90). Szignifikáns hatással mindkét lisztkeverék esetén a HPMC és a xantán bírt. Kereszteffektust nem mutatott az illesztett modell.

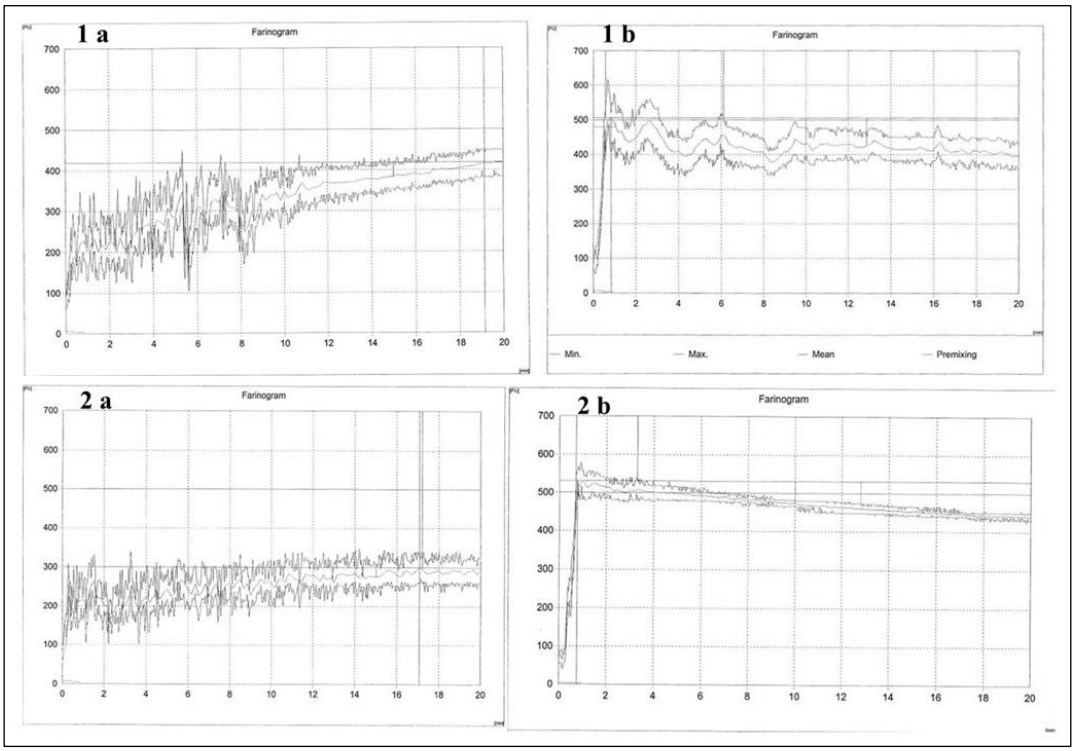
3.3. Optimalizálás

A mérések és a validációk során kapott R^2 és RMSEV értékek alapján a modellt megfelelőnek ítéltem (2. ábra). Ezt követően a predikciós Excel makró segítségével létrehozott barna formakenyér lisztkeverék összetétele a következő: 97% alap lisztkeverék, 2% HPMC és 1% xantán, 68%-os vízfelvétel mellett. A fehérkenyér lisztkeverék modell receptje 97.1% alap lisztkeverék, 1.45% HPMC és 1.45% xantán, 71%-os vízfelvétel mellett. A lisztkeverékek farinográfos görbéi a 3. ábrán láthatóak.

A predikciós modell segítségével alkotott lisztkeverékek farinográfos görbéi eltérnek a korábban mért gluténmentes lisztkeverékek görbéitől, és paramétereiben jobban megközelítik a búzaliszt tulajdonságait (3. ábra).



1. ábra: Validációs mérés eredményei (a: tészta kialakulási idő; b: stabilitás; c: ellágyulás; d: vízfelvétel)



2. ábra: A predikciós modell segítségével kapott lisztkeverékek farinográfos görbéi (1.a: barnakenyér liszt hidrokolloid nélkül; 1.b: barnakenyér liszt hidrokolloiddal; 2.a: fehérkenyér liszt hidrokolloid nélkül; 2.b: fehérkenyér liszt hidrokolloiddal)

A 3. ábrán látható keverékek (hidrokolloiddal és anélkül) és a referenciaként használt búzaliszt farinográfos görbéinek farinográffal mért adatai a 2. táblázatban láthatóak.

2. táblázat: A fejlesztett lisztkeverékek és a referencia búzaliszt farinográfos értékei

	Búzaliszt	Barnakenyér lisztkeverék		Fehérkenyér lisztkeverék	
		Hidrokolloid nélkül	Hidro-kolloiddal	Hidrokolloid nélkül	Hidro-kolloiddal
Konzisztencia (FU)	494	419	506	300	531
Tészta kialakulás (min)	3.5	19.1	0.9	17.1	0.8
Tészta stabilitás (min)	5.8	0.9	5.5	0.1	2.6
Ellágyulás (FU)	53	35	74	23	57
Vízfelvétel (%)	62.5	64.3	67.3	66.3	70.9

3.4. Texture Profile Analysis eredmények

A szakirodalmi adatoknak megfelelően a minták keménység értékei növekedtek a tárolási kísérlet során. Az adatok alapján elvégzett ANOVA elemzés ($p<0.05$) eredményeiből látható, hogy a gluténmentes fehér- és barna formakenyerek keménység értékei szignifikánsan alacsonyabbak voltak a búzalisztes formakenyerekhez képest. A tárolási kísérlet adatai alapján (4. ábra) kijelenthető, hogy nem csak a gluténmentes formakenyerek keménység értékei, de azok változása is lassabb ütemű és szignifikánsan kisebb mértékű is volt ($p<0.05$). Ezzel szemben a parasztkenyereknél a gluténmentes minta a 2. naptól kezdve nagyobb keménység értéket mutatott, annak ellenére, hogy az első napon még szignifikánsan alacsonyabb volt a búzalisztes termékhez képest. A két minta keménysége közötti érték a 4. napon lett ismét szignifikáns ($p<0.05$). A parasztkenyér keménységének változása gyorsabb ütemű és nagyobb mértékű volt a többi mintához képest. A 2. naptól a gluténmentes minták keménység értékei nem tértek el egymástól szignifikánsan.

