

DIPLOMADOLGOZAT

Máté Balázs János

Hallgató neve

2025.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

**Élelmiszerbiztonsági és -minőségi mérnök mesterképzési
szak**

**Különböző növényi eredetű rezisztens keményítők összehasonlító
vizsgálata**

Belső konzulens: Kiss Zsuzsanna
egyetemi adjunktus

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Biomérnök és Erjedésipari
Technológiai Tanszék

Külső konzulens: -
-

Készítette: Máté Balázs János

Budapest

2025.

Tartalom

1. Bevezetés és célkitűzések.....	1
2. Szakirodalmi áttekintés	3
2.1 A keményítő felépítése	3
2.2 A rezisztens keményítő.....	5
2.2.1 A rezisztens keményítők előfordulása	6
2.2.2. Az élelmi rost definíciója; rezisztens keményítő kimutatása	8
2.2.3 Rezisztens keményítők előállítása.....	18
2.2.4 Élettani hatások, táplálkozástudományi jelentőség.....	20
2.2.5 Élelmiszeripari alkalmazása és rezisztens keményítőkön végzett vizsgálatok	23
3. Anyagok és alkalmazott módszerek	30
3.1 Különböző növényi eredetű alapanyagok alfa-amiláz enzimmel történő bontása	30
3.2 Redukálócukor tartalom meghatározása Schoorl-Regenbogen módszer szerint	33
3.3 Nyers tészta reológiai paramétereinek vizsgálata doughLAB műszerrel.....	35
3.4 Liszt és lisztkeverék nedvességtartalmának vizsgálata	40
4. Eredmények és értékelésük	42
4.1 Az alapanyagok alfa-amiláz enzimmel történő bontásának eredménye.....	42
4.2 A redukáló cukortartalom meghatározás eredményei	43
4.3. Lisztkeverékek nedvességtartalom eredményei	48
4.4 Nyers tészta reológiai változásának eredményei.....	49
4.4.1 Nyers tészták reológiai paramétereit	49
5. Következtetések és javaslatok	53
6. Összefoglalás.....	55
7. Irodalomjegyzék.....	57
8. Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	63
9. Köszönetnyilvánítás	65

1. Bevezetés és célkitűzések

A fejlett országok étkezési szokásai jelentős változáson mentek át az elmúlt évtizedekben. Ha csak Magyarországot nézzük, egy 2009-es kutatás szerint az itt élő emberek több zsírt és kevesebb rostot fogyasztanak az ajánlottnál (Szeitz-Szabó et al., 2009).

A könnyen emészthető, nagy kalória-tartalmú élelmiszerek napi fogyasztása az elhízás világméretű elterjedéséhez vezetett. Az elhízás megnöveli a magas vérnyomás, diszlipidémia, kettes típusú cukorbetegség, szív- és más krónikus betegségek előfordulásának kockázatát (Nugent, 2005). A rostfogyasztás egy lehetséges megoldása lehet ezen betegségek kockázatának csökkentésére.

A brit kormány útmutatása szerint 30 gramm rostot kellene napi szinten fogyasztani a kiegyensúlyozott, egészséges diéta részeként, viszont a legtöbb felnőtt csak a 20 gramm körüli értéket éri el (NHS, 2022). Sok bizonyíték támasztja alá, hogy a bőséges rostfogyasztás összefüggésben van szívbetegségek és a bélrák alacsonyabb kockázatával.

Manapság felkapott témának számít a bélflóra egyensúlyának fenntartása, a bél mikrobiomjának egészséges állapotának kialakítása és megőrzése. A legtöbb ember már tudja, hogy ehhez nem csak a probiotikus készítmények fogyasztásával tudunk hozzájárulni, hanem rostok bevitelével is. A rost a vékonybelet elhagyva teljesen vagy részben fermentálódik a vastagbélben (Anon, 2001). Amikor ételmi rostról beszélünk, nagy anyagcsoportot fedünk le, amibe a rezisztens keményítő is beletartozik.

A rezisztens keményítő komoly hírnevet szerzett az elmúlt időszakban, amibe nemcsak a bélflóra megfelelő állapotának fenntartásának támogatása tartozik bele, hanem az is, hogy segít a fogyásban. A rezisztens keményítőnek több fajtája ismert már. Vannak olyan termények, amelyek nagyobb mennyiségben tartalmazzák, de lehetséges az is, hogy egyszerű konyhai feldolgozási lépésekkel otthon vagy komoly technológiai beavatkozásokkal a feldolgozó üzemben érjünk el nagyobb rezisztenciát keményítő tartalmú élelmiszerekben.

Ez a dolgozat azt hivatott bemutatni, hogy milyen típusai vannak a rezisztens keményítőnek, azok hol találhatóak és hogyan lehet őket előállítani. Az egészségre gyakorolt hatások mellett kitérek a jogi szabályozásokra, és hogy hogyan tartozik a rost fogalmába a rezisztens keményítő. Fontosnak éreztem leírni a különböző kimutatási módszereket a rost esetén, és hogy mely metódusok milyen típusára alkalmazhatók. Az egyik kísérletem során a redukáló cukrok lebontásával és a visszamaradó mennyiséggel következtettem a lehetséges ballasztanyag tartalomra különböző, nagy keményítőtartalmú termények, alapélelmiszerek esetén. A rezisztens keményítő élelmiszeripari alkalmazhatóságát kenyér reológiai paramétereinek

vizsgálatán keresztül mutattam be különböző adagolási mennyiségek mellett. Így szeretném elkezdni bebizonyítani azt, hogy lehetséges a pékáruk rosttartalmának növelése a nem hagyományos, nagy rosttartalmú alapanyagok adagolása nélkül is.

2. Szakirodalmi áttekintés

A szakirodalom már az 1980-as évek óta foglalkozik a keményítők rezisztens részének jelenlétével. Ennek felfedezése Englyst és munkatársai (1982) nevéhez köthető. A rezisztens keményítők kimutatására azóta számos kísérletet végeztek, és több analitikai módszert is kidolgoztak annak érdekében, hogy a lehető legpontosabb mennyiségi meghatározást lehessen alkalmazni. Az ipar előszeretettel használja a keményítőket, kifejezetten a kémiai módosítással előállított fajtákat annak érdekében, hogy a fizikai tulajdonságait megváltoztassa a termékeknek (Björck et al., 1989). A rezisztens keményítők egyik lehetséges felhasználása a rosttartalom növelése a különböző termékekben.

2.1 A keményítő felépítése

A keményítő számít a növények legfőbb tartalék tápanyagának, amelynek fogyasztása az emberek nagy hányadánál a szénhidrát alapú kalóriabevitel kétharmadát teszi ki (Whistler, 2000).

A keményítő a szénhidrátok fő étrendi forrása, a növények legfontosabb raktározott poliszacharidja. Félig kristályos, sejtközi vízben oldhatatlan granulátumok formájában van jelen a zöldségek kloroplasztiszában, illetve a magvak, gumók és hüvelyesek amiloplasztiszában (Ellis et al., 1998). Egy glükán homopolimernek számít, amely felépül nagyjából egynegyed rész amilózból, háromnegyed rész amilopektinből, nagyon kis arányú lipiddel és fehérjével kiegészülve (Ahuya et. al, 2013).

Kémiailag a keményítő olyan poliszacharid, amely glükózegységekből épül fel, ezeket pedig α -D-(1-4) és/vagy α -D-(1-6) és/vagy α -D-(1-3) glikozidos kötések kapcsolják össze (BNF, 1990).

Az amilóz egy 1000-10000 D-glükopiranozil egységből álló hosszú lánc. A nagyobb molekulák nagyon kis mértékű elágazással rendelkezhetnek (French, 1984), és a glükózok alfa-D-(1-4) kötéssel kapcsolódnak egymáshoz (BNF, 1990). Ezzel szemben az amilopektin molekulák szerkezete erősen elágazó, de nem gömb alakú (French, 1984), illetve alfa-D-(1-4), alfa-D-(1-6) és α -D-(1 \rightarrow 3) glikozidos kötésekkel épül fel (BNF, 1990).

A polimerek szerkezeti jellemzői lényegesen meghatározzák a keményítő felhasználási lehetőségeit és tulajdonságait (Ahuya et. al, 2013), kiemelve a keményítő fő komponenseinek arányát. Az élelmiszeripari termék tulajdonságait nagy mértékben befolyásolja az ahhoz felhasznált, különböző amilóz és amilopektin tartalmú keményítő (Rakszegi, 2014).

A waxy búzából előállított keményítő viszkoelasztikus tulajdonságai különbséget mutattak a normál búzakeményítőhöz viszonyítva. A waxy (vagy amilózmentes) búzakeményítő csirizedési kezdőhőmérséklete és csúcviszkozitása alacsonyabb, mint a normál búzakeményítőé, illetve kicsivel nagyobb kristályossággal rendelkezik (Hayakawa, 1997).

A kis amilóz tartalmú alapanyagból előállított keményítő az élelmiszerek eltarthatóságát növeli, a nagy amilóz tartalom rezisztens keményítő mennyiségének növeléséhez járul hozzá, így javítva annak rosttartalmát (Rakszegi, 2014).

A keményítő a növényekben granulátumok formájában tárolódik, és ahogy korábban is említettem, az energiaforrás szerepét tölti be. A botanikai eredet függvényében rendkívül eltérnek a granulátumok alakjukban és méretükben. Példának okáért a rizskeményítő granulátumai szögletesebbek és kisebbek (maximum 10 μm átmérőjűek), mint a burgonyakeményítő granulátumai (ovális alak és maximum 100 μm átmérőjűek) (Jenkins, 1993).

