



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Vegyésszmérnöki és Biomérnöki Kar

Alkalmazott biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék

Élelmi rost összetevők szerkezetalkító szerepének vizsgálata hajdina és köles alapú élelmiszer mátrixokban

TDK dolgozat

Készítette:

Orosz Csenge

Sznopka Liliána Kata

Vegyésszmérnök hallgató, Bsc.

Vegyésszmérnök hallgató, Msc.

Témavezető:

Dr. Németh Renáta

Egyetemi adjunktus



2023

1. Tartalomjegyzék

2.	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS	4
3.	IRODALMI ÁTTEKINTÉS	5
3.1.	ÉLELMI ROSTOK	5
3.1.1.	Az éleli rostok csoportosítása	6
3.1.1.	β -glükánok jellemzése.....	7
3.1.2.	Arabinoxilán jellemzése.....	9
3.2.	ARABINOXILÁN ÉS β -GLÜKÁN ALKALMAZÁSA GLUTÉNMENTES TERMÉKEKBEN	11
3.3.	A HAJDINA ÉS KÖLES, MINT GLUTÉNMENTES ALAPANYAGOK	12
3.3.1.	Rendszertan és előfordulás	12
3.3.2.	Szemtermésének felépítése.....	13
3.3.3.	Beltartalmi összetétel.....	15
3.3.3.1.	Fehérjék.....	15
3.3.3.2.	Szénhidrátok.....	17
3.3.3.3.	Lipidek	19
3.3.3.4.	Vitaminok, ásványi anyagok, bioaktív vegyületek	20
3.3.4.	Hajdina, és köles őrlemények technológiai tulajdonságai	21
3.4.	A MODELLRENDSZEREK KIALAKÍTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI.....	22
3.4.1.	Fehérje izolálási eljárások	22
3.4.2.	Keményítő izolálási módszerek.....	24
4.	ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK.....	26
4.1.	KÍSÉRLETTERV	26
4.2.	FELHASZNÁLT ALAPANYAGOK.....	27
4.2.1.	Szemtermések.....	27
4.2.2.	Rostizolátumok.....	27
4.3.	BELTARTALMI VIZSGÁLATOK.....	28
4.3.1.	Teljes fenolos összetevő tartalom meghatározása.....	28
4.4.	REOLÓGIAI TULAJDONSÁGOK.....	29
4.4.1.	Konzisztenciavizsgálat micro-DoughLAB-bal.....	29
4.4.2.	Viszkózitásvizsgálat gyors viszkoanalizátorral (RVA)	31
4.5.	MODELLRENDSZEREK KIALAKÍTÁSA.....	33
4.6.	FEHÉRJÉK ÖSSZETÉTELÉNEK ÉS MÉRETELOSZLÁSÁNAK VIZSGÁLATA (SDS – PAGE).....	35
4.7.	PÁSZTÁZÓ ELEKTRONMIKROSKÓPOS VIZSGÁLATOK (SEM).....	36
4.8.	FERULASAV-TARTALOM MÉRÉSE	37
4.9.	STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉS	37
5.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	38
5.1.	A LISZTEK BELTARTALMÁNAK ÉRTÉKELÉSE	38

5.2.	B-GLÜKÁN ADAGOLÁS HATÁSA.....	39
5.2.1.	A dagasztási tulajdonságok vizsgálata micro-doughLAB-bal.....	39
5.2.2.	Viszkózus tulajdonságok vizsgálata gyors viszkoanalizátorral (RVA).....	41
5.2.3.	Pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek.....	43
5.3.	ARABINOXILÁN ADAGOLÁS ÉS INKORPORÁCIÓ	45
5.3.1.	A dagasztási tulajdonságok vizsgálata micro-doughLAB-bal.....	46
5.3.2.	Viszkózus tulajdonságok vizsgálata gyors viszkoanalizátorral (RVA).....	49
5.3.3.	Fehérjék összetételének és méreteloszlásának elemzése SDS – PAGE módszerrel	52
5.3.4.	Szabad ferulasav-tartalom vizsgálata	54
5.3.5.	Pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek.....	55
5.4.	MODELLRENDSZER KIALAKÍTÁSA ÉLELMİ ROSTOK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATÁRA.....	56
5.4.1.	Hajdina fehérje- és keményítıizolátumok elıállítása.....	57
5.4.2.	Köles fehérje- és keményítıizolátumok elıállítása.....	59
6.	ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KITEKINTÉS.....	63
7.	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	65
8.	NYILATKOZAT.....	66
9.	IRODALOMJEGYZÉK.....	68
10.	MELLÉKLETEK.....	82

2. Bevezetés és célkitűzés

Az élelmi rostok táplálkozásunkban betöltött szerepe az elmúlt években jelentősen nőtt köszönhetően az egészségtudatosabb táplálkozás térnyerésének. Azonban kérdéses, hogy a különféle rostalkotók hogyan és miként befolyásolják egy adott élelmiszer mátrix (pl.: sütőipari közti- és végtermék) tulajdonságait. A gabonafélék fontos alapélelmiszer nyersanyagok, emellett jelentős élelmi rost források. Fő rostalkotóik az arabinoxilánok és/vagy a β -glükán, melyek technológiai szerepét főként sikefehérjéket (glutént) tartalmazó búza vagy rozs alapú rendszerekben vizsgálták mélyebben a szakirodalomban. Azonban a gluténtartalmú élelmiszerek fogyasztásával kapcsolatos rendellenességekben a népesség kb. 1%-a érintett. Esetükben jelenleg az egyetlen a kezelési mód a szigorú gluténmentes diéta betartása. A magasabb táplálkozástani értékű gluténmentes termékek iránti növekvő igény rávilágít arra, hogy a rostok technofunkcionális tulajdonságait sikefehérjéket nem tartalmazó anyagi rendszerekben is szükséges lenne részletesebben tanulmányozni. Gluténmentes alapanyagok esetében a sikefehérje hiánya hátrányos technológiai tulajdonságokat kölcsönöz a termékeknek. Külöfféle rostok hozzáadása a rendszerhez jellemzően inkább ront a termék tulajdonságain, azonban a táplálkozástani érték növelésének szempontjából hasznos összetevők lehetnek, illetve más módszerekkel kombinálva hátrányos tulajdonságaik kiküszöbölhetőek. A technológiai és táplálkozástani minőség javítására lehetőség lehet β -glükánok és arabinoxilánok felhasználása. A β -glükánok hidrokolloid természetük révén képesek befolyásolni a köztitermékek (pl.: tészta) viszkozitását és ennek eredményképpen egy jobb szerkezeti tulajdonságokkal rendelkező végterméket (pl.: kenyér) kaphatunk. Az arabinoxilánok oxidatív körülmények között képesek lehetnek térhálós szerkezetek létrehozására, melyekkel némileg helyettesíteni lehet a sikefehérje hiányát. A Gabonatudományi és Élelmiszerminőség Kutatócsoport korábbi kutatásaiban kísérletet tettek az élelmi rostok gluténmentes mátrixokban történő vizsgálatára.

Kutatásunkban a β -glükánok és arabinoxilánok, mint élelmi rost összetevők, hatását vizsgáltuk, valamint, hogy az arabinoxilán képes-e beépülni a köles- és hajdinalisztból készült tészta polimer szerkezetébe redukálószeres és oxidálószeres kezelések hatására. A vizsgálatokhoz gluténmentes alapanyagokat választottunk annak érdekében, hogy a rostösszetevők vizsgálatában a sikefehérje szerkezetalakító hatása ne zavarjon, illetve azért, hogy megállapítsuk, általánosítható-e a rostok hatása eltérő összetételű mátrixokban. A kutatás hozzájárulhat a rostok szerepének mélyebb megismeréséhez, illetve egészségesebb gluténmentes termékek fejlesztéséhez.

3. Irodalmi áttekintés

3.1. Élelmi rostok

1953-ban először Hipsley fogalmazta meg az élelmi rost fogalmat, ami alatt cellulózra, hemicellulózra és ezeken kívül ligninre utalt. Azóta a meghatározást többször is újragondolták, de mindegyikben kollektív pont volt, hogy ezeket a rostokat szénhidrát poli- és oligomerekből, továbbá ligninből álló csoportként kezelik. Az élelmi rostok a vékonybélben nem, vagy csak részben emészthők, melyek egyes alkotóit a vastagbélben élő mikroorganizmusok fermentálni képesek. Az élelmi rostok fogyasztásához több klinikailag alátámasztott illetve feltételezett jótékony élettani hatás kötődik, ideértve a székletlazító hatást, és/vagy a vér koleszterinszintjének indirekt csökkentését, és/vagy az étkezés utáni vércukorszint emelkedés mérséklését (DeVries et al., 2001; Fuller et al., 2016; Hipsley, 1953).

2009-ben a CAC (CODEX Alimentarius Commission) egy új definíciót tett közzé két lábjegyzettel kiegészítve:

„Az élelmi rost olyan 10 vagy több monomer egységet tartalmazó szénhidrát polimereket jelent, amelyeket az emberi vékonybél endogén enzimeit nem hidrolizálnak, és a következő kategóriákba tartoznak:

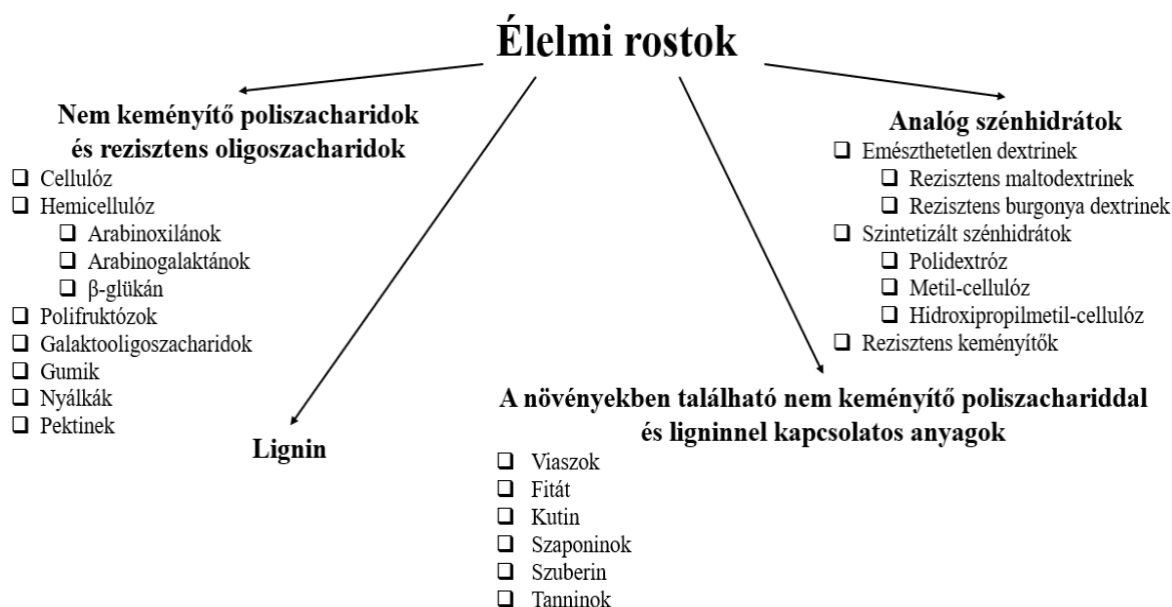
- Ehető szénhidrát polimerek, amelyek fogyasztás során az élelmiszerekben természetesen előfordulnak,
- Élelmiszer alapanyagból fizikai, enzimatis vagy kémiai úton előállított szénhidrát polimerek, amelyekről kimutatták, hogy tudományos bizonyítékok alapján fiziológiailag jótékony hatásúak az egészségre,
- Szintetikus szénhidrát polimerek, amelyekről kimutatták, hogy az illetékes hatóságok számára tudományos bizonyítékok alapján fiziológiailag jótékony hatásúak az egészségre.” (CODEX Alimentarius Commission, 2010; J. M. Jones, 2014)

A lábjegyzetekben részletezték, hogy a növényi forrásból származó élelmi rostok tartalmazhatnak lignin frakciókat, és olyan anyagokat, amik a növényi fal szénhidrátjaihoz kapcsolódnak, azokkal analógok, illetve amelyek mérhető analitikai módszerekkel élelmi rostok meghatározásakor. A 3-9 monomeregységből álló szénhidrátok bevonásáról a nemzeti hatóságok dönthetnek (CODEX Alimentarius Commission, 2010; J. M. Jones, 2014).

3.1.1. Az élelmi rostok csoportosítása

Az 1. ábra és a 2. ábra a leggyakoribb csoportosítást mutatja be. Ezeken kívül mások is léteznek, de ezek kevésbé elterjedtek a szakirodalomban.

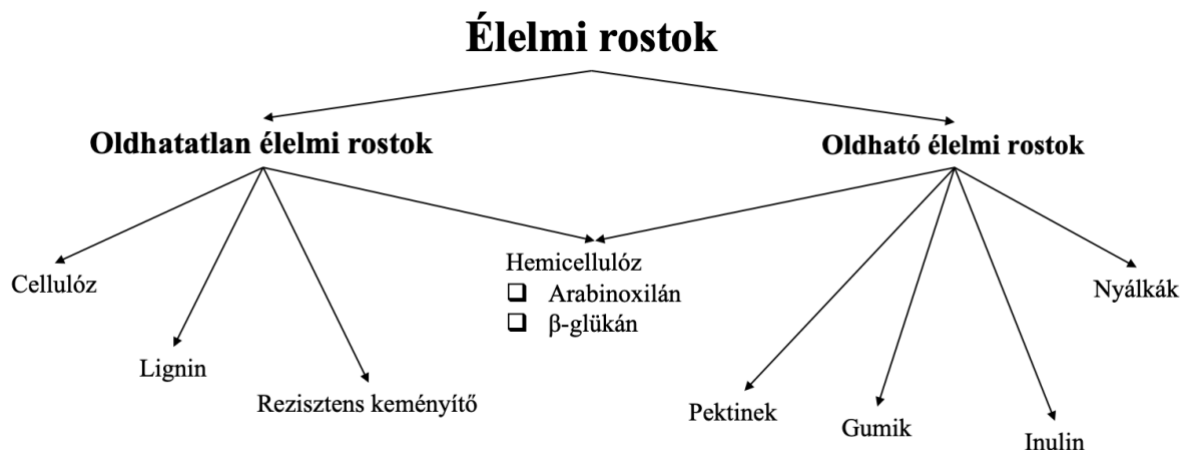
A nem keményítő poliszacharidok közé tartoznak a cellulózok, hemicellulózok, pektinek, fruktánok, gumik és nyálkák. Az oligoszacharidok közé tartoznak a poliszacharidok kisebb molekulatömegű analógjai. Viaszos réteggént a sejtfalak felszínén található, hidrofób, hosszú szénláncú hidroxil-alifás zsírsavakból álló viasz és kutin ellenáll az emésztésnek, ezért élelmi rostként lehet rájuk tekinteni. Az élelmi rostok fogalmába beletartoznak azok a természetes eredetű szénhidrátok is, amelyek a fentebb említett tulajdonságokkal rendelkeznek, például a növények sejtfalának egyik fő összetevője, a lignin (DeVries et al., 2001).



1. ábra Élelmi rostok csoportosítása (DeVries et al., 2001)

A 2. ábra mutatja be az oldhatóság alapján meghatározott felosztást. Oldhatóságuk alapján két csoportba oszthatók: oldható és oldhatatlan élelmi rostok. Az oldható élelmi rostokhoz tartoznak a nemcellulóz poliszacharidok, nem emészthető oligoszacharidok, néhány hemicellulóz, például az arabinoxilán (AX), β -glükán (BG), pektinek, gumik, nyálkák és az inulin. Főbb tulajdonságaikat tekintve hidrofílek, hidratálva kolloid diszperziókat és géleket képeznek, növelik a viszkozitást, és sokkal nagyobb mértékben fermentálják a vastagbélben élő baktériumok őket, mint az oldhatatlan rostokat. Az élelmiszeripar széleskörűen alkalmazza őket, mivel képesek módosítani az élelmiszerek, például a kenyerek, tészták, péksütemények állagát, szerkezetét és reológiai tulajdonságait. Élelmiszer-feldolgozási műveletekben az oldható rostok használata előnyösebb lehet az oldhatatlan rostokhoz képest, mivel jobb

viszkózitásnövelő, valamint gélképző képességgel és/vagy emulgeáló hatással rendelkeznek. Az oldhatatlan élelmi rostokhoz tartoznak a növényi sejtfal alkotói, például a cellulóz, néhány hemicellulóz, lignin és rezisztens keményítők, melyek fontos szerepet játszhatnak a bélrendszer megfelelő működésének támogatásában (Ciudad-Mulero et al., 2019; Li et al., 2017; Mudgil & Barak, 2013; Tomic et al., 2017).



2. ábra Élelmi rostok csoportosítása oldhatóságuk szerint (Ciudad-Mulero et al., 2019)

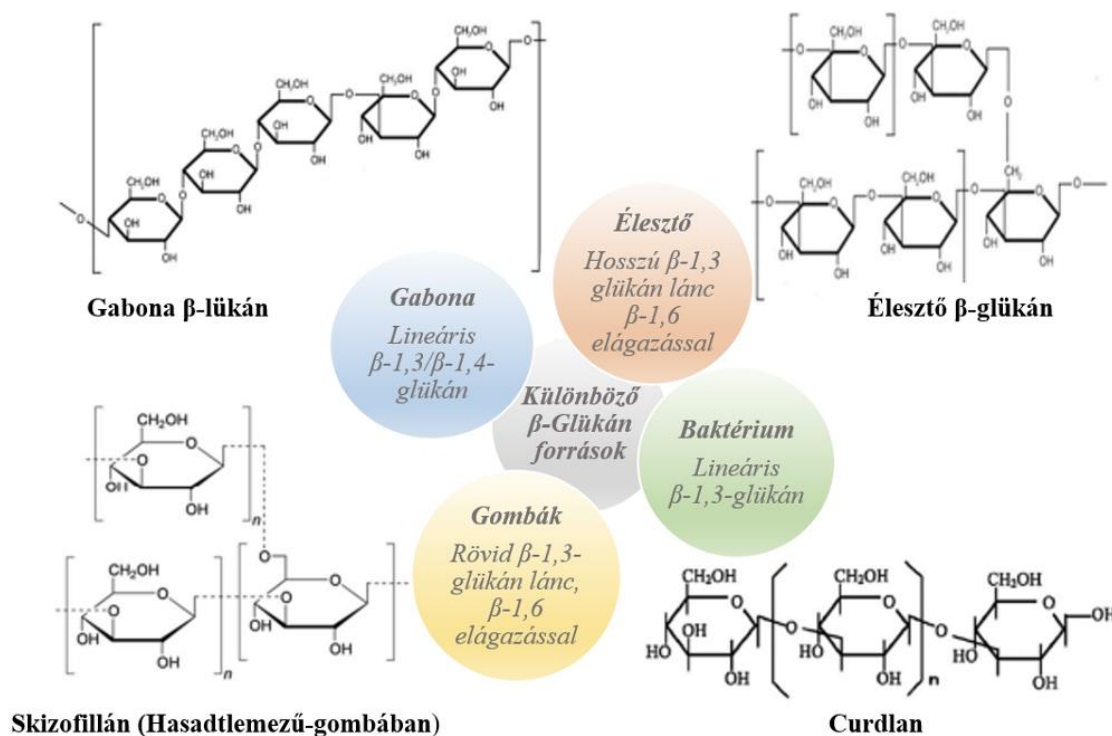
Az élelmi rostok fő forrásai közé tartoznak a gabonafélék, melyek két lényeges rost alkotója az arabinoxilán (AX) és a β -glükán (BG). A kutatómunka során ezzel a két élelmi rost összetevővel foglalkoztunk, részletes jellemzésük a következő fejezetekben olvashatóak.

3.1.1. β -glükánok jellemzése

A β -glükánok (BG) lineáris poliszacharidok, melyek D-glükóz monomerekből glikozidos kötésekkel keresztül épülnek fel, és előfordulásuktól függően eltérő szerkezeti felépítéssel rendelkeznek. Legfontosabb forrásaikat és szerkezeti felépítésüket a 3. ábra mutatja be. Főként gabonafélék (főleg árpa és zab) endospermiumában, a sütőélesztőben, néhány gombában, algákban és baktériumokban találhatók. Ezek közül a bakteriális és gabona BG-ok elágazásmentesek, ezzel szemben a gomba és élesztő BG-ok tartalmaznak elágazásokat. Továbbá eltérnek az egyes glükózegységeket összekötő glikozidkötések típusában. Míg a gomba és élesztő BG-ok glükózegységei β -(1-3) és (1-6) kötésekkel kapcsolódnak, a gabona BG-ok esetén β -(1-3) és (1-4), a bakteriális BG-ok esetén kizárólag β -(1-3) kötésekkel kapcsolódnak a monomerek. Kutatásunk szempontjából a gabonákban előforduló kevert kötésű béta-glükánok relevánsak, így a továbbiakban főként ezeket jellemeznénk.

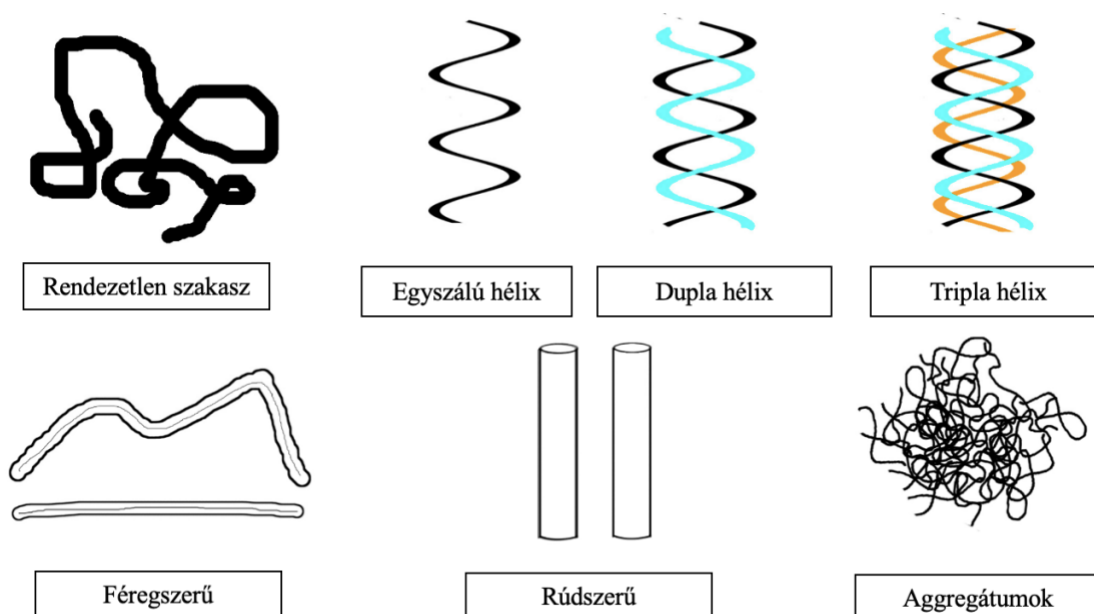
Oldhatóságuk alapján a BG-ok is oldható és oldhatatlan csoportokra bonthatók fel. Oldhatóságuk a molekulaméretüktől, és a β -(1,3) és β -(1,4) kötések arányától függ, amely

fontos paraméter stabilitásuk, emulgeáló tulajdonságuk szempontjából. A zab BG vízben oldódó, széles molekulatömeg tartománnyal (65-1000kDa) rendelkező élelmi rost, mely molekulatömege az adott zabfajtától, a feldolgozási technikától és az alkalmazott mérési módszertől függően változhat. A BG szárazanyag tömege zabkorpában 4%, és a β -(1-4) kapcsolódó glükózláncot β -(1-3) kötések szakítják meg. A glükóz monomereket 70% β -(1-4), és 30% β -(1-3) glikozidos kötés köti össze. A leggyakoribb β -(1-4) szegmensek a trimerek és a tetramerek, melyek a szerkezet 90%-át teszik ki és zabban az arányuk 2,1-2,4 között van. Továbbá hosszabb szegmensek is előfordulnak a szerkezetben. Az egymást követő cellotriozil egységek határozzák meg a BG fizikai és reológiai tulajdonságait (Ciudad-Mulero et al., 2019; Du et al., 2019; Hu et al., 2015).



3. ábra β -glükánok szerkezete (Du et al., 2019)

Az eltérő extrakciós módszerek eredményeképpen megváltozhat a BG konformációja, molekulatömege és tulajdonságai. Molekulatömegük jellemzően 10^2 - 10^6 Da. A BG-ok számos konformációt felvehetnek: ezek rendezetlen szakasz; egyszálú, kettős, hármas hélix; féregszerű, rúdszerű alakzatok; aggregátumok (4. ábra). Egyre nagyobb az érdeklődés a BG-ok szerkezetének és konformációjának megváltoztatására abból a célból, hogy funkcionális tulajdonságaikat javítani tudják. Erre többféle módosítási technikákat dolgoztak ki, például fizikai, kémiai, enzimes, mechanikus módosítási eljárások (R. Kaur et al., 2020).



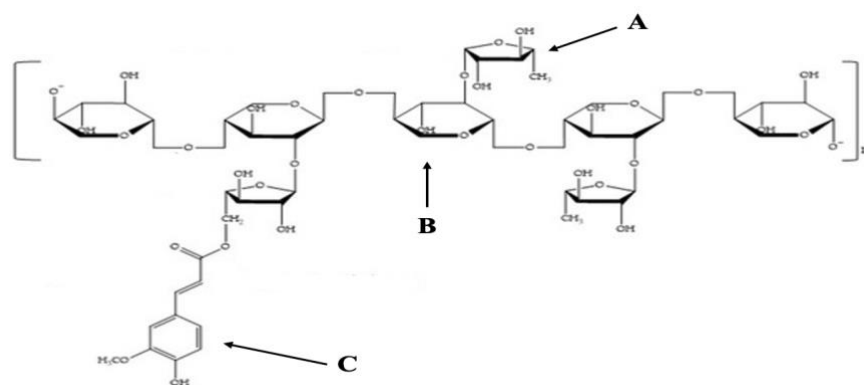
4. ábra β -glükánok néhány lehetséges konformációja (Q. Wang et al., 2017)

Oldataik viszkoelasztikus folyadékok kategóriájába tartoznak, hasonlóan viselkednek, mint a rendezetlen szakaszokkal rendelkező poliszacharidok, például a guar gumi. Oldatban nagy viszkozitással rendelkeznek, így sűrítőszerként is használják őket. Bizonyos körülmények közt képesek géleket képezni. Hidrokolloid tulajdonságuk révén elterjedten használják őket a reológiai tulajdonságok módosítására (Skendi et al., 2003).

3.1.2. Arabinoxilán jellemzése

Az arabinoxilánoknak (AX) kiemelt szerepük van az élelmi rostalkotók között kedvező funkcionális, és táplálkozási hatásaikat tekintve.

Az AX gerincét β -D-(1-4)-xilóz adja (5. ábra). Az L-arabinóz α -(1-2)-, valamint α -(1-3) glikozidos kötéssel kapcsolódik a gerinchez. Más (ritkábban előforduló) anyagok is kapcsolódhatnak ezen a helyen, például glükuronsavak, uronsavak, D-galaktóz, D-glükóz és acetilcsoportok. Az arabinózt ferulasav észteresítheti az O-5 helyen. Az AX-ok a gabonaszemek (például rozs, búza, tritikálé) sejtfalának egyik fő nem keményítő poliszacharidjai, melyek a szemtermés egyes rétegeiben, azaz az endospermiumban, aleuronrétegben, és a héjban vannak jelen változó mennyiségben és összetételben. Az AX-ok heterogének, különböző fokú és eltérő szubsztitúciós mintájú szerkezetekből állnak.



5. ábra Arabinoxilán szerkezete, ahol A – L-arabinóz, B – xilóz gerinc, C – ferulasav (De Anda-Flores et al., 2020)

Különböző gabonákból, és gabona részekből származó AX-ok eltérhetnek molekulatömegükben, arabinóz/xilóz arányukban és ferulasav tartalmukban, amik a fizikai-kémiai és technológiai tulajdonságaik befolyásoló tényezői (Ciudad-Mulero et al., 2019; De Anda-Flores et al., 2020; Niño-Medina et al., 2010; Rosicka-Kaczmarek et al., 2016; J. Wang et al., 2020).

A ferulasav-tartalom rostforrástól és extrakciós körülményektől függően 0,001-7,00 µg/mg AX között alakulhat (Mendez-Encinas et al., 2018; Rudjito et al., 2019). Oldhatóságuk alapján, melyet szubsztitúciós mintázatuk (pl.: A/X arány) és keresztkötések mennyisége is befolyásol, megkülönböztethetünk vízoldható (water-soluble AX, WSAX) és vízoldhatatlan (water-insoluble AX, WIAX) AX-okat. Mivel az AX-ok többsége más sejttal alkotókkal vagy egymással keresztkötve, egy összetett mátrixba ágyazódva helyezkednek el, így csak kis részük nyerhető ki egyszerű vizes extrakcióval. Ezért számos módszert dolgoztak ki az AX-ok oldatba viteléhez. Vizes extrakcióval történő kinyerhetőségük alapján két csoportra lehet őket osztani: vízzel kinyerhető/oldható (WEAX) és vízzel nem kinyerhető/oldható (WUAX). A WUAX hidrogén kötéssel és észter kötéssel kapcsolódik más AX molekulákhoz és a sejttal többi összetevőjéhez, míg a WEAX gyengén kötődik a sejtfal felületéhez (De Anda-Flores et al., 2020; Mendis & Simsek, 2014). A WUAX-ok egy részének extrakciója lúgok (nátrium-hidroxid, kálium-hidroxid, bárium-hidroxid oldatok), savak (sósav, ecetsav, hangyasav oldatok), enzimek (xilanáz), mikrohullám kezelés, vagy ultrahang segítségével történhet. Méret tekintetében a WEAX-ok molekulatömege általában alacsonyabb (30-513 kDa), mint a WUAX-oké (210-716 kDa) (Pietäinen et al., 2022; Rosicka-Kaczmarek et al., 2016).

Az AX-ok oldhatóságtól és szerkezetüktől függően eltérő technofunkcionális tulajdonságokkal rendelkezhetnek. WEAX hozzáadása például pozitív hatással lehet a búzalisztből készült tészta tulajdonságaira. Hozzáadása növeli a tésztakialakulási időt, valamint

javíthatja dagasztási tulajdonságait, például csökkentheti a keményítő retrogradációs folyamatát, így a kenyérbélzet keménységét és merevségét. Emellett a WEAX védi a fehérjéket a hődenaturációtól sütés közben, és lassítja a szén-dioxid diffúzióját. Ezzel ellentétben a WUAX gátolja a sikér mátrix kialakulását, mivel el tudja vonni a vízmolekulákat a sikértől, így az nem képes megfelelően hidratálódni. Emellett megszakíthatja a kovalens térhálósodást azáltal, hogy befolyásolja a sikérfehérjék közötti diszulfidkötéseket a vízzel való versengés miatt (Rosicka-Kaczmarek et al., 2016; Si et al., 2021).

3.2. Arabinoxilán és β -glükán alkalmazása gluténmentes termékekben

Sikértartalmú mátrixokban a tésztaképzési folyamatoknál a sikér meghatározó szerkezetalkító összetevő. Hozzájárul a tészta reológiai tulajdonságaihoz, valamint a végtermék minőségéhez, állagához és színéhez. A glutén helyettesítése nagy kihívás a gluténmentes sütőipari termékek fejlesztésében, azonban a kapcsolódó szakirodalmat áttekintve találhatunk példákat olyan alternatív összetevők vagy kezelések alkalmazására, melyek segítségével a sikérhálózat viszkoelasztikus tulajdonságai részben elérhetők, például hidrokolloidok, enzimek, emulgeálószeres és alternatív fehérjeforrások felhasználásával. Ezek mellett jelentős szerepet játszhatnak az élelmi rostok is (akár, mint hidrokolloid tulajdonságú összetevők), melyek hatása függ az oldhatóságától, valamint az élelmi rost adagolás előtti tészta reológiai tulajdonságaitól. Az AX és BG lehetséges jótékony technológiai hatásait már felismerték, azonban gluténmentes rendszerekre kifejtett hatásaikról kevés információ áll rendelkezésre (Cappelli et al., 2020; Houben et al., 2012; Motta Romero et al., 2017; Palabiyik et al., 2016; Renzetti & Rosell, 2016; Ronda et al., 2017; Tsatsaragkou et al., 2016).

A BG alapvetően hidrokolloid tulajdonságai révén képes befolyásolni egy adott rendszer viszkozitását és reológiai viselkedését. A hidrokolloidokat kis mennyiségben zselésítő, sűrűsítő, stabilizáló és emulgeáló hatásaik miatt használják élelmiszerekben. Ez alapján javíthatják az élelmiszer állagát és viszkoelaszticitását; növelhetik a vízkötőképességet; javíthatják az eltarthatóságot; lassítják a keményítő retrogradációját; valamint részleges gluténhelyettesítőkéntként használhatók. Mindezen hatások természetesen függnak a poliszacharid molekulaszervezetétől és konformációjától (Cappelli et al., 2020; Ozyurt & Ötles, 2016; Ronda et al., 2017). A szakirodalmat áttekintve viszonylag kevés tanulmány jelent meg eddig a BG gluténmentes termékekben történő alkalmazásáról (Ronda et al., 2015; Tsatsaragkou et al., 2016).