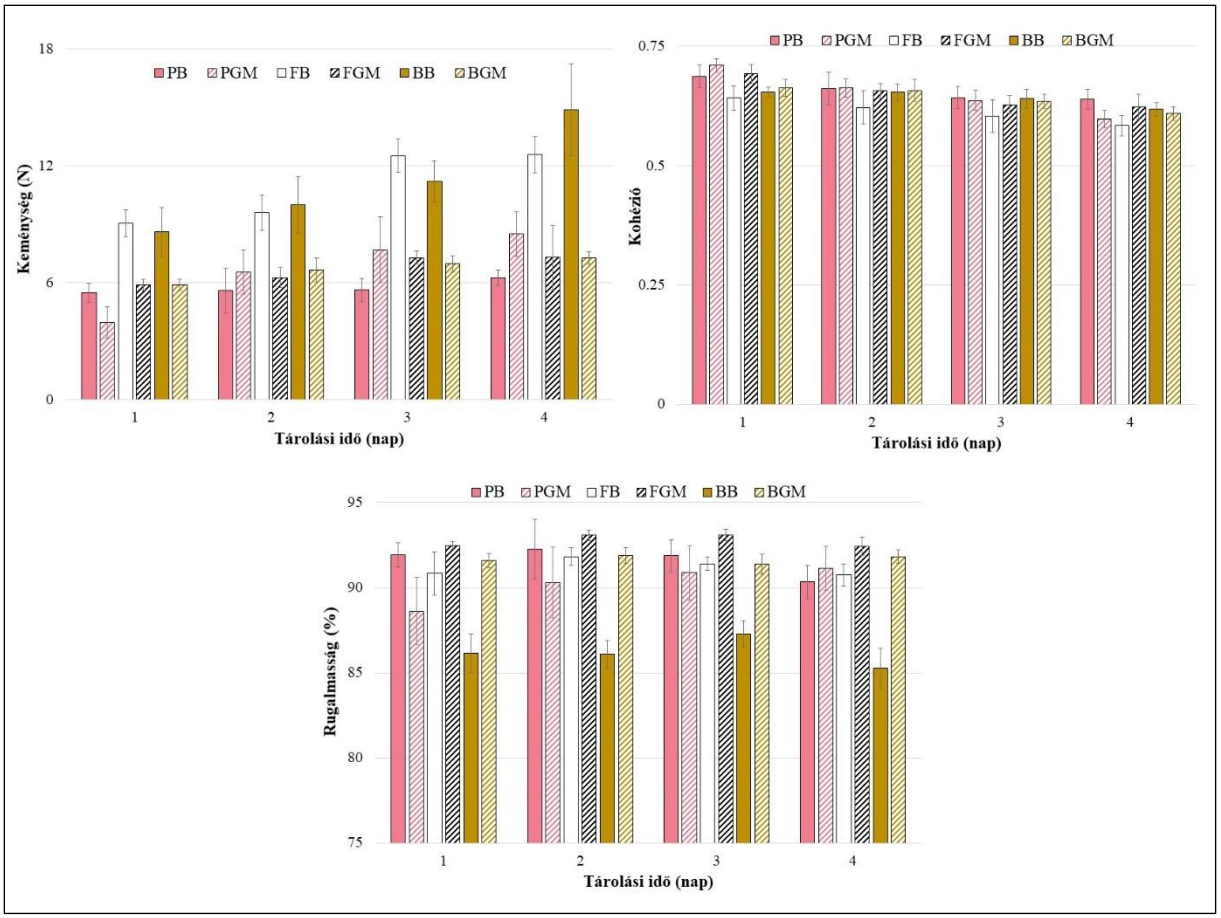
A szakirodalmi publikációkban a gluténmentes kenyerek tárolási kísérlete során a minták kohéziója kapcsán erősen szignifikáns csökkenést tapasztaltak ($p<0.01$) már a 2. naptól fogva (MOORE et al., 2004; PACIULLI et al., 2016). Az általam készített kenyereknél is csökkenés figyelhető meg, azonban a gluténmentes barna forma – és parasztkenyerek a 3. napig nem tértek el szignifikánsan ($p<0.05$) a búzalisztes megfelelőiktől. A fehér formakenyér esetében az 1. és a 4. napon a gluténmentes termék kohéziója szignifikánsan ($p<0.05$) nagyobb volt. A gluténmentes formakenyerek nem tértek el szignifikánsan ($p<0.05$) a búzalisztes parasztkenyértől a tárolási kísérlet során, mely jelentős különbség a korábban publikált

eredményekhez képest (PACIULLI et al., 2016). A gluténmentes barna formakenyér a 4 tárolási nap alatt egyszer sem mutatott szignifikáns különbséget a búzalisztes barnakenyértől.