Jellegzetes mintázatokat véltek felfedezni a natív keményítő granulátumok röntgen diffrakcióval történő vizsgálati során. Ezeket két fő típusba sorolták. Az egyik az A típusú mintázat, mely jellemző a búza-, kukorica- és rizskeményítőre. A másik tipikus mintázat a B típusú, mely a gumó-, szár- és gyümölcskeményítő esetén jellegzetes (burgonya és banán). A C típusú mintázat az A és B típus keverékeként jellemezhető (French, 1984). Ez a mintázat a legtöbb hüvelyes növényre jellemző (Champ et al., 2003).

A kereskedelmi forgalomban lévő keményítők általában a következő növényekből készülnek: kukorica, búza, burgonya, tapióka, rizs, édesburgonya (Whistler, 2000).

A módosulás nélküli keményítőt azoknak az élelmiszereknek az előállításához használják, amelyekhez szükséges a sűrítés vagy a zselésítés, mint például a piték töltelékeinek, pudingoknak és salátaönteteknek az elkészítése. Az előcsirizesített keményítőt instant pudingok, tortabevonók elkészítéséhez használják, mert ezekhez a termékekhez szükséges a sűrítés, de azt főzés nélkül kell elérni (Whistler, 2000).

Az a felismerés, hogy a keményítő felszívódása és emésztése nem teljes mértékben történik meg, egyre nagyobb érdeklődés kiváltását eredményezte azon keményítőfrakció iránt, amelyek nem emészthetőek (Cummings és Englyst, 1991). Ezek a rezisztens keményítők, melyek hasonló élettani funkciók kiváltását eredményezik, mint a diétás rostok (Eerlingen és Delcour, 1995).

A keményítők osztályozását az alapján lehet elvégezni, hogy miként viselkednek egy enzimekkel történő inkubáció alatt úgy, hogy előzetesen nem voltak kezelve diszpergáló anyaggal (Berry, 1986). Különböző csoportokat tudunk megállapítani ez alapján: gyorsan

emészthető, lassan emészthető és rezisztens keményítők. A rezisztens keményítők további csoportokra bonthatók (Englyst et al., 1992).

A gyorsan emészthető keményítő (rapidly digestible starch, RDS):

- Amorf és diszpergált keményítőből épül fel.
- Nedves hővel főzött keményítőtartalmú élelmiszerek alkotóeleme, például a burgonyáé.
- 20 perc alatt glükózmolekulákra bomlik az enzimes emésztés során.

A lassan emészthető keményítő (slowly digestible starch, SDS):

- Teljes mértékben emésztésre kerül a vékonybélben, viszont ez lassabban történik meg.
- Ebbe a csoportba tartozik többféle keményítő: A- és C-típusú kristályos szerkezetű nyers keményítő, amely a gabonafélékben található; a B-típusú keményítő; és a fizikailag hozzáférhetetlen amorf keményítő.
- Mérését úgy lehet elvégezni, hogy további 100 percig enzimatikusan emésztjük, és csak ezután alakul glükózzá.

A rezisztens keményítő (resistant starch, RS):

- Az RS azon keményítőfrakciót jelenti, amely 120 percig tartó enzimes inkubációnak is ellenáll és nem hidrolizálódik (Englyst et al., 1992).
- A vastagbélbe jutó RS fermentálódhat a bél mikroflórája által, ezért a rezisztens keményítő meghatározásához hozzá kell tenni, hogy elkerüli az emésztést a vékonybélben.
- Kémiai mérése úgy történik, hogy a homogenizált minta teljes keményítőtartalmából kivonásra kerül az RDS és az SDS, amelyet olyan mintán határoztak meg, melyet nem homogenizáltak előzetesen.

2.2 A rezisztens keményítő

A rezisztens keményítő a diétás rost egyik fajtája, melynek fogalmába beletartozik az összes olyan keményítő és annak bomlásterméke, amelyek nem szívódnak fel az egészséges ember vékonybelében, illetve élettani hatásai közel állnak a rostokéhoz (Csapó et al., 2021). A vastagbélbe kerülve részben vagy teljesen fermentálódik (McCleary, 2013).

Ebből a definícióból kiindulva rezisztens keményítőnek lehet tekinteni azokat a frakciókat is, amelyek ellenállóak az endogén enzimek általi emésztésnek, illetve magába foglalja azokat a dextrineket és keményítőket, melyek emészthetőek, viszont az alfa-amiláz enzimmel történő túl rövid találkozásuk miatt eljutnak a vastagbélbe (Champ, 2013).

2.2.1 A rezisztens keményítők előfordulása

Általában azok a keményítők viselkednek rezisztensként, amelyek gazdagok amilózbán, mivel képesek jelentős molekuláris asszociátumok kialakítására (Whistler, 2000).

A keményítő frakcióban lévő rezisztens rész jelenlétét, amely az enzimes hidrolízisre mutat ellenállást, Englyst és munkatársai (1982) fedezték fel először.

Egyre több kísérlet bizonyította, hogy vannak olyan frakciói a keményítőnek, amelyek nem mennek keresztül az amilolízisen, és emésztés nélkül haladnak át a vékonybélben (Asp és Björck, 1992).

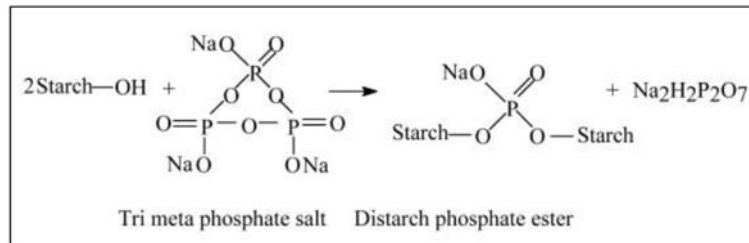
Először a rezisztens keményítők 3 csoportra lettek felosztva (Englyst et al., 1992), viszont egy negyedik csoportot is ide kell sorolni (Brown, 2004), illetve egy ötödik is megnevezésre kerülhet (Hasjim et al., 2010):

- *RS1 / Fizikailag elérhetetlen keményítő*: Az 1-es típusú rezisztens keményítő részlegesen örölt magokban, valamint hüvelyesekben — például babban és lencsében — fordul elő (Champ et al., 2003). Fizikai okok miatt ellenáll az emésztésnek. A főzési eljárások nagy részére is rezisztens, ezért különféle hagyományos ételkészítésben felhasználható. Mérését úgy lehet megvalósítani, hogy az enzimes emésztés során kialakuló glükóz mennyiségét összehasonlítják a homogenizált és a nem homogenizált mintában (Sajilata et al., 2006).
- *RS2 / Rezisztens keményítő granulátumok*: Ezek ellenállnak az alfa-amiláz enzimnek addig, ameddig nem csirizednek. (McCleary, 2013). Sajátos granulátum alakban található az ételkészítésben. A nyers keményítőgranulátumok sugárirányú szerkezetűek, dehidratáltak és szorosan rendezettek, ami korlátozza az emésztőenzimek, elsősorban az amilázok hozzáférését, ezáltal a keményítőt emésztéssel szemben ellenállóvá teszi (Sajilata et al., 2006). A legtöbb főzési eljárással elérhető, hogy a keményítő csirizedjen, ezzel az RS2 megszűnik. A B-típusú keményítőket lehet ide sorolni (Champ et al., 2003). Mérése úgy történik, hogy forralt, homogenizált minta glükóztartalmát összehasonlítjuk a nem homogenizált, nyers minta glükózmennyiségével az enzimes emésztést követően (Sajilata et al., 2006).
- *RS3 / Retrográd keményítő polimerek*: A keményítő csirizedése és annak lehűtése során gél keletkezik, amikor az amilózláncok rendezett, kristályos szerkezetbe állnak vissza (retrogradáció). Ez a folyamat hőkezelés során és vizes környezetben, lehűlés közben megy végbe. (McCleary, 2013). Az egyes láncokra jellemző, hogy hélix szerkezetet alkotnak. A jelenség főképp az amilózt érinti a keményítő frakción belül (Champ et al., 2003). A legellenállóbb keményítőfrakció. Az RS3 frakció az a

retrogradált keményítő, amely hőkezelés és lehűtés után szerkezete révén ellenáll az enzimes emésztésnek. (Sajilata et al., 2006). A retrogradált keményítő vízben nem oldódik, azonban dimetil-szulfoxid vagy kálium-hidroxid oldat hozzáadásával feloldható (Asp és Björck, 1992).

- *RS4 / Kémiailag módosított keményítő*: Funkcionális kémiai csoportokat tartalmazó keményítők, melyek lehetnek keményítő éterek, észterek és keresztkötésekkel rendelkezők (Brown, 2004). Ennek egyik lehetséges módját ábrázolja az 1. ábra. Tehát az ebbe a csoportba tartozó keményítők módosításon mennek keresztül, kémiai kezeléseket kapnak, így új típusú kötések alakulnak ki bennük (Sajilata et al., 2006).

1. ábra Keresztkötéses keményítő előállításának folyamata (Forrás: Sajilata et al., 2006).



- *RS5/ Lipid-keményítő komplexek* (Hasjim et al., 2010).