Az AX gluténmentes rendszerben (rizsliszt és kukoricakeményítő) történő alkalmazásának vizsgálata során a következőkről számoltak be: lágyabb, nagyobb kenyértérfogattal és jobb kenyérbélzettel rendelkezett az AX-nal adagolt kenyér, azonban a rugalmasságra és kohézióra káros hatással volt. Ezeknek a káros hatásoknak a kiküszöbölésére az AX más adalékanyagokkal, esetleg kezelésekkel történő kombinációja megoldást nyújthat (Espinosa-Ramírez et al., 2020). A Gabonatudományi és Élelmiszerminőség Kutatócsoport korábbi kutatásaiban AX és piranóz-2-peroxidáz enzim (POx) hatását vizsgálták gluténmentes fehér és teljes kiőrlésű lisztek (köles, hajdina) dagasztási és sütési tulajdonságaira. Különböző liszteket összehasonlítva hasonló tendenciákat vettek észre a tészták viselkedésében, mely során az AX hozzáadása csökkentette a tészta konzisztenciáját, de az enzimes kezeléssel kombinálva tésztaerősítő hatást figyeltek meg. A POx-ról feltételezték, hogy a működése során keletkező hidrogén-peroxid hatására az AX molekulák közt keresztkötések alakulhatnak ki. A gluténmentes kenyér tulajdonságait befolyásolta az AX és enzimkezelés, a kenyér bélzete lágyabb lett, valamint a vízmegkötő képesség is javult, ami az eltarthatóságra pozitív hatással van (Farkas et al., 2021; Németh et al., 2019). Az AX molekulák oxidatív körülmények, vagy enzimek (peroxidázok, lakkázok) hatására képesek lehetnek a ferulasavon keresztül keresztkötéseket létrehozni egymással, vagy más makrokomponensekkel, például fehérjékkel. AX-al adagolt tészta esetén ezek a keresztkötések hozzájárulnak a tészta szerkezet kialakításához, stabilitásához (Buxa, 2016; Piber & Koehler, 2005; Pietiäinen et al., 2022).

A gluténmentes sütőipari termékek alapja főként rizsliszt, valamint különféle magas keményítőtartalmú kompozitok, azonban a gluténmentes kiskabonák és álgabonák, mint például a köles és a hajdina, is potenciális sütőipari alapanyag lehet. A következő fejezetben ezekről a gabonákról szóló, kutatómunkánk szempontjából releváns irodalmat tekintjük át.

3.3. A hajdina és köles, mint gluténmentes alapanyagok

3.3.1. Rendszertan és előfordulás

A hajdina a keserűfűfélék vagy régebbi nevén sóskafélék (Sytar et al., 2016) családjába tartozó álgabona. Több fajtája ismert, melyek közül a teljesség igénye nélkül: a közönséges hajdina vagy édes hajdina esetleg pohánka (*Fagopyrum Esculentum* Moench) és a tatár hajdina vagy tatárka (*Fagopyrum Tataricum*) egy évi, termesztett fajok. A magas hajdina (*Fagopyrum Cymosum* Meissn) évelő vadon termő, emberi fogyasztásra nem alkalmas (Wijngaard & Arendt, 2006; Zhu, 2021).

A köles rendszertanilag a gabonafélék közé tartozó, számos fajt magába foglaló növény. A kölesek tagjai közé tartozik a gyöngyköles (*Pennisetum glaucum*), az ujjas köles (*Eleusine coracana*), a termesztett vagy közönséges köles (*Panicum miliaceum*) és az olasz köles (*Setaria italica*), ezeken kívül számos más, főleg regionálisan elterjedt köles faj is létezik. A termesztett köles (TK) a pázsitfűfélék (*Poaceae*) családjába, a kölesfélék (*Panicoideae*) alcsaládjába és a kölesek (*Panicum*) nemzetségébe tartozó egyszikű növény. A TK-nek öt faja különböztethető meg füzérvirágzatuk alapján: *miliaceum*, *patentissimum*, *contractum*, *compactum* és *ovatum* (Narciso & Nyström, 2023a).

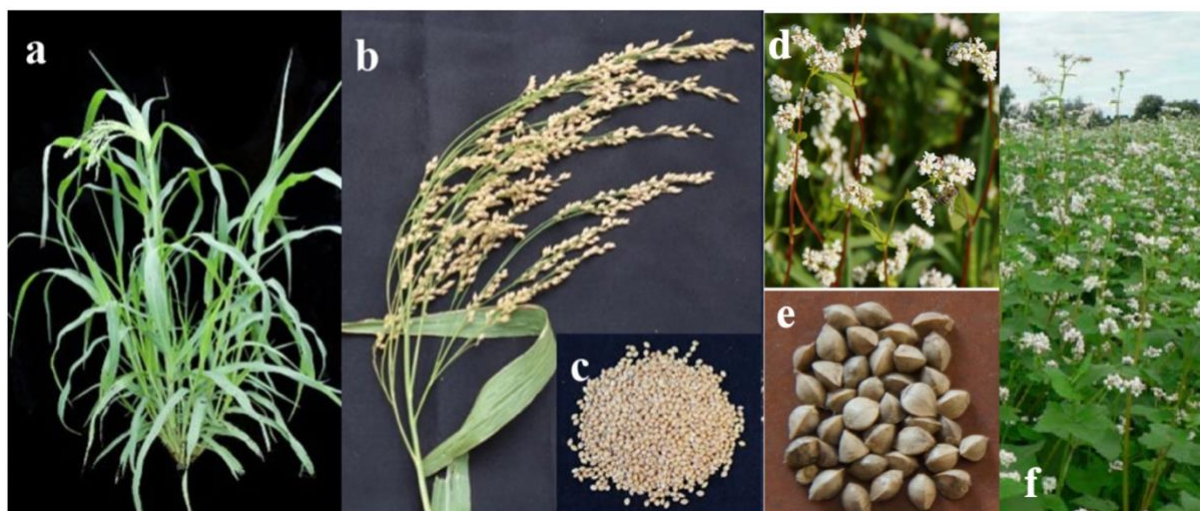
A kutatómunkánk szempontjából a közönséges hajdina és a termesztett köles (TK) releváns, így ezen fajok jellemzőit fogjuk részletezni.

A közönséges hajdinát és a termesztett kölest egyaránt mérsékelt, száraz és félszáraz éghajlaton termesztik, főként Ázsiában (Léder, 2004; Sytar et al., 2016; Taylor, 2018; Wrigley, 2016)

3.3.2. Szemtermésének felépítése

A közönséges hajdina 70-150 cm magasra nő. Az alacsonyabb, fotoperiódusra nem érzékeny, korán termő típust termesztik legjelentősebb mértékben.

A TK növény (6. ábra) magassága 30 és 100 cm között változik, különösen alkalmas száraz kontinentális körülmények közti termesztésre, mérsékeltabb éghajlaton nő, mint a többi köles.



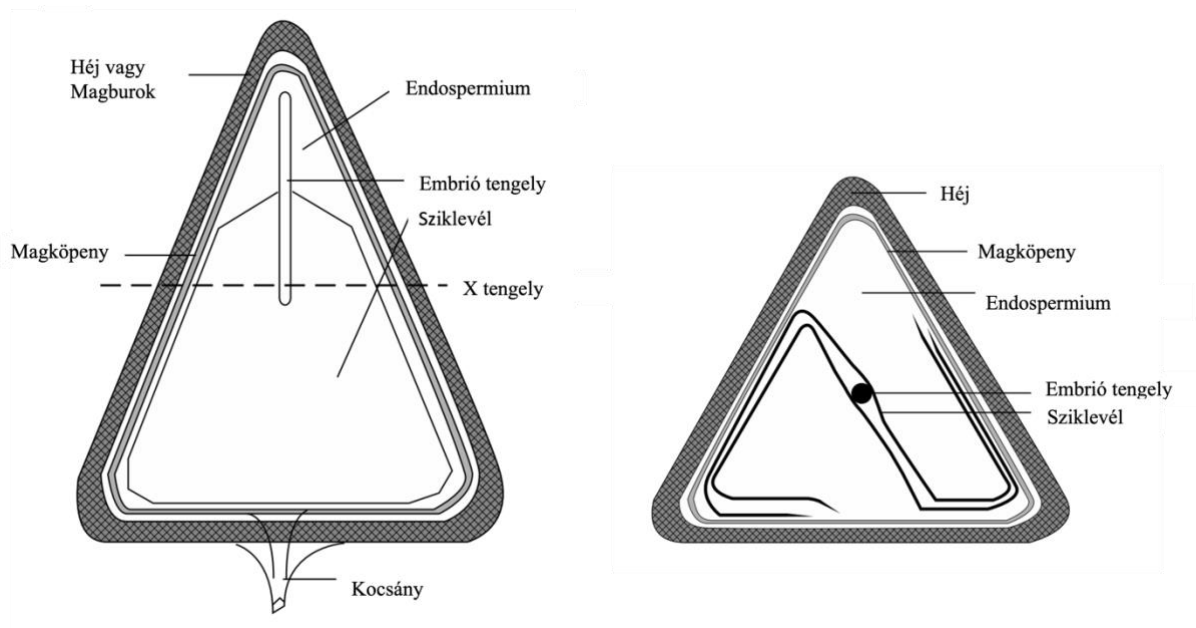
6. ábra: A termesztett köles növény és a közönséges hajdina morfológiája, ahol a – köles növény, b – köles füzérvirágzat, c – köles szemtermés, d – hajdina füzérvirágzat, e – hajdina szemtermés, f – hajdina növény (Gondola & Papp, 2010; Martínez-Gómez et al., 2022; Rajasekaran & Francis, 2021)

A hajdina kaszattermése hasonlít a bükk háromélű makktermésére. A termésmagok többnyire háromszög alakúak, színük a fényes vagy matt szürkétől a sötétbarnán át a feketéig terjed (Wijngaard & Arendt, 2006; Wrigley, 2016) A TK szemek oválisak vagy gömbölyűek, színük eltérő, lehet fehér, krém, sárga, narancs, vörös, barna és fekete. A szemterméseket sima,

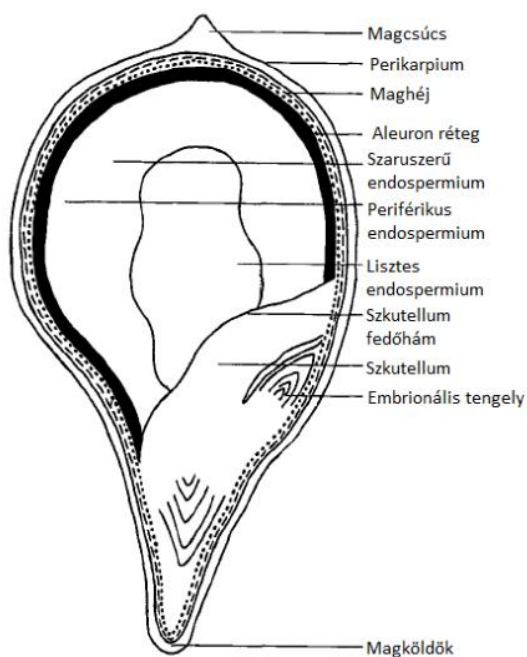
kemény és fényes pelyva borítja. A szemek belső szerkezete lényegében megegyezik az gyöngyköles szerkezetével, azonban a csíra mérete kisebb (8. ábra) (Dykes & Rooney, 2006; Nayik et al., 2023; Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018; Taylor & Emmambux, 2008).

A hajdina és a köles szemtermésnek (kariopszis) három fő morfológiai egysége: héj, csíra és endospermium. A perikarpium (terméshéj) a kariopszis legkülső rétege. Három alrétegből áll, ezek az epikarpium, mezokarpium és az endokarpium (Dykes & Rooney, 2006; Wijngaard & Arendt, 2006). A TK esetében a terméshéj alatt helyezkedik el a maghéj.

A hajdina- és kölesmag legnagyobb morfológiai egysége az endospermium, melynek feladata a tápanyag raktározása. Az hajdinában az endospermium egy 10-15 µm vastag aleuron rétegből és szubaleuronból áll, a hagyományos gabonákhoz hasonlóan tartalmaz keményítő szemcséket, melyeket fehérje mátrix vesz körül, (Wijngaard & Arendt, 2006). Az aleuron sejtek kis méretűek, vastag sejtfallal rendelkeznek és egy külön réteget képezve az endospermium legkülső részét alkotják. A keményítőszemcsékkel telt vékony sejtfallú sejtek az endospermium központi részét építik fel (Steadman et al., 2001). A TK-ben található endospermiumot aleuron részre, szaruszerű tartományra és lisztes részre lehet felosztani. Az összes kölesben az aleuronréteg egyetlen sejtréteg, amely közvetlenül a maghéj alatt helyezkedik el. Az aleuronsejtek ásványi anyagokban, B-komplex vitaminokban és olajokban gazdag sejtek, és tartalmaznak néhány hidrolizáló enzimet is. A csíra két részre bontható, szkutellumra és embrionális tengelyre, mérete fajonként és fajtánként is eltérő. A szkutellumrész ásványi anyag és fehérjetartalma magas, tápanyagraktárként funkcionál. (Dykes & Rooney, 2006)



7. ábra: A hajdina termés keresztmetszete (Steadman et al., 2001)



8. ábra: Gyöngyköles szemtermés szerkezeti felépítése (Taylor & Emmambux, 2008)

3.3.3. Beltartalmi összetétel

A közönséges hajdina és a termesztett köles kémiai összetétele függ a fajtától, a földrajzi elhelyezkedéstől, valamint a termesztési körülményektől. A hajdina nem gabonaféle, de szükséges termesztési körülményei, tápértéke, kémiai összetétele a gabonákéhoz hasonló. Ennek megfelelően jelentős a hajdina emészthető szénhidráttartalma (54,5-75%), hasonlóan a köleshez (63,8-70%). A hajdina fehérjetartalma általánosan 11-15% körüli, köles esetén ez az érték 10,6-13,6%. A hajdina zsírtartalma a legtöbb gabonához képest viszonylag alacsony (2,6-3,2%), míg a kölesé magasabb, illetve széles tartományban változhat (3,5-6,7%). A köles nyersrost és élelmi rost tartalma rendre 5,2-9% és 8,5% körül alakul. A hajdina hamutartalma 1,9% körüli, a kölesé pedig jellemzően 3-4% (Bagdi et al., 2011; Das et al., 2019; Devisetti et al., 2014; Léder, 2004; Lupien, 1995; Narciso & Nyström, 2023b; Nikolić et al., 2011; Saleh et al., 2013; Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018; Skrabanja et al., 2004; Sytar et al., 2016).

3.3.3.1. Fehérjék

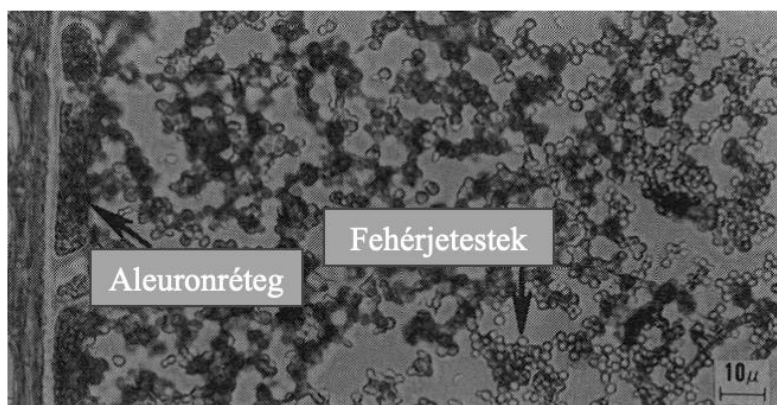
A közönséges hajdina és a termesztett köles fehérjeit oldhatóságuk (Osborne frakciók) alapján csoportosítva megkülönböztethetünk vízben oldható albuminokat, híg sóoldatban oldható globulinokat, 50-70%-os alkohol oldatban oldható prolamínokat, valamint híg lúgban vagy savban oldható glutelineket.

A hajdinában található fehérjefrakciók többségét a globulinok teszik ki, amely az összes fehérjetartalom nagyjából 43%-át jelenti. Molekulatömegük és ülepedési együtthatójuk alapján két fő csoportba sorolhatjuk a hajdinában található globulinokat: ezek a vicilin szerű 8S, és a legnagyobb mértékben előforduló, legumin szerű 13S globulinok (Radovic et al., 1996). A glutelinek a mag összes fehérjetartalmának körülbelül 23%-át, az albuminok 18,2-25%-át alkotják. Ez utóbbiak főleg kis molekulatömegű (8-16 kDa), egyláncú polipeptidekből állnak. A hajdinaszem elenyésző mennyiségű (0-1,9%) prolaminot tartalmaz (Przybylski & Gruczyyska, 2009; Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018; Taylor & Taylor, 2017; Zhu, 2021).

A hajdinafehérjék molekulaméret eloszlásának vizsgálatakor nem redukáló közegben 50 kDa tömeg értéknél erős vonal látható, amely a 13 S legumin-szerű és 8S vicilin-szerű globulinokkal azonosítható. (Alonso-Miravalles & O'Mahony, 2018). Redukáló közegben a 40 kDa-nál és a 25 kDa-nál megjelenő intenzív vonalak tipikusan a savas, illetve a bázikus 13S globulin alegységeket jelölik (Capraro et al., 2018). Egyéb szakirodalmi eredmények alapján a globulinok 6 alegységre, 25-67 kDa tömeggel, vagy 12-13 alegységre oszthatók, melyek molekulatömege 16-66 kDa közötti érték. Az albumin fehérjék tömegük szerint nyolc alegységre oszthatók 17-67 kDa közötti tartományban. A glutelineket 1,7-67 kDa, a prolaminoikat 17 kDa tömegű polipeptidek alkotják (Christa & Soral-Śmietana, 2008; Javornik et al., 2014). A globulinok és albuminok ún. fehérjetestekbe tömörödnek, és nem alkotnak a búza sikefehérjékre jellemző folyamatos mátrixot a keményítőszemcsék körül az érett endospermium sejtjeiben (Taylor et al., 2016). A hajdina közel azonos mennyiségű bázikus aminosavat tartalmaz minden fehérjefrakcióban, az albuminok azonban kiemelkedően magas, a búzához képest 2,5-szeres lizin tartalommal rendelkeznek, amely növeli a hajdina biológiai értékét (Wijngaard & Arendt, 2006), ugyanis ez az első limitáló aminosav (Malik & Singh, 2022a; Sytar et al., 2016). A hajdina gazdag glutaminsavban, aszparaginsavban argininben, leucinban és lizinben. Cisztein, metionin és hisztidin kisebb mennyiségben fordul elő (Kowalski et al., 2022). Nagyon kevés prolaminot és glutamint tartalmaz, hiszen a prolaminoik mennyisége minimális (Malik & Singh, 2022a).

A termesztett köles fehérjefrakcióinak legnagyobb részét a prolaminok teszik ki, melyek a teljes fehérjetartalom 25,1-58%-át alkotják, globulin tartalma 11-20% között, albumin tartalma 9-20% között változhat, a glutelinek pedig 8-12%-át képezhetik a kölesfehérjéknek, fajtától függően. A mátrixfehérjék általában glutelinek, a fehérjetestek pedig prolaminok (Arendt & Bello, 2008; Javornik et al., 2014; Mazza & Oomah, 2003; Przybylski & Gruczyyska, 2009; Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018; Taylor & Taylor, 2017).

A szakirodalomban változatos eredményeket közöltek a termesztett köles fehérjéinek molekulaméret eloszlását tekintve, mely a fajon belüli jelentős változékonyságot mutat. Ez alapján a TK prolaminok glutaminban, leucinban és alaninban gazdag 24 kDa tömegű polipeptidek, valamint 17-24 kDa tömegű metioninban és ciszteinben gazdag polipeptidek (Kalinová, 2007). Más tanulmányban a TK prolamin fehérjék 14-17 kDa, valamint 19-27 kDa molekulatömegű, glutamátban, alaninban, leucinban és prolinban gazdag fehérjék (Taylor & Taylor, 2017). Az 54 és 60 kDa mérettartomány a 7S globulinokra, míg a 26 és 40 kDa a 11S globulinfrakciókra jellemzők (H. Wang et al., 2021). A TK glutelinek 17-20 kDa molekulatömegű, glutamátban, prolinban, alaninban és metioninban gazdag fehérjék (Taylor & Taylor, 2017). Mikroszkópos vizsgálatok alapján a TK fehérjék főként 0,5-2,5 µm átmérőjű, gömb alakú fehérjetestekbe tömörödnek (9. ábra), melyek keményítőszemcsékhez kötődnek. Ezen fehérjetestek fő alkotói prolamin típusú fehérjék. Emellett az endospermium külső sejtjeiben egyes globuláris fehérjék amorf mátrix fehérjékbe ágyazódnak be, azonban az endospermium belseje felé haladva egyre kevesebb a mátrix fehérje (R. W. Jones et al., 1970).



9. ábra A termesztett köles fehérjetestei (R. W. Jones et al., 1970)

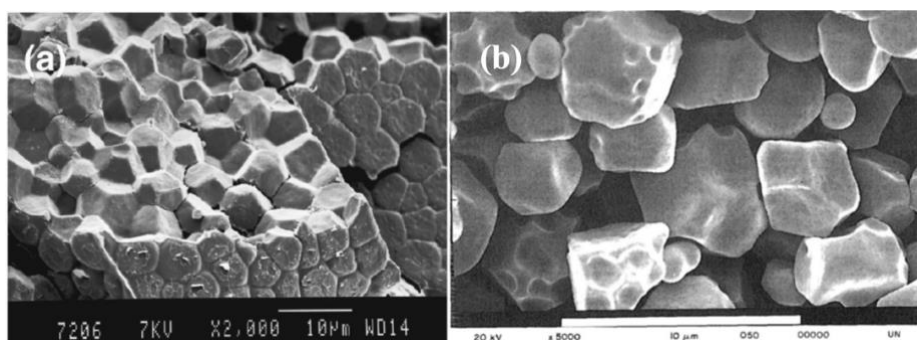
A TK limitáló aminosavai más gabonákhoz hasonlóan a lizin, valamint a triptofán. A kölesfehérjék általában gazdagok glutamátban, leucinban, aszparaginsavban, alaninban, fenilalaninban, valinban és prolinban (Amadou et al., 2013; Bagdi et al., 2011; R. W. Jones et al., 1970; Kalinová, 2007; Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018; Sharma et al., 2023)

3.3.3.2. Szénhidrátok

A hajdinában és a kölesben található szénhidrátok jelentős részét a növények legfőbb energiatároló szénhidrátja a keményítő teszi ki, melynek mennyisége a hajdina esetén 54-56%, a köles estében pedig 50-70% (Bonafaccia et al., 2003; Chang et al., 2023; Kalinová, 2007; Narciso & Nyström, 2023b; Steadman et al., 2001; Yañez et al., 1991).

A hajdina viszonylag kis méretű keményítőszemcsékkel rendelkezik, melyek átmérőjével kapcsolatos irodalmi adatok eltérőek, miszerint 2-14 μm (Lindeboom et al., 2004), 2-6 μm (Van Hung et al., 2009), 4-11 μm (Mazza & Oomah, 2003) átmérőjűek lehetnek. A szemcsék gömb vagy sokszög alakúak, pórusos felszínűek és szorosan egymás mellett helyezkednek el a sejtekben (Gregori & Kreft, 2005; Van Hung et al., 2009).

A TK keményítőszemcséi szintén kis gömb vagy nagy sokszög alakúak lehetnek (10. ábra). A szemcsék mérete 1,3-13,5 μm között változik (Chang et al., 2023; Kalinová, 2007; Narciso & Nyström, 2023b; Yañez et al., 1991).



10. ábra A közönséges hajdinában és a termesztett kölesben található keményítőszemcsék SEM képei (Gregori & Kreft, 2012; Yañez et al., 1991)

A keményítő fő alkotói az amilóz és amilopektin. A hajdina relatív magas amilóz tartalommal rendelkezik, eltérő termesztési körülmények és az különféle mérési módszerek következtében az értéke a különböző szakirodalmi forrásokban eltérő lehet, jellemzően 15-52% (Mazza & Oomah, 2003; Van Hung et al., 2009). Az amilózok polimerizációs foka 12-45 glükóz egység között változhat. A hajdina a gabonákhoz képest nagyobb mennyiségben tartalmaz hosszú láncú amilopektint (12-13 m/m%) (Mazza & Oomah, 2003; Przybylski & Gruczyńska, 2009; Schoenlechner et al., 2010). A hosszú láncú amilopektinek befolyásolják a keményítő gélesedési tulajdonságait, növelik a viszkozitást. A hajdinakeményítő magasabb csúcsviszkozitást mutat, mint a gabonák keményítői és csirizesedési tulajdonságai is inkább a gyökértermések, gumósok keményítőjéhez hasonlóak, továbbá vízmegkötő kapacitása is viszonylag nagy (79-109%) (Mazza & Oomah, 2003; Repo-Carrasco-Valencia, 2016)

A termesztett kölesben található keményítő amilóztartalma jellemzően 17-33%, az amilopektin pedig 61-73% szárazanyagtartalomra vonatkoztatva. Az amilopektin elágazó láncai a polimerizáció foka (DP) szerint négy részre oszthatók: A lánc (DP 6–12), B₁ lánc (DP 13–24), B₂ lánc (DP 25–36) és B₃ lánc (DP $\geq$ 37). A TK-re az A és B₁ láncok jellemzőek (DP 6-24), a többi polimerizációs fokú láncok kevésbé fordulnak elő. A magas amilóztartalmú keményítő nehezebben csirizesedik, könnyebben retrogradálódik és jobb szerkezeti integritású. Az

amilóztartalom azonban jelentősen eltérhet waxy és nem waxy termesztett köles fajták között. A nem waxy termesztett köles amilóztartalma átlagosan 23%, míg a waxy termesztett köles amilóztartalma átlagosan 3%. (Chang et al., 2023; Kalinová, 2007; Narciso & Nyström, 2023b; Yañez et al., 1991).

Az álgabonák, így a hajdina szem is nem keményítő poliszacharidokban, illetve élelmi rostokban gazdag. Az összes diétás rost jelentős része az aleuron, a maghéj és a magköpeny vastagabb falú sejtjeiben koncentrálódik. A hajdinában előforduló oldható rostokat többnyire pektinek, arabinogalaktánok és xiloglükánok alkotják. Az egyéb oldható szénhidrátok, mint a szukróz vagy a fagopiritolok az embrióban és az aleuron szövetekben koncentrálódnak. Ez utóbbi molekulák a D-chiro-inositol ex-galaktozil származékai.

A TK nem keményítő poliszacharid tartalmára változatos adatok állnak rendelkezésre a szakirodalomban. Az azonban megállapítható, hogy találhatók benne arabinoxilánok (1-5%) és β -glükán is (0,5-1,0%) (Narciso & Nyström, 2023a; Németh et al., 2019; Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018).

3.3.3.3. Lipidek

Más gabonákkal (pl.: búza, árpa, rozs, rizs) összehasonlítva a kölesek zsírtartalma magasabb, ezért nem tárolhatók huzamosabb ideig avasodásra való hajlamuk miatt, ezzel szemben a hajdina lipidtartalma elenyésző.

A hajdinában a lipidek lipidtestek formájában fordulnak elő. Jelentős részük az embrióban koncentrálódik lipidtestek formájában (8,2%), ennél jelentősen alacsonyabb az endosperm (0,4%), a maghéj (2,0%) és a magház lipidtartalma (0,5%) (Dorrell, 1971; Mazza, 1988). A hajdinában előforduló legjelentősebb telítetlen zsírsavak: az olajsav, a linolsav, a palmitinsav, a linolénsav, a behénsav, a sztearinsav, és az arachidonsav az összes zsírsav tartalom 93%-át alkotják (Dorrell, 1971; Wijngaard & Arendt, 2006). A telített zsírsavak az összes zsírsav tartalom körülbelül 16-25%-át teszik ki, melyek közül a legjelentősebb a palmitinsav (Sinkovič et al., 2020; Valencia-Chamorro et al., 2016).

A TK-ben a szabad lipidek közül szterin-észterek, triacilglicerinek, diacilglicerinek és szabad zsírsavak jelentősek. A szabad lipidekben található zsírsavak a linolsav, olajsav, és palmitinsav, valamint kis mennyiségben linolénsav. A kötött lipidekben monogalaktozil-diacil-glicerinek, digalaktozil-diacil-glicerinek, foszfatidil-etanolamin, foszfatidil-szerin és foszfatidil-kolin (Amadou et al., 2013). A trigliceridek közül a leggyakoribb zsírsav a linolsav (60%), ezt követi az olajsav (14%) (Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018; Taylor & Emmambux, 2008).

3.3.3.4. Vitaminok, ásványi anyagok, bioaktív vegyületek

A közönséges hajdina és a termesztett köles kalciumban szegény, azonban jelentősebb mennyiségű foszfort, vasat, magnéziumot, mangánt és cinket tartalmaz (1.táblázat).

1. táblázat A közönséges hajdina és a termesztett köles ásványianyag-összetétele szárazanyagra vonatkoztatva (mg/kg), illetve az ásványi anyagok szükséges napi bevitele (mg/nap, felnőtt férfi esetében) ("Dietary Reference Values for Nutrients Summary Report," 2017; Ikeda et al., 2006; Lupien, 1995; Wijngaard & Arendt, 2006)

	Közönséges hajdina		Termesztett köles		Referencia beviteli érték
	Teljes	Hántolt	Teljes	Hántolt	
Az emberi szervezet számára fontos ásványi anyagok					
K	565	450	nd.	nd.	3500
P	490	394	281	156	550
Mg	267	375	117	78	350
Ca	19,7	12,4	23	8	950
Nyomelemek					
Fe	3,0	2,9	4	0,8	11
Zn	2,9	2,5	2,4	1,4	16,3
Mn	1,6	1,6	1,2	0,6	3,0
Cu	0,7	0,5	5,8	1,6	1,6

A hajdina a gabonákhoz képest nagyobb mennyiségben tartalmaz niacint (B3), piridoxint (B6), K-vitamint, és kolint (Przybylski & Gruczyyska, 2009). A B vitaminok az endosperm és az embrió külső részeiben koncentrálnak, melyeket a fehérliszt nem tartalmazza (Pirzadah & Rehman, 2021). A hajdina 2-5-ször több fenolos vegyületet tartalmaz, mint a zab vagy az árpa. Ezek a legtöbb gabona esetén a maghéj sejtfalához kötődnek. Ezzel szemben a hajdina a fenolos vegyületek többségét szabad formában tartalmazza, melyek az egész gabonában elosztva jelennek meg (Ahmed et al., 2014; Inglett et al., 2011; Przybylski & Gruczyyska, 2009). A hajdinában előforduló flavonoidok a rutin, a quercetin, az orientin, és a vitexin. A legjelentősebb a rutin, amely a teljes flavonoid tartalom 54%-át teszi ki, feldolgozás során a hajdinaszem rutintartalma csökken, azonban a hajdina így is azon kevés növények közé tartozik, melyek a növény emberi fogyasztásra alkalmas részeiben tartalmazznak rutint (Ahmed et al., 2014; Kreft et al., 2006; Przybylski & Gruczyyska, 2009).

A köles fitokemikáliákban, bioaktív anyagokban gazdag gabona. Az ásványianyag-tartalom fő részét a maghártya, az aleuronréteg és a csíra tartalmazza. Rostban gazdag héját fogyasztás előtt általában eltávolítják, ami jelentős tápanyagvesztést jelent (Amadou et al., 2013; Das et al., 2019; Kalinová, 2007; Lupien, 1995). Főleg tiamin, niacin és riboflavin vitaminokban gazdag.

Antinutriensek közül a polifenolok, tannin, fitinsav (0,17-0,61%) és fitát, goitrogének és oxálsav (0,21-0,23%) jelentős. Ferulasav, p-kumársav, a ferulasav dehidrodimerjei és az oldható klorogénsav a leggyakoribb fenolsavak a termesztett kölesben (Y. Choi et al., 2007; Devisetti et al., 2014; Kalinová, 2007; Narciso & Nyström, 2023b; Saleh et al., 2013; Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018; Tomar et al., 2022; Yuan et al., 2022).

3.3.4. Hajdina, és köles őrlmények technológiai tulajdonságai

Az élelmiszerek technológiai tulajdonságait tekintve jelentős szerepe van a keményítő-lipid, keményítő-fehérje, lipid-fehérje, makromolekulák-ásványi anyagok/ fenolok/ vitaminok/ színezékek, valamint keményítő-lipid-fehérje kölcsönhatásoknak. Ezek a kölcsönhatások különféle fizikai-kémiai tulajdonságokat befolyásolnak, például a keményítő gélesedési képességét, retrogradációját, víz és olajmegtartó képességet és viszkozitást. Általánosságban, így az általunk vizsgált mátrixok esetén is, ezek az interakciók nem kívánt hatásokat okozhatnak, de akár a minőség javulásához is vezethetnek (Tomar et al., 2022).

A hajdina és köles őrlmények technológiai tulajdonságairól kevés információ található az irodalomban. A hajdinát leginkább dara vagy liszt formájában kásák, tészták, aprósütemények készítésére, míg a kölest alapvetően lepénykenyerek, kásák, extrudált termékek készítésére alkalmazzák, de más jellegű, akár sütőipari jellegű felhasználásra is akad példa (Syta et al., 2016; Wrigley, 2016). Ez a fejezet a hajdina és a köles technofunkcionális tulajdonságairól nyújt rövid, áttekintő értekezést, ami a kutatás során tapasztalt viselkedések magyarázatára szolgálhat.