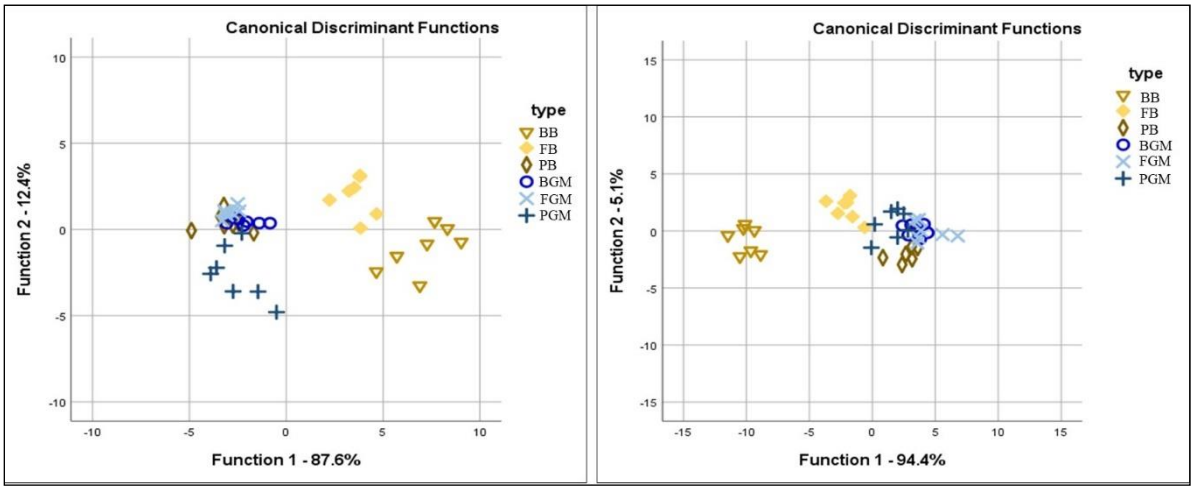
Rugalmasság vizsgálatakor a tárolási kísérlet 2. napjától a gluténmentes formakenyerek szignifikánsan ($p<0.05$) rugalmasabb értéket mutattak a búzalisztes társaikhoz képest. A gluténmentes parasztkenyér keménysége folyamatosan növekedett, ezzel együtt a rugalmassága egyre javuló eredményeket mutatott. Ennek magyarázata az, hogy a kenyértészta kezdeti viszkozitása más, állaga lágyabb a formakenyerekhez képest. A tárolási kísérlet első napján a parasztkenyerek képlékenyebbek voltak, ezen belül is a gluténmentes minta volt a legképlékenyebb. A tárolás során a víztartalom változása a kezdeti képlékeny termékből egy szilárdabb, de egyre inkább rugalmasabb állagú terméket hozott létre.

A 4. napon minden gluténmentes kenyér rugalmasabb állagot mutatott a búzalisztes kenyereknél, formakenyerek esetén a különbség a 2. naptól kezdve szignifikáns ($p<0.05$) volt. Az adatok alapján a gluténmentes kenyerek mindegyike képlékeny és rugalmas maradt, a kohéziójuk pedig 3 napig minden esetben egyenértékű a búzalisztes termékekével, barna formakenyér esetében a tárolási kísérlet minden napján.

A vizsgált kenyérminták TPA eredményei alapján LDA elemzés készült, melynek célja a búzaliszt alapú valamint a gluténmentes minták közötti hasonlóság/átfedés keresése volt (5. ábra). Az elemzés adataiból látható, hogy a gluténmentes minták átfedést mutatnak a 4 napos tárolási kísérlet során a búzaliszt alapú parasztkenyérrel (PB): az első napon a gluténmentes fehérkenyérrel, míg a második naptól kezdve a gluténmentes barnakenyérrel volt nagyobb az átfedés. A búzaliszt alapú formakenyerek a teszt során végig különálló csoportot alkottak, bár a 4. napra a búzaliszt alapú fehér formakenyér (FB) egyre jobban közelített a gluténmentes mintákhoz. A helyesen osztályozott minták aránya az első és a negyedik napon 78.54%-ról 71.43%-ra változott, mely tovább erősíti a búzaliszt alapú és a gluténmentes minták közötti hasonlóságot.



3. ábra: A tárolási kísérlet során kapott TPA mérési eredmények (PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)



4. ábra: A vizsgált kenyérminták TPA eredményei alapján készített LDA elemzés eredményei az 1. (bal oldalon) és a 4. napon (jobb oldalon) (PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)

3.5. Kenyérminták nedvességtartalmának alakulása a tárolás során

A kenyérminták szárításos módszerrel meghatározott nedvességtartalmának eredményeit a 3. táblázat mutatja be. Az adatokból látható, hogy a gluténmentes minták nedvességtartalma minden esetben és tárolási napon, a mintavétel helyétől függetlenül magasabb volt a búzaliszt alapú termékekhez képest.

3. táblázat: A kenyérminták nedvességtartalmának változása (1: szelet közepe; 2: a szelet közepe és héja között félúton; 3: a szelet héja közelében vett bélzetminta; PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)