A különböző keményítőcsoportokat és tulajdonságaikat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat A különböző keményítőtípusok besorolása, leírása, élelmi forrása (*Forrás: Saját szerkesztés Nugent, 2005 adatai alapján*), és a keményítő in vitro táplálkozási besorolása (*Forrás: Saját szerkesztés Englyst et al., 1992 adatai alapján*)

Keményítő típusa	Leírás	Példa az előfordulásra	Valószínűsíthető emésztés a vékonybélben
Gyorsan emészthető keményítő (Rapidly Digestible Starch, RDS)	Amorf és diszpergált keményítő.	Frissen, nedves hővel főzött keményítős ételek, például burgonya.	Gyors
Lassan emészthető keményítő (Slowly Digestible Starch, SDS)	A- és C-típusú kristályos nyers keményítő, B-típusú keményítő.	A legtöbb nyers gabona.	Lassú, de teljes
Rezisztens keményítő (Resistant Starch, RS)			
1. RS1 / Fizikailag elérhetetlen keményítő	Fizikailag védett keményítő.	Részlegesen őrölt magok, hüvelyesek.	Rezisztens
2. RS2 / Rezisztens keményítő granulátumok	Csirizedés nélküli rezisztens granulátumok B-típusú kristályosítással	Nyers burgonya és banán.	Rezisztens
3. RS3 / Retrográd keményítő polimerek	Retrogradált keményítő.	Hűtött, főtt burgonya, rizs, kenyér, kukoricapehely.	Rezisztens
4. RS4 / Kémiailag módosított keményítő	Rezisztencia kialakítása keményítő éteresével, észterezésével vagy keresztkötésével.	Rosttartalmú italok, kenyerek, sütemények.	Rezisztens
5. RS5 / Lipidkeményítő komplexek	Nagy amidóztartalmú keményítő palmitinsavval komplexet alkot. Ez izoamilázzal bontva keményítő-lipid komplexet hoz létre, melyek növelik a rezisztenciát (Hasjim és társai, 2010).	Eddig kenyérgyártásra használták az anyagot.	Rezisztens

A rezisztens keményítők természetes módon is jelen vannak számos élelmiszerben, ugyanakkor lehetséges ipari előállításuk is, ezért érdemes részletesen megvizsgálni az előállításuk módját.

2.2.2. Az élelmi rost definíciója; rezisztens keményítő kimutatása

A rezisztens keményítők nagymértékű ellenállást mutatnak az emlősök enzimjeivel szemben. (Sajilata et al., 2006).

Azok a rezisztens keményítő frakciók, amelyek a gabonatermékekben találhatóak, ellenállnak az in vitro és in vivo emésztésnek (Bornet, 1993). Ezekben a termékekben négyféle RS frakciót fedeztek fel, melyek a natív keményítő, a retrogradált amilóz, amilo-lipid komplex és a kapszulázott formában jelenlévő csirizesedett keményítő. A RS frakciók a bélflóra által fermentálódnak a vastagbélben, ahol rövid szénláncú zsírsavak (short-chain fatty acid, SCFA) keletkeznek.

2.2.2.1 Az élelmi rost

Számos tanulmány bizonyítja, hogy az RS táplálkozástani szempontból úgy viselkedik, mint a rost, és összes élelmi rosttartalom (Total Dietary Fibre, TDF) meghatározásában figyelembe kell venni (Haralampu, 2000). Ezen tulajdonságok közé tartozik, hogy:

- Emésztetlenül hagyja el a vékonybelet, és a vastagbélben lassan fermentálódik.
- Oldhatatlan rostként mérhető, viszont az oldható rostok élettani előnyeit mutatja.
- Lassan emészthető.
- Alkalmas a glükóz lassú felszívódásának biztosítására.
- Pozitív hatással van a vastagbéltre, úgy, ahogy az oldható rostok is.

2.2.2.2 Jogi szabályozás

Az Európai Unió a következőképpen írta le a rost definícióját a 1169/2011/EU rendeletben (http1: 35):

„A „rost” olyan, legalább három monomeregységgel rendelkező szénhidrát-polimerek, amelyeket az emberi vékonybél nem emészt meg és nem szív fel, és amelyek az alábbi kategóriákba tartoznak:

- az élelmiszer fogyasztásra kerülő formájában természetes módon jelen levő, ehető szénhidrát-polimerek;*
- élelmiszer-nyersanyagból fizikai, enzimes vagy vegyi eljárással kinyert ehető szénhidrát-polimerek, amelyek általánosan elfogadott tudományos bizonyítékok szerint kedvező élettani hatással bírnak;*
- ehető szintetikus szénhidrát-polimerek, amelyek általánosan elfogadott tudományos bizonyítékok szerint kedvező élettani hatással bírnak.”*

Az Európai Unió is tisztában van azzal, hogy sok olyan tudományos szakirodalomban jelenlévő, és megfelelő vizsgálati módszer létezik, amely alkalmazható az élelmiszerek rosttartalmának

mérésére. Annak érdekében, hogy a gyártók könnyen kiigazodjanak a módszerek között, az EU létrehozott egy útmutatót, amelynek a neve „Útmutató a rosttartalom meghatározáshoz”.

A rost elfogadott definíciója alapján egy nagy anyagcsoport, amelynek teljes vizsgálatára nincs lehetőség, mivel nem létezik erre alkalmas módszer. A dokumentumban az élelmiszer-mátrixtól függően különböző analitikai módszereket ajánlanak. A vizsgálatok eredményei a tápértékjelölés alapját képezhetik.

A következő módszerek relevánsak a rezisztens keményítő témakörhöz:

- a) AOAC 2009.01 – Enzimes gravimetria és nagynyomású folyadékkromatográfia
Nagyobb és kisebb molekulásúlyú rosttartalom meghatározására alkalmazható módszer. A módszer olyan élelmiszerek esetében is alkalmazható, amelyek tartalmazzak rezisztens keményítőket, és olyanok esetében is, amelyek nem.
- b) AOAC 991.43 - Enzimes gravimetria
A kisebb molekulásúlyú frakciót nem tartalmazó rostok meghatározására alkalmazható módszer, továbbá ide tartozik az oldható és oldhatatlan rostok meghatározása is.
- c) AOAC 991.42 (az oldhatatlan rostokra specifikus) - Enzimes gravimetria
Oldhatatlan rostok élelmiszerekben és élelmiszer-termékekben.
- d) AOAC 2002.02 – Enzimes
Rezisztens keményítő (RS3-hoz javasolt). (http3: 4-6)

2.2.2.3 Rezisztens keményítő meghatározási módszerek

A rezisztens keményítő kimutatására megkülönböztetünk *in vitro* és *in vivo* módszereket.

Az **in vitro** módszerek első lépése minden esetben az összes emészthető keményítő-tartalom eltávolítása, amelyhez hőstabil alfa-amiláz enzimeket alkalmaznak (McCleary és Rossiter, 2004).

Két általánosan elfogadott RS-tartalom-meghatározási módszer a Berry- és az Englyst-módszer (Sajilata et al., 2006). Mindkét módszer lényege, hogy az emészthető keményítőt specifikus amiláz-enzimek segítségével bontják le, majd a visszamaradó, rezisztens frakciót 2 M KOH-oldatban oldják és számszerűsítik (Berry, 1986; Englyst et al., 1992).

Sokáig a McCleary és Monaghan (2002) által kidolgozott módszert minősítették a legjobbnak a keményítőben és más növényi összetevőben történő RS meghatározásra, mivel ez volt akkor a legreprodukálhatóbb és legmegbízhatóbb módszer. Viszont nem képes az összes rezisztens keményítő-tartalmat vizsgálni (Champ et al., 2003). Ez a módszer annak a keményítőrésznek a mérésére szolgál, amely az enzimatikus emésztésnek ellenáll 37 °C-on (McCleary és Monaghan, 2002). Normál körülmények között jellemzően ezeket a részeket nem lehet

mennyiségileg meghatározni, mivel a keményítő 100 °C-on csirizesedik, és 60 °C-on emésztődik.

In vivo módszerek közül négyet érdemes megemlíteni.

Az egyik az ileális tartalom elemzése, mely során az emésztetlen béltartalomban jelen lévő keményítő mennyiségét határozzák meg (Sajilata et al., 2006).

Másik lehetőség a glikémiás index (GI) mérése, amely egy klasszikus módja a keményítő emészthetőségének vizsgálatának. Egy kutatás során arról számoltak be, hogy az acetilációval vagy béta-ciklodextrinizálással módosított keményítők alacsonyabb glikémiái indexet (GI) mutattak, ami lassabb emésztést és potenciális rezisztens keményítő (RS) tulajdonságokat jelez az emberi emésztésben (Raben et al., 1997). A glikémiás index számítása úgy történik, hogy a keményítő fogyasztását követő első 2 órában a vércukorszint változásának görbáját kell megrajzolni és kiszámítani a görbe alatti területet (Jenkins et al., 1981). Ezt követően ugyanezt a mérést el kell végezni glükóz fogyasztásával is, és az eredményt elosztani a keményítővel végzett mérési eredménnyel.

A kilélegzett hidrogén mérése, vagy másnéven „Breath test”, egy félig kvantitatív módszer az RS vizsgálatára (Hylla et al., 1998).

Az állatkísérleti modellek is alkalmazhatóak az RS vizsgálatára, melyek közül a patkányokon végzett kísérletek a legelterjedtebbek (Sajilata et al., 2006).

2.2.2.4 Élelmi rosttartalom meghatározási módszerek

AOAC 985.29

Az egyik legelterjedtebb élelmi rostmérési módszer az AOAC 985.29 (Prosky et al., 1985). Szabványos módszernek számít az Egyesült Államokban, Japánban és Ausztráliában (De Vries, 2004).

Az eljárás gravimetriás meghatározáson alapszik, mely során enzimes emésztés alkalmazandó. A módszer alapját az adja, hogy a mintához először termotabil α -amilázt adnak, amellyel lebontják a keményítőt (McCleary, 2023). Ezt követően proteázzal a fehérjéket hidrolizálják, majd glükóamilázzal az emészthető oligoszacharidokat glükózzá bontják. Az így visszamaradó, oldhatatlan rostfrakciót 78%-os etanollal kicsapják, majd szűréssel, szárítással és gravimetriásan határozzák meg. Az eljárás során mért értékek főként nagy molekulatömegű diétás rostokra (HMWDF) vonatkoznak.

A teljes élelmi rost mennyiségének mérésére alkalmas. A módszer néhány RS típust vesz csak figyelembe (RS2, RS3), viszont a többi típus meghatározására más módszereket szükséges alkalmazni (Champ et al., 2003).