A hajdina viselkedése az élelmiszer feldolgozás során elsősorban a fehérje- és poliszacharidfrakciók tulajdonságaitól, valamint e makromolekulák viselkedésétől és kölcsönhatásaitól függ (Mariotti et al., 2008). A hajdina keményítőszemcsék kis méretűek, az így létrehozott nagy fajlagos felület nagy vízabszorpciót eredményez. A fizikai-kémiai tulajdonságait tekintve a hajdinának intenzív a duzzadási és gélképzési hajlama. A farinográfos mérések alapján a hajdinaliszt hasonló konzisztenciával rendelkezik, mint egy erősebb búzaliszt, mindez a magas rosttartalommal valamint a keményítőszemcsék vízmegkötő képességével magyarázható (Beitane et al., 2015).

A kölesőrlmények lisztkeverékekben történő alkalmazása során megállapítható, hogy csak egy bizonyos mértékig helyettesíthető velük a búzaliszt, mivel mennyiségükkel arányosan megváltoznak a dagasztási tulajdonságokat jellemző paraméterek, mint például tészta kialakulási idő, stabilitás stb, ami a végtermék tulajdonságainak romlását okozza (Shimray et al., 2012; K. P. Singh et al., 2012). A gyenge dagasztási tulajdonságok a hidrofób jellemzőkkel

rendelkező fehérjetestek miatt fordulhat elő, amelyekbe a kölesben található fehérjék nagy része be van zárva (Taylor et al., 2016).

A keményítő viszkozus tulajdonságainak vizsgálatára elterjedt módszer a gyors viszkoanalizátor (RVA), amely a hajdina- és köleslisztből készült szuszpenzió tulajdonságainak mérésére is alkalmazható módszer (Beitane et al., 2015; Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018). A gabonákhoz képest a hajdina nagyobb csúcsviszkózitással, forró tézta viszkózitással és végső viszkózitással rendelkezik. A 6-12 polimerizációs fokú amilopektinek jelentős mennyiségével magyarázhatóak a nagy végső viszkózitás és a visszaesés értékek (Beitane et al., 2015). Köles-búza lisztkeverékben a kölesliszt hatására csökken csúcsviszkózitás és visszaesés, valamint nő a végső viszkózitás (Wu et al., 2016).

A hajdina és a köles alapvetően jó tápértékkel rendelkezik, ami miatt potenciális gluténmentes sütőipari alapanyagok lehetnek, azonban technológiai tulajdonságaikon javítani szükséges. A kutatásunk egyik célja kideríteni, hogy alkalmazott módszereinkkel javíthatók-e ezek a tulajdonságok, illetve mint modell mátrixok, alkalmasak-e a rostok szerepének vizsgálatára.

3.4. A modellrendszerek kialakításának lehetőségei

Az egyes összetevők szerepének vizsgálata modellrendszer kialakításával lehetséges, úgynevezett rekonstitúcióval. Ez esetben az eredeti natív mátrixot fő alkotóira bontva, majd ismét összeállítva vizsgálható az egyes összetevők szerepe, valamint lehetővé teszi külsőleg adagolt összetevő hatásának egyszerű mátrixban történő vizsgálatát. Ennek megfelelően a továbbiakban a fehérje és keményítő izolálásról szóló szakirodalmat tekintjük át.

3.4.1. Fehérje izolálási eljárások

Az álgabonákból és gabonákból történő fehérje izolálásra gyakran alkalmazott eljárás a lúgos extrakció. Az eljárás növeli fehérje extrakciós hozamát, mivel lebontja a fehérjéket tartalmazó mátrixokat, növelve ezáltal a fehérjék oldhatóságát (Malik and Singh, 2022).

A hajdina fehérjék izolálására leggyakrabban alkalmazott módszerek szolubilizációs-kicsapásos eljárásokon alapulnak (Zhu, 2021). Köles esetén a prolaminok a fő fehérjecsoport a legtöbb kölesben, relatív hidrofóbitásuk és diszulfidkötéssel történő térhálósodásuk különleges kihívást jelent, valamint azért is, mert az extrakciós módszer befolyásolja a kivont prolaminok minőségét, típusát és ebből következő funkcionálisitását (Serna-Saldivar & Espinosa-Ramírez, 2018).

Lúgos extrakcióra többféle eljárás is található az irodalomban. A 2. táblázatban foglaltuk össze a kutatómunkánk szempontjából releváns módszereket. Ezeket mi is alkalmaztuk kisebb

változtatásokkal a mérések során. A különböző izolálásokkal nyert fehérjék tisztaságára vonatkozóan kevés szakirodalmi adat ismert.

2. táblázat: Fehérje, illetve keményítő lúgos extrakciója hajdinából és kölesből

Minta	Forrás	Alkalmazott víz mennyiség (w/v)	1. lépés: Extrakció	2. lépés: Fehérje kicsapás
Hajdina	(Xue et al., 2017)	1:5	körülmények: 50°C, 120 perc, 8,0pH centrifugálás: 4000g, 30 perc	4,5 pH centrifugálás: 4000 g, 20 perc mosás kétszer desztillált vízzel és semlegesítés 7 pH-ra
	(Jin et al., 2021)	1:20	körülmények: 40°C, 180 perc, 10,0pH centrifugálás: 7500g, 15 perc	4,5 pH centrifugálás: 7500 g, 15 perc mosás háromszor desztillált vízzel és semlegesítés 7 pH-ra
Köles	(H. Wang et al., 2021)	1:10	körülmények: 50°C, 30 perc, 8,0pH centrifugálás: 4000rpm, 10 perc	3,8 pH centrifugálás: 4000 rpm, 10 perc mosás 25 ml desztillált vízzel és 50%-os etanollal
	(Jhan et al., 2021)	1:4	körülmények: 25°C, 60 perc, 9,5pH centrifugálás: 4000g, 30 perc	4,0 pH centrifugálás: 4000 g, 15 perc

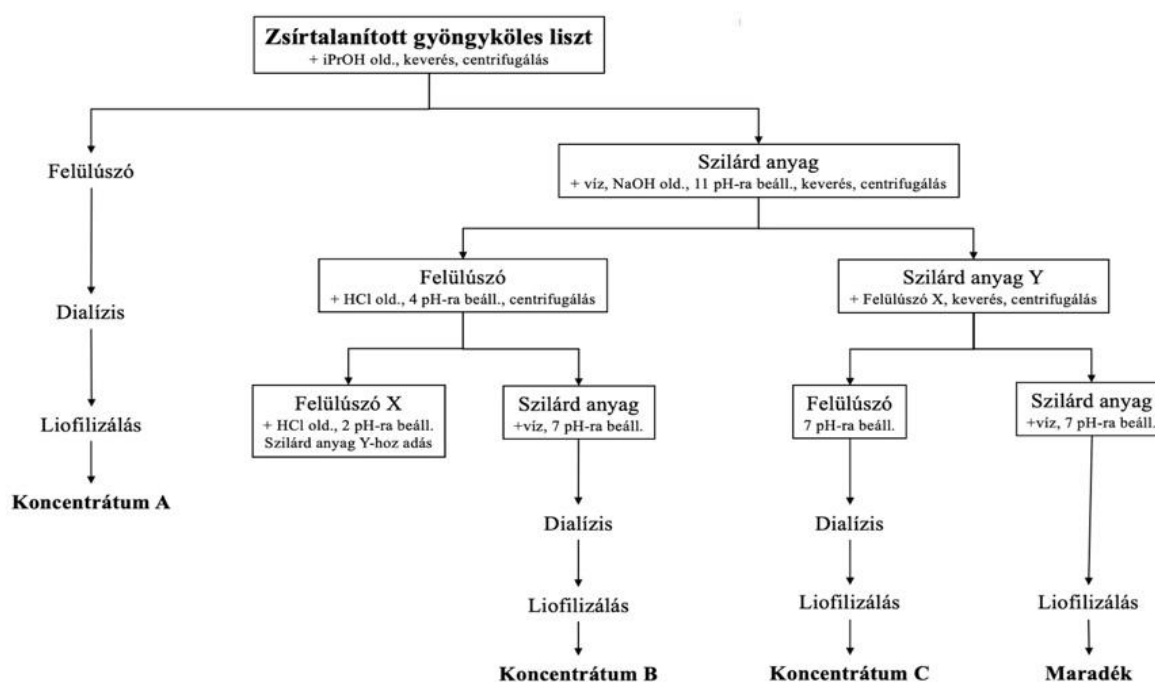
A köles esetén minden esetben zsírtalanított lisztből indulnak ki, míg a hajdina mintáknál erre nincs feltétlenül szükség, a liszt alacsony zsírtartalma miatt. Az izolálás első lépéseként szuszpenziót készítenek a lisztből desztillált vízzel meghatározott tömeg/térfogat arányban. A fehérjék extrakciójához a fehérjék oldhatósága miatt a pH-t megemelik NaOH-oldattal, majd bizonyos ideig kevertetik a szuszpenziót adott hőmérsékleten. A következő lépés mindkét esetben a centrifugálás. A kapott felülúszó tartalmazza a fehérjéket, aminek kicsapás érdekében leviszik a pH-ját HCl-oldattal, majd centrifugálják. A pelletben található a keményítő, amit semlegesíteni szükséges (Jhan et al., 2021; H. Wang et al., 2021).

Chen és munkatársai a fehérje izolálását a keményítőfrakciók enzimikus eltávolításával végezték tatarka hajdina esetében. Az eljárás lényege, hogy a liszt híg vizes oldatát kolloid malomban diszpergálják, majd α -amilázt adnak a diszperzióhoz és rázatással inkubálják. Savanyítást követően amiloglikoxidáz adnak a rendszerhez, majd 100°C-on hevítik, az enzimek deaktiválása céljából. Végül az oldatokat 80 kDa molekulásúly-határértékkel rendelkező

membránnal dializálják. Így polifenolban gazdag hajdinafehérjék izolálhatóak (Chen et al., 2019).

A kölesnél alkalmazott etanolos extrakciónál a lipideket, karotinokat és xantofilokat eltávolítják a lisztből. A zsírtalanított és színtelenített lisztet merkaptóetanolos etanol oldatban diszpergálják hosszabb ideig emelkedett hőmérsékleten. Az etanol nagy részét rotációs bepárlóval távolítják el. A fehérjéket liofilizálják, és fehérjetartalmuk számításához 6,25-ös Kjeldahl konverziós faktort használnak (L. Wang et al., 2018).

Az izopropanolos módszerhez az előzetesen zsírtalanított gyöngyköles lisztet izopropanol oldattal extrahálják egy éjszakán keresztül, majd centrifugálják, és izopropanollal mossák. A felülúszókból dialízissel távolítják el az izopropanol nagy részét. Ezután lúgos extrakció következik. A koncentrátum A fehérjetartalma 81,4%, a koncentrátum B-é 70,6%, a koncentrátum C-é 19,8% és a maradék fehérjetartalma 4,0% (11. ábra) (Bailey & Sumrell, 1980).



11. ábra: Folyamatábra fehérjék extrakciójára gyöngyköles lisztből (Bailey & Sumrell, 1980)

3.4.2. Keményítő izolálási módszerek

A hajdina és köles keményítő izolálására általában nedves őrlést alkalmaznak. Az eljárás lényege, hogy a keményítő, a fehérje és a sejtfalanyag fizikai és kémiai változásokon megy keresztül, amely az endospermium összetevőinek szétválását eredményezi. A keményítőszemcsék kiszabadulnak a fehérjehálózathoz. (A száraz őrlés ezzel szemben az

endospermiumot sejtekre vagy sejtdarabokra szedi szét, a keményítő és fehérje szétválasztása nélkül) (Rosentrater & Evers, 2018).

Olyan módszer választása célszerű, amely után nem marad jelentős fehérjemennyiség a keményítőben. A lúgos izolálási eljárás a legismertebb módszer, mivel lehetővé teszi a fehérjék egyszerű eltávolítását.

A folyamat során a hajdinadarát áztatják, darálják, szűrik és centrifugálják. A szűrés többek között a rostok és a keményítőben gazdag embrió elválasztását szolgálja. A centrifugálás után a felülúszót leöntik és a visszamaradt szilárd anyag felszínén lévő üledék réteget eltávolítják. Az üleptetés és a centrifugálás felülúszójából 4,3-as pH-n kicsapják a fehérjéket. Így a mintát keményítő, rost, fehérje, üledékréteg és áztató vizes frakciókra bontják, a keményítő és a fehérje esetében 78,7%, illetve 63,9% extrakciós hatékonysággal. A finomított keményítőtermék 98% keményítőt és 0,6% fehérjét tartalmaz, a fehérjefrakció keményítőtartalma 22,1%, fehérjetartalma pedig 71,6% (Zheng, Sosulskib and Tyler, 1998).

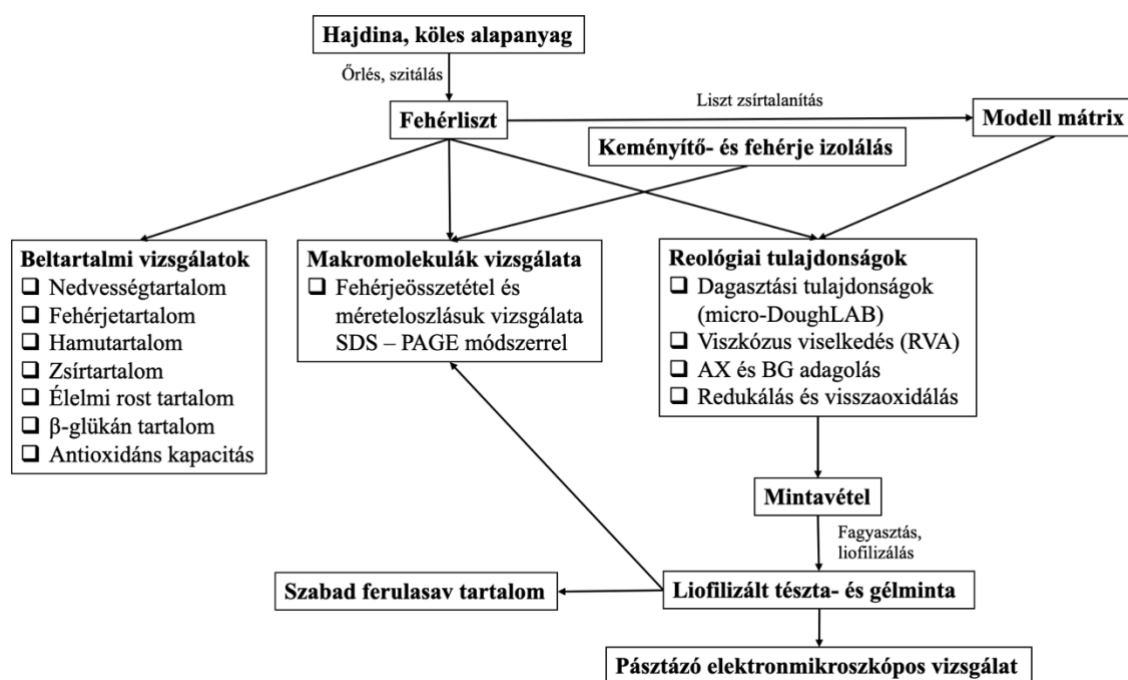
Nedves őrlésnél a kölesszemeket először beáztatják magasabb hőmérsékleten, majd alacsonyabb hőmérsékleten egy éjszakán át. Az áztatott szemeket ezután aprítják, szítálják és lemezes malmon engedik át. Az őrtölt zagyot újból szítálják, majd centrifugálják. A pellet tetejéről eltávolítják és gyűjtik a felső, szürke fehérje réteget, és ezt addig ismétlik, amíg nem marad látható szürke réteg a keményítő tetején centrifugálást követően (Gulati et al., 2017).

Egy másik módszer szerint a köleslisztet NaOH-oldatban áztatják, majd aprítják és szítán szűrik. A keményítőt ezután centrifugálással választják el a szűrletből. A keményítő tetején található sárga fehérje réteget eltávolítják, majd a keményítőt szuszpendálják vízben. A visszaszuszpendálás lépést addig végzik, amíg sárga réteg található a keményítő tetején centrifugálás után. A fehér keményítő izolátumot mosással semlegesítik, megszáritják, majd szítálják (H. Choi et al., 2004).

4. Anyagok és módszerek

4.1. Kísérletterv

A kutatás során fehérliszt alapú mátrixban tervezzük vizsgálni a kétféle rost összetevő, az arabinoxilán (AX) és a β -glükán (BG) hatását a hajdina-, valamint kölesliszt technológiai tulajdonságaira. Első lépésként az alapanyag előállítását tervezzük megvalósítani, majd pedig az így kapott fehérliszt beltartalmi és reológiai tulajdonságainak vizsgálatát végezzük. A reológiai vizsgálatok során AX adagolás és inkorporáció, valamint BG adagolás hatásainak megfigyelését tervezzük végrehajtani a natív és modell mátrixok esetében. A 12. ábra a kutatás komplex kísérlettervét mutatja be.



12. ábra A komplex kísérletterv

A BG adagolás hatásait különböző adagolt koncentrációk mellett szándékozzuk megvalósítani. Az AX inkorporációt redukálószeres (ditiotritol) és oxidálószeres (KIO_3) kezelések hatására tervezzük megvizsgálni. A redukálószer megbontja a tészta szerkezetét, redukálja a kénhidakat. Az oxidálószer újból létrehozza a kénhidakat, és esetlegesen új keresztkötések is létrejöhetnek az AX és fehérjék között. A dagasztási tulajdonságok mérését micro-doughLAB-bal, a viszkózus viselkedésre tett hatást gyors viszkoanalizátorral (RVA) tervezzük megmérni. A mérések során elkészült tészta és gél mintákat fagyasztjuk, majd liofilizáljuk. Az adagolások formáját a 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat Az alkalmazott adagolások, ahol "+": alkalmaztuk, "-": nem alkalmaztuk

Elnevezés	Fehérlist	AX	Redukálás	Oxidálás	BG
Alap	+	-	-	-	-
Red	+	-	+	-	-
Redox	+	-	+	+	-
AX	+	+	-	-	-
AX+red	+	+	+	-	-
AX+redox	+	+	+	+	-

Az esetlegesen kialakult keresztkötések felderítésére az AX és fehérjék közt a következő módszereket tervezzük alkalmazni: liofilizált tészta mintákból porítás után fehérjeösszetétel és -eloszlás vizsgálat SDS–PAGE módszerrel, valamint a szabad ferulasav tartalom mérés az oldalláncok mennyiségében történő változások kiderítésére (kolorimetriás eljárás). Az előállított tészták és gélek mikrostrukturáját pásztázó elektronmikroszkóppal tervezzük felderíteni. Az adagolt összetevők vizsgálatára egy egyszerű modell mátrix létrehozása is tervben van, amelyhez fehérjét és keményítőt tervezünk izolálni a fehérlistekből, majd a méréseket a modellrendszerre is tervezzük elvégezni.

4.2. Felhasznált alapanyagok

4.2.1. Szemtermékek

A kutatáshoz a szemtermékeket a Szegedi Gabonakutató Nonprofit Kft. szolgáltatta. A méréseket GK-Oberon hajdina és GK-Alba köles fajtán végeztük. A fehérlistet FQC-109 laboratóriumi malommal (Metefém, Magyarország) őrltük meg 200 g-onként, majd először 850 µm-es szitán (Vibratory Sieve Shaker AS 200, Retsch, Germany) szitáltuk 5 percig, majd 250 µm-es szitán szitáltuk 15 percig. Az őrlés átlagos kihozatala 42,82%-nak adódott hajdinára, valamint 50,48%-nak adódott kölesre.

4.2.2. Rostizolátumok

A kísérletek elvégzéséhez kereskedelmi forgalomban kapható izolátumokat (Megazyme) alkalmaztunk, melyek jellemzőit az alábbiak során ismertetjük.

Az AX oldhatatlan formájú, búzából izolált. Lot száma 140202. CAS száma 9040-27-1. Tulajdonságai:

- Cukorösszetétele: 33,5% arabinóz, 62% xilóz, 1,5% glükóz, 2% mannóz, 1% galaktóz.
- Arabinóz:xilóz aránya 34:65
- Tisztaság: >90%
- Keményítőtartalma: <0,1%

- β -glükán tartalma: <0,1%
- Nedvességtartalma: 2,0%
- Fehérjetartalma: 2,7%
- Hamutartalma: 1,0%

A BG zabból izolált, közepes viszkozitású. Lot száma 31205c. CAS száma 9041-22-9.

Tulajdonságai:

- Tisztaság: >90%
- Molekulatömege: 272Kd (MAALS)
- Keményítőtartalma: <0,1%
- Cukorösszetétele: 99% glükóz
- Viskozitása: 27 cSt (1% w/v, Ostwald C-típusú viszkométer, 30°C)
- Arabinoxilán tartalma: <0,2%
- Fehérjetartalma: 0,1%
- Nedvességtartalma: 4,0%
- Hamutartalma: 0,1%

4.3. Beltartalmi vizsgálatok

A beltartalmi vizsgálatokat a kutatócsoport munkatársa, Szűcsné Makay Erika segítségével végeztük el szabványokban leírt módszereknek megfelelően. A nedvességtartalmat (MSZ EN ISO 712:2010), hamutartalmát (MSZ EN ISO 2171:2010), nyersfehérje-tartalmát Dumas-módszerrel (ISO/TC 34/WG 19, Kjeldahl faktor: 6,25), nyerszsír-tartalmát Soxhlet- extrakciós eljárással (MSZ EN ISO 11085:2015) határoztuk meg. Az oldható, oldhatatlan és teljes élelmirost-tartalmat enzimes módszerrel (Megazyme-enzim kit, MEGK- TDFR-200A, alapja: AOAC 991.43 és AACC 32-07.01 módszer), illetve a β -glükán-tartalom szintén enzimes módszerrel (Megazyme-enzim kit, MEGK-BGLU, alapja: AACC Method 32-23.01, AOAC Method 995.16 és ICC Standard Method No. 166) végeztük el.

4.3.1. Teljes fenolos összetevő tartalom meghatározása

A vizsgálatot (N. Kaur et al., 2021) által kidolgozott módszer alapján végeztük el.

Szükséges anyagok, eszközök

- hajdinaliszt/kölesliszt
- vegyszeres kanál
- analitikai mérleg
- Eppendorf csövek
- 20%-os nátrium-karbonát oldat
- MilliQ víz
- galluszsav
- Folin-Ciocalteu reagens
- mérőlombikok, főzőpoharak
- vortex
- centrifuga
- mágneses keverő
- pipetták

Mérés menete

A mintaelőkészítést az alábbiak alapján végeztük el: 2 ml-es Eppendorf csőbe bemértünk 100 mg lisztet, majd hozzáadtunk 1 ml MilliQ vizet és alaposan vortexeltük. A csöveket 50°C-on és 750 rpm-en ráztuk 40 percig, és 10 percenként vortexeltük, majd 4000 g-n 10 percig centrifugáltuk szobahőmérsékleten.

Ezalatt elkészítettük a 20%-os nátrium-karbonát oldatot 10 g nátrium-karbonát és 40 ml MilliQ víz segítségével, amit a felhasználásig mágneses keverőn kevertettünk lefedve.

A kalibrációs oldatokhoz kimértünk 10 mg galluszsavat egy főzőpohárba, kb 4-5 ml MilliQ vízben feloldottuk, majd 10 ml-es mérőlombikba mostuk, és jelre állítottuk és így elkészült el az 1 mg/ml-es törzsoldat. A következő kalibrációs oldatsorozatot készítettük el: 0 (vak), 20, 40, 80, 100, 140 µg/ml.

15 ml-es centrifugacsövekbe kimértük 100 µl-t a mintaoldat felülúszójából, és a kalibráló oldatokból, majd 7,9 ml MilliQ vizet adtunk hozzá. Hozzáadtunk 500 µl Folin-Ciocalteu reagenst, majd összeráztuk és 2 percig állni hagytuk. Ezután hozzáadtunk 1500 µl 20%-os nátrium-karbonát oldatot és alaposan összeráztuk. Sötétben inkubáltuk 20 percig.

Az előállt oldatokat 765 nm-en mértük fotométerrel üvegküvetében.

4.4. Reológiai tulajdonságok

4.4.1. Konzisztenciavizsgálat micro-DoughLAB-bal

A dagasztási tulajdonságokat micro-DoughLAB (Newport Scientific, Warriewood NSW, Ausztrália, DLW v1.4.1.234) segítségével vizsgáltuk. A készülék a dagasztócsészére eső forgatónyomatékokot méri, és regisztrálja. A vizsgálatokat Németh et al. (2022) korábbi kutatása alapján végeztük el.

Felhasznált anyagok, eszközök

- | | |
|------------------------------------|---|
| • hajdinaliszt/kölesliszt | • desztillált víz |
| • bemérőcsónak | • 10 mg/ml koncentrációjú DTT-oldat |
| • vegyszeres kanál | • 25 mg/ml koncentrációjú KIO ₃ -oldat |
| • analitikai mérleg | • AX |
| • főzőpohár | • BG |
| • pipetták (250 µl-es, 1000 µl-es) | |

Mérések menete

A mérésekhez a Standard Flour Testing Method (63 rpm; hőmérséklet: 30 °C; előkeverési idő: 1 perc, analízis idő: 20 perc) protokollt alkalmaztuk, illetve adaptáltuk.

A BG dagasztásra gyakorolt hatását 2%/liszttömeg, valamint 5%/liszttömeg adagolás esetén vizsgáltuk. A csészébe bemérést követően egy 15 perces előkevertetéssel rendelkező protokollt állítottunk be, hogy a megfelelő homogenizáltság kialakuljon. A mérést ezt követően már a standard protokollnak megfelelően végeztük el.

Az AX adagolt tésztaminták elkészítéséhez 3%/liszttömeg AX-t alkalmaztunk. A standard protokoll dagasztási idejét 30 percre módosítottuk, és ezt alkalmaztuk minden adagolás, illetve adagolás nélküli méréshez AX adagolás esetében. Erre azért volt szükség, mert a redukálás, és visszaoxidálás megfelelő hatásához a készülék pihentette a tésztát, így a megfelelő összehasonlíthatóság érdekében az adagolás mentes mérésnél is így készítettük el a tésztamintát. A programban lehetőség van arra, hogy a kiszámolt mennyiségeken kívül más szilárd, illetve folyadék anyagot is hozzáadjunk a liszthez, aminek beállításával a készülék korrigálja a kiszámolt mennyiségeket. Ez esetben is alkalmaztuk a 15 perces előkevertetést, majd a mérések a következőképpen zajlottak: a dagasztó csészébe öntöttük a lisztet, és a készülék homogenizálás céljából 60s-ig kevertette. A 60s letelte után a készülék által kiszámolt vízadagolással egyidőben adtuk hozzá pipettával az adagolásnak megfelelően az 1ml folyadékot. Ezután 30s keverés következett, majd az első 240s állási idő. Az újbóli 30s keverés elkezdésével adtuk hozzá a maradék 250µl folyadékot, majd a következő 360s állásidő következett, aminek leteltével a maradék időben a program dagasztotta a tésztát.

4. táblázat A mérésekhez szükséges desztillált víz, illetve oldatmennyiségek

Elnevezés	+1ml folyadék	+250µl folyadék
Alap	desztillált víz	desztillált víz
Red	DTT-oldat	desztillált víz
Redox	DTT-oldat	KIO ₃ -oldat
AX	desztillált víz	desztillált víz
AX+red	DTT-oldat	desztillált víz
AX+redox	DTT-oldat	KIO ₃ -oldat

A mérések során készült tésztamintákat lefagyasztottuk, majd liofilizáltuk (Alpha 1-4 Freeze Dryer (Christ)).

Mérések értékelése

A módszerek búzaliszt mérésére vannak kidolgozva, ezért a nevezetes paramétereket a mérési adatokból határoztuk meg abból az okból, hogy a lisztok mérése során kapott görbék eltérnek a búzaliszt görbétől. Ezek a nevezetes pontok:

- Maximális tészta konzisztencia: ahol a legmagasabb a konzisztencia értéke a mérés során.
- Tészta kialakulási idő: amelyik időpillanatban a konzisztencia eléri a maximális értéket
- Stabilitás: az az időintervallum, ameddig a konzisztencia érték a maximális konzisztencia értéken van.
- Ellágyulás: a mérési program végén mért konzisztencia és a maximális konzisztencia közti különbség.

4.4.2. Viskozitásvizsgálat gyors viszkoanalizátorral (RVA)

A viszkózus tulajdonságok megadott fűtési-hűtési program alapján, híg liszt-víz szuszpenzióban történő vizsgálatát gyors viszkoanalizátoros (RVA) módszerrel az ICC Standard Method Nr. 162 szabvány alapján, RVA-4SA (Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood NSW, Ausztrália) készülékkel végeztük.

A készülék működési elve, hogy a keverőre eső forgatónyomatékokat egy tachométerrel méri. A minta homogenizációja miatt kezdetben magasabb keverési sebességet alkalmaz, majd a mérés végéig állandó a keverő sebessége. A minta viszkozitása a hőmérséklet növelésének majd csökkenésének hatására változik a mérés során, amihez eltérő erősségű áramot igényel a motor. Az áramerősség arányos a keverési számmal, ami pedig arányos a minta viszkozitásával.

Felhasznált anyagok, eszközök

- | | |
|---------------------|------------------------------------|
| • kölesliszt | • 10 mg/ml DTT-oldat |
| • bemérő csónak | • 25 mg/ml KIO ₃ -oldat |
| • vegyszeres kanál | • diszpenzer |
| • analitikai mérleg | • AX |
| • fűthető fémhenger | • BG |
| • műanyag keverő | |
| • desztillált víz | |

Mérések menete

A mérésekhez a következő két egyenlet segítségével kiszámoltuk a szükséges liszt és desztillált víz mennyiséget:

$$M_2 = \frac{86 \times M_1}{100 - W_1} \text{ és } W_2 = 25 + (M_1 - M_2),$$

ahol M_2 – korrigált minta mennyisége (g), M_1 – névleges minta mennyisége (3,5 g), W_1 – mérendő minta nedvességtartalma (%), W_2 – korrigált vízmennyiség (ml).

A mérés során a mintákat (liszt-BG (2%,5%, 8%) és liszt-AX (3%)) homogenizáltuk, majd a kiszámolt desztillált víz mennyiséggel szuszpenziót készítettünk. A redukálószeres, illetve oxidálószeres kezelések elvégzésénél a desztillált víz mennyiségét a 4. táblázatnak megfelelően korrigáltuk.

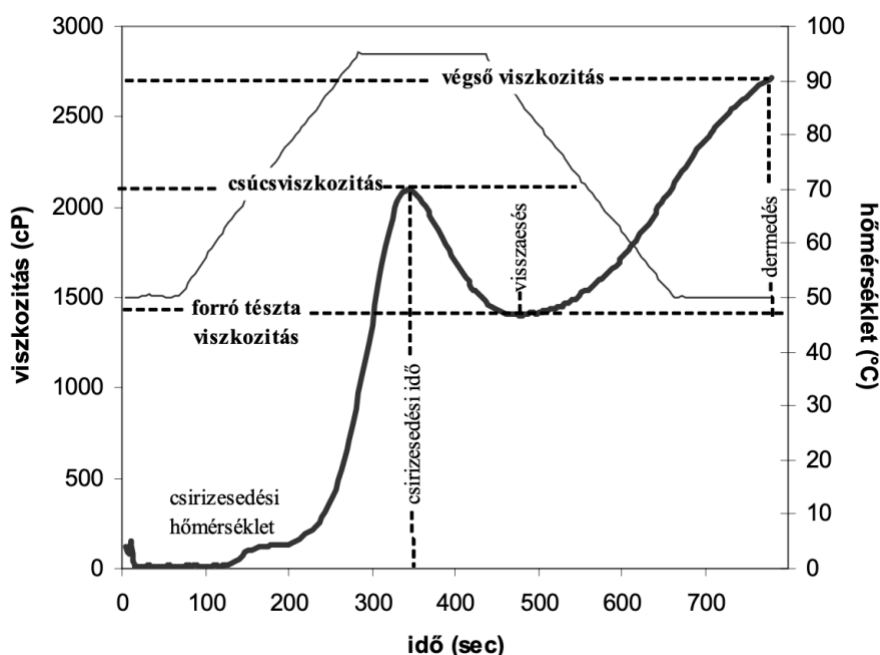
Az AX adagolás és a kapcsolódó kémiai kezelések hatásának vizsgálatához létrehoztunk egy „Premix profilt” is, mely során a készülék egy percre keverteti a szuszpenziót 30 °C-on. Erre azért volt szükség, hogy a redukálószernek legyen elég ideje kifejteni a hatását, melyet előkísérleteink során optimalizáltunk. Ahhoz, hogy az egyes kísérleti beállítások összehasonlíthatók legyenek, minden esetben alkalmaztuk a Premix programot, mielőtt a Standard 1 protokollt elindítottuk volna.

Az RVA Standard 1 profil alkalmazása során a készülék a megfelelő homogenizálás érdekében 960 1/min fordulatszámmal kever 10 másodpercig, majd 160 1/min-es fordulatra csökkenti le a keverés mértékét. A mérés első percében 50 °C-os hőntartás volt, majd 95 °C-ra melegített fel 4 perc 42 másodperc alatt, majd a 150 másodpercig ezen a hőfokon tartotta a hőmérsékletet a készülék. Ezt követően visszahűtötte a mintát a mérési program 11. percére és ezen a hőfokon tartotta a mérés végéig. A teljes mérés hossza 13 perc.

A mérés végén a fémtégelyt kivettük a készülékből és hagytuk a kapott géleket hűlni, majd lefagyasztottuk, és liofilizáltuk (Alpha 1-4 Freeze Dryer (Christ)) a mintákat.

Mérések értékelése

A program (Thermocline for Windows v2.2, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood NSW, Australia) azonnal kirajzolja a mérés közben a kapott görbét, és a jellegzetes paramétereit is meghatározza.