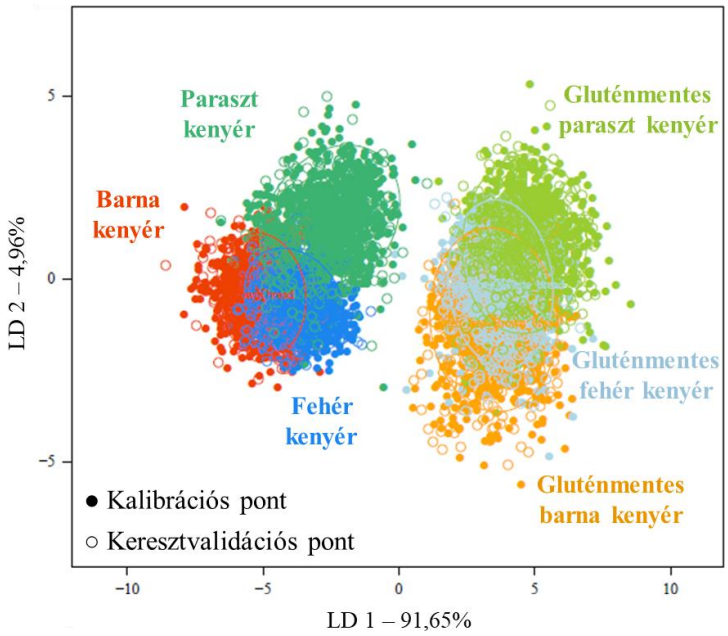
Minta	Mintavétel helye	1. nap	2. nap	3. nap	4. nap
PGM	1	48.74	47.55	44.29	43.91
	2	47.54	46.57	44.18	43.82
	3	47.21	45.41	43.82	43.12
BGM	1	49.09	47.69	45.91	45.09
	2	48.57	47.17	44.96	44.32
	3	48.09	46.92	43.06	42.75
FGM	1	48.98	48.9	47.95	47.31
	2	48.91	48.14	47.2	46.68
	3	48.42	47.93	46.87	45.85
PB	1	39.82	39.1	37.96	35.98
	2	39.26	38.19	37.23	34.88
	3	35.37	34.02	32.43	31.53
BB	1	42.41	42.04	41.43	40.78
	2	42.57	41.83	40.93	38.93
	3	38.18	37.42	36.22	35.47
FB	1	38.58	38.23	37.68	36.83
	2	37.83	37.53	36.67	35.35
	3	34.19	33.89	33.05	32.76

3.6. Kenyérminták nedvességtartalmának alakulása a tárolás során

A szobahőmérsékleten tárolt kenyerek NIR spektrumain végzett főkomponens elemzés (PCA) alapján a modell építéséhez a következő hullámhosszak járultak hozzá leginkább: 1364, 1379, 1384, 1413, 1437, 1480, 1514, 1528, 1533 nm.

A kenyértípus szerinti osztályozáshoz a teljes előkezelt adatkészletre épített LDA modellt és eredményeit a 6. ábra szemlélteti. Az ábra alapján megfigyelhető, hogy az első diszkriminánsváltozó mentén a búzaliszt alapú és a gluténmentes kenyerek mintapontjai egyértelműen elkülönülnek egymástól. A második diszkriminánsváltozó mentén az egyes

kenyértípusok nagyobb átfedést mutattak, de a következő sorrendben elkülönülési tendenciát mutattak: barna-, fehér- és parasztkenyér.



5. ábra: Kenyértípus szerinti LDA eredmények kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-1 előkezelés után (N = 8390, NrPC = 30)

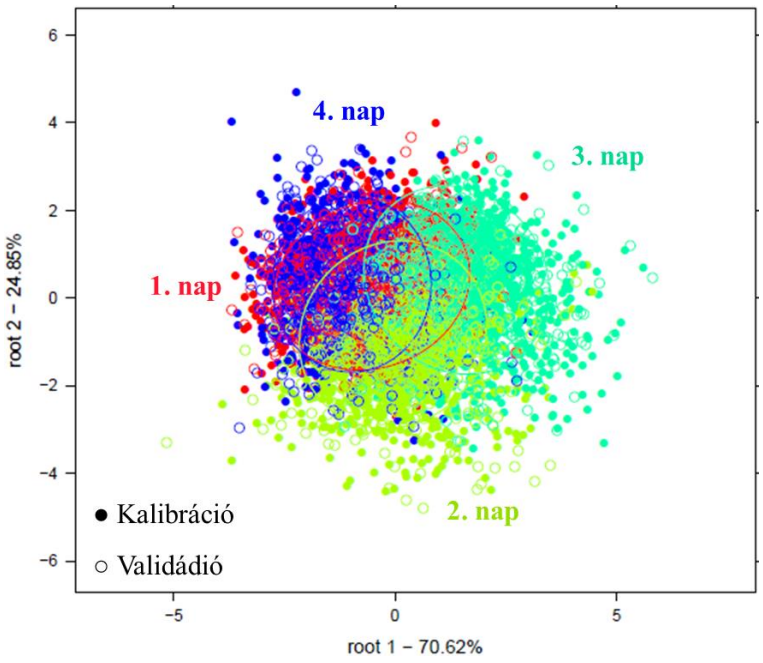
A 4. táblázat foglalja össze, hogy a teljes adatkészleten végzett LDA milyen pontossággal különböztette meg az egyes kenyértípusokat. Az átlagos helyes osztályozás a kalibráció és a validáció során 76.84 és 76.54% volt. A legpontosabb osztályozás a fehér és a parasztkenyerek esetében volt.

Az 5. táblázat mutatja be, hogy a különböző típusú kenyerek tárolása során fellépő különbségek milyen pontossággal különböztethetőek meg a NIR spektrumokkal.

A tárolási idő szerinti osztályozáshoz a teljes előkezelt adatkészletre épített LDA modellt és eredményeit a 7. ábra szemlélteti. Az ábra alapján megfigyelhető, hogy az első és második diszkriminánsváltozó által határolt térben az egyes tárolási napokhoz tartozó mintapontok jelentősen átfednek, nincs egyértelmű csoportosulási trend. A teljes adatkészleten végzett LDA 60.41 és 60.28% pontossággal (átlagos helyes osztályba sorolás a kalibráció és a validáció során) különböztette meg a különböző napokon rögzített spektrumokat.