A hidroxipropil tápióka keményítő (HPTS) nem emészthető szénhidrátjainak egy része nem csapódik ki a 78%-os etanolban, mely ezt mutatja, hogy az AOAC 985.29 módszer nem alkalmas a vizsgált keményítőtípus nem emészthető szénhidráttartalmának mérésére (Tachibe et al., 2010).

AOAC 991.43

Az AOAC 991.43 számú hivatalos módszer egy széles körben alkalmazott analitikai eljárás, amelynek célja az összes élelmi rost mennyiségének meghatározása az élelmiszermintákban. A módszer az 985.29-es eljárás kibővített változata, és lehetőséget nyújt a rostfrakciók elkülönített mérésére, tehát képes külön-külön meghatározni az oldhatatlan diétás rostokat (IDF) és az oldódó frakciókat (SDF) (Lee et al., 1992).

A vizsgálat során az emészthető komponenseket meghatározott enzimek bontják le, ezt követően a rostfrakciók szűréssel, szárítással és mérlegeléssel kerülnek mennyiségileg meghatározásra. A módszer képes kimutatni olyan nem szénhidrát jellegű vegyületeket is – például lignint, fenolos anyagokat, szaponinokat vagy fitoszterolokat –, amelyek szorosan kötődnek a növényi sejtfal poliszacharidjaihoz, és így együtt csapódnak ki a rostfrakcióval (McCleary, 2013).

Noha az eljárás pontos eredményt ad a nagy molekulatömegű diétás rostok (HMWDF) tekintetében, a rezisztens keményítő (RS) és a nem emészthető oligoszacharidok (NDO) mennyiségi meghatározására nem minden esetben alkalmas (McCleary, 2013). Ennek oka, hogy az AOAC 991.43 – az 985.29-hez hasonlóan – részlegesen mér bizonyos RS- és NDO-frakciókat, ezen eredmények összeadása ahhoz vezet, hogy ezek az anyagok duplán kerülnek számolásra.

Összességében az AOAC 991.43 megbízható választás azokban az esetekben, amikor a minta főként nagy molekulatömegű rostokat tartalmaz, és nem jelentős a rezisztens keményítő jelenléte. A módszer eredményei jól összevethetők a 985.29-es eljárással, noha utóbbi kevesebb analitikai lépést tartalmaz (McCleary, 2013).

AOAC 2001.03

Ezt a módszert rezisztens maltrodextrinek teljes visszanyerésére használják (Tachibe et al., 2010).

Megvizsgálták, hogy alkalmazható-e ez a mérési eljárás más nem emészthető oligoszacharodik mérésére is. A HPTS anyagon végezték el ezt a mérést, mely során az eredmények azt mutatták,

hogy az in vivo vizsgálatok eredményei szinte teljesen megegyeztek az AOAC 2001.03 in vitro mérés eredményeivel.

A módszer egy enzimatis- gravimetriás eljárást alkalmaz, és kombinálja nagy teljesítményű folyadékkromatográfiával (Gordon és Okuma, 2002).

AOAC 2002.02

A módszert McCleary és Monaghan fejlesztették ki 2002-ben.

Abban az időben a legreprodukálhatóbb és legmegbízhatóbb módszernek számított a területén (Nugent, 2005), viszont nem volt biztos, hogy minden RS típust teljes mértékben kimutatott (Champ et al., 2003).

Alapelvét tekintve ez az eljárás is enzimatis emésztésen alapszik.

A rezisztens keményítő meghatározásához az AOAC 2002.02 módszer során egy 100 mg-os mintaadag kerül vizsgálatra (McCleary, 2023). A mintát egy pankreatikus α -amilázt és amiloglükozidázt (AMG) tartalmazó oldatban inkubálják 37 °C-on, 16 órán át, amely során a fiziológiás pH (6,0) fenntartásával az emberi vékonybél emésztési környezetét modellezzik. A folyamat során a normálisan emészthető keményítő glükózzá bomlik, míg a rezisztens keményítő változatlanul visszamarad. Ezután a maradékot lúgos közegben (NaOH) feloldják, majd ismételtén AMG-vel kezelik. A keletkező glükóz mennyisége GOPOD reagenssel (glükóz-oxidáz/peroxidáz színreakció) kerül meghatározásra, amelyből kiszámítható a mintában található rezisztens keményítő mennyisége.

A pankreatikus alfa-amiláz jobban utánozza az emberi emésztőrendszerben zajló emésztési folyamatokat (McCleary, 2013). Ez olyan rezisztens keményítő értékek kimutatását eredményezi, amelyek összhangban vannak az AOAC 2002.02 módszerrel végzett és a klinikai eredményekkel.

A 37°C-on emésztésnek ellenálló keményítőt mér, amelyet más módszerekkel általában nem számszerűsítene, mert azokat 100°C-on csirizesítik, majd 60°C-on enzimekkel bontják (Champ et al., 2003).

AOAC 2009.01

Az AOAC 2009.01 módszert a Codex Alimentarius ajánlásai alapján dolgozták ki, és jelenleg az egyik legmodernebb és legátfogóbb megközelítést nyújtja a diétás rostok teljes mennyiségének meghatározására. A módszer képes kimutatni a rezisztens keményítőt (RS), valamint a nem emészthető oligoszacharidokat (NDO), más néven kis molekulatömegű

vízoldható rostokat (LMWSDF) is, így teljes mértékben lefedi a Codex definícióját (McCleary, 2013).

A vizsgálat során pankreatikus α -amilázzal és amiloglükozidázzal történő inkubáció zajlik fiziológias pH-n és hőmérsékleten, ami biztosítja, hogy a mérés jobban tükrözze az emberi emésztőrendszerben zajló természetes folyamatokat. Ez különösen fontos lehet módosított keményítőalapú élelmiszer-összetevők vizsgálatakor (McCleary et al., 2013).

A módszer egyik jelentős előnye, hogy elkerülhető vele a „duplaszámolás”, ami gyakran előfordul, ha külön mérjük az RS-t és a HMWDF-et például az AOAC 985.29 és 2002.02 módszerek kombinálásával. Emellett a 2009.01 alkalmazása különösen ajánlott nagy keményítőtartalmú élelmiszerek esetén, ahol a hagyományos módszerek vagy alábecslik, vagy túlbecslik az RS mennyiségét a mérési körülmények miatt (McCleary et al., 2013).

AOAC 2011.25

Az AOAC 2011.25 módszer a 2009.01-es eljárás kiterjesztéseként jött létre, és azokat a vizsgálatokat célozza, ahol a diétás rostfrakciók elkülönített meghatározása szükséges. A módszer nemcsak az összes rostot, hanem külön az oldhatatlan rostokat (IDF), az etanolban oldhatatlan, de vízben oldható frakciót (SDFP), valamint az etanolban is oldható, kis molekulatömegű oldható rostokat (SDFS) is méri (McCleary et al., 2013).

A módszer alkalmazása során megfigyelték, hogy egyes oligoszacharidok, különösen egy heptaszacharid (63,65-di- α -D-glükozil-maltopentóz), rezisztens marad a hagyományos enzimekkel szemben, de lebomlik a vékonybél kefeszegélyében jelen lévő α -glükozidáz hatására. Emiatt a módszer pontosítása érdekében ajánlott egy további lépésként amiloglükozidázos inkubáció bevezetése az ilyen vegyületek eltávolítására (McCleary et al., 2013).

A mérési módszerek összefoglalóját a 2. táblázat tartalmazza:

2. táblázat A különböző rosttartalom mérési módszerek összefoglalója a módszer AOAC számával, mérési lehetőségével, módszer rövid leírásával és az említett korlátaival (*Forrás: Saját szerkesztés McCleary et al., 2013 adatai alapján*)

AOAC módszer száma	Mit mér?	Hogyan mér?	Korlátai
985.29	Teljes diétás rost (TDF), főként nagy molekulatömegű frakciókat (HMWDF)	Enzimatis- gravimetriás módszer: α -amiláz, proteáz, AMG, etanolos kicsapás	Nem méri külön az RS-t és az NDO-t; duplaszámolás veszélye más módszerekkel kombinálva
991.43	Teljes diétás rost (TDF), külön oldhatatlan (IDF) és etanolban nem oldódó oldható rostokra (SDFP) bontva	Ugyanaz, mint 985.29, de külön frakciók meghatározása IDF és SDFP szerint	NDO és RS nem pontosan detektálható, csak részlegesen mérhető
2002.02	Rezisztens keményítő (RS) – különálló frakcióként, nem része a teljes rostmeghatározásnak	16 órás enzimatis- inkubáció (pankreatikus α -amiláz + AMG), glükóz színreakcióval mérve (GOPOD)	Nem méri a teljes rosttartalmat, csak a rezisztens keményítőt; NDO kimarad
2009.01	Teljes diétás rost: IDF, SDFP, SDFS (NDO, RS is), Codex definíciónak megfelelően	Fiziológiás pH-n és hőmérsékleten zajló enzimatis- bontás, HPLC a SDFS méréséhez	Nehézségek RS4 vagy degradált inulin esetén; részleges oldódás problémát okozhat
2011.25	Teljes diétás rost részletesen bontva: IDF, SDFP, SDFS külön mérése, RS és NDO is	Mint 2009.01, de a frakciókat (IDF, SDFP, SDFS) külön méri, AMG-lépés javasolt	Bizonyos oligoszacharidokat (pl. heptaszacharid) AMG nélkül túlbecsülhet

2.2.2.5 Módszerek közötti különbségek

Kialakult egy szükséglet egy univerzális mérési módszerre (Nugent, 2005). Nincs olyan mérési módszer, mely globálisan elfogadott az összes élelmi rost és az RS meghatározására. A sok mérési eljárás miatt nehéz összehasonlítani az országok rost- és RS-beviteli értékeit. Szükség lenne egy általánosan elfogadott definícióra és mérési módszerre, amely az összes típusú RS-t figyelembe veszi a vizsgálat során.