13. ábra A gyors viszkoanalizátor készülék által mért görbe jellegzetes paramétereit (Réka & András, 2006)

Ezek a paraméterek:

- Csirizedési hőmérséklet [°C]: annak a hőmérsékletnek felel meg, ahol a keményítő szemcsék duzzadni kezdenek, a vízfelvétel következtében megkezdődik a gélesedés.
- Csúcsviszkózitás [cP]: A felmelegedési szakaszban mért maximális viszkózitás értéke.
- Csirizedési idő [min]: A csúcsviszkózitás elérésének időpontja.
- Forró tészta viszkózitás [cP]: A csúcsviszkózitás elérést követően, a hőmérsékleten tartási szakasz alatt a tészta viszkózitás minimum.
- Végső viszkózitás [cP]: Viszkózitás a mérés lefutása után.
- Dermedés [cP]: A végső viszkózitás- és a minimum viszkózitási értéke közötti különbség.
- Visszaesés [cP]: A csúcsviszkózitás és a minimum viszkózitási értéke közötti különbség.

4.5. Modellrendszerek kialakítása

A megfelelő izolációs módszer megtalálásához az irodalomban fellelhető módszerek (3.4.fejezet) közül többet is kipróbáltunk. Nehezítő körülmény, hogy a kölesben található fehérjék nagy része zárványokban található (R. W. Jones et al., 1970). Az itt kifejtett izolálások alapját (Tang, 2007), illetve (H. Wang et al., 2021) módszere szolgáltatta, melyeken kisebb változtatásokat végeztünk a kihozatalok javítása érdekében.

Felhasznált anyagok, eszközök

- hajdinaliszt/zsírtalanított kölesliszt
- vegyszeres kanál
- főzőpoharak
- mérőhenger
- mágneses keverő
- pH-mérő
- pipetták
- centrifuga csövek
- desztillált víz
- 1 M-os nátrium-hidroxid oldat
- 1 M-os sósav oldat
- 70 %-os izopropanol oldat
- dialízis zsák

Mintaelőkészítés

A köleslisztet zsírtalanításához előkísérletek alapján a kutatócsoport munkatársai a következő eljárást megfelelőnek találták annyi különbséggel, hogy a SediCom System (Lab-Intern) cég rázóegységét használtuk.

Centrifuga csövekbe 6 g lisztet kimértünk, majd 30 ml hexánt adtunk hozzájuk. A rázóegységen rázattuk 15 percig a szuszpenziót, majd 3000 g-n 5 percig centrifugáltuk. A felülúszó hexánt Soxtec System HT 6 (Foss Tecator) extraktorral regeneráltuk a szuszpenzióból. A folyamatot még kétszer megismételtük. A zsírtalanított lisztet vegyifülke alatt hagytuk száradni, amíg a hexán el nem párolgott belőle.

Mérés menete

1. A hajdinalisztet és a zsírtalanított köleslisztet 1:10 tömeg/térfogatú desztillált vízben szuszpendáltuk, és mágneses keverő segítségével kevertettük.
2. A pH-t hajdina esetén 10-re, a kölesnél pedig 12-re állítottuk be 1 M-os nátrium-hidroxid oldattal. 30 percig kevertettük így mágneses keverőn, és a 15. percnél ellenőriztük a pH-t.
3. A hajdina- és kölesszuszpénziót centrifugáltuk, 7000g-n 10percig, illetve 4000g-n 30 percig. A felülúszó tartalmazza fehéjéket, a pellet a keményítőt. A felülúszót leöntöttük, a keményítőt visszaszuszpendáltuk az első lépésben meghatározott térfogatú desztillált vízbe.
4. Még egyszer elvégeztük a lúgos extrakciót.
5. A visszaszuszpendált keményítőt 1 M-os sósav oldattal semlegesítettük, majd centrifugáltuk a hajdinakeményítőt 8000g-n 10 percig, a köleskeményítőt pedig 10000 g-n 20 percig. Háromszor mostuk desztillált vízzel.

6. A gyűjtött fehérje felülúszó pH-ját a hajdinánál 4,5-re, a kölesnél 4,0-re vittük le 1 M-os sósav oldattal, és az így kicsapott fehérjéket 4000 g-n centrifugáltuk 15 percig mindkét alapanyag esetén.
7. A keményítő és fehérjeizolátumokat fagyasztottuk, majd liofilizáltuk.

4.6. Fehérjék összetételének és méreteloszlásának vizsgálata (SDS – PAGE)

A mérést a Gabonatudományi és Élelmiszerminőség Kutatócsoport által kidolgozott módszere alapján végeztük el. A vizsgálat alapjául (N. K. Singh et al., 1991) módszere szolgált. A vizsgálatok során mért tésztamintákat a 4.4.1.fejezetben leírtak szerint készítettük el, és a liofilizálást követően dörzsmozsárban porítottuk el a mintákat. A zsírtalanított lisztet és a fehérje-, valamint keményítőizolátumokat a 4.5.fejezet szerint állítottuk elő.

Mintaelőkészítés

A mérés során redukáló és nem redukáló mintaelőkészítést is végeztünk. A különbség a mintapuffer összetételében van. A mintapuffer összetétele: 7,1 ml MilliQ víz, 2,5 ml Tris puffer (pH=6,5), 2 ml glicerol, 4 ml 10%-os SDS oldat, 0,8 ml 0,5%-os brómfenolkék oldat. A redukáló mintapuffer a felsoroltakon kívül tartalmaz még 1 ml merkaptóetanolt.

A kikészített Eppendorf csövekbe bemértünk a tésztaminták esetén 20 mg, fehérjeizolátumok esetén 10 mg, keményítő izolátumok esetén 20 mg, zsírtalanított liszt esetében 20 mg mintát. Minden mintához hozzáadtunk 400 µl mintapuffert és vortexeltük őket. A mintákat ezután 5 percre 95 °C-os vízfürdőbe helyeztük, és leteltével 1-2 percig hűlni hagytuk, majd 30 percig rázattuk 1400 rpm-en, és centrifugáltuk 13000 rpm-en. A felülúszókból került a gélre 10-10 µl.

Gélkészítés, futtatás

1. A szeparálógél összetétele: 3,4 ml MilliQ víz, 4 ml akrilamid oldat, 2,5 ml 1,5M Tris puffer, 100 µl SDS oldat, 50 µl APS oldat, 10 µl TEMED. Levegő elzárás céljából a gél tetejére izopropanol réteget pipettáztunk.
2. Az izopropanol oldatot leszivattuk.
3. A gyűjtőgél összetétele: 3,05 ml MilliQ víz, 0,65 ml akrilamid oldat, 1,25 ml 0,5M Tris puffer, 50 µl SDS oldat, 25 µl APS oldat, 10 µl TEMED. A még folyékony gélre a szeparáló gél tetejére pipettáztuk úgy, hogy a folyadék teteje a géllap tetejét ne érje el, majd beletettük a zsebket kialakító fésűt. Az esetlegesen kifolyó gél papírtörlővel itattuk fel. A gél 45 perc alatt köt meg.

4. Ezalatt elkészítettük az elektródpuffert: 7,5 g Tris-base, 36 g glicin, 2,5 g SDS 500 ml-re töltve. A tömény puffert 5x-ösére kell hígítani MilliQ vízzel (200 ml puffer + 800 ml MilliQ víz).
5. A mintákból és a standardból 10-10 µl-t pipettával vittük fel a géltre, majd beleállítottuk a futtatókádba.
6. A futtatókád mindkét rekeszét feltöltöttük elektródpufferrel úgy, hogy a belső rekeszben a puffer magassága magasabb legyen, mint a kisebb géllap, de még alacsonyabb, mint a külső rekeszben lévő folyadékmagasság.
7. Ezt követően indítottuk a futtatást, mely két részből áll: 1. 80V, 10 perc; 2. 120V, 65-80 perc.
8. A futtatást leállítottuk, amikor a minták leértek a gél aljára, majd a rendszert szétszereltük. A gélt betettük egy festékoldattal teli edénybe, amiben egy éjszakát tölt 150 rpm-es rázatáson. A festékoldat összetétele: 300 mg Comassie Blue R250, 69,6 g triklórecetsav, 72 ml cc ecetsav, 216 ml metanol 1000 ml-re töltve MilliQ vízzel.
9. A megfestődött géleket 4 órára mosóoldatba tettük, ami kimosta a felesleges festéket. A mosóoldat összetétele: 290 ml metanol, 50 ml cc ecetsav 500 ml-re töltve MilliQ vízzel.

4.7. Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatok (SEM)

A liofilizált minták szerkezetét pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) technikával vizsgáltuk JSM-5500LV (JEOL Ltd., Tokyo, Japan) típusú elektronmikroszkópot használva. A mérést a Szervetlen és Analitikai Kémia Tanszéken végeztük el Koczka Béla segítségével.

A tésztamintákat a 4.4.1.fejezetben leírtak készítettük el. A mérés előtt gyengén összetörtük a liofilizált tésztákat, majd a kisebb szemcséket használtunk fel a vizsgálatához. A gélmintákkal szintén ugyanígy jártunk el (4.4.2.fejezet).

A mintákból a kis darabokat szénszalaggal fedett mintatartó fém tűskére vittük fel, majd a mérés előtt kétszeres Au/Pd fémbevonattal vontuk be Polaron SC7620 (Quorum Technologies Ltd., Kent, UK) típusú vákuumgőzölő segítségével. A SEM képeket 1000-szeres nagyítás, valamint 20 kV-os gyorsítófeszültség mellett készítettük BSE detektort (back-scattered electron detector) alkalmazva.

4.8. Ferulasav-tartalom mérése

A vizsgálatokat Buksa és munkatársai által kidolgozott módszer alapján végeztük el (Buksa et al., 2012).

Felhasznált anyagok, eszközök

- etil-acetát
- 1 M-os HCl
- vízmentes Na₂SO₄
- centrifugacsövek
- centrifuga
- ultrahangos vízfürdő
- pipetták

Mérés menete

50 mg mintát bemértünk centrifugacsövekbe, majd 0,2 ml etil-acetátot és 1 ml ionmentes vizet adtunk hozzá és ultrahangos vízfürdőre helyeztük 25 °C-on 60 percig. 1 M-os sósav oldattal a pH-t 2-esre állítottuk be. A csapadékot 1,5 ml etil-acetáttal extraháltuk, és 3500 rpm-en 10 percig centrifugáltuk. Az extrakciót összesen háromszor végeztük el. Az extraktumokat egyesítettük, és vízmentes nátrium-szulfáttal eltávolítottuk a maradék vizet. Ezután redős szűrőn szűrtünk, és 5 ml végtérfogatra egészítettük ki etil-acetáttal. A mintákat spektrofotométerrel mértük 320 nm-en kvarcküvetében.

4.9. Statisztikai értékelés

A vizsgálatok során legalább két párhuzamos mintával dolgoztunk. Az eredmények statisztikai értékelését MS Excel (Microsoft 365, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) és Statistica 13 programmal (TIBCO Software Inc., Palo Alto, California, USA) végeztük el. Az összehasonlításra egy faktor szerinti ANOVA és Tukey-féle HSD (Honestly Significant Difference) post hoc tesztekkel használtunk $\alpha=0,05$ szignifikancia szint mellett.

5. Eredmények és értékelésük

5.1. A lisztek beltartalmának értékelése

Az általunk vizsgálati mátrixként alkalmazott kölesliszt beltartalmi összetételét (5. táblázat) megvizsgálva megállapítható, hogy sikerült alacsony rosttartalmú, főként a magbelsőt tartalmazó lisztet előállítanunk, mely ezáltal alkalmas lehet az élelmi rostok szerepének vizsgálatára.

5. táblázat Hajdina és köles fehér lisztek beltartalmi összetétele szárazanyag tartalomra vonatkoztatva, a,b különböző betűk a lisztek közötti szignifikáns különbségeket jelölik ($p < 0,05$)

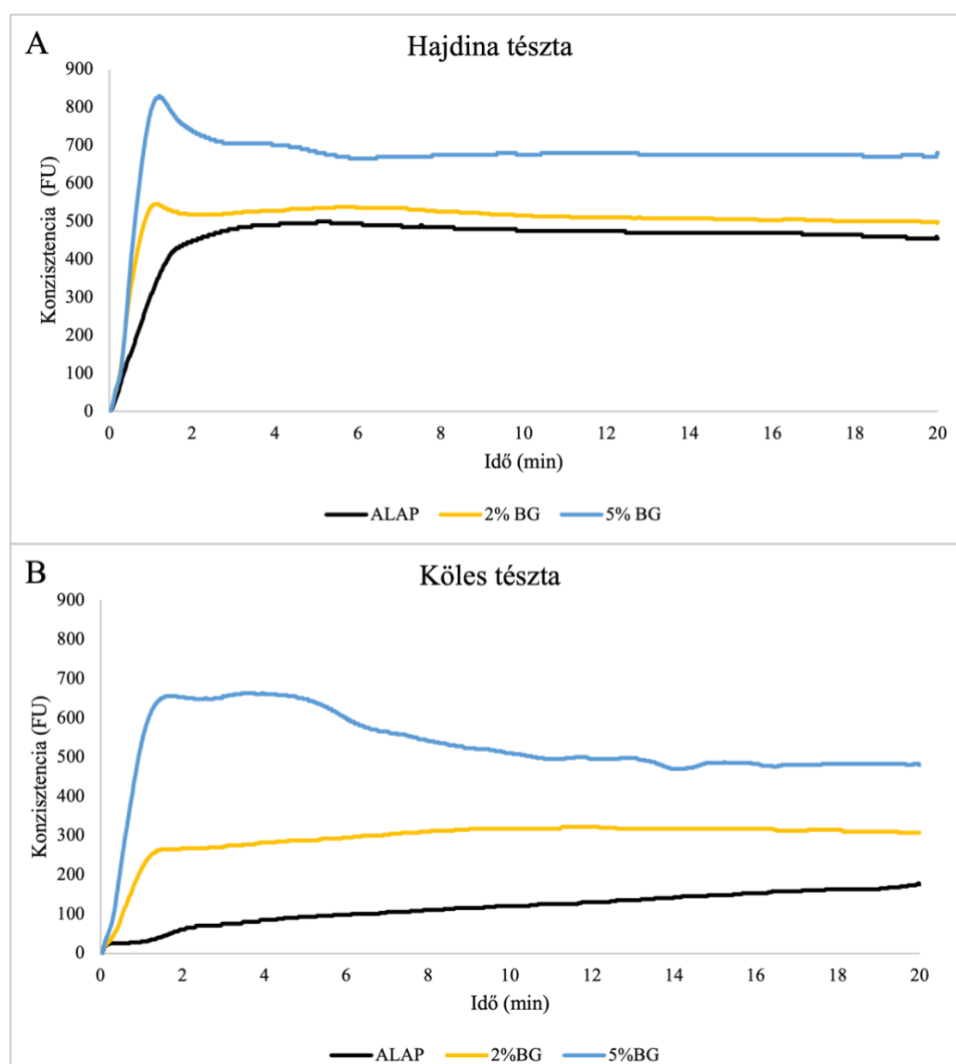
Paraméterek	Hajdina liszt	Köles liszt
Hamutartalom (sz.a.%)	1,05±0,04 ^a	1,00±0,11 ^a
Oldható élelmi rost (sz.a.%)	0,35±0,03	n.d
Összes élelmi rost (sz.a.%)	2,34±0,27 ^a	2,46±0,30 ^a
Nyersfehérje (sz.a.%)	6,94±0,08 ^a	12,47±0,11 ^b
Nyerszsír (sz.a.%)	0,86±0,07 ^a	1,32±0,13 ^b
Összes fenolos komponens (mg GAE/100g sz.a.)	130,4±8,45 ^a	31,75±1,28 ^b

Megfigyelhető, hogy az azonos őrlési körülmények közel azonos hamutartalmat eredményeztek. A köles szemtermés magasabb lipidtartalommal rendelkezik (Dorrell, 1971), melyet a beltartalmi vizsgálat is igazolt. A szítálás hatékonyságára enged következtetni, hogy az összes élelmi rosttartalom nem mutatott szignifikáns különbséget, a korpa részek elválasztása megfelelő volt. Az antioxidáns kapacitás meghatározását (összes fenolos összetevő tartalom) a redox rendszer létrehozása miatt tartottuk fontosnak, mivel antioxidánsok befolyásolhatják a kísérleteinkben lejátszódó folyamatokat. A hajdinaliszt összes fenolos komponens (TPC) tartalma jelentős mértékű volt, a szakirodalmi adatoknak megfelelően, ahol TPC értékek 704,7 és 110,2 mg GAE /100g körül alakultak hajdina szemtermésre, illetve hajdinalisztre vonatkozóan. Kijelenthetjük tehát, a hajdina szítálást követően is jelentős mennyiségű fenolos összetevővel rendelkezik. Ezzel szemben a kölesliszt antioxidáns kapacitása viszonylag alacsony, az irodalmi értékkel (24±0,02 mg GAE/100g) összhangban lévő eredményt mutatott (Devisetti et al., 2014). Ez az érték jóval alacsonyabb a kölesszem TPC tartalmára vonatkozó irodalmi adatoknál (375 mg GAE/ 100g), amely alapján arra következtethetünk, hogy a köles termésének fenolos komponensei a héj és a héjközei részekben koncentrálnak (Goudar et al., 2023).

5.2. β -glükán adagolás hatása

5.2.1. A dagasztási tulajdonságok vizsgálata micro-doughLAB-bal

A mérések során különböző mértékű hozzáadott BG tartalommal rendelkező fehér hajdina- és kölesliszt dagasztási tulajdonságait vizsgáltuk (14. ábra). A konzisztencia növekedés mindkét alapanyagnál egyértelmű, viszont a köles esetén jelentősen nagyobb mértékű.



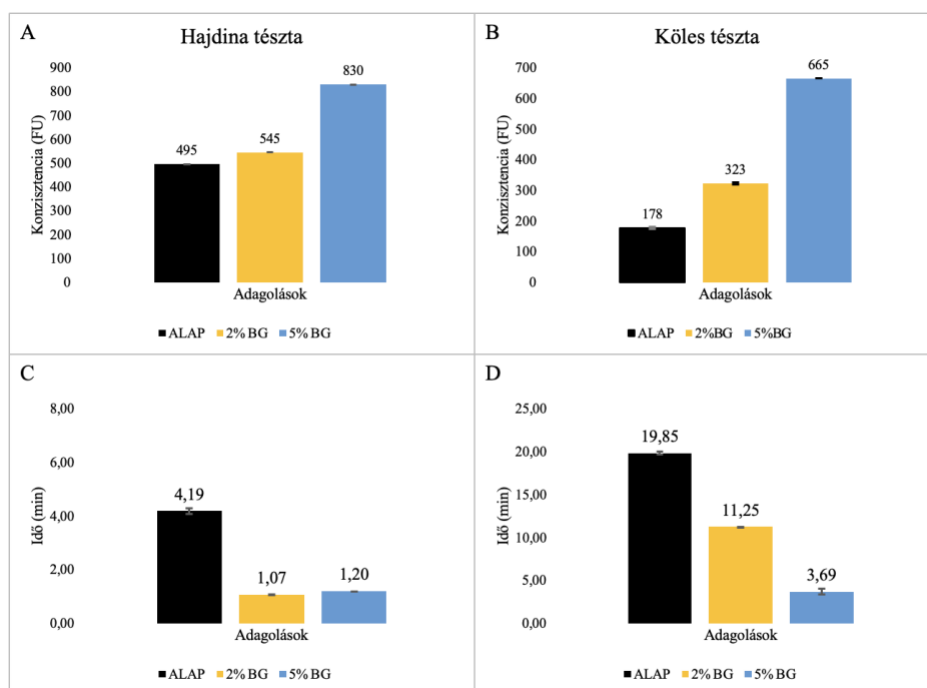
14. ábra A natív, 2%/liszttömeg és 5%/liszttömeg β -glükánnal adagolt fehér hajdina- (A) és köleslisztből (B) készült tészták micro-doughLAB-bal előállított két párhuzamos mérés átlagának dagasztási görbéi

2% BG hozzáadása esetén a hajdina tészta konzisztenciája 495 FU egységről 545 FU egységre nőtt, a kölesé pedig 178 FU egységről 323 FU egységre, amely 81%-os konzisztencianövekedést jelent (15. ábra, illetve 5. melléklet). A tésztakialakulási idő csökkenése a hajdina alapú rendszerénél volt nagyobb mértékű (74%), de a köles tésztakialakulási idejét tekintve is 43%-os sebességnövekedés volt megfigyelhető. Ezentúl a hajdina tészta ellágyulásának mértéke valamivel jelentősebb volt, mint az alapliszté, a köles

estében pedig az alapliszt folyamatosan növekedő konzisztenciájához képest először volt detektálható kismértékű ellágyulás (5. melléklet).

A dagasztási tulajdonságok legnagyobb mértékű megváltozása 5% BG hozzáadása esetén volt megfigyelhető, ahogy azt a 15. ábra is mutatja. Ebben az esetben gyorsan kialakuló nagy konzisztenciájú, majd hirtelen ellágyuló rendszereket kaptunk. A konzisztencia növekedés olyan nagymértékű volt, hogy a jelentős ellágyulás ellenére is a tészták görbéi végig az alapliszt, illetve a 2% BG adagolt liszt görbéi fölött futottak. A hajdina esetén az alapliszt méréséhez képest majdnem duplájára, a kölesnél közel négyszeresére nőtt a maximális konzisztencia, sőt ez utóbbinál a tésztakialakulási idő is drasztikusan lecsökkent (15. ábra).

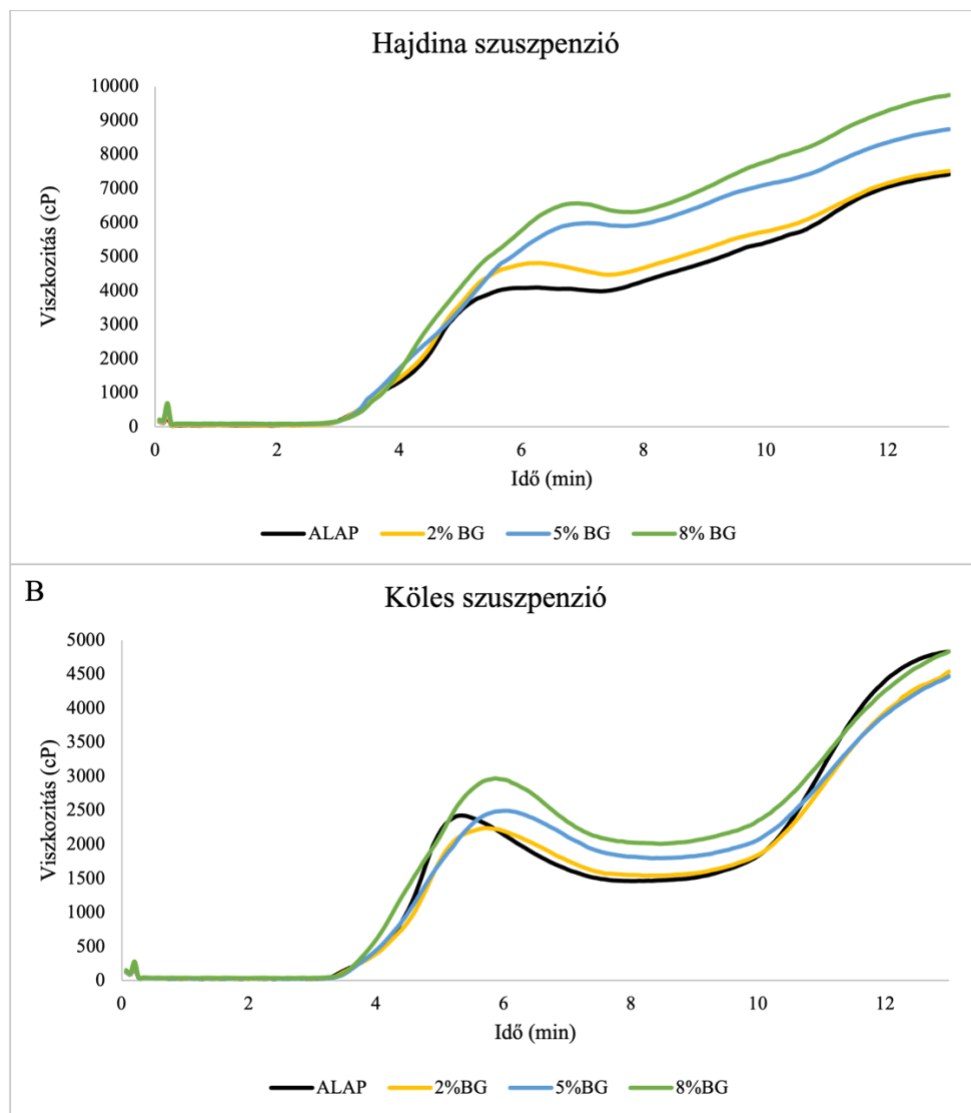
Szakirodalmi adatok alapján a BG-ről elmondható, hogy a molekulatömegétől és koncentrációjától függően nagy viszkozitású gélek létrehozására képes (Sun et al., 2020). További vizsgálatok kimutatták, hogy bár a BG lineáris, a hosszú láncú molekulák képesek aggregátumokat képezni (Zielke et al., 2019). A tészták nagymértékű ellágyulása ezen struktúrák mechanikai stressz (keverés, dagasztás) hatására bekövetkező destrukciójával magyarázható.



15. ábra A fehér hajdina- és kölesliszt micro-doughLAB készülékkel mért két párhuzamos mérés maximális konzisztencia és ellágyulás átlagának értékei, ahol A – Hajdina maximális konzisztencia, B – Köles maximális konzisztencia, C – Hajdina tésztakialakulási ideje D – Köles tésztakialakulási ideje, ALAP – natív, 2%BG – 2%/liszt tömeg BG adagolás, 5%BG – 5%/liszt tömeg BG adagolás

5.2.2. Viszkózus tulajdonságok vizsgálata gyors viszkoanalizátorral (RVA)

Az RVA görbékéből (16. ábra) az látszik, hogy a BG adagolás hatására szignifikáns változás következik be a viszkózus tulajdonságokban. A jellegzetes paraméterek számszerű értékeit a 7. melléklet mutatja be.

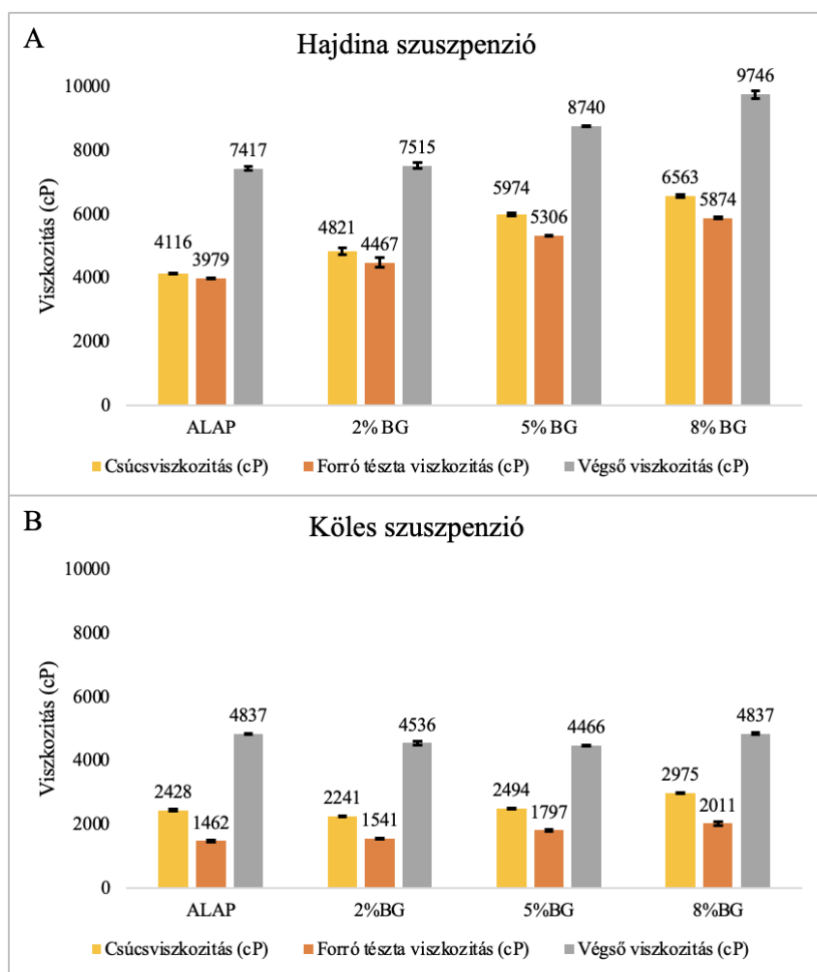


16. ábra A fehér hajdina- (A) és köleslisztből (B) készült szuszpenziók RVA készülékkel előállított, két párhuzamos mérés átlagának viszkogramjai, ahol ALAP – natív, 2%BG – 2%/liszt-tömeg BG adagolás, 5%BG – 5%/liszt-tömeg BG adagolás, 8%BG – 8%/liszt-tömeg BG adagolás

A hajdina szuszpenzióknál a BG koncentrációval lineárisan növekedett a viszkozitás, a köles esetén azonban ez nem volt elmondható, ugyanis 2%BG hozzáadása szignifikáns változást eredményezett csúcs- és végső viszkozitás értékekben az alapliszttekhez képest (7. melléklet). A hajdina szuszpenziók esetén 2% BG adagolás hatására a viszkozitás nőtt, a görbe lefutása viszont változott, a végső viszkozitás ugyanis nem növekedett olyan jelentős mértékben, mint a csúcsviszkozitás. A csirizesedési idő mindkét alapanyag esetében nőtt.

Az 5% BG adagolásnál a hajdina viszkozitása tovább növekedett. A köles esetén megfigyelhető, hogy a csúcsviszkozitása már minimálisan magasabb, mint a natív fehér kölesliszté. A forró tézta viszkozitás értéke magasabb, viszont a végső viszkozitása alacsonyabb. A csirizedési idő, és hőmérséklet mindkét liszt esetében nőtt, a 2% BG adagoláshoz képest is magasabb.

A 8% BG adagolásnál a hajdina viszkozitása tovább nőtt és a köles szuszpenzió csúcs- illetve forró tézta viszkozitása is egyértelműen meghaladta az alapliszt viszkozitásértékeit, végső viszkozitása viszont az alapliszttel megegyező értéket mutatott. A csúcsviszkozitás nagyobb, a forró tézta viszkozitása nagyobb, a végső viszkozitás pedig megegyezik. A csirizedési idő mindkét liszt esetén minimális csökkenést mutatott az 5% BG tartalmú szuszpenziókéhoz képest. A csirizedési hőmérséklet a hajdina esetén nőtt, a kölesnél pedig megegyezett a 5% BG adagolás során mért értékekkel. A további jellegzetes paraméterek számszerű értékeit a 7. melléklet tartalmazza.



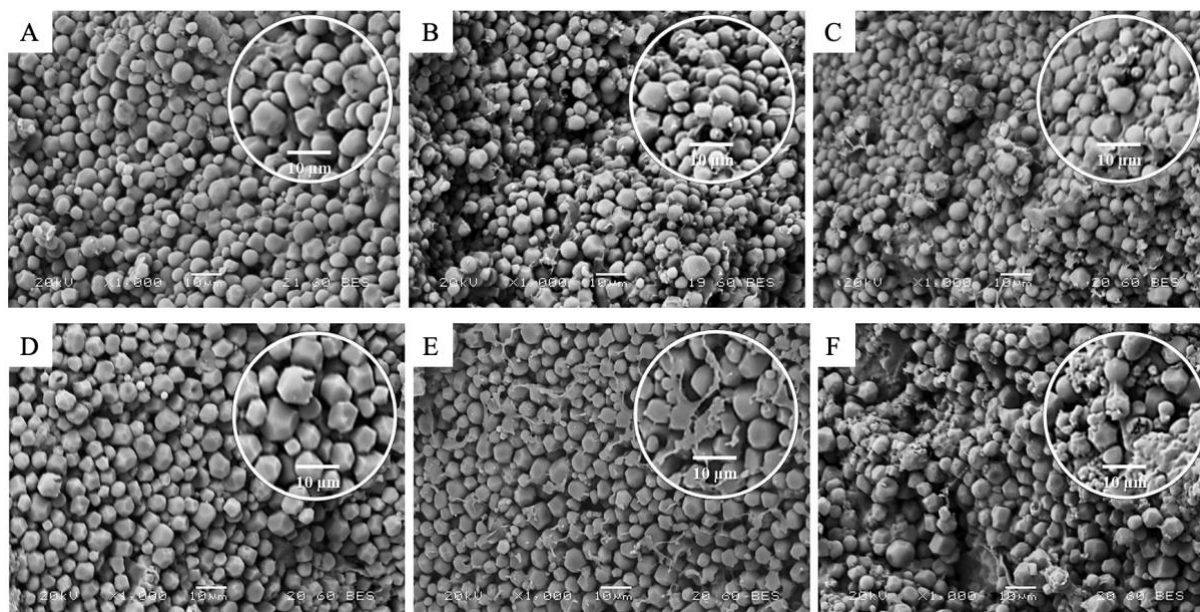
17. ábra A fehér hajdina- (A) és kölesliszt (B) gyors viszkoanalizátor készülékkel mért, két párhuzamos mérés átlagának nevezetes paraméterei β -glükán adagolás esetén, ahol ALAP – natív, 2%BG – 2%/liszt-tömeg BG adagolás, 5%BG – 5%/liszt-tömeg BG adagolás, 8%BG – 8%BG/liszt-tömeg adagolás

A hajdina csirizesedési tulajdonságainak BG hatására bekövetkező változása azzal magyarázható, hogy a hajdina keményítő jelentős duzzadási képességgel rendelkezik, amely kisebb mennyiségű folytonos fázist eredményez és ezáltal a BG növelni tudja a rendszer viszkozitását (Perez-Quirce et al., 2017).