4. táblázat: Kenyértípus szerinti osztályozás kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-1 előkezelések után (n=8390, NrPC = 30) (1: Barnakenyér; 2: Fehérkenyér; 3: GM barnakenyér; 4: GM fehérkenyér; 5: GM parasztkenyér; 6: Parasztkenyér)

	Mintacsoport	1	2	3	4	5	6	Átlagos helyes osztályozás
Kalibráció	1	79.15	7.48	0	0	0	5.72	**76.84%**
	2	19.67	90.25	0	0	0	7.9	
	3	0	0	65.03	22.21	5.69	0.07	
	4	0	0	29.15	60.96	14.94	0	
	5	0	0	5.82	16.69	79.37	0	
	6	1.18	2.26	0	0.15	0	86.31	
Validáció	1	79.26	7.76	0	0	0	5.72	**76.54%**
	2	19.67	89.84	0	0	0	7.86	
	3	0	0	64.86	22.94	6.02	0.07	
	4	0	0	29.36	60.12	15.17	0	
	5	0	0	5.79	16.8	78.81	0	
	6	1.07	2.4	0	0.15	0	86.35	



7. ábra: A vizsgált kenyérmintk tárolási időtartam szerinti LDA eredmények kiugró érték kezelés, simítás és sgol-2-13-1 előkezelés után (n=8390, NrPC = 30)

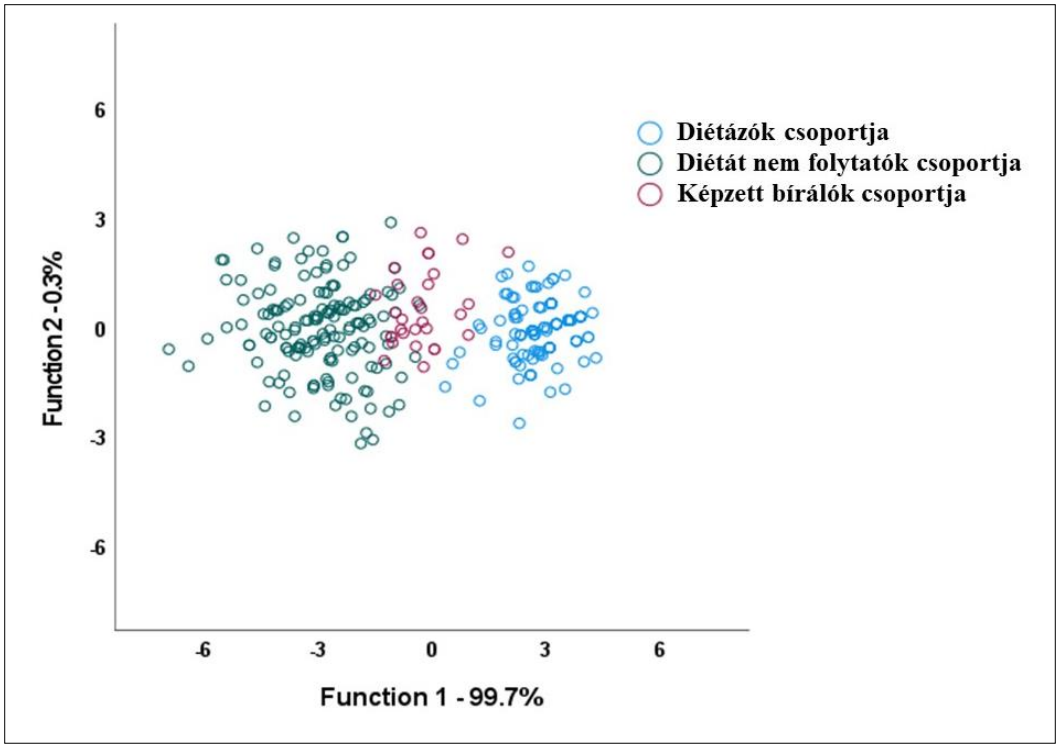
5. táblázat: Kenyérminták tárolási nap szerinti osztályozása (GM: gluténmentes)

Kenyértípus	Spektrum előkezelés	NrPC	Átlagos helyes osztályba sorolás (%)	
			Kalibráció	Validáció
Barna formakenyér	sgol-2-13-2	30	78.18	75.79
GM barna formakenyér	sgol-3-9-0	25	80.32	79.68
Fehér formakenyér	sgol-2-13-2	29	82.23	81.58
GM fehér formakenyér	sgol-3-9-0	30	82.61	81.28
Parasztkenyér	sgol-3-9-0	30	85.54	84.27
GM parasztkenyér	sgol-2-13-2	29	82.89	81.91

3.7. Érzékszervi minősítés eredményei

Profilanalízis módszerrel a képzett bírálók olyan ízeket, aromákat és ezekhez társuló kifejezéseket társítottak a mintákhoz, melyek korábban nem szerepeltek az aromakeréken. A vizsgálatba bevont, kereskedelmi forgalomban kapható gluténmentes kenyérnél új elemként megjelent a kukoricás íz, valamint a száraz textúra miatti fullasztó ízhatás. Illat aromák közül a jellegtelen, „üres” jelző jelent meg a vizsgált mintáknál, illetve a pszeudocereáliákat tartalmazóknál a diós, fűrészpor ízű jelzők. Az aromakerék meglévő tulajdonságai közül a leggyakrabban megjelenő elemek a következők voltak: élesztős, savanyú-fermentált íz és illat, kukoricás íz és illat, édes vagy túlzottan sós íz, sajtra emlékeztető illat, kemény és morzsalékos textúra, gumis állag. Ezt alapul véve a későbbi minősítés során ezen profilok intenzitását is vizsgáltam a bírálatoknál.