3. táblázat Különböző alapanyagok, termények rezisztens keményítő és nagy molekula tömegű élelmirost tartalma az AOAC 2002.02, 2009.01 és 991.43 módszerrel mérve (*Forrás: Saját szerkesztés McCleary et al., 2013 adatai alapján*)

<i>Minta neve</i>	RS (%<i>, w/w</i>)		<u>HMWDF (%<i>, w/w</i>)</u>	
	2002.02	2009.01	<u>2009.01</u>	<u>991.43</u>
<i>Natív burgonya keményítő</i>	64,90	56,80	64,60	0,90
<i>Actistar (enzimmel módosított tápióka keményítő)</i>	58,00	48,80	47,30	0,50
<i>Zöld banán</i>	51,00	38,00	37,60	7,50
<i>Hylon VII (nagy amilóztartalmú kukorica keményítő)</i>	50,00	48,60	49,30	25,60
<i>Vörösbab</i>	5,00	5,30	21,80	20,40
<i>Főtt és hűtött burgonya</i>	4,00	3,20	9,60	7,10
<i>Kellogg-féle kukoricapehely</i>	2,20	2,40	3,70	2,90
<i>Kukoricakeményítő</i>	0,50	0,80	0,70	0,10

Az AOAC 2009.01 módszerrel kapott maradékokban az RS-tartalmat az AOAC 2002.02 módszer adaptációjával volt mérve.

4. táblázat Különböző termények, élelmiszerek élelmirost tartalma az AOAC 985.29 és 991.43 módszerrel mérve (Forrás: Saját szerkesztés McCleary et al., 2013 adatai alapján)

<i>Minta neve</i>	Method 985.29		<u>Method 991.43</u>		
	HMWDF (%)	SDFS (%)	<u>IDF</u>	<u>SDFP</u>	<u>HMWDF (%)</u>
<i>Brennan-féle teljes kiőrlésű kenyér</i>	8,34	0,72	6,49	1,46	7,95
<i>Brennan-féle fehérkenyér</i>	0,33	0,95	2,88	1,52	4,40
<i>Nyers krumpli</i>	7,21	0,23	4,79	3,05	7,84
<i>Teljes kiőrlésű tészta</i>	9,28	0,80	8,38	2,05	10,43
<i>Főtt burgonya</i>	7,23	0,49	-	-	-
<i>Konzerves vörösbab</i>	20,00	1,91	-	-	-

IDF = oldhatatlan DF; SDFP = vízben oldódó, de 76%-os vizes etanolban oldhatatlan DF; és SDFS = vízben oldódó és 76%-os vizes etanolban is oldódó DF. Az AOAC 991.43 módszer szerint a HMWDF az IDF és az SDFP összege. Ezt a frakciót amiloglükózáddal történő további inkubálás után határozzák meg. Az AOAC 2011.25 módszer szerint a HMWDF az IDF és az SDFP összege.

5. táblázat Különböző termények, élelmiszerek élelmirost tartalma az AOAC 2009.01 és 2011.25 módszerrel mérve (Forrás: Saját szerkesztés McCleary et al., 2013 adatai alapján)

<i>Minta neve</i>	Method 2009.01		Method 2011.25		
	HMWDF (%)	SDFP (%)	IDF (%)	SDFP (%)	HMWDF (%)
Brennan-féle teljes kiőrlésű kenyér	8,66	1,08	6,80	2,03	8,83
Brennan-féle fehérkenyér	4,77	0,45	2,95	1,40	4,35
Nyers krumpli	31,74	0,47	10,84	16,33	27,17
Teljes kiőrlésű tészta	9,90	1,89	8,12	1,60	9,72
Főtt burgonya	10,66	0,57	-	-	-
Konzerves vörösbab	22,80	2,49	-	-	-

IDF = oldhatatlan DF; SDFP = vízben oldódó, de 76%-os vizes etanolban oldhatatlan DF; és SDFS = vízben oldódó és 76%-os vizes etanolban is oldódó DF. Az AOAC 991.43 módszer szerint a HMWDF az IDF és az SDFP összege. Ezt a frakciót amiloglükózidázzal történő további inkubálás után határozzák meg. Az AOAC 2011.25 módszer szerint a HMWDF az IDF és az SDFP összege.

Az AOAC 2009.01 és 2011.25 módszerekkel mért RS4 anyagok értékei sokkal alacsonyabbak, mint az AOAC 985.29 és 991.43 módszerekkel kapott értékek (McCleary et al., 2013).

Rezisztensnek tartják a foszfát keresztkötött keményítőket, mert ezen keményítő nagy százaléka élelmi rostként mérhető kétféle rosttartalom mérési módszerrel, AOAC 985.29 és 991.43 módszerekkel. Viszont azt is érdemes figyelembe venni, hogy abban az esetben, ha ugyanezen keményítőket az AOAC 2002.02, AOAC 2009.01 vagy 2011.25 módszerekkel elemzik, jelentős mértékben alacsonyabb rezisztencia mérhető az emésztéssel szemben. Az eredmények összefoglalását a 3., 4. és 5. táblázat tartalmazza.

Ezzel a jelenséggel McCleary és társai (2013) találkoztak akkor, amikor egy natív kukoricakeményítő, egy nagy amilóztartalmú kukoricakeményítő és két kereskedelmi forgalomban elérhető RS4 terméket vettek górcső alá és elemezték a mintákat. Ezt kétféleképpen tették:

- az AOAC 2002.02 módszert pontosan követve,
- előmelegítették őket inkubációs pufferoldatban kb. 100°C-on 5 percre, majd lehűtötték és 37°C-on inkubálták őket α -amilázzal és amiloglükózidázzal.

Az eredmények egészen meglepőek voltak. Az RS4 termékek RS értéke (különbség alapján meghatározva) alacsony volt. Az AOAC 2002.02 módszer szerinti elemzés előtti alapanyag előmelegítés pedig még rontott az értékeken. Alkalmazták az AOAC 2009.01 módszert is, ahol szintén alacsony értékeket jöttek ki, viszont magas értékeket eredményezett a hagyományos Prosky DF eljárás (AOAC 985.29).

Az eredmények arra engednek következtetni, hogy az RS4 mintákról korábban közölt magas élelmi rost értékek inkább a használt vizsgálati eljárás (AOAC 985.29 és 991.43) következményei, mint valódi emésztéssel szembeni ellenállás fiziológiai körülmények között. Amennyiben a mintákat fiziológiai körülményeket szimuláló körülmények között elemzik (AOAC 2009.01, pH 6,0, 37°C), sokkal alacsonyabb DF és RS értékek adódnak. Az AOAC 2009.01 és 2011.25 módszerekkel mért értékek nagy valószínűséggel fiziológiailag jelentősebbek (attól függetlenül is, hogy ezek az értékek alacsonyabbak), mivel olyan fiziológiai körülményeket szimulálnak, mint az emberi vékonybélben.

Egy korábbi kutatás is alátámasztja, hogy a keresztkötött RS4 hőkezelés (autoklávolás) és hűtés után alacsonyabb RS szintet mutat, mint az eredeti állapotában (Seib és Woo, 1999). A jelenséget azzal magyarázzák, hogy a nyomás kifejtése és főzés hatása megsemmisítette a keményítőszemcsék kristályos szerkezetét, ezzel megnövelve az alfa-amiláz hozzáférhetőségét. Ezzel szemben az RS3 számára a hővel és nedvességgel történő kezelés kedvező hatással van, mivel az eljárás növeli benne az RS szintet, valószínűleg a láncok közötti kapcsolat megerősödésének eredményeképpen (Kawabata et al., 1994).

2.2.3 Rezisztens keményítők előállítás

Az élelmiszeripar modernsége, sokfélesége, és az általa elkészített nagy termékválaszték megköveteli az olyan keményítőket, amelyek képesek elviselni különböző előkészítési és feldolgozási feltételeket (Visser et al., 1997).

Ahhoz, hogy a keményítők megfeleljenek ezeknek az igényeknek, a natív keményítőket kémiai, fizikai és enzimikus kezelésekkel kell módosítani (Betancur és Chel, 1997). Ezen módosítások olyan maradványok kialakulásához is vezethetnek, amelyek emészthetetlenek (Sajilata et al., 2006).

Rezisztens keményítő előállítására is többféle módszer létezik, mint a hőkezelés, enzimkezelés, hőkezelés és enzimkezelés kombinálása, és kémiai kezelés (Sajilata et al., 2006).

Hőkezeléssel történő RS előállítás során a csirizedési hőmérséklet fölé hevítik a keményítőt, és ezzel egyidőben melegített hengereken vagy extruderen szárítják. A hőkezeléssel egybekötött

csirizedés nagy mértékben befolyásolja a keményítő enzimes hidrolízissel szembeni ellenálló képességüket (Holm et al., 1988).

Lehetséges **enzimes kezeléssel** nagy rezisztens keményítő tartalommal rendelkező keményítő készítményt is előállítani (Soral és Wronkowska, 2000). Hőstabil alfa-amiláz enzimet alkalmazva borsó keményítőjéből izolált RS-koncentrátum készíthető, amely nagy, legfeljebb 70% RS-tartalommal rendelkezik, illetve ásványi és szerves nitrogéntartalmú vegyületek keverékét is tartalmazza. További olyan felfedezés is született, amely egy olyan módszer leírását eredményezte, mellyel RS-tartalmú termék állítható elő, és fontos, hogy az eredeti alapanyag (mely a kutatás esetében rizsliszt, rizskeményítő volt) megtartja eredeti főzési tulajdonságait (King és Tan, 2005). Pullulanáz enzimet használ a keményítő elágazásainak lebontására, és mindezek mellett nem igényel előkezelést az enzimes kezelést megelőzően. Az ilyen módon előállított termék hőstabil is maradt. A rizslisztből 20% RS-, míg a rizskeményítóből 24% RS-tartalmú termék került előállításra.