Az irodalomban található a köles szuszpenzió viselkedéséhez hasonló példa, miszerint a magas BG koncentráció növelte a szuszpenzió viszkozitását, míg az alacsony koncentrációjú BG-t tartalmazó szuszpenziók viszkozitása csökkent RVA készülékkel történő zabliszt mérése közben (Liu et al., 2010). A viszkozitások csökkenésére magyarázat lehet, hogy a BG versenyzik a vízzel a keményítővel, ami így a keményítőszemcsék csökkent duzzadásával járhat befolyásolva a csirizesedési tulajdonságokat. A magasabb koncentrációnál bekövetkező viszkozitásnövekedés a BG által kiváltott magasabb vízmegkötő-képességgel indokolható (Colleoni-Sirghie et al., 2004; Gamel et al., 2012).

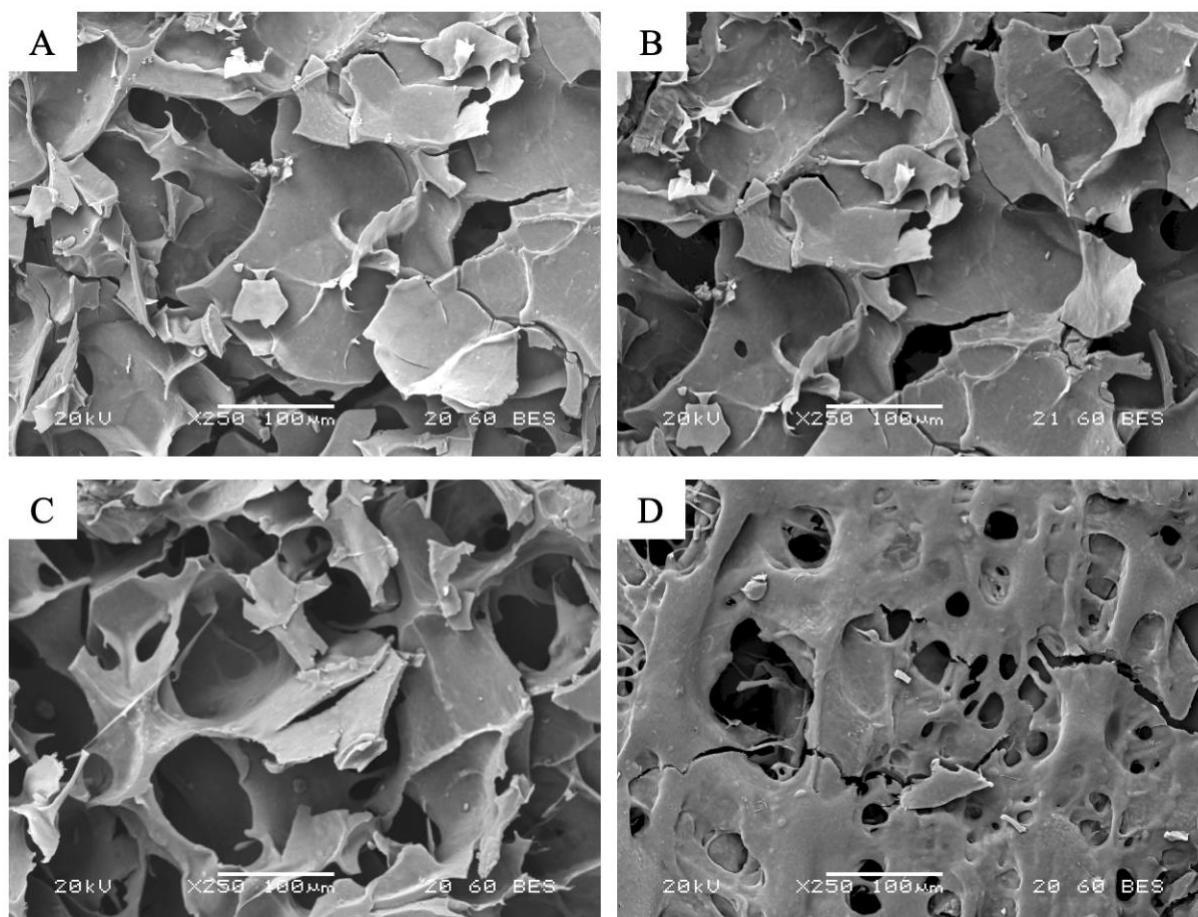
5.2.3. Pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek

BG adagolás hatását a tészta szerkezetére a 18. ábra szemlélteti. Az 2%/liszttömeg BG-nal adagolt tészta felvételén jól kivehetőek a BG láncok. Az 5%/liszttömeg adagolásnál, kisebb szabálytalan alakzatok jelentek meg, és a keményítőszemcsék közötti térben felfedezhetőek a BG aggregátumok, ami esetleg a tészta jelentősebb mértékű ellágyulásával függhet össze (14. ábra).



18. ábra Micro-doughLAB készülékkel készült hajdina- (A-C) és kölestészta (D-F) mikrostruktúrája SEM képeken, ahol (A,D) – natív, (B,E) – 2% / liszttömeg BG adagolás, (C,F) – 5% / liszttömeg BG adagolás

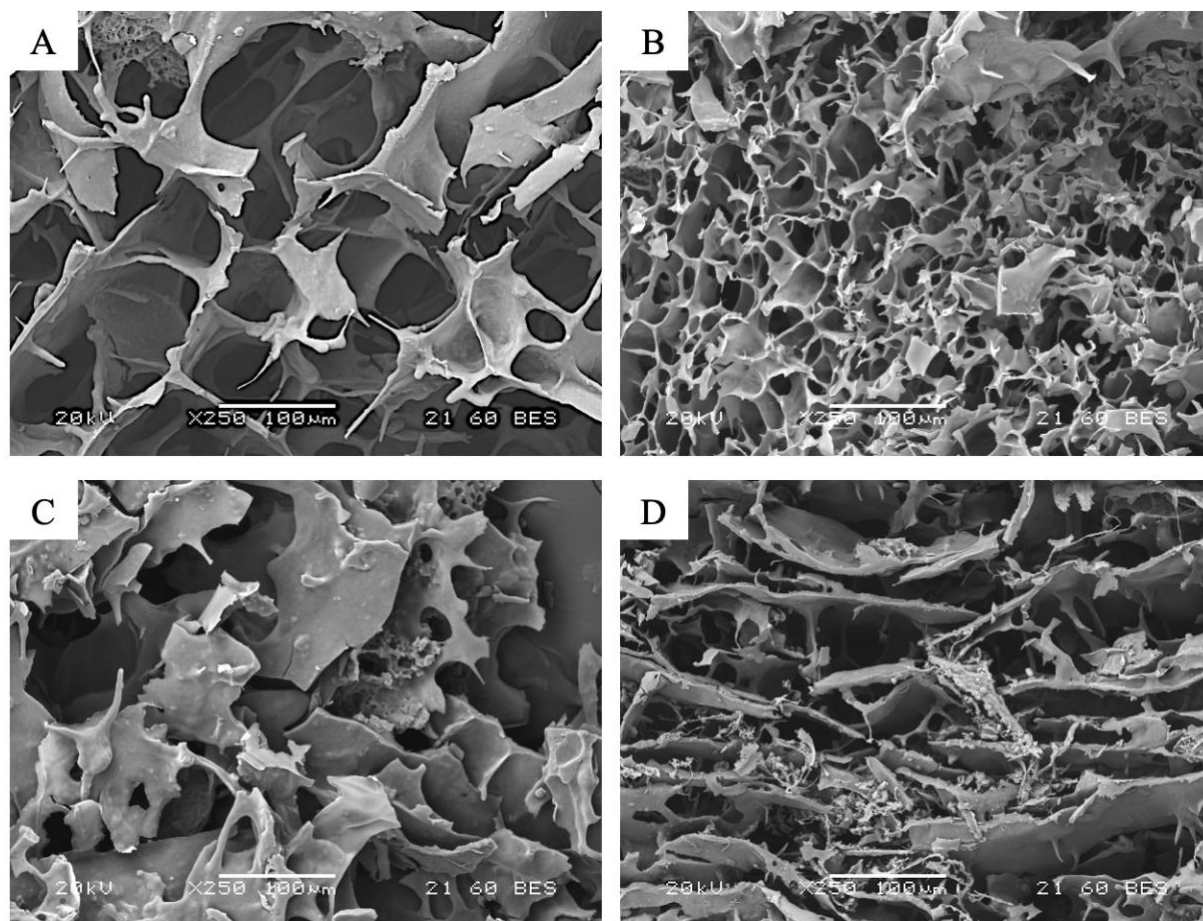
Az RVA készülékkel előállított gélek mikroszerkezete látható a 19. ábra, valamint a 20. ábra SEM képein. A hajdina géleknél 8% BG tartalom esetén alakult ki tömörebb, kevésbé lamellás gél szerkezet (19. ábra D). Ennek háttérében az állhat, hogy a BG alacsonyabb koncentrációban alkalmazva kevésbé befolyásolja a keményítő gélesedési folyamatát, viszont mint hidrokolloid hozzájárul a vízmegkötés révén a viszkozitás növeléséhez. Az eleve is viszkózus rendszer viszkozitásának növekedését egyértelműen a BG gélképző tulajdonsága okozta, kölcsönhatások kialakulás a rostkomponens és a hajdina keményítő között nem feltételezhető.



19. ábra RVA készülékkel készült hajdina gélek szerkezete SEM képeken, ahol A – natív, B – 2%/liszt tömeg BG adagolás, C – 5%/liszt tömeg BG adagolás, D – 8%/liszt tömeg BG adagolás

A köles gélek esetében az RVA görbékkel összevetve (16. ábra) 2% BG adagolásnál tömörebb szerkezet alakult ki, ami ellentmondásba ütközik a görbén látható viselkedéssel. Az adagolatlan szuszpenzióhoz képest a 2% BG-nal adagolt szuszpenzió végső viszkozitása kisebb, viszont a felvételen tömörebb a szerkezet, mint az adagolatlan szuszpenzióé. Az 5% BG-nal adagolt szuszpenziók felvételein az figyelhető meg, hogy a gél szerkezete kevésbé rendezett, ami köles esetén esetleg megmagyarázhatja, hogy a végső viszkozitása miért lett alacsonyabb, a hajdina esetén viszont nem támasztja alá a megnövekedett végső viszkozitást.

A 8% BG-nal adagolt szuszpenzió felvételén tömörebb szerkezet látható mindkét liszt esetén, ami viszont már megegyezik az RVA görbén tapasztaltakkal.



20. ábra RVA készülékkel készült köles gélek szerkezete SEM képeken, ahol A – natív, B – 2%/liszttömeg BG adagolás, C – 5%/liszttömeg BG adagolás, D – 8%/liszttömeg BG adagolás

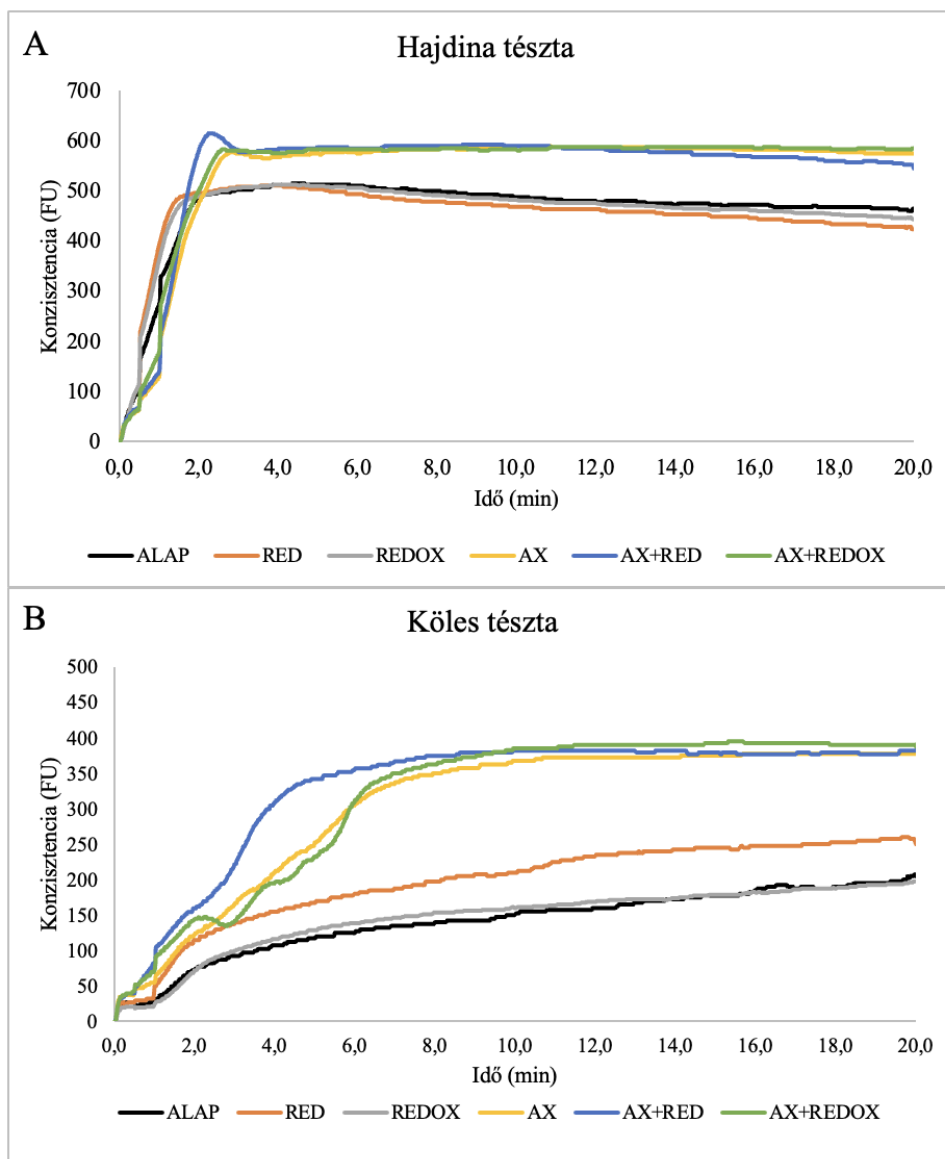
A SEM felvételek alátámaszthatják azt a feltételezést, hogy a BG adagolás hatása az adagolt koncentrációtól függ, amely a hajdina esetén a viszkozitás lineáris növekedését idézi a BG koncentráció függvényében, ezzel szemben a köles csirizesedési tulajdonságainak változása nem mutatott ilyen jellegű összefüggést a BG adagolásnál.

5.3. Arabinoxilán adagolás és inkorporáció

Az inkorporáció során alkalmazott redukció és reoxidáció módszerét Bekes et al. (1994) dolgozták ki, majd Oszvald et al. (2009) alkalmazták glutén fehérjék rizs alapú tésztarendszerekbe történő inkorporációja során. Az arabinoxilán inkorporációt a kutatócsoport korábbi munkája alapján végeztük (Németh, Fekete- Papp, et al., 2022), melyben az arabinoxilánok szerkezetalakító képességét vizsgálták búza alapú tésztarendszerekben.

5.3.1. A dagasztási tulajdonságok vizsgálata micro-doughLAB-bal

Az előkísérleteink során először beállítottuk az alap tészta vízabszorpcióját arra a szintre (hajdina esetén 64%, kölesnél pedig 56%), ahol már jól kezelhető tészta alakul ki.

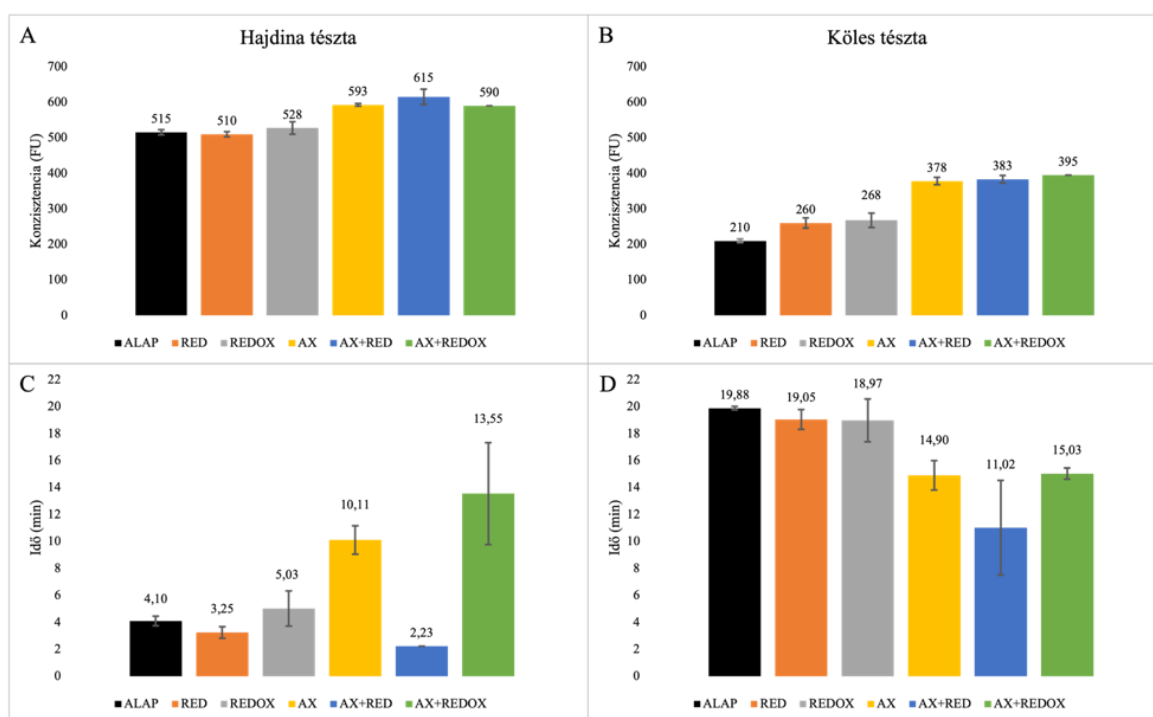


21. ábra A natív, redukált, visszaoxidált, valamint arabinoxilánnal adagolt, -redukált és -visszaoxidált hajdina- és köleslisztből készült tészták micro-doughLAB-bal előállított, két párhuzamos mérés átlagának dagasztási görbéi

A hajdina és köles alapszt dagasztási tulajdonságai jelentős eltérést mutatnak (21. ábra). A hajdina dagasztási görbéje hasonlóságot mutat a búzalisztével, viszont kisebb mértékű ellágyulással jellemezhető. Ez a tulajdonság feltehetően kevésbé a fehérjék szerkezetével, annál inkább a kisméretű, nagy fajlagos felülettel rendelkező keményítőszemcsék viselkedésével magyarázható, melyek képesek jelentős mennyiségű vizet felvenni, nagyobb ellenállást kiváltva ezáltal a keverőkarokon. Ezzel szemben a kölestészta alacsony konzisztencia

értékekkel nem túl kedvező reológiai tulajdonságokkal jellemezhető. Az adagolatlan köleslisztek esetén a maximális konzisztencia a mérés végén alakult ki, így többi nevezetes paraméter (tészta kialakulási idő, stabilitás, ellágyulás) nehezen, vagy nem értelmezhető.

A görbéken jól megfigyelhetők a kezelések, illetve adagolások hatásai. A redukálás (RED) és a redukálás/reoxidálás (REDOX) hatásait az alapliszteken is vizsgáltuk. A DTT irodalmi adatok alapján a búza alapú tészta-rendszerek ellágyulását okozza, a diszulfid kötések redukálásával (Bekes et al., 1994). Ezt a hatást feltételeztük a gluténmentes mátrixok esetében is. A hajdina tészta konzisztenciája a vártaknak megfelelően csökkent, az ellágyulás mértéke is nőtt 50 FU egységről 82,5 FU egységre (6. melléklet). Ezzel szemben a redukált kölestészták maximális konzisztenciájában növekedés figyelhető meg (210 FU egységről 260 FU egységre (22. ábra B). Ez a konzisztencianövekedés azzal magyarázható, hogy a redukálószer hatására a fehérjék egy része feltételezhetően kiszabadul a zárványokból, és ez a nagyobb fehérjemennyiség kölcsönhatásba lép a köles tészta más összetevőivel. Egy másik magyarázat az lehet, hogy kölesfehérjék hidrofób tulajdonságaik miatt a redukálószeres kezelés hatására, a fehérjetestek szerkezetének megbontásával hidrofilebbé válnak, és gyorsabban veszik fel a vizet, ami szintén növelheti a tészta konzisztenciáját.



22. ábra A fehér hajdina- és kölesliszt micro-doughLAB készülékkel mért két párhuzamos mérés maximális konzisztencia, illetve tésztakialakulási idő átlagának értékei, ahol A – a hajdina maximális konzisztenciája, B – a köles maximális konzisztenciája, C – a hajdina tésztakialakulási ideje, D – a köles tésztakialakulási ideje, ALAP – natív fehérliszt, RED – redukált, REDOX – redukált majd visszaoxidált, AX – arabinoxilánnal adagolt, AX+RED – arabinoxilánnal adagolt és redukált, AX+REDOX – arabinoxilánnal adagolt, redukált majd visszaoxidált tészta

A DTT-oldattal redukált, majd kálium-jodid oldattal visszaoxidált tészták szerkezete a hajdina esetén szinte teljes mértékben visszaállt az alap tészta szerkezetére, a kölestésztát viszont magasabb maximális konzisztencia és valamivel nagyobb mértékű ellágyulás jellemezte. Ez annak tudható be, hogy a tömör fehérjeszerkezet, diszulfid kötéseinek redukálódásával új reakcióhelyek keletkeztek (R. W. Jones et al., 1970), melyek aztán nem biztos, hogy képesek voltak visszarendeződni.

Az AX adagolás esetén a kialakuló tészta kezelhetetlenebbé vált, nehezen tudott összefüggő tészta kialakulni. Ezt a jelenséget tovább fokozták a redukálószeres, illetve oxidálószeres kezelések. Ennek oka az lehet, hogy az alkalmazott vízoldhatatlan AX molekulák versengenek a vízzel, és képesek elvonni a vizet más komponensektől (Izydorczyk & Biliaderi, 1995), valamint a tészta hidrofóbicitása is megnövekedhetett a vízoldhatatlan AX miatt. A hajdinaliszt esetén ezek a hatások azonban nem voltak jelentősek, a natív liszthez választott 64% vízabszorpció alkalmazható volt ebben az esetben is. A köleslisztnél azonban szükség volt a vízabszorpció optimalizálására az AX tartalmú tészták esetére is. A natív kölesliszten különböző vízabszorpciós értékekkel elvégzett mérések dagasztási görbéit a 21. ábra szemlélteti. Az összehasonlíthatóság végett a magasabb, 58%-os vízabszorpciót alkalmaztuk az alaptésztánál is, így ez az érték konstans a mérések alatt.

Az adagolás, illetve inkorporáció megnövelte a tészta maximális konzisztenciáját mindkét alapanyagnál (22. ábra A-B), hasonlóan egy korábbi, búzaliszteket vizsgáló kutatásban tapasztaltakkal (Németh, Fekete- Papp, et al., 2022), ellentétben egy másik tanulmánnyal, ahol másféle AX-t használtak a mérésekhez (Németh et al., 2019).

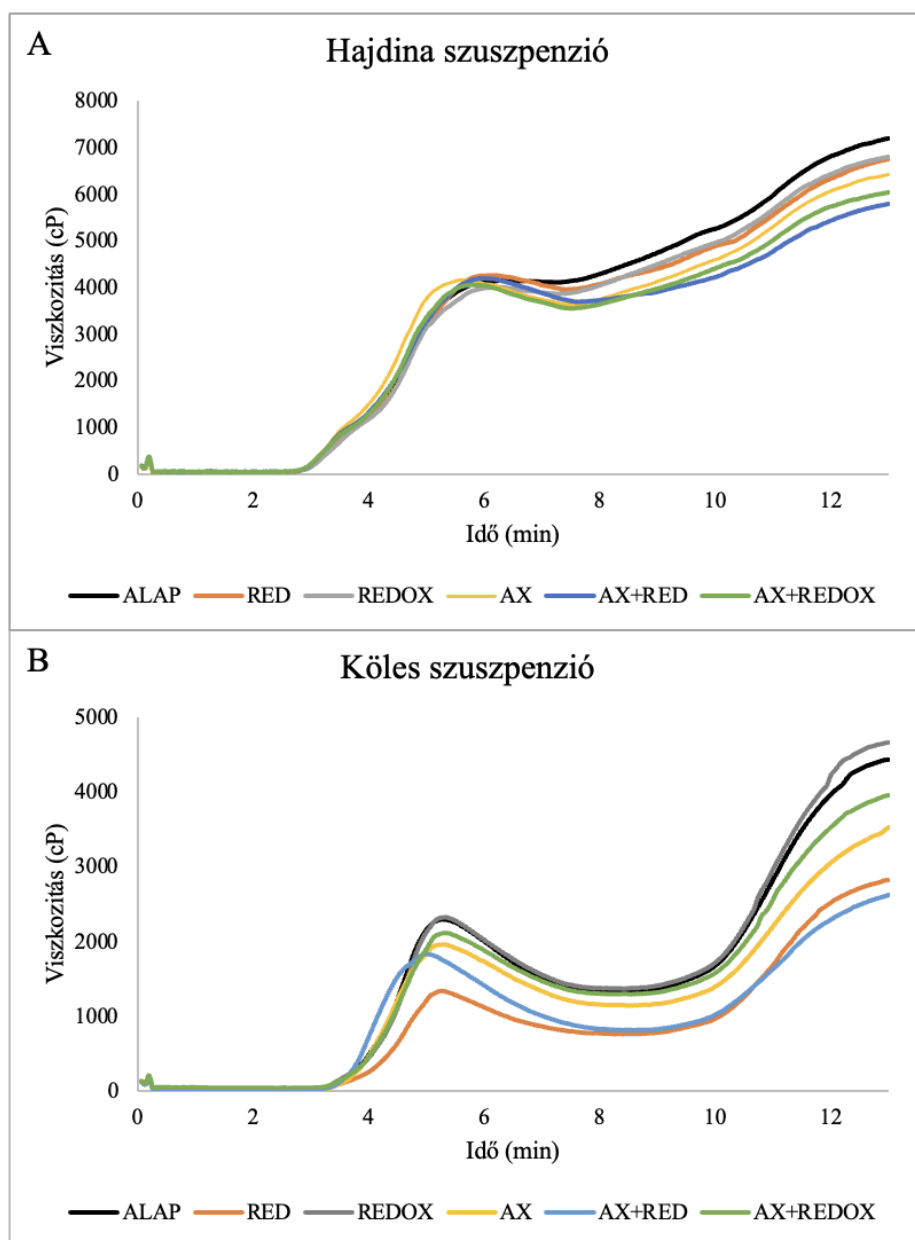
A hajdina tészták vizsgálatakor az ellágyulás mértéke AX adagolás hatására 50-ről 17,5 FU egységre, inkorporáció esetén 52,5-ről 7,5 FU egységre csökkent (6. melléklet). A köles tészták esetében a maximális konzisztencia a mérés második felében alakult ki. Ellágyulás szinte egyik görbénél sem látható szemmel, a görbék számszerű értékeiből néhány esetben meghatározhatóak, viszont nagyon alacsony az értékük (6. melléklet). A hajdina mintáknál az arabinoxilán fokozta a tészta kialakulásának jellemzőit, a tésztakialakulási idő jelentős mértékben növekedett az AX adagolás és inkorporáció esetén, a DTT-t és AX-t tartalmazó tésztáknál azonban még inkább csökkent ez az érték (22. ábra C). Ezzel szemben a köles mintáknál mindhárom esetben csökkent a tésztakialakulás ideje (22. ábra D).

5.3.2. *Viszkózus tulajdonságok vizsgálata gyors viszkoanalizátorral (RVA)*

A viszkózus tulajdonságok mérésekor felmerült annak a lehetősége, hogy a micro-doughLAB-os mérésekhez hasonlóan célszerű lehet hatóidőt hagyni a redukálószernek, mielőtt visszaoxidáljuk a rendszert. Ennek megfelelően létrehoztunk egy előkeverésből álló protokollt (Premix profil, 60s, 30°C), csak ezután indítottuk el a méréshez szükséges Standard1 profilt. Az előkevertetés hatását ellenőriztük az alaplisztek, redukált és AX-nal adagolt lisztek esetén is. Azt tapasztaltuk, hogy befolyásolta a szuszpenziók viselkedését. Hajdina esetén az AX-nal adagolt rendszer görbájén (3. melléklet A) nem volt észlelhető szignifikáns változás, a natív (2. melléklet A) és redukált liszt görbéi (4. melléklet A) azonban jelentős eltérést mutattak. Kölesliszt esetén az alap (2. melléklet B) valamint az AX-nal adagolt (3. melléklet B) méréseknél nem volt szignifikáns változás a görbén. A redukálószeres kezelésnél (4. melléklet B) viszont volt. Az egységesítés érdekében minden mérést a Premix profillal kezdtünk, majd a Standard 1 profillal fejeztünk be. A különböző mérések RVA profiljait a 23. ábra mutatja be.

Az alaplisztek csirizesedési tulajdonságait összevetve jelentős eltérések figyelhetők meg a kétféle liszt között. A hajdina szuszpenzió viszkozitása közel kétszerese a kölesének, valamint csirizesedési idejük (6,38 illetve 5,27 perc) és hőmérsékletük (71,8 valamint 77,2 °C) is eltér. Ez a hajdina és köles keményítő korábban említett, eltérő tulajdonságaival magyarázható (Gregori & Kreft, 2005; Mazza & Oomah, 2003; Van Hung et al., 2009).

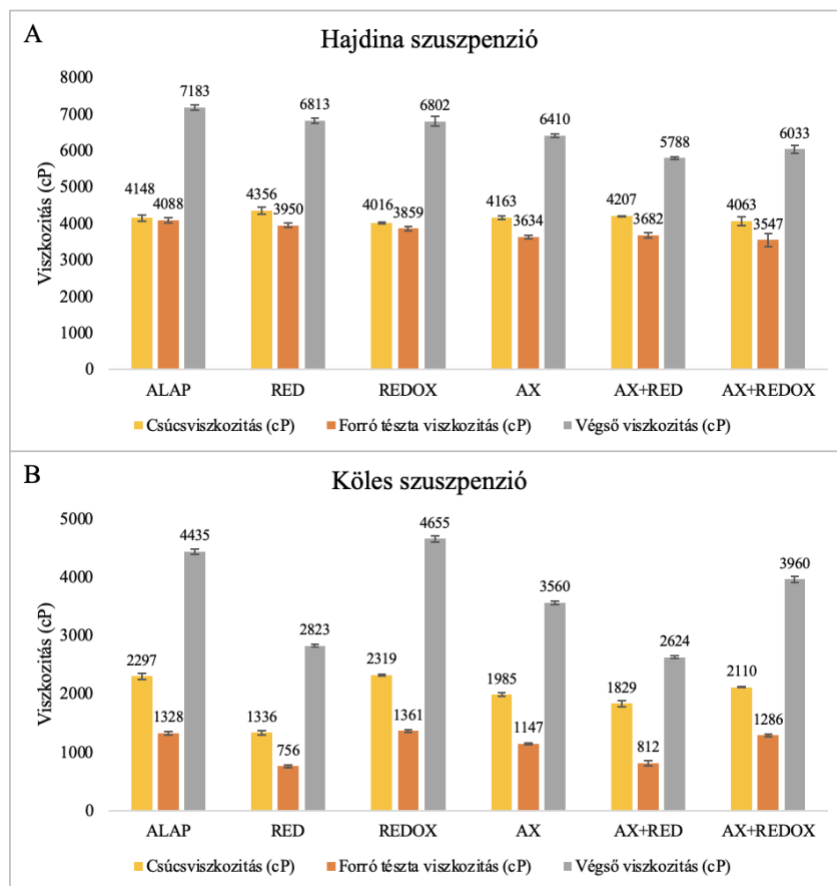
A kémiai kezelés (RED és REDOX) egyértelműen hatást gyakorol a mindkét liszt csirizesedési tulajdonságaira, a köles esetében azonban jelentősebbek a változások (23. ábra).



23. ábra A natív, redukált, visszaoxidált, valamint arabinoxilánnal adagolt, -redukált és -visszaoxidált hajdina (A)- és köleslisztből (B) készült szuszpenziók gyors viszkoanalizátorral előállított két párhuzamos mérés átlagának profiljai

Az alapliszt görbéjét és a redukált profilokat összehasonlítva az látszik, hogy a redukálószer a hajdina alapú rendszernél kismértékben ugyan, de csökkentette a forró tézsa viszkozitást, és a végső viszkozitást, kölesnél ezek a hatások jelentősebbek. Erre magyarázat lehet, hogy a fehérjék közötti diszulfid kötések DTT-vel történő felbontása hatással lehet a keményítő-fehérje kölcsönhatásokra és ezáltal keményítő szemcsék csirizesedési viselkedésére (Xie et al., 2008). A köles esetén a csúcsviszkozitás is csökkent, míg a hajdinánál ez az érték kis mértékben nőtt, más szakirodalmi adatokhoz hasonlóan (Zhang et al., 2020), megállapíthatjuk, hogy a hatás a keményítő összetételétől is függ. A rendszer visszaoxidálásának hatására a viszkozitás

görbe az alap görbével szinte teljesen párhuzamosan fut. A végső viszkozításban térnek el, ahol a hajdina minták esetén a visszaoxidált rendszer viszkozitása alacsonyabb, a kölesnél viszont magasabb. A jellegzetes paraméterek számszerű értékeit a 24. ábra, valamint a 8. melléklet tartalmazza.