Az összes vizsgált tulajdonságot figyelembe véve ANOVA és LDA elemzés alapján (8. ábra) a diétázó bírálók másképp értékelték a gluténmentes mintákat, mint a másik két csoport tagjai. Az érzékszervi bírálat során adott pontszámok alapján a válaszadók 89.11%-ban az eredeti bírálati csoportjukba kerültek, míg a keresztvalidációnál a bírálók helyes csoportba sorolása 88.67%-ban volt sikeres. Ennek oka lehet, hogy a búzalisztes kenyerek közötti differencia kisebb, mint a gluténmentes termékek között. Ehhez képest a gluténmentes termékek összetételükben és gyártástechnológiájukban nagyobb eltérést mutatnak (ROMAN et al., 2019).



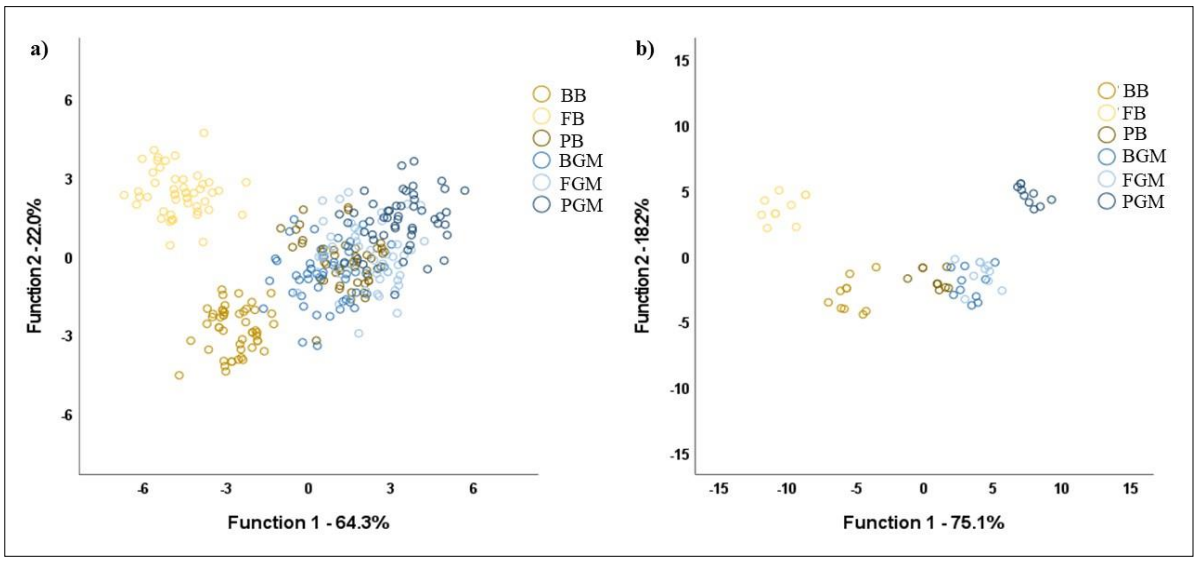
8. ábra: LDA elemzés eredménye mindhárom bíráló csoportnál (n=110 fő) az összes vizsgált tulajdonságra vonatkozóan (n=17) gluténmentes minták esetén

Általánosságban elmondható, hogy az érzékszervi minősítés során vizsgált gluténmentes minták kedveltségét leginkább meghatározó tulajdonságok a következők: puhaság tapintásra valamint rágás közben, porozitás, illat és íz intenzitás, valamint a morzsalékosság (PAGLIARINI et al., 2010; ALENCAR et al., 2017). Az ANOVA teszt eredményei alapján a tapintással vagy szaglással vizsgált tulajdonságok közül (porozitás, puhaság tapintással, illat) a puhaság kapcsán a képzett bírálók és a nem diétázók csoportja is szignifikánsan ($p< 0.05$) alacsonyabb, míg a porozitásnál szignifikánsan magasabb ($p<0.05$) pontot adtak a diétát folytatókhoz képest. Illat intenzitás esetében a képzett bírálók és a diétát folytatók értékelései között nem volt szignifikáns differencia ($p<0.05$). A kóstolás során minősített tulajdonságok (íz intenzitás, puhaság rágás közben, morzsalékosság) esetében mind a képzett, mind a diétát nem folytatók szignifikánsan eltérő ($p<0.05$), jellemzően alacsonyabb pontszámokat adtak a diétázókhoz képest. A fehér és barna formakenyerek esetében alacsonyabb íz intenzitást és puhaságot, míg morzsalékosság esetében magasabb pontszámot adtak a diétázókhoz képest. Ez ellentétes eredmény a korábban megjelent adatokhoz képest (LAUREATI et al., 2012), ahol nem találtak szignifikáns eltérést diétázó és nem diétázó csoport között gluténmentes kenyerek vizsgálata esetén.

A gluténmentes és búzaliszt alapú kenyérminták legfontosabb 6 tulajdonságára, a diétát nem folytató és képzett bírálói csoportok adatain elvégzett LDA elemzés (9. ábra) alapján átfedés

mutatkozik a nem diétázó bírálók esetében a búzaliszt alapú parasztkenyér és a gluténmentes formakenyerek között. Képzett bírálóknál átfedés csupán a búzaliszt alapú parasztkenyér és a gluténmentes barnakenyér között volt. A búzaliszt alapú formakenyereknél a nem diétázók és a képzett bírálók esetében sem volt átfedés gluténmentes termékekkel. Összességében a helyesen osztályozott elemek aránya 84%, keresztvalidáció után 82.33% volt a nem diétázók csoportjánál. A diétázók és a másik két csoport között nem volt átfedés, ami tovább erősíti a korábban mutatott eredményeket, mely szerint a diétázók mindhárom kenyértípust másként értékelték.