A **hő- és enzimes kezelés kombinálása** is lehetőséget nyújt rezisztens keményítő előállítására. Ennek egyik fajtája a keményítő retrogradációját követő enzimes vagy kémiai hidrolízis (Ilyengar, 1991). Az eljárás a retrogradált keményítő amorf régióinak csökkentését vagy megszüntetését idézi elő. Egy másik lehetséges előállítási forma a keményítő hőkezelése (csirizesítés), melynek kontrollálásával elérhető a keményítő megduzzadása és a szemcsés szerkezet megőrzése (Haralampu és Gross, 1998). Ennek az eljárásnak a végén enzimes kezelést alkalmaznak (pullulanáz enzimmel), amely az elágazásbontást hajtja végre. A keményítőszármazékot szárítással vagy extrudálással izolálják.

A **kémiai kezelés** szintén egy járható út a rezisztens keményítők előállításához. Az eljárás alapja, hogy a keményítő kémiai módosításával, keresztkötések kialakításával érik el, hogy rezisztens legyen (Haynes et al., 2000). A keresztkötéseket úgy alakítják ki, hogy a foszfát- és szulfonát csoportokat építenek be a keményítő-molekulák közé, melyek hidroxilcsoportokon kötődnek. Ezen szerkezet rezisztenssé teszi a keményítőt az amilázokkal szemben. A megvalósítást reagensek keményítőhöz történő hozzáadásával és azok reakciójával érik el. Ilyen reagens a nátrium-trimetafoszfát, ecetsav és dikarbonsavak vegyes anhidridjei, illetve foszfor-oxiklorid. A foszforilezett dikeményítő foszfát egy kémiaileg módosított keményítő, nagy rezisztens keményítő tartalommal (RS4) (Sajilata et al., 2006). Nagy amilóztartalommal rendelkező kukoricakeményítóből állítják elő, és az EU-ban engedélyezett élelmiszer adalékanyag. Az E száma: E1413 ([http2: 37](http://2:37)). Előállítottak olyan foszforilezett dikeményítő foszfátot, amelynek 0,4-0,5% volt a foszfortartalma, és tartalmazott SDS-t (13-69%-ban), RS4-et (18-87%-ban).

2.2.4 Élettani hatások, táplálkozástudományi jelentőség

Ahogy korábban is említettem, a rezisztens keményítőket érintő átfogó vizsgálatok kimutatták, hogy ezek élettani funkciói hasonló eredményeket mutatnak, mint a diétás rostoké (Asp, 1994). Világszerte jelentős eltérések tapasztalhatók a rezisztens keményítő (RS) étrendi bevitelében (Nugent, 2005), amelyet a 6. táblázat szemléltet.

6. táblázat A becsült napi RS beviteli értéke régiókra, országokra bontva (*Forrás: Saját szerkesztés Nugent, 2005 adatai alapján*).

Régió / ország	Becsült RS-bevitel (g/nap)
Fejlett országok (EU, USA)	3–6 g/nap (Dyssler & Hoffmann, 1994)
Egyesült Királyság	2,76 g/nap (Tomlin & Read, 1990)
Ausztrália	5–7 g/nap (Baghurst et al., 2001)
India	10 g/nap (Platel & Shurpalekar, 1994)
Kína	18 g/nap (Muir et al., 1998)
Fejlődő országok, nagy keményítőbevitelű étrend	30–40 g/nap (Baghurst et al., 2001)

Ezen információkat egy kissé fenntartásokkal kell kezelni, mivel nehézkes az RS étrendi bevitelét a különböző országokban megbecsülni, mivel különböző mérési módszereket alkalmaztak (Nugent, 2005).

2.2.4.1 Emésztőrendszerre gyakorolt hatás

A RS frakciók a bélflóra által fermentálódnak a vastagbélben, ahol SCFA (rövid láncú zsírsavak) különböző típusai keletkeznek (Bornet, 1993). Ha megnézzük a rezisztens keményítőtől előállított SCFA-profilt, láthatjuk, hogy acetátból kevesebb, viszont butirátból több keletkezik, mint a hagyományos rostforrásokból származó SCFA. A butirát a vastagbél sejtjeinek egyik fontos energiaforrása (Topping et al., 2001). Segít fenntartani a sejtjeik normális működését azáltal, hogy javítja a DNS-ben keletkező károsodásokat és megakadályozza a sejtek halálát, míg a daganatsejtek esetében éppen ellenkezőleg, elősegíti a sejtelhalást. A propionát, amely szintén egy vegyület a bélben, hasonló hatással bír, bár erősebb koncentrációra van szükség hozzá (Annison et al., 2003).

A rezisztens keményítő iránti érdeklődés rendkívül megnőtt az elmúlt évtizedekben, mivel ez az anyag képes arra, hogy nagy mennyiségű butirát zsírsavat állítson elő a vastagbél nagy felületén azért, mert rögtön fermentálható. Sok bizonyíték áll rendelkezésre, miszerint a butirát komoly hatással van a vastagbélrák és adenóma kialakulásának megelőzésére. A RS nagy butirátmennyiséget eredményez, mely gátolja a vastagbél hámsejtjeinek rosszindulatú átalakulását, így ezen keményítő jól fermentálható frakciói ígéretesek a vastagbélrák megelőzésében (Asp és Björck, 1992). Ezen kívül a fermentálható poliszacharidok védelmet nyújthatnak a fehérjebontás káros termékei ellen (Champ et al., 2003).

Voltak olyan patkánykísérletek, mely során az RS-t útifűmaghéjjal kombinálták, és az RS fermentációjának helye a vastagbél távolabbi (ún. distalis) szakaszába tolódott el (Morita et al., 1999). A vastagbél distalis szakaszára jellemző a tumor kialakulása, így, ha ebben a szakaszban fokozott fermentáció zajlik, az további védőhatást jelent a vastagbélrákkal szemben.

Nem csak butirát, hanem más, rövid láncú zsírsavak is keletkeznek a fermentálás során (Csapó et al, 2021), mint az acetát vagy propionát (Champ, 2013), melyek csökkentik a pH-t, így meggátolják a patogén baktériumok túlzott elszaporodását (Csapó et al, 2021).

Borsókeményítőből izolált, nagy RS-tartalmú keményítőkoncentrátum egészségre gyakorolt jótékony hatását vizsgálva pozitív eredmények születtek (Soral és Wronkowska, 2000). A készítmény hidrofób anyagok megkötési képességét kutatták, és arra a következtetésre jutottak, hogy speciális étrendek összetevőjeként, illetve preventív és terápiás célokra is alkalmazható az anyag.

A nem emésztett keményítő vastagbélbe jutása a felnőttek esetében pozitív hatással lehet a szervezetre (Björck et al., 1989). Ennek oka abban keresendő, hogy szénhidrátot biztosít a vastagbél mikroflórájának, ezzel olyan hatást fejt ki, mint a rost. Jótékony következményei a székletmennyiség megnövekedése, a perifériás inzulinrezisztencia valószínűségének csökkenése, és a vastagbélrák adenómák elleni védőhatás.

Egyes kémiaileg módosított keményítő más hatást fejt ki a vastagbélben, és a nem azonos SCFA molekulákat eredményez (Sajilata et al, 2006). Az CMS (kémiaileg módosított keményítő) csoporton belül a hidroxipropilált keményítőt vizsgálták, és arra jutottak, hogy ez a fajta CMS növelte a széklet mennyiségét, viszont az SCFA szintje nem változott (Ebihara et al., 1998). Ez kétféle eredményre enged következtetni; melyből az egyik, hogy a módosított keményítők jobban ellenállnak a vastagbél baktériumainak lebontásának; a másik lehetőség, hogy az SCFA nem a legfontosabb végterméke az anyagcserének.

Mivel az RS majdnem teljes mértékben áthalad a vékonybélben, akár szubsztrátként is szolgálhat a probiotikus mikroorganizmusok számára, így prebiotikumként is alkalmazható (Sajilata et al., 2006).

2.2.4.2 Súlygyarapodásra gyakorolt hatás

Érdekes kiemelni, hogy az emberek a keményítő nyers formáját nagy valószínűséggel nem fogyasztják, mivel például a burgonyakeményítő nyers állapotában viszonylag emészthetetlen (Booher et al., 1951).

Így el lehet mondani, hogy az alkalmazott feldolgozási feltételek is hatással vannak az in vivo emészthetőségre (Björck et al., 1989). Egy erősen oxidált, laboratóriumban preparált CMS anyag negatívan befolyásolta a súlygyarapodást.

Egy kutatásban a napi étrendi szénhidrátbevitel 5,4%-át RS-re cserélték, szignifikánsan megnövekedett az étkezés utáni lipoxidáció, ami azt engedi feltételezni, hogy hosszú távon csökkentheti a zsírlerakódást és az elhízást (Higgins et al., 2004).

A rezisztens keményítőnek potenciális szerepe lehet a teltségérzet fokozásában és a testsúlycsökkentésben (Nugent, 2005). Ennek egyszerűen az az oka, hogy azok az összetevők, melyek növelik a teltségérzetet, képesek arra, hogy segítsék a diétát. A kutatási eredmények vegyesek ebben a témában, nincs konkrét megállapodás azzal kapcsolatban, hogy milyen mértékű hatással van az RS a teltségérzetre.

Érdekes ebben a témakörben a glikémiás indexről (GI) is beszélni, mely egy élettani mérőszám, melyet azon élelmiszerek osztályozására használnak, amik szénhidrátot tartalmaznak. A GI meghatározása a következőképpen történik: egy adott tesztélelmiszer elfogyasztása után mért vércukorszint görbe alatti területet osztják a kontrol élelmiszer (általában fehér kenyér vagy glükóz) elfogyasztása utáni görbe alatti területtel (Ludwig és Eckel, 2002).