24. ábra A fehér kölesliszt gyors viszkoanalizátor készülékkel mért, két párhuzamos mérés átlagának nevezetes paraméterei arabinoxilán adagolás esetén, ahol alap – natív fehérliszt, red – redukált, redox – redukált majd visszaoxidált, AX – arabinoxilánnal adagolt, AX+red – arabinoxilánnal adagolt és redukált, AX+redox – arabinoxilánnal adagolt, redukált majd visszaoxidált szuszpenzió

AX adagolás esetén a viszkozitás értékek csökkennek az adagolatlan szuszpenzióhoz képest, különösen a köles esetében. Ezt a viselkedést az magyarázhatja, hogy az AX versenyzik a vízárt a keményítővel, ami így a keményítőszemcsék duzzadását befolyásolja. A hajdina esetén a hosszú láncú amilopektinek befolyásolják a keményítő gélesedési tulajdonságait, magasabb viszkozitást eredményezve, melyet az AX adagolás feltételezhetően nem képes nagy mértékben befolyásolni (Mazza & Oomah, 2003; Repo-Carrasco-Valencia, 2016). A hajdina csirizesedési tulajdonságainak AX hatására bekövetkező változása inkább a csirizesedési idők csökkenésében figyelhető meg, amely AX adagoláskor a natív hajdinaliszthez képest 6,4 percről 5,7 percre csökkent, ezzel szemben a kölesnél nem volt szignifikáns változás a csirizesedési időben (8. melléklet).

DTT hozzáadásakor a hajdina csirizesedési tulajdonságai a natív liszt redukálószeres kezeléséhez hasonlóan alakultak, míg a köles szuszpenzió viszkozitásának csökkenése nem volt olyan nagy mértékű, mint az alapliszt esetében tapasztalt viszkozitáscsökkenés.

Az AX adagolt, visszaoxidált hajdina szuszpenzió alacsonyabb viszkozitással rendelkezett, mint az AX adagolt szuszpenzió, 'REDOX' és 'ALAP' viszkozitásértékek viszonyához hasonlóan. A köles esetén az AX inkorporáció során a visszaoxidált rendszer viszkozitása nőtt az AX adagolt szuszpenzióhoz képest, valamint a forró tészta viszkozitás értéke majdnem elérte az adagolatlan szuszpenziók forró tészta viszkozitás értékét.

Összességében az AX adagolás a csirizesedési tulajdonságok változásával járt. Míg a hajdina esetén inkább a csirizesedési időre volt hatással, addig a köles híg vizes oldatának a viszkozitásértékeiben történtek jelentős változások.

5.3.3. Fehérjék összetételének és méreteloszlásának elemzése SDS – PAGE módszerrel

Annak vizsgálatára, hogy okozhatott-e változást a fehérjékben az AX hozzáadása és a redukálószeres, valamint oxidálószeres kezelés, SDS – PAGE mérést végeztünk nem redukáló mintaelőkészítést alkalmazva. A micro-doughLAB készülékkel előállított tésztaminták gélképeit a 25. ábra mutatja be.

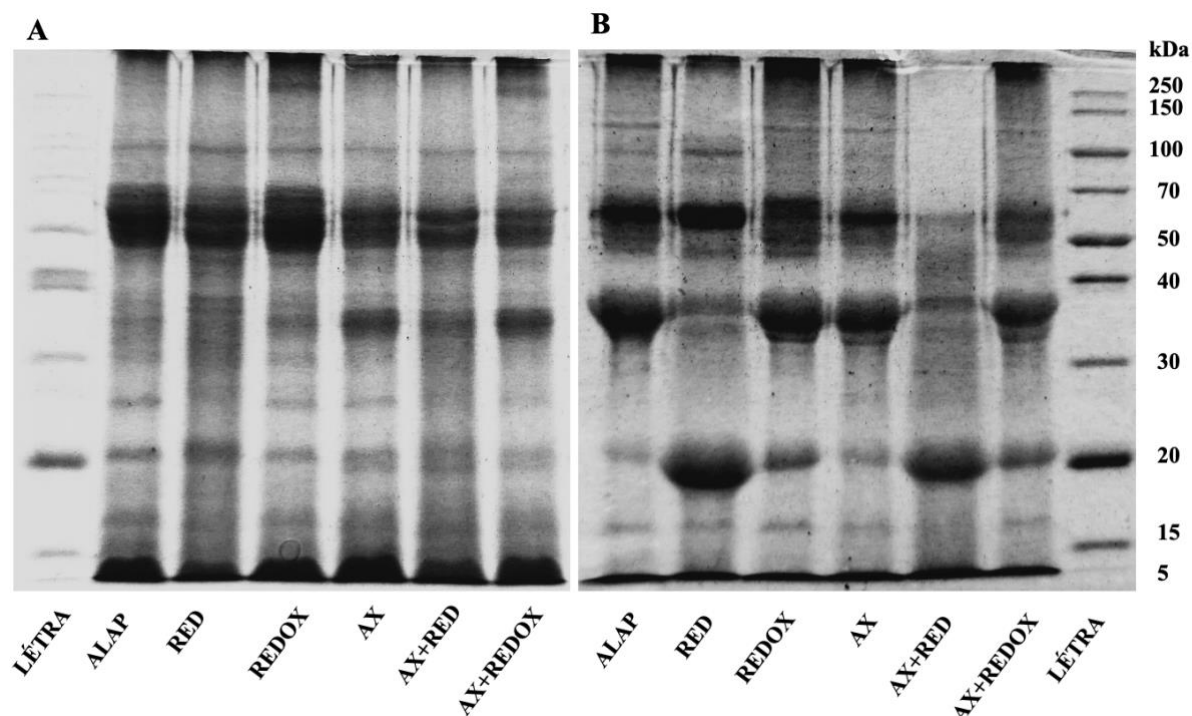
Az SDS-PAGE vizsgálat eredményei bizonyították, hogy a kémiai kezelések eltérő hatást gyakoroltak a hajdina (25. ábra A) és köles alapú (25. ábra B) rendszerekre.

Redukálószeres kezelés hatására a hajdina fehérjék összetételében nem történt szignifikáns változás, amely összefüggésben állhat azzal, hogy a tészta konzisztencia értékei sem változtak jelentős mértékben DTT hatására. Ezzel szemben a kölesminták esetén szembevető változás vehető észre a redukálószerrel kezelt minták gélképein, amely következhet a prolaminok fehérjetestekből történő felszabadulásából, ahogy azt már korábban említettük. Ezt a feltételezést megerősítik a köles gélképein megjelenő prolamin frakciók intenzívebb sávjai 20kDa molekulatömegnél (Akharume et al., 2020).

A redukálást követő visszaoxidálás helyreállította a fehérjeprofilokat, viszont a nagyobb molekulatömegű fehérjék sávjainak intenzitása megnövekedett. Ez a fehérjék oxidáció hatására bekövetkező aggregálódására utalhat.

Az AX hozzáadás, illetve inkorporáció egyértelmű változást okozott a hajdina minták gélképein 'AX+RED' és 'AX+REDOX' rendszerek esetében is. Jól látható, hogy az intenzív sávok megjelenése 35 kDa környékén (25. ábra A). Ezek a 13S globulin frakciókból származhatnak

(Janssen et al., 2017). Ezentúl 50-70 kDa közötti tartományban a fehérjék sávjainak intenzitáscsökkenése is megfigyelhető. A köles esetén az AX adagolás nem okozott jelentősebb változást a fehérjeprofilokban, redukálószer hatására azonban eltűnt a nagyobb molekulatömegű fehérjék intenzív sávja (25. ábra B). Emellett a prolamin frakciók sávjainak intenzitása is csökkent. A köles 'AX+REDOX' rendszerének fehérjeprofilja kevésbé sűrű sávokat mutat a nagyobb molekulatömegű fehérjék tartományában, mint az AX-t nem tartalmazó 'REDOX' rendszer.



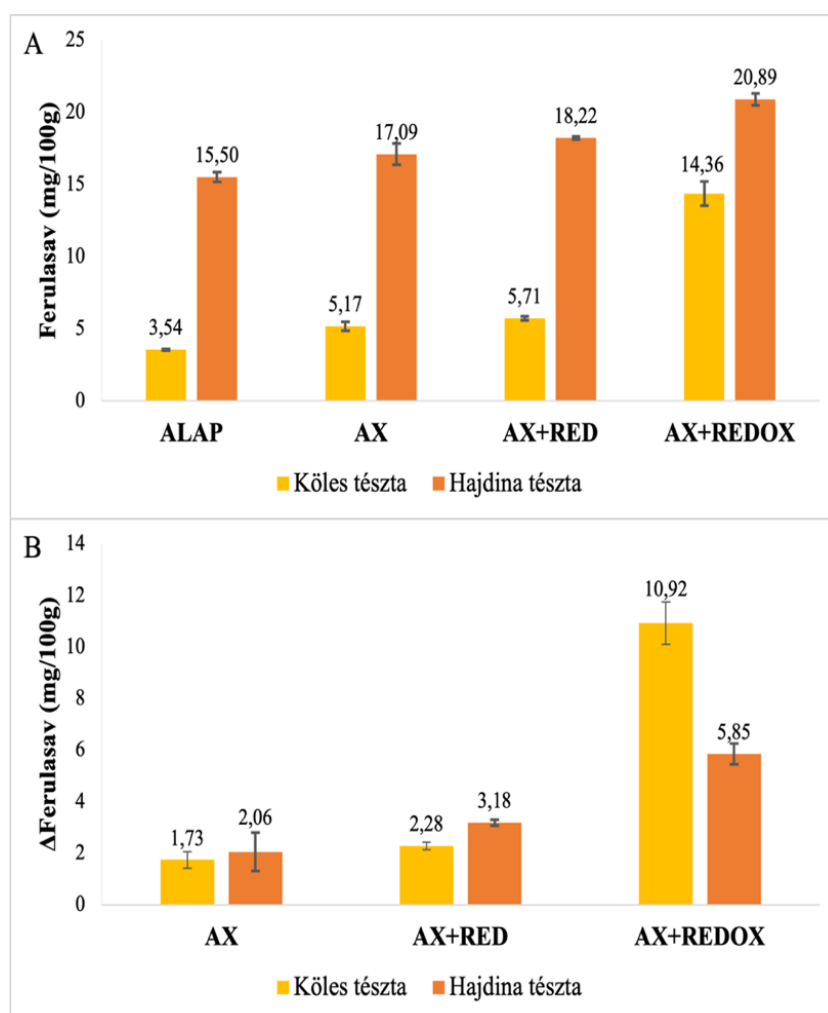
25. ábra Hajdina (A) és köles (B) téstaminták SDS – PAGE gélképei nem redukáló mintaelőkészítést alkalmazva (párhuzamos gélelektroforézis mérések), ahol ALAP – natív fehérleszt, RED – redukált, REDOX – redukált majd visszaoxidált, AX – arabinoxilánnal adagolt, AX+RED – arabinoxilánnal adagolt és redukált, AX+REDOX – arabinoxilánnal adagolt, redukált majd visszaoxidált

A fehérjék összetételére és méreteloszlására vonatkozó vizsgálatok eredményei közvetett módon igazolják az AX molekulák és a fehérjék között kialakuló kölcsönhatásokra vonatkozó feltételezéseinket.

5.3.4. Szabad ferulasav-tartalom vizsgálata

Az AX és a fehérjék közötti lehetséges kölcsönhatások jelenlétére utalhat az AX szabad ferulasav-tartalmának (free ferulic acid, FFA) csökkenése, mivel a keresztkötések az AX ferulasav oldalláncain keresztül alakulnak ki a fehérjék tiol csoportjaival. Az eredményeket a 26. ábra tartalmazza.

Az eredmények alapján mindkét alapanyag jelentős FFA tartalommal rendelkezik, rendszerint hajdinára és kölesre nézve 15,50 mg/100g, valamint 3,54 mg/100g, ami összhangban van az összes fenolos komponens mérésekor kapott adatainkkal (5. táblázat). A méréseink során alkalmazott AX izolátum FFA tartalma $19,14 \pm 0,76$ mg/100g. A vártakkal megegyezően az AX adagolás jelentősen megnövelte a tészták FFA tartalmát. A redukálás (AX+RED) kis mértékben növelte a minták FFA tartalmát a kötött ferulasavak egy részének felszabadításával.



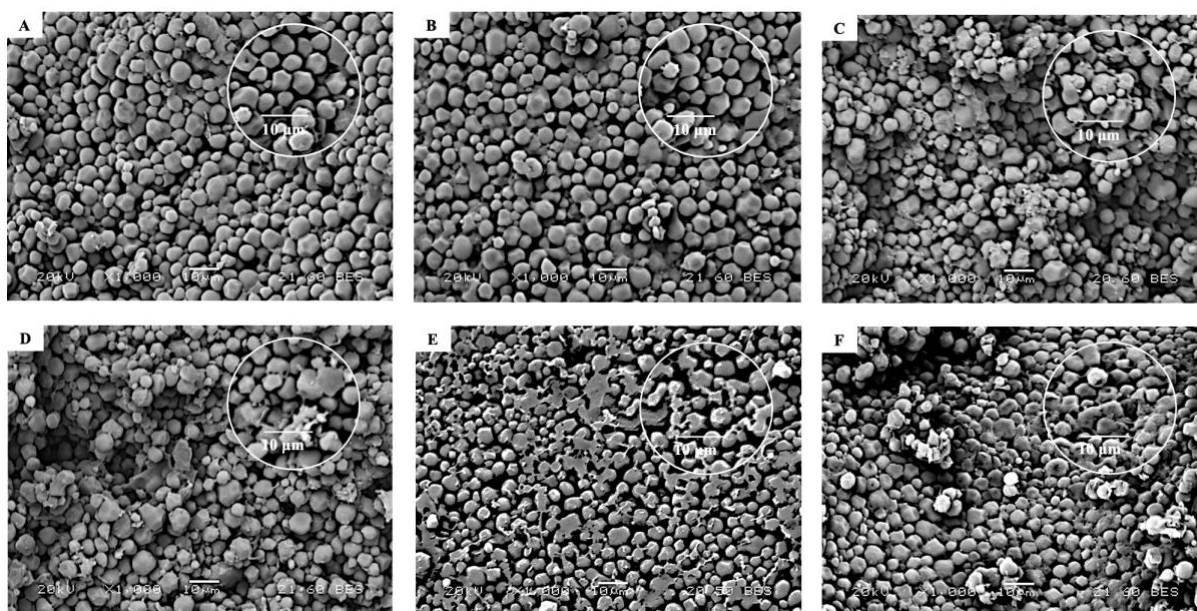
26. ábra Hajdina- és kölestészták abszolút (A) és korrigált (B) szabad ferulasav tartalma, ALAP – natív fehér liszt, RED – redukált, REDOX – redukált majd visszaoxidált, AX – arabinoxilánnal adagolt, AX+RED – arabinoxilánnal adagolt és redukált, AX+REDOX – arabinoxilánnal adagolt, redukált majd visszaoxidált

Az inkorporáció jelentősen megnövelte a kimutatható FFA tartalmat, különösen a kölesben. A köles és a hajdina könnyebb összehasonlítása érdekében az AX-t tartalmazó tészták FFA tartalmát a ALAP tészták FFA tartalmának háttérként való kiiktatásával szemléltettük (26. ábra B). A hajdinához képest a kölestészta FFA tartalma drasztikusan megnőtt az újraoxidáció miatt. Ennek egyik lehetséges oka az oxidáció hatására megjelenő zavaró mátrixkomponens lehet.

5.3.5. Pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételek

A micro-doughLAB készülékkel készült tészták mikrostruktúrájában bekövetkező esetleges változásokat pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálattal figyeltük meg (27. ábra és 28. ábra).

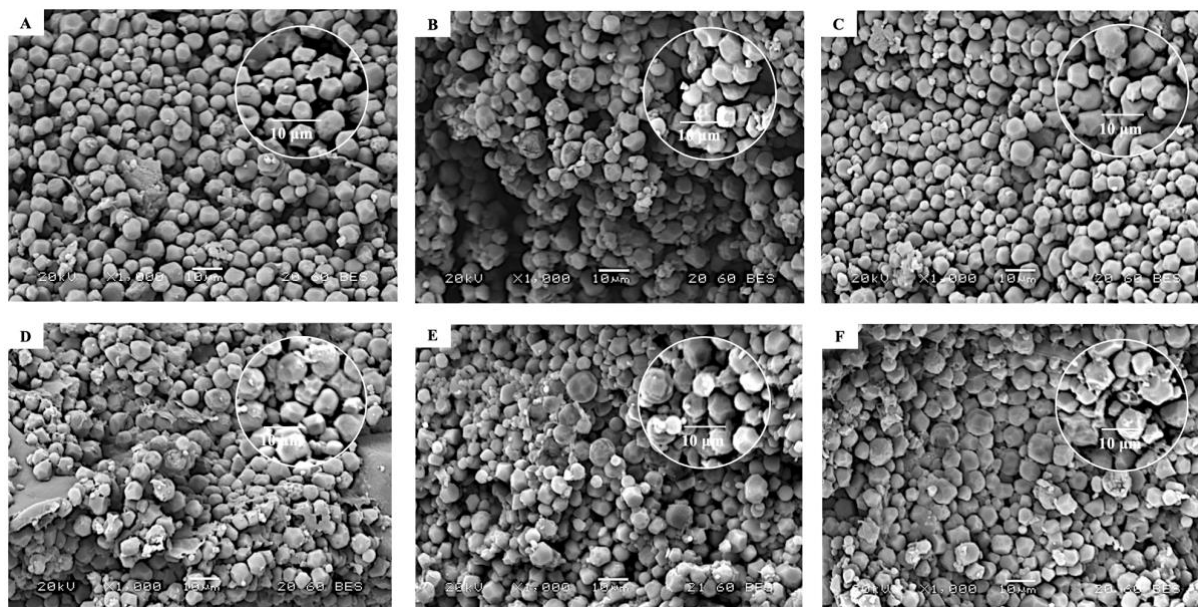
A hajdina alaptészta SEM képein jól láthatóak a gömbölyded, ovális, valamint a sokszögletű keményítőszemcsék. Redukálószer hatására nem figyelhető meg jelentősebb változás a keményítőszemcsék morfológiájában, a redukált és visszaoxidált tészta esetén azonban kisebb aggregátumok figyelhetők meg a keményítőszemcsék között. Az AX adagolás, illetve inkorporáció hatására az AX jelenléte kimutatható a keményítőszemcsék között, de kevésbé jelentős mértékben, mint a köles esetében. Valamint az AX adagolt és visszaoxidált mintán kevésbé figyelhető meg az AX jelenléte, mint a másik két AX tartalmú tésztánál.



27. ábra Micro-doughLAB készülékkel készült hajdínatészta mikrostruktúrája SEM képeken, ahol A – natív fehér liszt, B – redukált, C – redukált majd visszaoxidált, D – arabinoxilánnal adagolt, E – arabinoxilánnal adagolt és redukált, F – arabinoxilánnal adagolt, redukált majd visszaoxidált tészta

Az adagolatlan és kezeletlen kölestészta SEM felvételén jól kivehetőek a sokszögű formájú keményítőszemcsék, valamint gömb alakú fehérjetestek. Az AX adagolása egyértelműen látszik felvételeken, a keményítőszemcséket körbeveszik. A redukálószer hatására az adagolatlan és AX-nal adagolt tészták esetében is megváltozott a keményítőszemcsék

morfológiája. A beazonosítható keményítőszemcsék felülete és alakja megváltozott, valamint kisebb, kevésbé szabályos külsejű, gömb alakra hasonlító idomok jelentek meg. A visszaoxidálás hatására ezek az alakzatok eltűntek.



28. ábra Micro-doughLAB készülékkel készült kölestészta mikrostruktúrája SEM képeken, ahol A – natív fehérliszt, B – redukált, C – redukált majd visszaoxidált, D – arabinoxilánnal adagolt, E – arabinoxilánnal adagolt és redukált, F – arabinoxilánnal adagolt, redukált majd visszaoxidált tészta

Összességében megállapítható, hogy a SEM felvételeken a köles keményítőszemcséinek morfológiájában bekövetkező változások jelentősebbek, mint a hajdina esetén, ahogy ezt a dagasztási tulajdonságok változásán is megfigyelhettük.

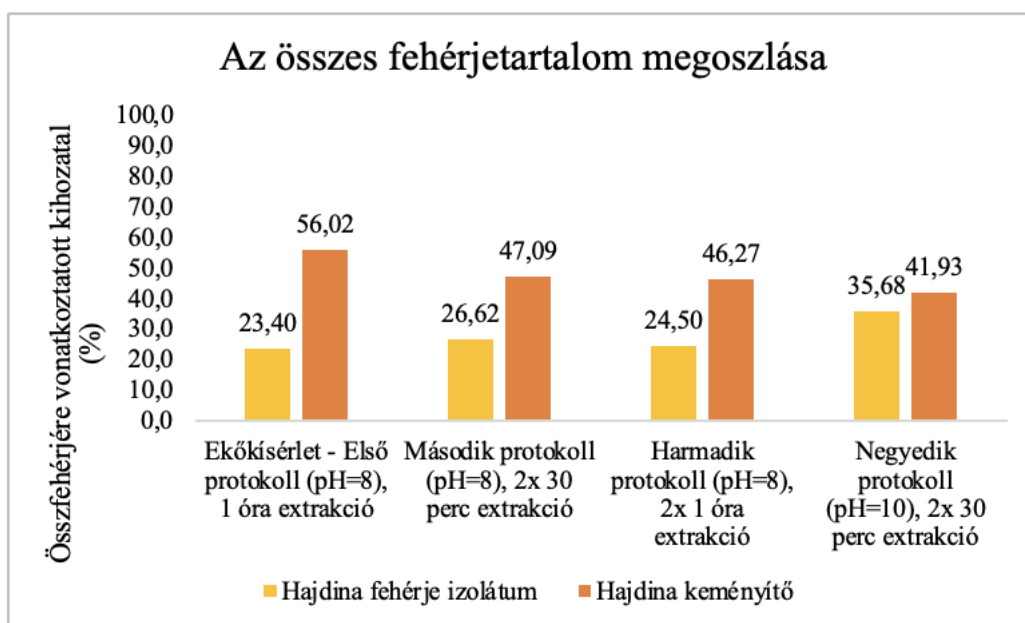
5.4. Modellrendszer kialakítása élelmi rostok hatásának vizsgálatára

Modellrendszer létrehozásával kiküszöbölhetőek a lisztben alapvetően jelenlévő rostok hatásai, valamint lehetőséget nyújt az egyes összetevők szerepének azonosítására. A tiszta modellrendszer véleményünk szerint kedvezőbb közeget biztosít az adagolások és kezelések hatásának vizsgálatához. A dolgozat keretein belül nem volt lehetőség a modellrendszer összeállítására és vizsgálatára a fehérlisztnél alkalmazott módszerekkel, azonban a modell kialakításához szükséges izolálási módszerek kidolgozását elkezdtük.

A hajdina modellrendszer kialakításához fehértsziből, a köles modellrendszer kialakításához zsírtalanított lisztből állítottunk elő fehérje- és keményítőizolátumot. Többféle izolálási protokollt is kipróbáltunk abból a célból, hogy a kihozatazt növelni tudjuk. A próbálkozások lépései minden esetben megegyeznek, csak a körülményeken pl. desztillált víz mennyisége, extrakció pH-ja változtattunk, és ezekről a változtatásokról ebben a fejezetben számolunk be.

5.4.1. Hajdina fehérje- és keményítőizolátumok előállítása

A protokollok mindegyikében 1:10 tömeg/térfogat arányú szuszpendálást végeztünk. A különböző protokollokkal elért kihozatalokat a 29. ábra szemlélteti, melyen látható, hogy sikerült javítani a kihozatalokon és a negyedik próbálkozás esetén már egy elfogadható értéket kaptunk a kinyert fehérjék mennyiségére vonatkozóan. A számszerű értékeket a 6. táblázat foglalja össze.



29. ábra A fehér hajdinalisztból izolált fehérje-, illetve keményítő fehérjetartalma az összfehérje tartalomra vonatkoztatva különböző izolálási protokollok alapján

Az előkísérletet boltban vásárolt teljes kiőrlésű hajdinaliszten végeztük el Tang módszere alapján, aminek fehérje tartalmát meghatároztuk 4.3.fejezetben leírtaknak megfelelően (Tang, 2007). A bolti hajdinaliszt fehérje tartalma 12,49 %. A mérési eredmények alapján a kiindulási liszt mennyiségből 3,22% fehérjét sikerült kinyernünk a 12,49%-hoz képest. Az összfehérje-tartalomra vonatkoztatva az eredményeink azt mutatják, hogy a kiindulási lisztben található fehérjemennyiség 56,02%-a a keményítőben gazdag frakcióban maradt.

A második protokollnál már az általunk megőrölt hajdinalisztból indultunk ki, amely a teljes kiőrlésű bolti liszthez képest jelentősen alacsonyabb, 6,94% fehérje tartalommal rendelkezett. Az előző protokollhoz képest az extrahálás idejét olyan módon változtattuk, hogy egy óra helyett kétszer fél órán keresztül végeztük az extrakciót. Ezáltal a lisztre vonatkoztatott kihozatal 2,27% lett, amely ugyan alacsonyabb érték, mint az előző protokollnál, de figyelembe kell venni, hogy a fehér hajdinaliszt kiindulási fehérjetartalma is csaknem a fele volt bolti

hajdinaliszt fehérjetartalmának. Összességében ez a protokoll 26,67%-ra növelte az összfehérjére vonatkoztatott kihozatalt.

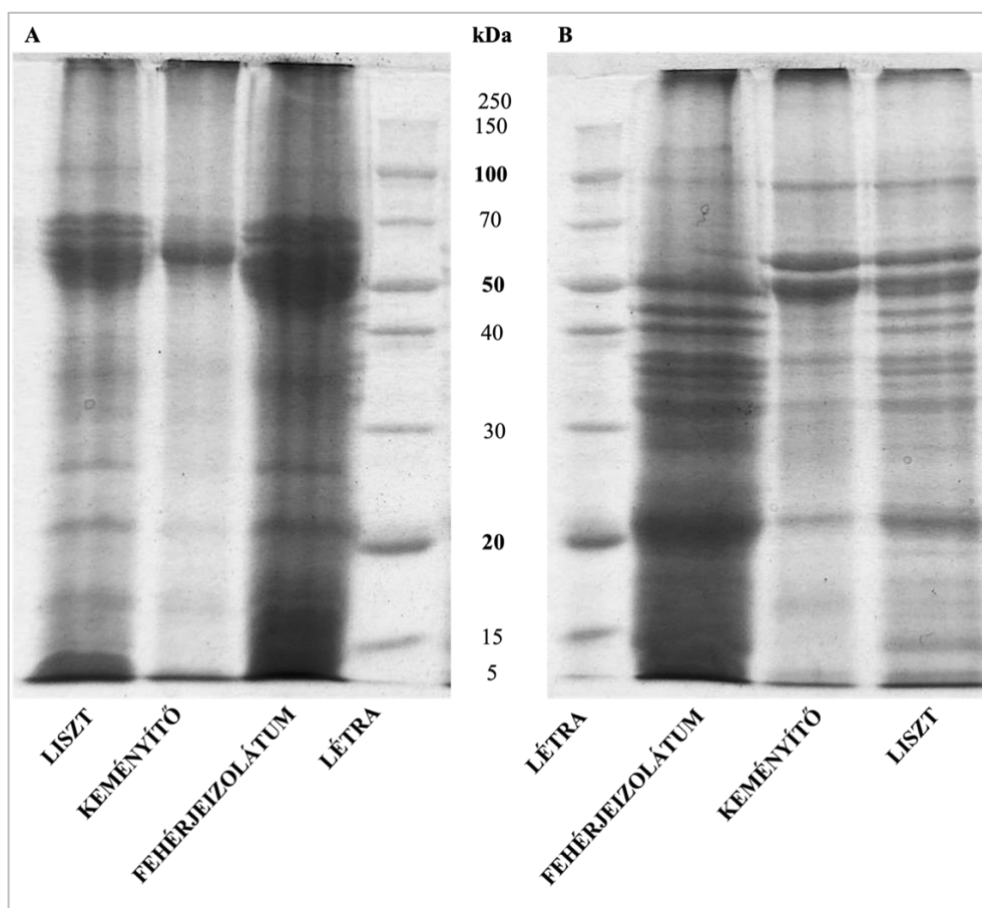
A harmadik protokoll alatt a második olyan módon protokollt gondoltuk újra, hogy az extrakció idejét kétszer fél óráról kétszer egy órára, az első centrifugálás idejét 10 percről 20 percre, sebességét 4300g-ról 4500g-re növeltük. Ezek a módosítások azonban nem hoztak eredményt a fehérje kihozatal tekintetében (2,04%), az összfehérjére vonatkoztatott fehérjetartalom 24, 50%-ra csökkent. A keményítő fehérjetartalmát sikerült csupán csökkenteni minimális mértékben 47,09%-ról 46,27%-ra.

A negyedik protokoll menete a 4.5.fejezetben olvasható. A leírtak kétszer fél órás extrakciónál 10,0-es pH-t állítottunk be, és a pH-t ebben az esetben 15 percenként ellenőriztük, korrigáltuk. Ezzel a protokollal sikerült magasabb kihozatalt elérni (3,11%), ez az összfehérje tartalomra vonatkoztatva 35,68%-ot jelent. Továbbá a keményítőben maradt fehérjetartalmat is sikerült csökkentenünk 41,93%-ra. Ez az eljárás már kellően hatékonynak bizonyult ahhoz, hogy megkezdjük az izolálás nagyobb volumenben történő alkalmazását, amely 60 g kiindulási lisztmennyiséget jelent.

6. táblázat A különböző izolálási módszerek kihozatalainak számszerű értékei hajdinalisztre nézve

Protokoll	Izolátum	Kiindulási liszt mennyiség (g)	Kinyert mennyiség (g)	Fehérje-tartalom (%)	Fehérje kihozatal lisztre vonatkoztatva (%)	Fehérje kihozatal összfehérjére vonatkoztatva (%)
Előkísérlet – Első protokoll	Fehérje	60	1,927	90,88	3,22	23,40
	Keményítő		45,52	9,22	6,99	56,02
Második protokoll	Fehérje	12	0,272	81,50	2,27	26,62
	Keményítő		9,184	4,27	3,27	47,09
Harmadik protokoll	Fehérje	12	0,245	83,29	2,14	24,50
	Keményítő		9,024	4,27	3,21	46,27
Negyedik protokoll	Fehérje	10	0,331	79,63	3,11	35,68
	Keményítő		7,760	3,75	2,91	41,93

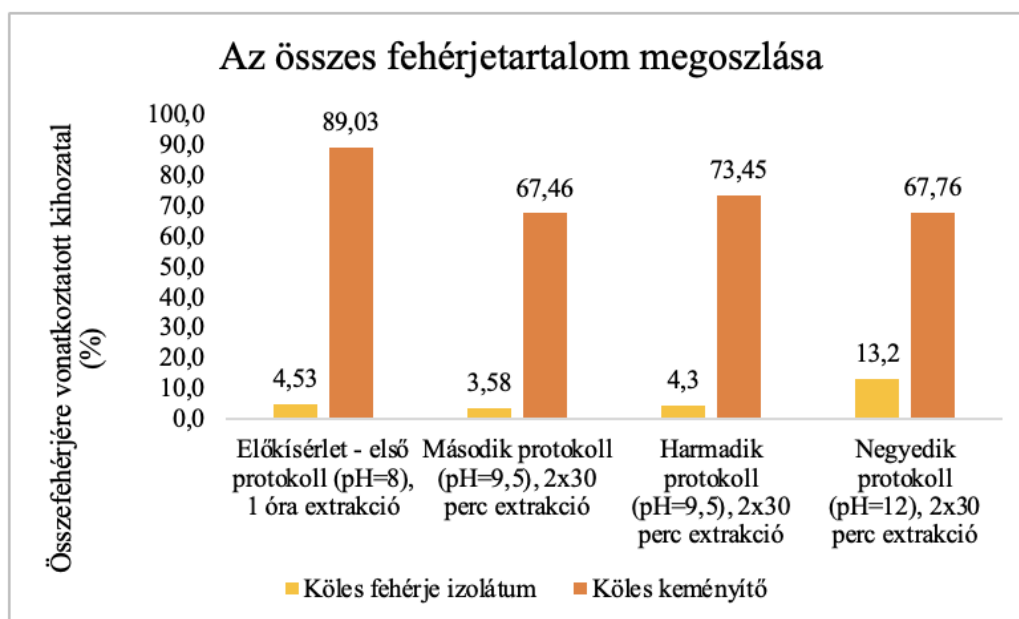
A megfelelő összetételű modellrendszer kialakításánál fontos paraméter, hogy minden, a fehérlesztben megtalálható fehérjéből sikerüljön izolálni megfelelő mennyiséget. Ezt SDS-PAGE méréssel tudtuk ellenőrizni. A hajdina izolátumok fehérjetartalmát a 30. ábra mutatja be redukáló (30. ábra B) és nem redukáló (30. ábra A) közegben. Az izolálás tehát megfelelőnek mondható olyan szempontból is, hogy minden típusú fehérjét sikerült kivonnunk.