Összességében mind a képzett bírálók, mind a nem diétázók a gluténmentes termékeket részesítették előnyben a búzalisztes megfelelőikkel szemben. A gluténmentes minták porozitását egységesebbnek, a puhaságukat tapintással és rágás közben intenzívebbnek, a morzsalékosságukat és az illat intenzitásukat alacsonyabbnak ítélték. Kivételt jelent ez alól mindkét csoportnál a gluténmentes parasztkenyér íz intenzitása, melyet sósabbnak ítéltek meg annak búzalisztes párjához képest, valamint a képzett bírálók a gluténmentes fehérkenyeret édesebbnek érezték.



9. ábra: LDA elemzés eredménye a gluténmentes és búzaliszt alapú kenyérminták hat legfontosabb érzékszervi tulajdonságai alapján (a: nem diétázók csoportja; b: képzett bírálók; PB: búzalisztes parasztkenyér; PGM: gluténmentes parasztkenyér; FB: búzalisztes fehérkenyér; FGM: gluténmentes fehérkenyér; BB: búzalisztes barnakenyér; BGM: gluténmentes barnakenyér)

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Bár a gluténmentes termékek iránti piaci igény, és az ehhez a termékekhez kapcsolódó tudományos publikációk száma az utóbbi évtizedekben dinamikusan fejlődött, a jelenlegi piaci valóság és a tudományos élet nincs összhangban egymással. Munkámmal ezt a rést szerettem volna csökkenteni, és egyidejűleg segítséget adni a kutatói, gyártói és fogyasztói csoportoknak.

Munkám során az egyik legfontosabb és legjelentősebb következtetés, hogy a piaci helyzetet, fogyasztókat és termékeket jobban meg kell ismerni, és ezeket az információkat közzé kell tenni. Jelenleg a tudományos publikációkban leginkább a kereskedelmi forgalomban kapható termékek árát és összetételét vizsgálják, figyelmen kívül hagyva a fogyasztói igényeket a termékekkel és kereskedelmi tevékenységekkel kapcsolatban, valamint nem kísérik figyelemmel a kereskedelemben elérhető termékeket. Emiatt a tudományos eredmények nincsenek összhangban a gyártói és fogyasztói igényekkel, és ezek az eredmények emiatt nem kerülnek alkalmazásra a mindennapok során.

A gluténmentes termékek fejlesztésekor a minél szélesebb körű fogyasztói kör diétás igényeinek kielégítése végett érdemes elhagyni az ezekben a termékekben gyakran használt szójafehérjét, tejfehérjét, laktózt, tojásfehérjét és a magas glikémiás indexű szénhidrátokat, mert a gluténmentes étrendet folytatók közel fele egyidejűleg több más élelmiszer allergiával vagy intoleranciával is küzd. Ezek helyett olyan alternatív alapanyagokat érdemes használni, mint például a borsófehérje, hajdina, amarant vagy a különböző rostok.

A különböző arányú lisztkeverékek vizsgálatával alkotott predikciós modell alkalmas volt a HPMC és a xantán hidrokolloidok kombinációinak a kenyértészta kialakulásra, stabilitásra, ellágyulásra és a vízfelvételre gyakorolt hatását leírni. Ezek alapján elmondható, hogy a TAC kenyérliszt keverékekre (fehér- és barnakenyér) mindkét hidrokolloid használata jelentős hatást gyakorol az összes vizsgált paraméterre. Méréseimmel megállapítottam, hogy bár a pszeudocereáliák (hajdina és amarant) kedvező élettani hatással bírnak, a felhasználásuk nagymértékben befolyásolják a kialakuló kenyértésztát a búzaliszt alapú fehérkenyérhez képest, mely még mindig a legkeresettebb kenyérfajta hazánkban. A létrehozott predikciós modell segítségével gyártói oldalról felgyorsulhat és leegyszerűsödhet a termékfejlesztés folyamata.

Bár a hiperspektrális méréseket (HSI) az élelmiszeripar egyre több területén alkalmazzák, kenyerek vizsgálatára nincs szakirodalmi adat. A HSI mérést sikeresen

alkalmaztam búzaliszt alapú és gluténmentes kenyereken, és eredményesen tudtam a meghatározott hullámhosszakon és adat előkezelési módszerekkel nyomon követni a kenyerek nedvességtartalmának változását, a retrogradáció sebességének különbözőségét az eltérő kenyértípusok esetén. A mérés eredményei alapján búzaliszt alapú és gluténmentes kenyerek osztályozása a tárolási napok alapján szerint egyaránt lehetséges. A jövőben a módszer segítheti a tudományos élet számára non-invazív módszerként a kenyérhez adott különböző alap- vagy segédanyagok nedvességtartalom- és eloszlás változásának vizsgálatát tárolási kísérletek során.

Az érzékszervi minősítés elengedhetetlen része a termékfejlesztésnek. Jelenleg nincs egységes protokoll arra, hogy gluténmentes kenyereket milyen bírálói csoportnak (diétázó, nem diétázó, képzett bíráló) kell értékelnie. A nyelvezet és bírálati szempontok egységesítéséhez javasolt a dolgozatban kibővített aromakerék használata, valamint további bővítési lehetőségének vizsgálata.

Miután a méréseim során szignifikáns különbséget igazoltam a különböző bírálói csoportok között (diétázó, nem diétázó, képzett bíráló), ezért fontos lenne, hogy a minősítést kellő számú taggal rendelkező, meghatározott csoport végezze el az előzetes célkitűzésnek megfelelően. Amennyiben az érzékszervi minősítés célja a búzalisztes termékekhez való hasonlóság vizsgálata, úgy a képzett bírálói csoport használata javasolt. Ha a bírálat célja egy gluténmentes termék továbbfejlesztésének a vizsgálata, úgy a diétázók csoportja javasolt.

5. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam a magyarországi gluténmentes kenyérfogyasztás korosztály és kenyértípus szerinti megoszlását, valamint a diétázók egyéb élelmiszer fogyasztással kapcsolatos diétás igényeit. A primer kutatással felmértem, hogy a diétázók 49.2 %-a nem csak gluténmentes diétát kell hogy kövessen. Az elvégzett felmérések alapján a fogyasztói igényeket figyelembe véve meghatároztam a termékfejlesztéshez felhasználandó alapanyagok körét.
2. Farinográfos vizsgálatokkal megállapítottam hidrokolloidok (HPMC és xantán) változó arányú keverékének a TAC kenyérlisztből készült fehér-és barnakenyér tésztájának kialakulásra, stabilitásra, ellágyulásra és vízfelvételre vonatkozó hatásait. Méréseimmel igazoltam, hogy a hidrokolloidok jelentős hatással bírnak minden vizsgált paraméterre, valamint hogy a pszeudocereáliák alkalmazása (hajdina és amarant) jelentős eltérést okoz a fehérkenyérhez képest.

3. A farinográfos mérések alapján modell egyenleteket illesztettem a tészta kialakulási idejére, stabilitására, ellágyulására és a vízfelvételre TAC fehérkenyér és barnakenyér lisztkeverékekre.
4. A létrehozott predikciós eszköz segítségével olyan lisztkeverékeket állítottam össze, melyek farinográfos görbéi eltérnek a korábban bevizsgált gluténmentes lisztkeverékekétől, és jobban megközelítették a búzaliszt görbéjének paramétereit.
5. Az elasztigráfos mérések helyett a korábban kidolgozott TPA mérési módszert alkalmazva igazoltam, hogy a fejlesztés eredményeként kapott gluténmentes kenyerek keménység, kohézió és rugalmasság paraméterei 4 napos tárolási kísérlet során szignifikánsan jobban ($p<0.05$), vagy azonos módon viselkedtek a búzalisztes megfelelőikhez képest.
6. Sikeresen alkalmaztam hiperspektrális (HSI) módszert a kenyér tárolása során bekövetkező nedvességtartalom-változás monitorozására búzalisztes és gluténmentes minták esetén. PCA módszerrel meghatároztam azokat a hullámhosszakat, melyek leginkább leírják a nedvességtartalmat. LDA elemzéssel igazoltam, hogy a gluténmentes termékek magasabb nedvességtartalommal rendelkeznek, és csökkenésének sebessége lassabb mind a kenyérbélzet közepén, mind a héj menti régióban a 4 napos tárolási kísérlet során a búzaliszt alapú referencia termékekhez képest.
7. A vizsgált minták érzékszervi minősítése során igazoltam, hogy a különböző bírálói csoportok (gluténmentes diétát tartók, búzalisztes terméket fogyasztók, képzett bírálók) között szignifikáns különbség ($p<0.05$) tapasztalható azonos gluténmentes kenyérminták értékelése esetén. Sikeresen meghatároztam azokat a tulajdonságokat, melyek leginkább felelősek a csoportok közötti, ANOVA teszttel igazolt szignifikáns különbségekért (puhaság tapintásra valamint rágás közben, porozitás, illat és íz intenzitás, valamint a morzsalékosság).

6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT KÖZLEMÉNYEK

Impakt faktoros vagy elfogadott Q-értékkel rendelkező folyóiratcikk:

- **Marcell Tóth**, Tímea Kaszab, Anikó Lambertné Meretei, (2022). Texture profile analysis and sensory evaluation of commercially available gluten-free bread sample, *European Food Research and Technology*, 248, 1447-1455. DOI: 10.1007/s00217-021-03944-2 IF: 3.0

- **Marcell Tóth**, Tímea Kaszab, Anikó Lambert-Meretei: Case study of commercially available gluten-free bread products (2022): Texture changes during storage and sensory analysis. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, DOI: 10.1556/446.2022.00039
- **Marcell Tóth**, Gyula Vatai, András Koris (2020). Gluten-free bread from ingredients and nutrition point of view: A mini-review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 32(9), 634-639. DOI: 10.9755/ejfa.2020.v32.i9.2145, IF: 1.04
- **Marcell Tóth**, Gyula Vatai, András Koris (2020). Consumers' acceptance, satisfaction in consuming Gluten-free bread: A market survey approach. *International Journal of Celiac Disease*, 8, 44-49. DOI: 10.12691/ijcd-8-2-1

Konferenciakiadványban megjelent teljes terjedelmű közlemény:

- Flóra Vitális, ***Marcell Tóth***, Ferenc Firtha, Anikó Lambert-Meretei, Tímea Kaszab (2021): Hyperspectral imaging for moisture content detection in gluten-free bread samples – First experimental approach. *Proceeding of Lippay-Ormos-Vas Scientific meeting*, pp. 787-800. ISBN: 9789632699882

- ***Marcell Tóth***, András Koris, Anikó Lambert-Meretei, Tímea Kaszab (2021): Rheological study on commercially available gluten-free flours. *Proceeding of Lippay-Ormos-Vas Scientific meeting*, pp. 716-729. ISBN: 9789632699882

- ***Marcell Tóth***, Tímea Kaszab, Anikó Lambert-Meretei (2021): Texture profile analysis and porosity measurement of commercially available gluten-free bread samples. *Proceeding of Lippay-Ormos-Vas Scientific meeting*, pp. 704-715. ISBN: 9789632699882