Az élelmi rostok csökkenthetik a glikémiás választ, ezért a nagy rosttartalmú élelmiszerek általában alacsonyabb GI-értékkel rendelkeznek (Nugent, 2005). Növekvő érdeklődés mutatkozik az RS-ben gazdag élelmiszerek GI-besorolása iránt, azt azonban fontos azonban megjegyezni, hogy az RS-ben gazdag ételek alacsony glikémiás válasza nem feltétlenül fiziológiai hatás, hanem abból adódik, hogy ezekben kevesebb az emészthető keményítő (Jenkins et al., 2002).

A GI önmagában csak arra képes, hogy az adott élelmiszer szénhidráttípusát jellemezze, de az emberek általában különböző tápanyagokat tartalmazó ételeket együtt fogyasztanak a

szénhidráttal (pl. fehérjével és zsírral) (Nugent, 2005). Az ételek szénhidrát-tartalma is eltérő, ezért a glikémiás terhelés (GL) fogalma került bevezetésre, amely:

- figyelembe veszi egy adott élelmiszer egy adagjának szénhidrát-tartalmát,
- az élelmiszer GI-értékét, vagyis egyszerre mutatja be a mennyiségi és minőségi szempontokat.

Mivel az RS alacsony glikémiás választ vált ki, az élelmiszerek RS-sel való dúsítása csökkentheti azok GI-értékét.

2.2.4.3 Negatív hatások

A CMS-termékek átfogó toxikológiai vizsgálatokon mentek keresztül, mire azok elfogadásra kerültek. (WHO, 1972).

Fontosnak gondoltam megvizsgálni, hogy esetleg jelentettek-e allergiás reakciót rezisztens keményítő kapcsán, de nem találtam egy ilyen tanulmányt sem. Egy cikkben megemlítették, hogy a nagy amilóztartalmú kukoricából készült hagyományos RS termékek esetében nem jelentettek allergiás reakciókat (Goldring, 2004).

Azon keményítőtípusok, melyeknek csökkent az emészthetőségük, a nem emésztett keményítő vastagbélbe jutva csecsemők esetén hasmenést válthat ki. Ezzel szemben felnőttek esetében táplálkozási szempontból előnyösnek számít a nem emésztett keményítő vastagbélben történő megjelenése (Björck et al., 1989).

Etetési kísérletekben, amelyek során patkányok 5 módosított keményítőt (acetilezett dikeményítő-foszfátot, acetilezett diamilopektin-foszfátot, keményítő-acetátot, hidroxipropil-dikeményítő-glicerint és foszfát-dikeményítő-foszfátot) fogyasztottak hosszú időn keresztül, megfigyelték, hogy a cekális emésztett anyaguk tömege nagyobb volt, mint azoknak, akik nem módosított keményítőt ettek (De Groot et al., 1974). A kutatásban nem találtak olyan jeleket, hogy a módosított keményítők káros hatással lennének a patkányok egészségére, és a testsúlygyarapodásban sem volt észrevehető különbség a különböző csoportok között.

2.2.5 Élelmiszeripari alkalmazása és rezisztens keményítőkön végzett vizsgálatok

2.2.5.1 RS élelmiszeripari alkalmazása

A kémiaiailag módosított keményítő (chemically modified starch, CMS) használata egyre nagyobb teret ölt az élelmiszeriparban, még hozzá különböző termékek fizikai tulajdonságainak javítására (Björck et al., 1989). Attól függően, hogy milyen módosítást hajtanak végre az

anyagon, a keményítőgél olyan jellemzőiben tud javulást mutatni, mint a retrogradálódás, a hőállóság, a fagyasztás-olvadás és a pH-stabilitás.

Az RS2 és RS3 különböző **funkcionális tulajdonságai** közé tartozik, hogy semleges ízűek, fehér színűek, természetes források, finom szemcsés szerkezettel rendelkeznek, így alig vannak hatással az élelmiszer állagára (Nugent, 2005). A csirizedési hőmérsékletük nagy, filmképző és extrudálási tulajdonságaik jók. A vízmegkötő kapacitásuk alacsonyabbnak számít, mint a hagyományos rosttermékek vízmegkötő kapacitása. Így lehetőséget teremtenek nagy rosttartalmú és alacsony tömegű termékek elkészítésére, nem mellesleg az érzékszervi tulajdonságok is kedvezőbb irányba tolódnak el a hagyományos nagy rosttartalommal rendelkező termékekhez képest. A rezisztens keményítőt használhatnák liszt helyettesítésére, akár 50-50% arányban (Fausto et al., 1997). Az RS kedvező fizikai és kémiai tulajdonságai (melyek a duzzadásképeség, viszkozitásnövelés, gélképződés, vízmegkötő kapacitás) miatt a tészta kezelhetőségére és reológiai tulajdonságaira nem lenne nagy hatással.

Egy kísérletben rezisztens keményítővel és hagyományos rostokkal készített kenyerek minőségét vizsgálták. Háromféle hagyományos rostot és kétféle RS-t használtak fel, valamint hagyományos rost és rezisztens keményítő keverékét. Az eredmény az volt, hogy a hagyományos rostokkal készített kenyerek vízfelhasználása nagyobb volt, mint az RS-vel készült kenyereké még annak ellenére is, hogy a rezisztens keményítők vízigénye nagyobb is volt, mivel ugyanannyi élelmi rost eléréséhez többet kellett belőlük felhasználni. Így a tészta reológiai paraméterei kevésbé tértek el a standard fehérkenyéréhez képest. Az egyik RS-vel készült kenyér jobb szerkezetű és nagyobb térfogatú lett, mint a hagyományos rostokkal készült versenytársai.

Az RS ipari felhasználása elsősorban olyan élelmiszerek gyártására összpontosít, melyek **alacsony nedvességtartalommal** rendelkeznek (Yue és Waring, 1998). Ezen élelmiszerek közé tartoznak a különböző pékáruk, kenyerek, muffinok, reggelizőpelyhek, piskóták, torták, de bevonatok összetevőjét is képezhetik rezisztens keményítők (Sajilata et al., 2006). A liszt helyettesítésére felhasznált RS mennyisége attól függ, hogy

- milyen a keményítő típusa,
- mi vagy milyen az adott élelmiszer,
- mi az elérni kívánt rosttartalom,
- és egyes esetekben a kívánt szerkezeti vagy funkcionális állítások.

Mivel a rezisztens keményítő az AOAC (Association of Official Agricultural Chemists) szerint az élelmi rost definíciójába esik, ezért a kereskedelmi forgalomban kapható RS alapanyagok az

élelmiszerek teljes élelmi rosttartalmát növeli úgy, hogy az élelmiszer ízét vagy állagát jelentősen befolyásolná (Liversey, 1994).

Arról sok cikk és tanulmány született, hogy milyen funkcionális hatásokat lehet elérni a CMS (kémiaailag módosított keményítő) anyagokkal. Érdeemes megjegyezni, hogy a keresztkötéssel vagy helyettesítéssel előállított, kémiaailag módosított keményítőknek az emberi emésztésre gyakorolt hatása sokáig kevésbé kutatott területnek számított (Björck et al., 1989).

2.2.5.2 Duzzadás és oldódás, hőkezelés hatása

Egy kutatás során különböző rezisztens búzakeményítők vízben való duzzadását vizsgálták 25 °C hőmérsékleten, illetve a duzzadási erejét és oldódását 95 °C hőmérsékleten (Shin et al., 2003). A kísérlethez kereskedelmi forgalomban lévő kukorica alapú rezisztens keményítők, illetve laboratóriumban elkészített, búzakeményítő alapú rezisztens típusokat használtak fel. Az RS3 típusú búzakeményítő a 25°C-on végzett vízduzzadása alatt megnövekedett értéket mutattak. A legkisebb vízduzzadást 25°C-on a keresztkötött RS4 mutatta. A RS3 búzakeményítő vízduzzadása 25°C-on csökkent a hőkezelés és nedves környezet után. A nagy amilóztartalmú (70%) kukorica keményítő vízduzzadása 25°C-on hasonló volt, mint a kereskedelmi rezisztens keményítők.

A 95°C-on mért duzzadási erők nagysága 2–20-szor nagyobb volt, mint a 25°C-on mért vízduzzadás. Az egyik kereskedelmi minta nagyobb duzzadási erőt mutatott és sokkal nagyobb oldhatóságot mutatott 95°C-on, mint a másik. A különbséget a két termék előállításának eltéréseivel magyarázták.

A csirizedett keresztkötött RS4 10-szer nagyobb vízmennyiséget szívott fel 95°C-on, mint 25°C-on, melyet a kristályos régió megolvadásának tudtak be. Bár a csirizedett RS4 szemcsék duzzadtak, a kioldódó szénhidrát mennyisége 0,5%-ot tett ki, mivel a keményítő molekulák összekapcsolódtak. A RS3 búza keményítő oldhatósága 95°C-on sokkal nagyobb volt, mint a keresztkötött RS4-é, aminek okát abban találták, hogy az RS3 búza keményítő tartalmazott némi amorf anyagot, amely elősegítette a duzzadást és az oldódást.

A keresztkötött RS4 nyomás alatt történő főzése megsemmisíti a kristályosságot, ami azt eredményezi, hogy az alfa-amiláz enzim hozzáférhetősége növekszik.

Az eredményeket a 7. táblázat tartalmazza.

7. táblázat Különböző keményítők, és kezelt vagy kezeletlen rezisztens keményítők rezisztens keményítő tartalmának összefoglalója, kiegészítve az adott minta duzzadásával vízben 25 °C hőmérsékleten (g/g), duzzadási erejével 95 °C hőmérsékleten (g/g) és oldhatóságával 95 °C hőmérsékleten (g/g) (Forrás: Shin et al., 2003).