30. ábra A hajdinalisztból izolált keményítő- és fehérjeizolátumok SDS – PAGE gélképei, ahol A – redukáló mintaelőkészítéssel-, B – nem redukáló mintaelőkészítéssel készült futtatás

5.4.2. Köles fehérje- és keményítőizolátumok előállítása

A különböző protokollokkal elért kihozatalokat a 31. ábra szemlélteti. Az ábrákon látszik, hogy nagyon kis mennyiségű fehérjét sikerült kivonnunk a köleslisztből. A különböző kipróbált módszerek hatására ugyan növekedett, de még így is nagyon alacsony a kihozatal. A számszerű értékeket a 7. táblázat foglalja össze.



31. ábra A fehér köleslisztből izolált fehérje-, illetve keményítő fehérjetartalma az összfehérje tartalomra vonatkoztatva különböző izolálási protokollok alapján

Az előkísérletet boltban vásárolt teljes kiőrlésű kölesliszten végeztük el Wang et al. módszere alapján, aminek fehérje tartalmát meghatároztuk 4.3.fejezetben leírtaknak megfelelően (H. Wang et al., 2021). A bolti kölesliszt fehérje tartalma 11,52 %. A mérési eredmények alapján a kiindulási liszt mennyiségéből 0,52% fehérjét sikerült kinyernünk a 11,52%-hoz képest. Az összfehérje-tartalomra vonatkoztatva az eredményeink azt mutatják, hogy a kiindulási lisztben található fehérjemennyiség 89,03%-a a keményítőben maradt benne.

A második protokollnál már az általunk megörölt és zsírtalanított köleslisztből indultunk ki (12,47% fehérje tartalom) Jhan et al. módszerét használva kisebb változtatásokkal (Jhan et al., 2021). A módszer 1:4 tömeg/térfogat arányú szuszpendálást ír elő, azonban egy túl sűrű, nehezen kezelhető szuszpenzió alakult ki, így több desztillált vizet adtunk a rendszerhez. Az előkísérlethez képest itt a módszernek megfelelően 9,5-ös pH-t állítottunk be. Egy óra extrakció helyett kétszer fél óra extrakciót alkalmaztunk. Ennek a módszernek is elég alacsony a kihozatala és a keményítőben még mindig sok fehérje maradt (67,46%), de a legfőbb problémát az okozta, hogy az izolált keményítóből a lúg kimosása hosszadalmas művelet volt, semleges körüli pH-t hétszeri mosással értünk el. Ebben az esetben 0,45% fehérjét sikerült kinyernünk a 12,47%-hoz képest.

A harmadik protokoll alatt a második protokollt gondoltuk újra. 1:6 tömeg/térfogat arányban szuszpendáltuk a zsírtalanított lisztet. Azt tapasztaltuk, hogy az idő teltével a pH csökkenni kezd, a rendszer visszapuffereli magát, ezért a 9,5-ös pH meglétét 5 percenként ellenőriztük a

kétszer fél órás extrakció alatt, és korrigáltuk 9,5-re minden esetben. A keményítőt ennél a módszernél 1 M-os sósav-oldattal semlegesítettük, és háromszor mostuk desztillált vízzel. Az eredmények nem lettek jobbak, sőt, a keményítőben a második protokollhoz képest több fehérje maradt (73,45%). A kihozatal 0,54%.

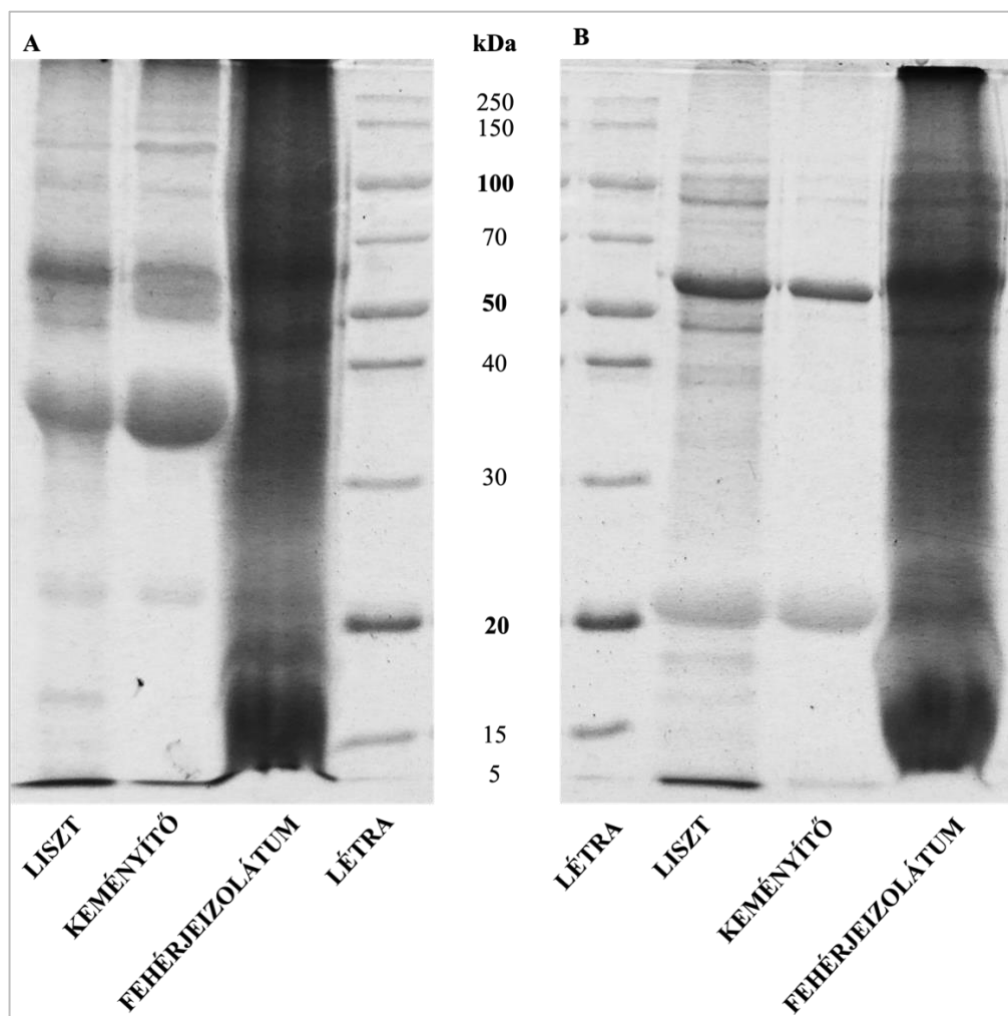
A negyedik protokoll menete a 4.5.fejezetben olvasható. A leírtak szerint tízszeres mennyiségű desztillált vízben szuszpendáltuk a lisztet. A kétszer fél órás extrakciónál 12,0-es pH-t állítottunk be, és a pH-t ebben az esetben is 5 percenként ellenőriztük, korrigáltuk. Azt tapasztaltuk, hogy az extrakció, majd centrifugálás utáni fehérje felülúszó színe sokkal sárgább, és habzik. Ezzel a protokollal sikerült magasabb kihozatalt elérni (1,65%), ami még mindig nagyon alacsony érték. A fehérjeizolátum tisztasága jelentősen leromlott a többi protokollhoz képest.

7. táblázat A különböző izolálási módszerek kihozatalainak számszerű értékei köleslisztre nézve

Protokoll	Izolátum	Kiindulási liszt mennyiség (g)	Kinyert mennyiség (g)	Fehérje-tartalom (%)	Fehérje kihozatal lisztre vonatkoztatva (%)	Fehérje kihozatal összfehérjére vonatkoztatva (%)
Előkísérlet – Első protokoll	Fehérje	60	0,348	89,91	0,52	4,53
	Keményítő		63,34	9,72	10,26	89,03
Második protokoll	Fehérje	10	0,055	81,23	0,45	3,58
	Keményítő		7,996	10,52	8,41	67,46
Harmadik protokoll	Fehérje	10	0,067	79,99	0,54	4,30
	Keményítő		8,214	11,15	9,16	73,45
Negyedik protokoll	Fehérje	10	0,351	46,90	1,65	13,20
	Keményítő		7,78	10,86	8,45	67,76

Az eredmények alapján a kihozatalok még mindig nem megfelelőek, ezért további optimalizálásra van szükség, melyre a jelen dolgozat keretein belül már nem volt lehetőség.

A 32. ábra az izolátumok fehérjetartalmát mutatja be redukáló (32. ábra B) és nem redukáló (32. ábra A) mintaelőkészítés után. A fehérjeizolátum mintáknál ebben az esetben is nagyobb hígítás lett volna célszerű, de annyi látszik a gélképen, hogy mindenféle típusú fehérjét sikerült kivonnunk, csak mennyiségben kevés mértékben.



32. ábra A köleslisztből izolált keményítő- és fehérjeizolatumok SDS – PAGE gélképei, ahol A – redukáló mintaelőkészítéssel-, B – nem redukáló mintaelőkészítéssel készült futtatás

6. Összefoglalás és kitekintés

A kutatómunka célja élelmi rost összetevők, azaz β -glükán (BG), valamint arabinoxilán (AX) adagolás és/vagy inkorporáció (redukció és reoxidáció) hatásának vizsgálata hajdina és köles alapú élelmiszer-mátrixokban, annak érdekében, hogy az élelmi rostok szerkezetalakító szerepét megfigyeljük, és mélyebben megértsük. A dagasztási tulajdonságok változását micro-doughLAB készülékkel, a viszkózus tulajdonságok alakulását pedig gyors viszkoanalizátorral vizsgáltuk. A technológiai vizsgálatok eredményeit fehérjeösszetételi (SDS-PAGE) és elektronmikroszkópos mérésekkel egészítettük ki.

A BG dagasztási tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálatánál azt találtuk, hogy az adagolás mindkét alapanyagnál egyértelműen megnövelte a tésztakonzisztenciát, a köles esetén nagyobb mértékben. A tészta kialakulási ideje csökkent, ebben az esetben a hajdinánál volt jelentősebb mértékű eltérés. A BG viszkózus tulajdonságokra kifejtett hatásánál azt tapasztaltuk, hogy nem feltétlenül lineáris az összefüggés a BG koncentráció és a reológiai tulajdonságok változása között, valamint, hogy mindez a vizsgált mátrixtól (hajdina, köles) is nagyban függ. Ezeket a megfigyeléseinket részlegesen alátámasztottunk pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) felvételekkel is.

Az AX képes lehet oxidatív körülmények között intermolekuláris láncok létrehozására ferulasav oldalláncain keresztül a fehérjék tirozin aminosavaival, így feltételezhetően egy, a síkérhálózathoz részben hasonlító polimer szerkezet létrehozására. A várakkkal ellentétben nem a visszaoxidált rendszerben alakultak ki változások, hanem a redukálás hatására figyeltünk meg eltérő viselkedést a tészta-, valamint gélminták esetében. A redukálás ellentétes hatással volt a két alapanyagra, míg hajdina esetén csökkent, addig köles esetén nőtt a natív tészta maximális konzisztencia értéke. A hajdina esetében az redukálás csökkentette, az AX adagolás pedig növelte a tészta kialakulás idejét, ezzel szemben a kölesnél mindkét esetben hamarabb kialakult a stabil tészta szerkezet. A szuszpenziók esetében az AX adagolás, valamint a redukálószeres kezelés hatására is a viszkozitás csökkenését figyeltük meg, ami a köles minták esetén sokkal meghatározóbb volt. Visszaoxidálás után a hajdina viszkozitás-görbéje szinte a natív liszt görbéjével párhuzamosan futott, a viszkozitás értékek kis mértékben csökkentek, a kölesnél viszont szinte az eredeti, fehér köleslisztre jellemző viselkedést mutató profilokat kaptunk. A fehérje összetétel és méreteloszlás vizsgálata során a AX adagolt minták esetében a fehérjekomponensek megjelenését figyeltük meg 35 kDa körüli tartományban, köles esetén pedig a redukálószerrel kezelt minták gélképein a nagyobb molekulatömegű tartomány eltűnését figyeltük meg, mely utalhat AX-fehérje kölcsönhatás kialakulására. A szabad

ferulasav meghatározáson alapuló mérések azonban nem erősítették meg ezeket a feltételezéseket. Ennek megerősítésére a munka folytatásában méretkizárásos nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiával (SE-HPLC) is megvizsgálánk a minták fehérjetartalmát.

A jelen tanulmányban egy típusú β -glükánt (zab) és arabinoxilánt (búza) vizsgáltunk, hatásuk azonban több tényezőtől, például molekulaméretüktől, botanikai eredetüktől stb. is függ. Célunk a későbbiekben ezen rostalkotók további típusának vizsgálata, illetve az erre a célra alkalmazható modellrendszer kifejlesztése. A modellmátrix megalkotásához szükséges fehérje és keményítő izolálási protokoll kidolgozását már megkezdjük, a hajdina esetén az alkalmazott módszer megfelelőnek bizonyult, a kölesnél azonban a módszer optimalizálására, újragondolására van szükség.

7. Köszönetnyilvánítás

Hatalmas köszönet illeti meg Témavezetőnket, Dr. Németh Renátát, akitől lehetőséget kaptunk becsatlakozni ebbe a kutatási témába, és aki segítségünkre volt az egész időszak alatt bármilyen témában, illetve Dr. Tömösközi Sándornak, a folyamat során hasznos tanácsokkal látta el a munkánkat. Szeretnénk megköszönni Jaksics Edinának és Farkas Alexandrának, hogy a laborban töltött időnk alatt bármikor a rendelkezésünkre álltak, amikor kérdésünk volt. Köszönjük továbbá Szűcsné Makay Erikának, aki a beltartalmi mérések során felügyelte a munkánkat, valamint Dr. Koczka Bélának, aki a pásztázó elektronmikroszkópos felvételek elkészítésekor hasznos tanácsokkal látott el minket, illetve a Kutatócsoport minden tagjának, akiknek köszönhetően egy támogató közösség részévé válhattunk.

Kutatásunk a Kulturális és Innovációs és Minisztérium ÚNKP-22-4-II-BME-129 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. A kutatás kapcsolódik továbbá A TKP2021-EGA-02 számú projekt szakmai céljainak megvalósításához.

8. Nyilatkozat

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Adatlap

a 2023. november 16-án megrendezésre kerülő TDK Konferenciára történő jelentkezéshez

Kar (a dolgozat benyújtásának helye): Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

A dolgozat címe magyarul: Élelmi rost összetevők szerkezetalkító szerepének vizsgálata hajdina és köles alapú élelmiszermatrixokban

A dolgozat címe angolul: Investigation of the structure forming role of dietary fibers in buckwheat- and millet-based food matrices

A beadás éve: 2023

A szerző(k) neve, évfolyama; kar, szak, szakirány; státusz, Neptun kód; telefonszám, e-mail,

1. Sznopka Liliána Kata, I. évfolyam/MSC, Vegyészmérnöki és Biomérnöki kar,
Vegyészmérnök, Analitika és szerkezetvizsgáló specializáció, aktív/napközi tagozat,
Neptun kód: M1AJ03, Tel.: 06-30/512-38-78, e-mail: sznokaliliana@gmail.com
2. Orosz Csenge, IV. évfolyam/BSC, Vegyészmérnöki és Biomérnöki kar, Vegyészmérnök,
Analitika és szerkezetvizsgáló specializáció, aktív/napközi tagozat, Neptun kód: RQPKM0,
Tel.: 06-30/507-08-35, e-mail: csenge.oroszok@gmail.com

A témavezető(k) neve, beosztása, munkahelye, telefonszáma, e-mail címe:

1. Dr. Németh Renáta, egyetemi adjunktus, BME, 06/30-385-4702,
nemeth.renata@vbk.bme.hu

2.

A konzulens(ek) neve, beosztása, munkahelye, telefonszáma, e-mail címe:

1.

2.

A dolgozat jellege néhány szóban (kulcsszavak)

arabinoxilán, β -glükán, gluténmentes, rost-fehérje interakció, mikroszerkezet, reológia

Javaslat a szekcióba soroláshoz : (fontossági sorrendben két szekció megadása kötelező! A megadott online szekciónevek közül kell kettőt kiválasztani!)

- Élelmiszertudomány

- Biotechnológia

Budapest, 2023. 10. 10.

Szűcs Liliána Katalin

Szerző

Dr. Németh Renée

Témavezető

Török Balázs

Tanszékvezető

Orosz Csenge

Szerző

NYILATKOZAT



Kijelentem, hogy a dolgozat kizárólag saját kutatómunkám eredményeit tartalmazza, és ezek az eredmények korábbi TDK dolgozatban még nem szerepeltek.

Budapest, 2023. 10. 10.

Szűcs Liliána Katalin

Szerző

Dr. Németh Renée

Témavezető

Orosz Csenge

Szerző

Kijelentem, hogy a most benyújtott TDK dolgozatomban a BSc szakdolgozatomból képest új tudományos eredményeket tartalmaz.

Budapest, 2023. 10.10.

Szűcs Liliána Katalin

Szerző

Dr. Németh Renée

Témavezető

Orosz Csenge

Szerző

9. Irodalomjegyzék

- Ahmed, A., Khalid, N., Ahmad, A., Abbasi, N. A., Latif, M. S. Z., & Randhawa, M. A. (2014). Phytochemicals and biofunctional properties of buckwheat: a review. *The Journal of Agricultural Science*, 152(3), 349–369. <https://doi.org/10.1017/S0021859613000166>
- Akharume, F., Santra, D., & Adedeji, A. (2020). Physicochemical and functional properties of proso millet storage protein fractions. *Food Hydrocolloids*, 108(105497). <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2019.105497>
- Alimentarius Commission, C. (2010). *GUIDELINES ON NUTRITION LABELLING CXG 2-1985*. https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shproxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXG%2B2-1985%252FCXG_002e.pdf
- Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2018). Composition, protein profile and rheological properties of pseudocereal-based protein-rich ingredients. *Foods*, 7(5). <https://doi.org/10.3390/foods7050073>
- Amadou, I., Gounga, M. E., & Le, G. W. (2013). Millets: Nutritional composition, some health benefits and processing - A review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 25(7), 501–508. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i7.12045>
- Arendt, E., & Bello, F. D. (2008). Gluten-Free Cereal Products and Beverages. *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373739-7.X5001-1>
- Bagdi, A., Balázs, G., Schmidt, J., Szatmári, M., Schoenlechner, R., Berghofer, E., & Tömösközia, S. (2011). Protein characterization and nutrient composition of Hungarian proso millet varieties and the effect of decortication. *Acta Alimentaria*, 40(1), 128–141. <https://doi.org/10.1556/AAlim.40.2011.1.15>
- Bailey, A. V., & Sumrell, G. (1980). Preparation of Protein Concentrate from Pearl Millet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 28(2), 475–477. <https://doi.org/10.1021/jf60228a049>
- Beitane, I., Krumina-Zemture, G., & Sabovics, M. (2015). *Technological properties of pea and buckwheat flour and their blends*.
- Bekes, F., Gras, P. W., & Gupta, R. B. (1994). Mixing Properties as a Measure of Reversible Reduction and Oxidation of Doughs Cereal seed storage proteins View project. *Cereal Chemistry*, 71(1), 44–50. <https://www.researchgate.net/publication/215522639>

- Bonafaccia, G., Marocchini, M., & Kreft, I. (2003). Composition and technological properties of the flour and bran from common and tartary buckwheat. *Food Chemistry*, 80(1), 9–15. www.elsevier.com/locate/foodchem
- Buksa, K. (2016). Application of model bread baking in the examination of arabinoxylan - Protein complexes in rye bread. *Carbohydrate Polymers*, 148, 281–289. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.071>
- 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>
- Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). A systematic review of gluten-free dough and bread: Dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(18). <https://doi.org/10.3390/APP10186559>
- Capraro, J., Magni, C., Giorgi, A., Duranti, M., & Scarafoni, A. (2018). Comparative 1D- and 2D-electrophoretic protein profiles of ancestral and modern buckwheat seeds growth in the Italian Aphine region. In *Ital. J. Food Sci* (Vol. 30).
- Chang, L., Zhao, N., Jiang, F., Ji, X., Feng, B., Liang, J., Yu, X., & Du, S. kui. (2023). Structure, physicochemical, functional and in vitro digestibility properties of non-waxy and waxy proso millet starches. *International Journal of Biological Macromolecules*, 224, 594–603. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.10.149>
- Chen, X. W., Chen, Y. J., Li, J. Y., Wang, Y. H., & Yang, X. Q. (2019). Enzyme-assisted development of biofunctional polyphenol-enriched buckwheat protein: physicochemical properties, in vitro digestibility, and antioxidant activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(6), 3176–3185. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9534>
- Choi, H., Kim, W., & Shin, M. (2004). Properties of korean amaranth starch compared to waxy millet and waxy sorghum starches. *Starch/Staerke*, 56(10), 469–477. <https://doi.org/10.1002/star.200300273>
- Choi, Y., Jeong, H. S., & Lee, J. (2007). Antioxidant activity of methanolic extracts from some grains consumed in Korea. *Food Chemistry*, 103(1), 130–138. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.08.004>
- Christa, K., & Soral-Śmietana, M. (2008). Buckwheat Grains and Buckwheat Products- Nutritional and Prophylactic Value of their Components-a Review. *Czech J. Food Sci*, 26(3), 153–162.

- Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Matallana-González, M. C., & Morales, P. (2019). Dietary fiber sources and human benefits: The case study of cereal and pseudocereals. In *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 90, pp. 83–134). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.002>
- Colleoni-Sirghie, M., Jannink, J. L., & White, P. J. (2004). Pasting and thermal properties of flours from oat lines with high and typical amounts of β -glucan. *Cereal Chemistry*, 81(6), 686–692. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.6.686>
- Das, S., Khound, R., Santra, M., & Santra, D. K. (2019). Beyond bird feed: Proso millet for human health and environment. *Agriculture (Switzerland)*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/agriculture9030064>
- De Anda-Flores, Y., Carvajal-Millan, E., Lizardi-Mendoza, J., Rascon-Chu, A., Martínez-López, A. L., Marquez-Escalante, J., Brown-Bojorquez, F., & Tanori-Cordova, J. (2020). Covalently cross-linked nanoparticles based on ferulated arabinoxylans recovered from a distiller's dried grains byproduct. *Processes*, 8(6), 691. <https://doi.org/10.3390/PR8060691>
- Devisetti, R., Yadahally, S. N., & Bhattacharya, S. (2014). Nutrients and antinutrients in foxtail and proso millet milled fractions: Evaluation of their flour functionality. *LWT*, 59(2P1), 889–895. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.003>
- DeVries, J. W., Camire, M. E., Cho, S., Craig, S., Gordon, D., Jones, J. M., Li, B., Lineback, D., Prosky, L., & Tungland, B. C. (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46(3), 112–129. <https://www.aaccnet.org/initiatives/definitions/Documents/DietaryFiber/DFDef.pdf>
- Dietary Reference Values for nutrients Summary report. (2017). *EFSA Supporting Publications*, 14(12). <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
- Dorrell, D. G. (1971). Fatty acid composition of buckwheat seed. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 48(11), 693–696. <https://doi.org/10.1007/BF02638522>
- Du, B., Meenu, M., Liu, H., & Xu, B. (2019). A concise review on the molecular structure and function relationship of β -glucan. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(16). <https://doi.org/10.3390/ijms20164032>
- Dykes, L., & Rooney, L. W. (2006). Sorghum and millet phenols and antioxidants. *Journal of Cereal Science*, 44(3), 236–251. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.06.007>

- Espinosa-Ramírez, J., Garzon, R., Serna-Saldivar, S. O., & Rosell, C. M. (2020). Exploring the potential of arabinoxylan as structuring agent in model systems for gluten-free yeast-leavened breads. *Journal of Cereal Science*, 95(August), 103080. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103080>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103292>
- Fuller, S., Beck, E., Salman, H., & Tapsell, L. (2016). New Horizons for the Study of Dietary Fiber and Health: A Review. In *Plant Foods for Human Nutrition* (Vol. 71, Issue 1). Springer New York LLC. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0529-6>
- Gamel, T. H., Abdel-Aal, E. S. M., Wood, P. J., Ames, N. P., & Tosh, S. M. (2012). Application of the rapid Visco Analyzer (RVA) as an effective rheological tool for measurement of β -glucan viscosity. *Cereal Chemistry*, 89(1), 52–58. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-07-11-0089>
- Gondola, I., & Papp, P. (2010). *Origin , Geographical Distribution and Phylogenic Relationships of Common Buckwheat (Fagopyrum esculentum Moench .)*.
- Goudar, G., Manne, M., Sathisha, G. J., Sharma, P., Reddy Mokalla, T., Bhushan Kumar, S., & Ziouzenkova, O. (2023). Phenolic, nutritional and molecular interaction study among different millet varieties. *Food Chemistry Advances*, 2, 100150. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100150>
- Gregori, M., & Kreft, I. (2005). Locally grown buckwheat grain for production of high-quality food products View project Nutrition and Public Health Research programme View project. In *Article in Journal of Food Agriculture and Environment*. <https://www.researchgate.net/publication/235430039>
- Gregori, M., & Kreft, I. (2012). Breakable starch granules in a low-amylose buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) mutant. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 258–262. https://www.researchgate.net/publication/235430039_Breakable_starch_granules_in_a_low-amylose_buckwheat_Fagopyrum_esculentum_Moench_mutant
- Gulati, P., Li, A., Holding, D., Santra, D., Zhang, Y., & Rose, D. J. (2017). Heating Reduces Proso Millet Protein Digestibility via Formation of Hydrophobic Aggregates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(9), 1952–1959. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b05574>

- Hipsley, E. H. (1953). Dietary “fibre” and pregnancy toxemia. *British Medical Journal*, 2(4833), 420–422. <https://doi.org/10.1136/bmj.2.4833.420>
- Houben, A., Höchstötter, A., & Becker, T. (2012). Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: An overview. *European Food Research and Technology*, 235(2), 195–208. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1720-0>
- Hu, X., Zhao, J., Zhao, Q., & Zheng, J. (2015). Structure and Characteristic of β -Glucan in Cereal: A Review. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 3145–3153. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12384>
- Ikeda, S., Yamashita, Y., Tomurai, K., & Kreff, I. (2006). Nutritional comparison in mineral characteristics between buckwheat and cereals. In *Fagopyrum* (Vol. 23).
- Inglett, G. E., Chen, D., Berhow, M., & Lee, S. (2011). Antioxidant activity of commercial buckwheat flours and their free and bound phenolic compositions. *Food Chemistry*, 125(3), 923–929. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.09.076>
- Izydorczyk, M. S., & Biliaderi, C. G. (1995). Cereal arabinoxylans: advances in structure and physicochemical properties. In *Carbohydrate Polymers* (Vol. 28).
- Janssen, F., Pauly, A., Rombouts, I., Jansens, K. J. A., Deleu, L. J., & Delcour, J. A. (2017). Proteins of Amaranth (*Amaranthus* spp.), Buckwheat (*Fagopyrum* spp.), and Quinoa (*Chenopodium* spp.): A Food Science and Technology Perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 39–58. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12240>
- Javornik, B., Kreft, I., Oddelek, A., & Fakulteta, B. (2014). *Characterization of buckwheat protein Locally grown buckwheat grain for production of high-quality food products View project Barley and buckwheat View project Fagopyrwn (1984) 4 CHARACTERIZATION OF BUCKWHEAT PROTEINS*. <https://www.researchgate.net/publication/239570875>
- Jhan, F., Gani, A., Noor, N., & Shah, A. (2021). Nanoreduction of Millet Proteins: Effect on Structural and Functional Properties. *ACS Food Science and Technology*, 1(8), 1418–1427. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00132>
- Jin, J., Okagu, O. D., Yagoub, A. E. G. A., & Udenigwe, C. C. (2021). Effects of sonication on the in vitro digestibility and structural properties of buckwheat protein isolates. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105348>
- Jones, J. M. (2014). CODEX-aligned dietary fiber definitions help to bridge the “fiber gap.” *Nutrition Journal*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/1475-2891-13-34>

- Jones, R. W., Beckwith, A. C., Khoo, U., & Inglett, G. E. (1970). Protein Composition of Proso Millet. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 18(1), 37–39. https://doi.org/10.1021/JF60167A003/ASSET/JF60167A003.FP.PNG_V03
- Kalinová, J. (2007). Nutritionally Important Components of Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.). In *Global Science Books: Vol. Food 1*.
- Kaur, N., Singh, B., Kaur, A., Yadav, M. P., Singh, N., Ahlawat, A. K., & Singh, A. M. (2021). Effect of growing conditions on proximate, mineral, amino acid, phenolic composition and antioxidant properties of wheatgrass from different wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties. *Food Chemistry*, 341(March 2020), 128201. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128201>
- Kaur, R., Sharma, M., Ji, D., Xu, M., & Agyei, D. (2020). Structural features, modification, and functionalities of beta-glucan. *Fibers*, 8(1). <https://doi.org/10.3390/fib8010001>
- Kowalski, S., Mikulec, A., Mickowska, B., & Buksa, K. (2022). Nutritional properties and amino acid profile of buckwheat bread. *Journal of Food Science and Technology*, 59(8), 3020–3030. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05518-w>
- Kreft, I., Fabjan, N., & Yasumoto, K. (2006). Rutin content in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) food materials and products. *Food Chemistry*, 98(3), 508–512. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.081>
- Léder, I. (2004). *SORGHUM AND MILLETS* (György Füleký, Ed.). Eolss Publishers. <http://www.eolss.net>
- Li, Q., Liu, R., Wu, T., & Zhang, M. (2017). Aggregation and rheological behavior of soluble dietary fibers from wheat bran. *Food Research International*, 102, 291–302. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.064>
- Lindeboom, N., Chang, P. R., & Tyler, R. T. (2004). Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: A review. In *Starch/Stärke* (Vol. 56, Issues 3–4, pp. 89–99). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/star.200300218>
- Liu, Y., Bailey, T. B., & White, P. J. (2010). Individual and interactional effects of β -glucan, starch, and protein on pasting properties of Oat flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(16), 9198–9203. <https://doi.org/10.1021/JF1007852>
- Lupien, J. R. (1995). *Sorghum and millets in human nutrition*.

- Malik, A. M., & Singh, A. (2022a). Pseudocereals proteins- A comprehensive review on its isolation, composition and quality evaluation techniques. In *Food Chemistry Advances* (Vol. 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2021.100001>
- Malik, A. M., & Singh, A. (2022b). Pseudocereals proteins- A comprehensive review on its isolation, composition and quality evaluation techniques. In *Food Chemistry Advances* (Vol. 1). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2021.100001>
- Mariotti, M., Lucisano, M., Pagani, M. A., & Iametti, S. (2008). Macromolecular Interactions and Rheological Properties of Buckwheat-Based Dough Obtained from Differently Processed Grains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(11), 4258–4267. <https://scihub.se/10.1021/jf800009e>
- Martínez-Gómez, P., Kreft, I., Germ, M., Golob, A., Vombergar, B., Bonafaccia, F., & Luthar, Z. (2022). *Impact of Rutin and Other Phenolic Substances on the Digestibility of Buckwheat Grain Metabolites*. <https://doi.org/10.3390/ijms23073923>
- Mazza, G. (1988). Lipid Content and Fatty Acid Composition of Buckwheat Seed. *Cereal Chemistry*, 65(2), 122–126.
- Mazza, G., & Oomah, B. D. (2003). Buckwheat. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 692–699. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00132-2>
- Mendez-Encinas, M. A., Carvajal-Millan, E., Rascon-Chu, A., Astiazaran-Garcia, H. F., & Valencia-Rivera, D. E. (2018). Ferulated Arabinoxylans and Their Gels: Functional Properties and Potential Application as Antioxidant and Anticancer Agent. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/2314759>
- Mendis, M., & Simsek, S. (2014). Arabinoxylans and human health. *Food Hydrocolloids*, 42(P2), 239–243. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.07.022>
- Motta Romero, H., Santra, D., Rose, D., & Zhang, Y. (2017). Dough rheological properties and texture of gluten-free pasta based on proso millet flour. *Journal of Cereal Science*, 74, 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.014>
- Mudgil, D., & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. In *International Journal of Biological Macromolecules* (Vol. 61, pp. 1–6). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.06.044>
- Narciso, J. O., & Nyström, L. (2023a). The genetic diversity and nutritional quality of proso millet (*Panicum miliaceum*) and its Philippine ecotype, the ancient grain “kabog millet”: A review.

Journal of Agriculture and Food Research, 11, 100499.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100499>

Narciso, J. O., & Nyström, L. (2023b). The genetic diversity and nutritional quality of proso millet (*Panicum miliaceum*) and its Philippine ecotype, the ancient grain “kabog millet”: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100499.
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100499>

Nayik, G. A., Tufail, T., Anjum, F. M., & Javed Ansari, M. (2023). Cereal Grains. In *Cereal Grains*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003252023>

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(June 2018), 381–390. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.03.036>

Németh, R., Fekete-Papp, R., Orosz, K., Jaksics, E., Juhászné Szentmiklóssy, M. K., Török, K., & Tömösközi, S. (2022). View of Investigation of the Role of Arabinoxylan on Dough Mixing Properties in Native and Model Wheat Dough Systems. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(3), 437–447. <https://pp.bme.hu/ch/article/view/19019/9381>

Németh, R., Fekete-Papp, R., Orosz, K., Jaksics, E., Szentmiklóssy, M. K. J., Török, K., & Tömösközi, S. (2022). Investigation of the Role of Arabinoxylan on Dough Mixing Properties in Native and Model Wheat Dough Systems. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(3), 437–447. <https://doi.org/10.3311/PPch.19019>

Nikolić, N., Sakač, M., & Mastilović, J. (2011). Effect of buckwheat flour addition to wheat flour on acylglycerols and fatty acids composition and rheology properties. *LWT - Food Science and Technology*, 44(3), 650–655. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2010.08.017>

Niño-Medina, G., Carvajal-Millán, E., Rascon-Chu, A., Marquez-Escalante, J. A., Guerrero, V., & Salas-Muñoz, E. (2010). Feruloylated arabinoxylans and arabinoxylan gels: Structure, sources and applications. In *Phytochemistry Reviews* (Vol. 9, Issue 1, pp. 111–120). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11101-009-9147-3>

Oszvald, M., Tömösközi, S. R., Tamás, L., & Békés, F. (2009). Effects of wheat storage proteins on the functional properties of rice dough. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(21), 10442–10449. <https://doi.org/10.1021/JF902166H>

- Ozyurt, V. H., & Ötles, S. (2016). Effect of food processing on the physicochemical properties of dietary fibre. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 15(3), 233–245. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2016.3.23>
- Palabiyik, I., Yildiz, O., Toker, O. S., Cavus, M., Ceylan, M. M., & Yurt, B. (2016). Investigating the addition of enzymes in gluten-free flours - The effect on pasting and textural properties. *Lwt*, 69, 633–641. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.019>
- Perez-Quirce, S., Lazaridou, A., Biliaderis, C. G., & Ronda, F. (2017). Effect of β -glucan molecular weight on rice flour dough rheology, quality parameters of breads and in vitro starch digestibility. *LWT-Journal of Food Science and Technology*, 82, 446–453. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.065>
- 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>
- Pietiäinen, S., Moldin, A., Ström, A., Malmberg, C., & Langton, M. (2022). Effect of physicochemical properties, pre-processing, and extraction on the functionality of wheat bran arabinoxylans in breadmaking – A review. *Food Chemistry*, 383(September 2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132584>
- Pirzadah, T. B., & Rehman, R. U. (2021). Journey of Buckwheat to Functional Food Sector. In *Buckwheat: Forgotten Crop for the Future* (pp. 31–58). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003089100-3>
- Przybylski, R., & Gruczyńska, E. (2009). A Review of Nutritional and Nutraceutical Components of Buckwheat. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3(1), 11–22.
- Radovic, S. R., Maksimovic, V. R., & Varkonji-Gašić, E. I. (1996). Characterization of Buckwheat Seed Storage Proteins. *J.Agric. Food Chem.*, 972–974.
- Rajasekaran, R., & Francis, N. (2021). Genetic and genomic resources for improving proso millet (*Panicum miliaceum* L.): a potential crop for food and nutritional security. *Nucleus (India)*, 64(1), 21–32. <https://doi.org/10.1007/s13237-020-00331-2>
- Réka, J., & András, S. (2006). A gyors vizskoanalizátoros technika alkalmazási lehetőségei. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 52(4), 208–215.
- Renzetti, S., & Rosell, C. M. (2016). Role of enzymes in improving the functionality of proteins in non-wheat dough systems. *Journal of Cereal Science*, 67, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.09.008>

- Repo-Carrasco-Valencia, R. (2016). Dietary Fibre and Bioactive Compounds of Kernels. *Pseudocereals: Chemistry and Technology*, 71–93. <https://doi.org/10.1002/9781118938256.CH4>
- Ronda, F., Perez-Quirce, S., Lazaridou, A., & Biliaderis, C. G. (2015). Effect of barley and oat β -glucan concentrates on gluten-free rice-based doughs and bread characteristics. *Food Hydrocolloids*, 48, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.031>
- Ronda, F., Pérez-Quirce, S., & Villanueva, M. (2017). Rheological Properties of Gluten-Free Bread Doughs: Relationship With Bread Quality. In *Advances in Food Rheology and Its Applications*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00012-7>
- Rosentrater, K. A., & Evers, A. D. (2018). Wet milling: Separating starch, gluten (protein) and fibre. *Kent's Technology of Cereals*, 839–860. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100529-3.00014-1>
- Rosicka-Kaczmarek, J., Komisarczyk, A., Nebesny, E., & Makowski, B. (2016). The influence of arabinoxylans on the quality of grain industry products. *European Food Research and Technology*, 242(3), 295–303. <https://doi.org/10.1007/s00217-015-2549-0>
- Rudjito, R. C., Ruthes, A. C., Jiménez-Quero, A., & Vilaplana, F. (2019). Feruloylated arabinoxylans from wheat bran: Optimization of extraction process and validation at pilot scale. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 7(15), 13167–13177. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b02329>
- Saleh, A. S. M., Zhang, Q., Chen, J., & Shen, Q. (2013). Millet grains: Nutritional quality, processing, and potential health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12(3), 281–295. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12012>
- Schoenlechner, R., Drausinger, J., Ottenschlaeger, V., Jurackova, K., & Berghofer, E. (2010). Functional Properties of Gluten-Free Pasta Produced from Amaranth, Quinoa and Buckwheat. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(4), 339–349. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0194-0>
- Serna-Saldivar, S. O., & Espinosa-Ramírez, J. (2018). Grain structure and grain chemical composition. In *Sorghum and Millets: Chemistry, Technology, and Nutritional Attributes* (pp. 85–129). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811527-5.00005-8>
- Sharma, N., Sahu, J. K., Bansal, V., Esua, O. J., Rana, S., Bhardwaj, A., Punia Bangar, S., & Adedeji, A. A. (2023). Trends in millet and pseudomillet proteins - Characterization, processing and food applications. In *Food Research International* (Vol. 164). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112310>

- Shimray, C. A., Gupta, S., & Venkateswara Rao, G. (2012). Effect of native and germinated finger millet flour on rheological and sensory characteristics of biscuits. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(11), 2413–2420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03117.x>
- Si, X., Li, T., Zhang, Y., Zhang, W., Qian, H., Li, Y., Zhang, H., Qi, X., & Wang, L. (2021). Interactions between gluten and water-unextractable arabinoxylan during the thermal treatment. *Food Chemistry*, 345(August 2020), 128785. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128785>
- Singh, K. P., Mishra, A., & Mishra, H. N. (2012). Fuzzy analysis of sensory attributes of bread prepared from millet-based composite flours. *Lwt*, 48(2), 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.03.026>
- Singh, N. K., Shepherd, K. W., & Cornish, G. B. (1991). A simplified SDS—PAGE procedure for separating LMW subunits of glutenin. *Journal of Cereal Science*, 14(3), 203–208. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(09\)80039-8](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(09)80039-8)
- Sinkovič, L., Kokalj, D., Vidrih, R., & Meglič, V. (2020). Milling fractions fatty acid composition of common (*Fagopyrum esculentum* Moench) and tartary (*Fagopyrum tataricum* (L.) Gaertn) buckwheat. *Journal of Stored Products Research*, 85. <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2019.101551>
- Skendi, A., Biliaderis, C. G., Lazaridou, A., & Izydorczyk, M. S. (2003). Structure and rheological properties of water soluble β -glucans from oat cultivars of *Avena sativa* and *Avena bysantina*. *Journal of Cereal Science*, 38(1), 15–31. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(02\)00137-6](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(02)00137-6)
- Skrabanja, V., Kreft, I., Golob, T., Modic, M., Ikeda, S., Ikeda, K., Kreft, S., Bonafaccia, G., Knapp, M., & Kosmelj, K. (2004). Nutrient Content in Buckwheat Milling Fractions. *Cereal Chemistry*, 81(2), 172–176. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.2.172>
- Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., & Obendorf, R. L. (2001). Buckwheat seed milling fractions: Description, macronutrient composition and dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 33(3), 271–278. <https://doi.org/10.1006/jcrs.2001.0366>
- Sun, T., Li, J., Qin, Y., Xie, J., Xue, B., Li, X., Gan, J., Bian, X., & Shao, Z. (2020). *Rheological and functional properties of oat β -glucan with different molecular weight*. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2020.127944>

- Sytar, O., Brestic, M., Zivcak, M., & Phan Tran, L.-S. (2016). The Contribution of Buckwheat Genetic Resources to Health and Dietary Diversity. In *Current Genomics* (Vol. 17).
- Tang, C. H. (2007). Functional properties and in vitro digestibility of buckwheat protein products: Influence of processing. *Journal of Food Engineering*, 82(4), 568–576. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.029>
- Taylor, J. R. N. (2018). Sorghum and millets: Taxonomy, history, distribution, and production. In *Sorghum and Millets: Chemistry, Technology, and Nutritional Attributes* (pp. 1–21). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811527-5.00001-0>
- Taylor, J. R. N., & Emmambux, M. N. (2008). Gluten-free foods and beverages from millets. In *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-012373739-7.50008-3>
- Taylor, J. R. N., & Taylor, J. (2017). Proteins From Sorghum and Millets. *Sustainable Protein Sources*, 79–104. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802778-3.00005-6>
- Taylor, J. R. N., Taylor, J., Campanella, O. H., & Hamaker, B. R. (2016). Functionality of the storage proteins in gluten-free cereals and pseudocereals in dough systems. *Journal of Cereal Science*, 67, 22–34. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2015.09.003>
- Tomar, M., Bhardwaj, R., Verma, R., Singh, S. P., dahuja, A., Krishnan, V., Kansal, R., Yadav, V. K., Praveen, S., & Sachdev, A. (2022). Interactome of millet-based food matrices: A review. *Food Chemistry*, 385(February), 132636. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132636>
- Tomic, N., Dojnov, B., Miocinovic, J., Tomasevic, I., Smigic, N., Djekic, I., & Vujcic, Z. (2017). Enrichment of yoghurt with insoluble dietary fiber from triticale – A sensory perspective. *LWT*, 80, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.008>
- Tsatsaragkou, K., Protonotariou, S., & Mandala, I. (2016). Structural role of fibre addition to increase knowledge of non-gluten bread. *Journal of Cereal Science*, 67, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.10.003>
- Valencia-Chamorro, S., Maldonado-Alvarado, P., & Sotomayor-Grijalva, C. (2016). Lipids of Kernels. *Pseudocereals: Chemistry and Technology*, 119–139. <https://doi.org/10.1002/9781118938256.CH6>
- Van Hung, P., Maeda, T., & Morita, N. (2009). Buckwheat Starch: Structure and Characteristics-A Review. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3(1), 23–28.

- Wang, H., Li, D., Wan, C., Luo, Y., Yang, Q., Gao, X., & Feng, B. (2021). Improving the Functionality of Proso Millet Protein and Its Potential as a Functional Food Ingredient by Applying Nitrogen Fertiliser. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 1332, 10(6), 1332. <https://doi.org/10.3390/FOODS10061332>
- Wang, J., Bai, J., Fan, M., Li, T., Li, Y., Qian, H., Wang, L., Zhang, H., Qi, X., & Rao, Z. (2020). Cereal-derived arabinoxylans: Structural features and structure–activity correlations. *Trends in Food Science and Technology*, 96(December 2019), 157–165. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.016>
- Wang, L., Gulati, P., Santra, D., Rose, D., & Zhang, Y. (2018). Nanoparticles prepared by proso millet protein as novel curcumin delivery system. *Food Chemistry*, 240, 1039–1046. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.08.036>
- Wang, Q., Sheng, X., Shi, A., Hu, H., Yang, Y., Liu, L., Fei, L., & Liu, H. (2017). β -Glucans: Relationships between modification, conformation and functional activities. *Molecules*, 22(2). <https://doi.org/10.3390/molecules22020257>
- Wijngaard, H. H., & Arendt, E. K. (2006). Buckwheat. In *Cereal Chemistry* (Vol. 83, Issue 4, pp. 391–401). <https://doi.org/10.1094/CC-83-0391>
- Wrigley, C. (2016). *Encyclopedia of food grain Second Edition*.
- Wu, K., Gan, R., Dai, S., Cai, Y. Z., Corke, H., & Zhu, F. (2016). Buckwheat and Millet Affect Thermal, Rheological, and Gelling Properties of Wheat Flour. *Journal of Food Science*, 81(3), E627–E636. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13240>
- Xie, L., Chen, N., Duan, B., Zhu, Z., & Liao, X. (2008). Impact of proteins on pasting and cooking properties of waxy and non-waxy rice. *Journal of Cereal Science*, 47(2), 372–379. <https://doi.org/10.1016/J.JCS.2007.05.018>
- Xue, F., Wu, Z., Tong, J., Zheng, J., & Li, C. (2017). Effect of combination of high-intensity ultrasound treatment and dextran glycosylation on structural and interfacial properties of buckwheat protein isolates. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 81(10), 1891–1898. <https://doi.org/10.1080/09168451.2017.1361805>
- Yañez, G. A., Walker, C. E., & Nelson, L. A. (1991). Some chemical and physical properties of proso millet (*Panicum milliaceum*) starch. *Journal of Cereal Science*, 13(3), 299–305. [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(09\)80008-8](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(09)80008-8)
- Yuan, Y., Xiang, J., Zheng, B., Sun, J., Luo, D., Li, P., & Fan, J. (2022). Diversity of phenolics including hydroxycinnamic acid amide derivatives, phenolic acids contribute to

antioxidant properties of proso millet. *LWT*, 154.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112611>

Zhang, F., Laraib, Y., Chai, X., Shen, Y., Wang, X., Li, S., Guo, E., Diao, X., & Shen, Q. (2020). The effect of reducing agent DTT on pasting, hydration and microstructure properties of foxtail millet. *Journal of Cereal Science*, 95, 103044.
<https://doi.org/10.1016/J.JCS.2020.103044>

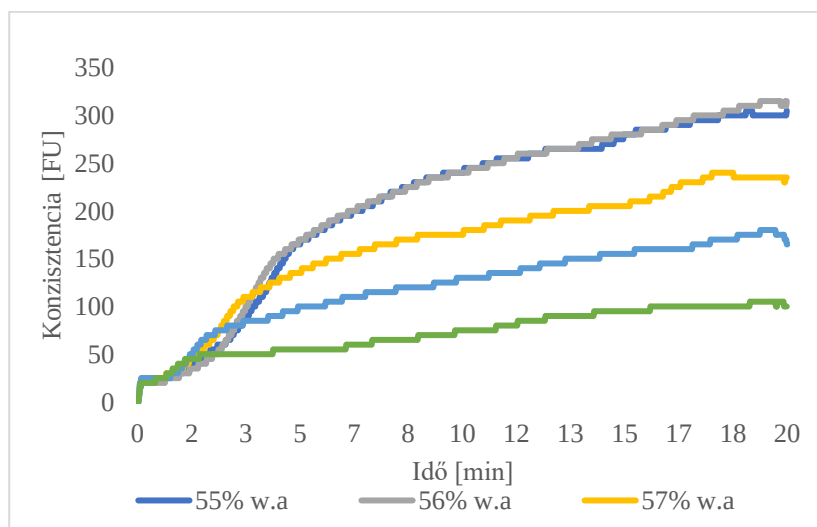
Zheng, G. H., Sosulskib, F. W., & Tyler, R. T. (1998). Wet-milling, composition and functional properties of starch and protein isolated from buckwheat groats. In *Food Research International* (Vol. 30, Issue I).

Zhu, F. (2021). Buckwheat proteins and peptides: Biological functions and food applications. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 110, pp. 155–167). Elsevier Ltd.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.081>

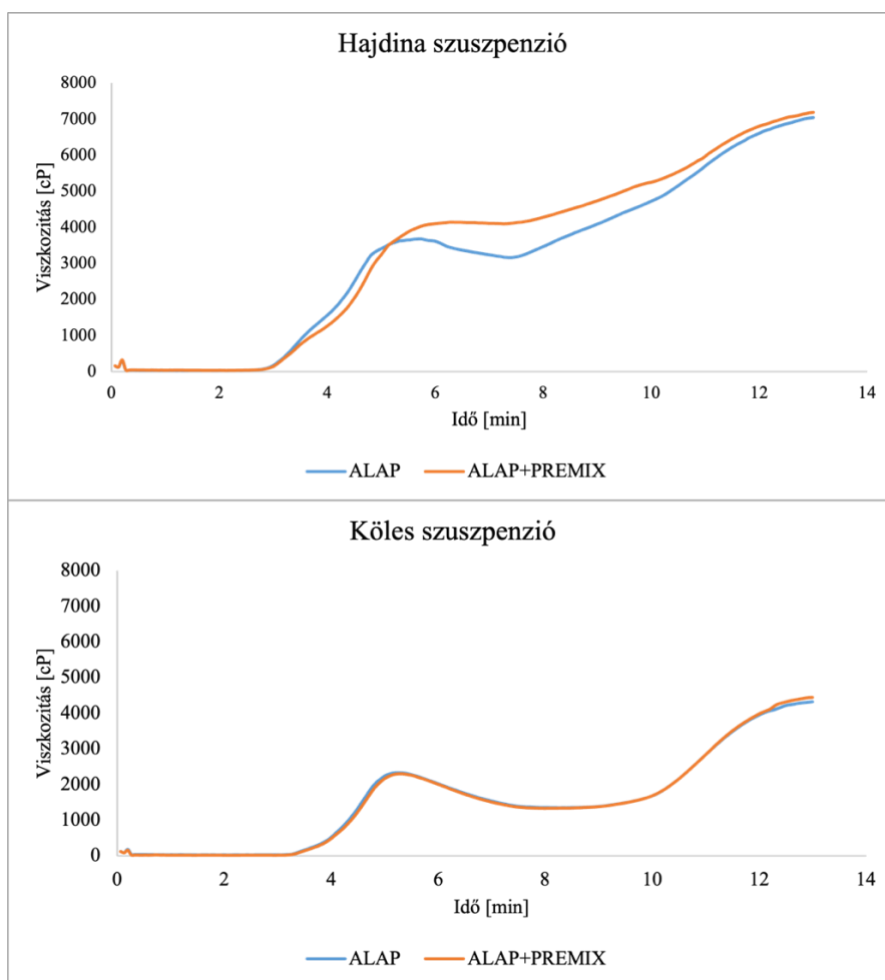
Zielke, C., Lu, Y., & Nilsson, L. (2019). Aggregation and microstructure of cereal β -glucan and its association with other biomolecules. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 560, 402–409. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2018.10.042>

10. Mellékletek

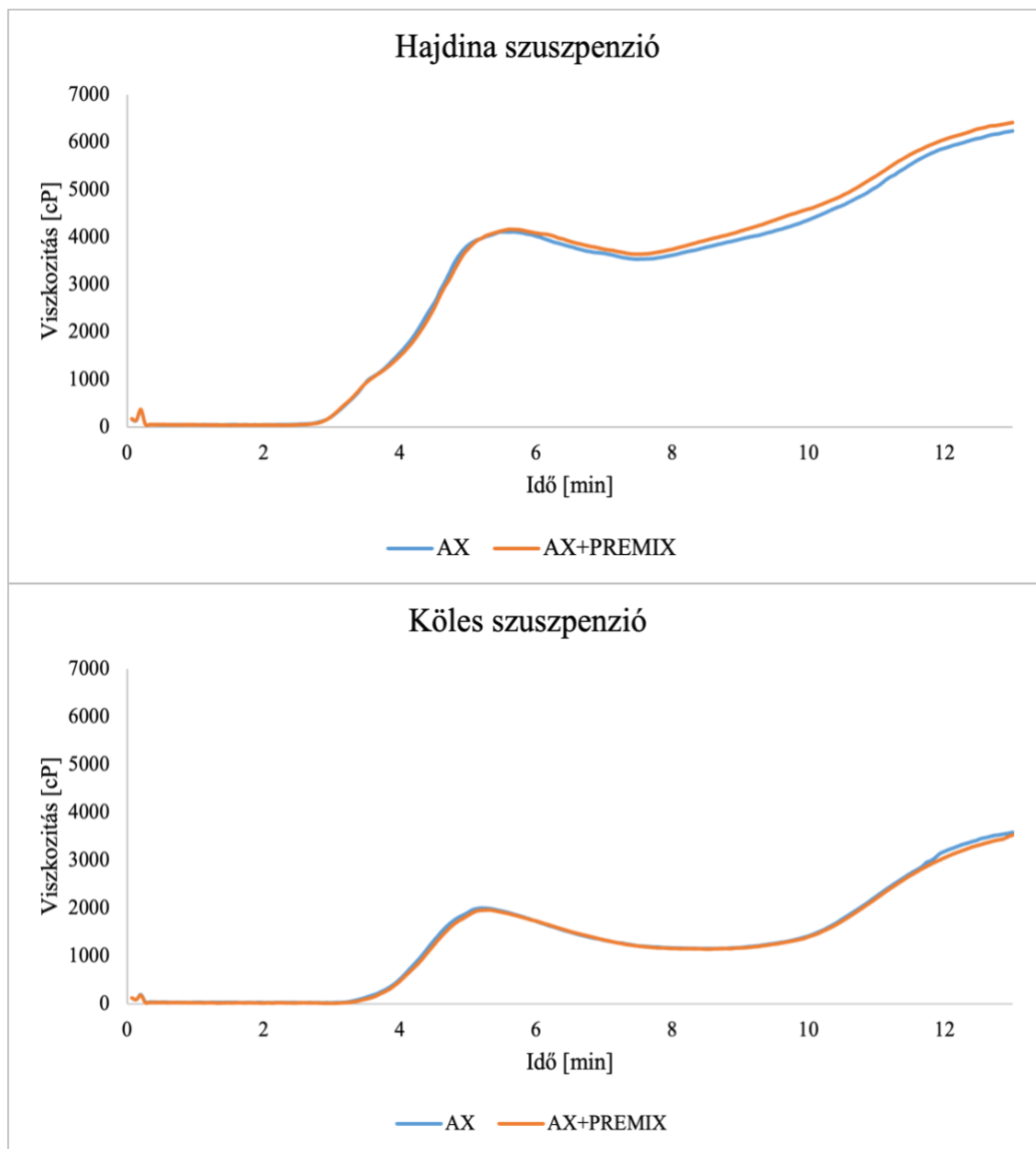
1. melléklet Kölesliszt konzisztenciája eltérő vízabszorpció értékek hatására



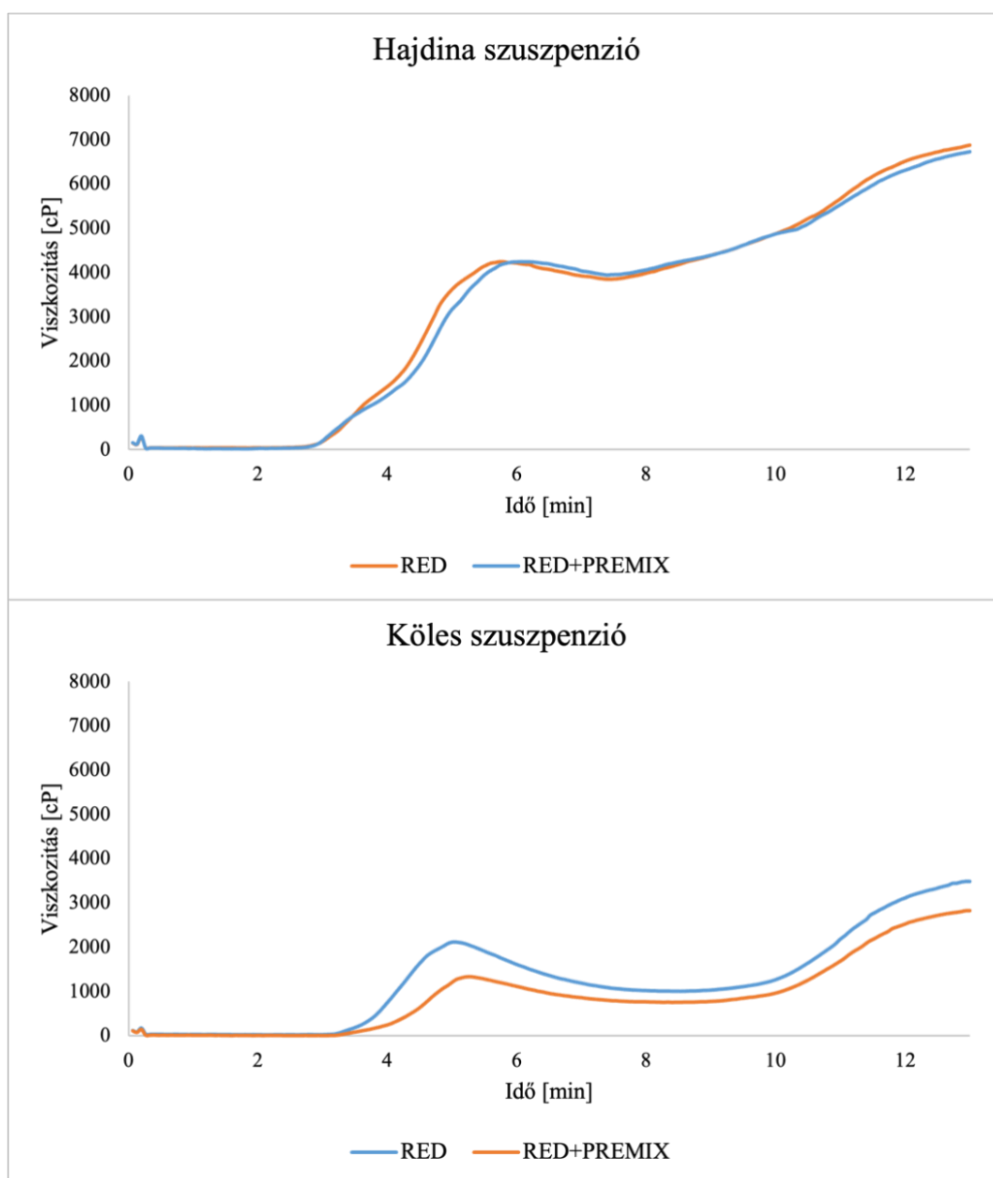
2. melléklet Premix hatása a natív fehér hajdina- és kölesliszt RVA görbéjére



3. melléklet Premix hatása a natív fehér hajdina- és kölesliszt RVA görbéjére arabinoxilán adagolása esetén



4. melléklet Premix hatása a natív fehér hajdina- és kölesliszt RVA görbéjére redukálószer alkalmazása esetén



5. melléklet Micro-doughLAB mérések nevezetes paraméterei β -glükán adagolása esetén, ahol ^{a-f} különböző betűk a szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) jelölik a különböző adagolások és kezelések között, egy adott liszt típus (hajdina, köles) esetén, ALAP – natív, 2%BG – 2%/liszttömeg BG adagolás, 5%BG – 5%/liszttömeg BG adagolás

Minta	Adagolás	WA%	Maximális konzisztencia (FU)	Tészta kialakulási idő (min)	Stabilitás (min)	Ellágyulás (FU)
Hajdina	ALAP	64	495±4 ^a	4,2±0,5 ^a	45,0±0,0 ^a	35,0±0,0
	2% BG		545±0,0 ^b	1,1±0,0 ^b	47,5±3,5 ^a	45,0±0,0
	5% BG		830±0 ^c	1,2±0,0 ^b	150±0 ^b	115,0±0,0
Köles	ALAP	58	178±4 ^a	19,9±0,0 ^a	2,5±3,5 ^a	nd,
	2% BG		323±4 ^b	11,3±0,0 ^b	15,0±0,0 ^a	15,0±0,0
	5% BG		665±0 ^c	3,7±0,3 ^c	185±21 ^b	185,0±0,1

6. melléklet Micro-doughLAB mérések nevezetes paraméterei arabinoxilán adagolása esetén, ahol ^{a-f} különböző betűk a szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) jelölik a különböző adagolások és kezelések között, egy adott liszt típus (hajdina, köles) esetén, ALAP – natív fehérliszt, RED – redukált alapliszt, REDOX – Redukált majd visszaoxidált alapliszt, AX – AX adagolt liszt, AX+RED – AX adagolt és redukálószerrel kezelt liszt, AX+REDOX – AX adagolt, redukált majd visszaoxidált liszt

Minta	Adagolás	WA%	Maximális konzisztencia (FU)	Tészta kialakulási idő (min)	Stabilitás (min)	Ellágyulás (FU)
Hajdina	ALAP	64	515±7 ^a	4,1±0,4 ^{ab}	50,0±7,1 ^a	50,0±7,1
	RED		510±7 ^a	3,3±0,4 ^b	82,5±3,5 ^b	82,5±3,5
	REDOX		528±18 ^a	5,0±1,3 ^{ab}	50,0±7,1 ^a	52,5±3,5
	AX		593±4 ^b	10,1±0,7 ^{ac}	17,5±3,5 ^c	17,5±10,6
	AX+RED		615±21 ^b	2,2±0,0 ^b	72,5±10,6 ^{ab}	72,6±10,6
	AX+REDOX		590±0 ^b	13,5±3,8 ^c	7,5±10,6 ^c	7,5±3,5
Köles	ALAP	58	210±7 ^a	19,9±0,1 ^a	0,0±0,0 ^a	nd.
	RED		260±14 ^{ab}	19,1±0,7 ^a	10,0±0,0 ^a	10,0±0,0
	REDOX		268±20 ^b	19,0±0,2 ^a	3,3±5,7 ^a	nd.
	AX		378±11 ^c	14,9±1,1 ^{ab}	0,0±0,0 ^a	nd.
	AX+RED		383±11 ^c	11,0±3,5 ^b	0,0±0,0 ^a	nd.
	AX+REDOX		395±0 ^c	15,0±0,4 ^{ab}	7,5±3,5 ^a	7,5±3,5

7. melléklet A fehér hajdina- és kölesliszt RVA készülékkel mért viszkoamilográfjainak jellegzetes paramétereit β -glükán adagolás esetén, ahol ahol ^{a-f} különböző betűk a szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) jelölik a különböző adagolások és kezelések között, egy adott liszt típus (hajdina, köles) esetén, ALAP – natív, 2%BK – 2%/liszttömeg BK adagolás, 5%BK – 5%/liszttömeg BK adagolás, 8%BK – 8%/liszttömeg BK adagolás

Minta	Adagolás	Peak viscosity [cP]	Trough [cP]	Final viscosity [cP]	Peak time [min]	Pasting temperature [°C]
		Csúcsviszkozitás [cP]	Forró térsza viszkozitás [cP]	Végő viszkozitás [cP]	Csirizedési idő [min]	Csirizedési hőmérséklet [°C]
Hajdina	ALAP	4116±21 ^a	3979±11 ^a	7417±63 ^a	6,07±0,28 ^a	71,9±0,0 ^a
	2% BK	4821±98 ^b	4467±155 ^b	7515±97 ^a	6,24±0,19 ^a	72,1±0,5 ^a
	5% BK	5974±40 ^c	5306±21 ^c	8740±19 ^b	7,00±0,00 ^b	72,3±0,6 ^a
	8% BK	6563±48 ^d	5874±35 ^d	9746±128 ^c	6,90±0,05 ^b	73,1±0,5 ^a
Köles	ALAP	2428±29 ^a	1462±23 ^a	4837±19 ^a	5,36±0,08 ^a	77,2±0,5 ^a
	2% BK	2241±8 ^b	1541±13 ^a	4536±55 ^b	5,70±0,05 ^b	77,9±0,4 ^a
	5% BK	2494±1 ^a	1797±16 ^b	4466±10,6 ^b	6,03±0,05 ^c	78,6±0,5 ^a
	8% BK	2975±21 ^c	2011±76 ^c	4837±38 ^a	5,93±0,09 ^{bc}	78,6±0,5 ^a

8. melléklet A fehér hajdina- és kölesliszt RVA készülékkel mért viszkoamilográfiájainak jellegzetes paraméterei arabinoxilán adagolás esetén, ahol ^{a-f} különböző betűk a szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$) jelölik a különböző adagolások és kezelések között, egy adott liszt típus (hajdina, köles) esetén, ALAP – natív fehér liszt, RED – redukált alapliszt, REDOX – Redukált majd visszaoxidált alapliszt, AX – AX adagolt liszt, AX+RED – AX adagolt és redukálószerrel kezelt liszt, AX+REDOX – AX adagolt, redukált majd visszaoxidált liszt

Minta	Adagolás	Peak viscosity [cP]	Trough [cP]	Final viscosity [cP]	Peak time [min]	Pasting temperature [°C]
		Csúcsviszkozitás [cP]	Forró tészta viszkozitás [cP]	Végso viszkozitás [cP]	Csirizesedési idő [min]	Csirizesedési hőmérséklet [°C]
Hajdina	ALAP	4148±84 ^{ab}	4088±75 ^a	7183±77 ^a	6,38±0,19 ^a	71,8±0,0 ^a
	RED	4356±94 ^b	3950±68 ^{ab}	6813±82 ^b	6,00±0,24 ^{ab}	71,5±0,9 ^a
	REDOX	4016±31 ^a	3859±57 ^{abc}	6802±122 ^b	6,27±0,09 ^{ab}	72,7±0,0 ^a
	AX	4163±48 ^{ab}	3634±47 ^c	6410±50 ^c	5,67±0,09 ^b	71,4±0,6 ^a
	AX+RED	4207±8 ^{ab}	3682±73 ^{bc}	5788±38 ^d	5,97±0,24 ^{ab}	71,4±0,6 ^a
	AX+REDOX	4063±131 ^a	3547±178 ^c	6033±105 ^d	5,90±0,14 ^{ab}	71,9±1,2 ^a
Köles	ALAP	2297±46 ^a	1328±31 ^a	4435±41 ^a	5,27±0,07 ^a	77,2±0,4 ^a
	RED	1336±38 ^b	756±18 ^b	2823±25 ^b	5,27±0,00 ^a	77,5±0,1 ^a
	REDOX	2319±16 ^a	1361±28 ^a	4655±51 ^c	5,30±0,05 ^a	77,1±0,6 ^a
	AX	1985±26 ^c	1147±15 ^c	3560±34 ^d	5,24±0,08 ^a	77,5±0,7 ^a
	AX+RED	1829±51 ^d	812±45 ^b	2624±24 ^e	5,00±0,00 ^b	77,5±1,1 ^a
	AX+REDOX	2110±10 ^e	1286±25 ^a	3960±49 ^f	5,33±0,00 ^a	77,5±0,0 ^a