Minták	RS mennyiség (%)	Duzzadás vízben 25 °C-on (g/g)	Duzzadási erő 95 °C-on (g/g)	Oldhatóság 95 °C-on (%)
Búzakeményítő	2,4	0,33	7,6	27,7
Nagy amilóztartalmú kukoricakeményítő	26,9	0,5	2,9	2,4
Kereskedelmi minta 1.	57,9	0,3	2,1	1,9
Kereskedelmi minta 2.	39,9	0,43	4,3	23,8
RS3	10,4	1,8	8,6	20,2
RS3 hő-nedvesség kezeléssel	12,9	1,09	7,2	13,7
RS4	72,9	0,27	2,8	0,5
RS3 az RS4-ből	15,7	1,47	3,2	0,8

Egy másik tanulmány is igazolja azt, ami az előző bekezdésben került megfogalmazásra, miszerint a főzés különbözőképpen van hatással az egyes rezisztens keményítőtípusokra (Hódsági et al., 2010). A főzés szignifikáns növekedést mutatott a tanulmányban vizsgált búza, kukorica és RS4 keményítők emészthetőségében az RS2 típushoz képest. Ezt szintén azzal magyarázták, hogy az RS4 elvesztette rezisztenciájának jelentős részét az alfa-amilázzal szemben. Az RS2 rezisztenciájának növekedése pedig annak volt tudható, hogy az RS2 RS3 keményítővé alakulhatott, melynek rezisztenciája növekszik a hőkezelést követően. Ezt a feltevést Shin és társai (2003) által készített tanulmány szintén bizonyítani tudja.

2.2.5.3 NIR alkalmazása RS mérésére

Magyar tanulmány készült rezisztens keményítők közeli infravörös spektroszkópiával történő vizsgálatáról, melyben különböző RS típusok fizikokémiai tulajdonságait figyelték meg (Hódsági et al., 2010). Négy szénhidrát régiót analizáltak:

- szénhidrát I (1575–1590 nm, az O–H kötések vegyérték rezgéseinek első felharmónikusa),
- szénhidrát II (2080–2130 nm, az O–H kötések deformációs és C–O kötések vegyérték rezgéseinek kombinációja),
- szénhidrát III (2275–2290 nm, az O–H kötések és C–C kötések vegyérték rezgéseinek kombinációja),

- szénhidrát IV (2310–2335 nm, a C–H kötések deformációs és vegyérték rezgéseinek kombinációja).

A következő megállapítások születtek:

- A régiók különböző mértékben érzékenyek a rezisztens keményítők tulajdonságaira.
- A 2080–2130 nm és a 2275–2290 nm spektrum régiók képesek érzékenyen nyomon követni az amilóz növekvő koncentrációját, melyből a szénhidrát III régió a legérzékenyebb.
- A foszfoészter kötésekkel tartalmazó RS4 nem detektálható nagyon karakterisztikusan, ettől függetlenül az RS4 mennyiségének növelése érzékelhető volt.

Egy másik kísérletben azt vizsgálták, hogy a mikrohullámú sugárzás milyen hatással van a különböző rezisztens keményítők emészthetőségére (Hódsági et al., 2011). Arra a megállapításra jutottak, hogy nem befolyásolja az emészthetőséget az ezen fajta sugárzás, viszont a kezelés következtében a reológiai tulajdonságok romlást mutattak. A szerkezeti változások nyomon követésére szintén a NIR spektroszkópiát használták, mely erre szintén érzékenynek bizonyult.

2.2.5.4 Rezisztens keményítő használata tésztában

Egy tanulmányban három különböző kereskedelmi forgalomban lévő keményítőt (Hylon VII, Novelose 330 és CrystaLean) keverték kenyér receptúrába különböző arányokban, és értékelték azok hatását a kenyértészták reológiai és sütési tulajdonságaira, valamint a kenyerek rezisztens keményítőtartalmára. A Hylon VII gazdag RS2-ben, míg a Novelose 330 és CrystaLean anyagok RS3-ban. A rezisztens keményítővel kiegészített tészták gyengébbek voltak, és több vizet vettek fel, mint az alaplisztből készült kontroll tésztaminták. A nagy RS-tartalmú kereskedelmi keményítőkkel kiegészített kenyerek rezisztens keményítőtartalma jelentős növekedést mutatott a keményítő-adagolás arányának növekedésével. (Ozturk et al., 2009).

8. táblázat Különböző kereskedelmi forgalomban lévő keményítővel kiegészített kenyerek farinográf értékei (*Forrás: Ozturk et al., 2009*)

Sample	Addition level (%)	Water absorption (%)	Dough development time (min)	Stability (min)	Mixing tolerance index (Brabender Unit)	Softening degree (Brabender Unit)
HylonVII	0	66.0	6.5	8.0	40	60
	10	67.0	6.0	5.0	40	90
	20	68.0	2.0	5.0	30	70
	30	70.5	1.2	1.5	80	110
Novelose330	0	66.0	6.5	8.0	40	60
	10	70.0	6.0	7.5	40	60
	20	74.0	4.0	7.5	30	70
	30	79.0	4.0	6.0	60	90
CrystaLean	0	66.0	6.5	8.0	40	60
	10	70.5	6.5	7.0	35	65
	20	75.0	5.0	7.5	35	80
	30	80.0	4.0	6.0	40	90

Egy másik tanulmány azt írja, hogy a farinográfus mérések alapján a vízfelvétel (WA) nőtt a rezisztens keményítő adagolási szintjének növekedésével. Ez arra enged következtetni, hogy bár a liszt–RS keverékek kevesebb fehérjét tartalmaztak, az RS önmagában is hozzájárult a vízmegkötés növekedéséhez (Barros et al., 2018).

9. táblázat Rezisztens keményítővel kiegészített kenyerek farinográf értékei (Forrás: Barros et al., 2018)

Parameters	Control	RS10	RS15	RS20
<i>Farinography</i>				
WA (%)	58.0	66.0	69.5	72.5
DT (min.)	10.3 ± 0.1 ^a	6.4 ± 0.3 ^c	6.2 ± 0.2 ^c	7.3 ± 0.1 ^b
S (min.)	17.2 ± 0.3 ^a	14.2 ± 0.3 ^b	10.3 ± 0.4 ^c	15.3 ± 0.7 ^b
MTI (BU)	10.0 ± 0.1 ^c	27.5 ± 3.5 ^b	30.0 ± 0.1 ^b	40.0 ± 0.0 ^a

A kereskedelmi forgalomban kapható rezisztens keményítő alkalmazása számos előnnyel járhat az élelmiszeriparban. Az iparilag előállított rezisztens keményítők stabilak, nincsenek jelentős hatással a feldolgozási és tárolási körülményekre. Az ilyen típusú rezisztens keményítők alkalmasak a teljes élelmirost-tartalom növelésére anélkül, hogy befolyásolnák az élelmiszerek ízét vagy állagát (Sanz-Penella et al., 2010).

10. táblázat Módosított borsókeményítőből származó rezisztens keményítő adagolásával elért farinográf értékek nyers kenyértésztára (*Forrás: Sanz-Penella et al., 2010*).

Table 1 Significance of the addition of resistant starch from modified pea starch on dough performance

PeaP	%	0	10	20	30
Mixing/overmixing parameters (farinograph) ^a					
Water absorption	%	54.6 a	63.6 b	68.9 c	74.6 d
Dough development time	min	3.75 ab	5.13 b	5.26 b	2.05 a
Stability	BU	7.48 b	6.13 b	5.80 b	3.25 a
Mixing tolerance index	BU	30.0 a	65.0 ab	60.1 ab	95.0 b

A fogyasztók rostfogyasztásának növeléséhez megoldást nyújthat a rezisztens keményítővel elért rosttartalom növekedés. Nagy előnye, hogy színtelen és íztelen.

A módosított borsókeményítőt funkcionális rostként való használata különböző kenyérformulák kialakításának ad lehetőséget. Ezekben a receptekben növelni lehet az RS mennyiséget, viszont nem jár kedvezőtlen hatásokkal, inkább pozitív hatás érhető el, például a tésztakeverésben növekvő vízfelvétel tapasztalható.

A 20%-os liszt-helyettesítésig ezek a változások kedvezőek, azonban a borsókeményítő 30%-os arányú használata már negatívan befolyásolja a tészta keverési viselkedését (Sanz-Penella et al., 2010).

3. Anyagok és alkalmazott módszerek

3.1 Különböző növényi eredetű alapanyagok alfa-amiláz enzimmel történő bontása

A vizsgálat során különböző növényi eredetű alapanyagokat hőstabil alfa-amiláz enzimmel bontottam annak érdekében, hogy később a redukálócukor tartalmát meg tudjam határozni, ezzel következtetve a lehetséges rosttartalom az adott mintában. Kétféle hőfokon történt az enzimes emésztés: 37,5 °C-on, szimulálva az emberi belső hőmérsékletet; illetve 73 °C-on, amely a felhasznált alfa-amiláz enzim megfelelő működési hőmérséklete.

Felhasznált növényi eredetű alapanyagok

- Burgonyakeményítő – Herbaházban vásároltam
- Kukorica keményítő – Herbaházban vásároltam
- Tápióka keményítő - Herbaházban vásároltam
- E1412 – Selejtezés során kaptam egy cégtől, tápióka alapú, 70%-os rosttartalom
- E1413 - Selejtezés során kaptam egy cégtől, tápióka alapú, 90%-os rosttartalom
- E1442 - Selejtezés során kaptam egy cégtől, tápióka alapú, módosított keményítő
- Kukoricadara - Herbaházban vásároltam
- Búzadara - Herbaházban vásároltam
- Száraz vörösbab – Tescoban vásároltam
- Nyers krumpli – Lidlben vásároltam
- Zöld banán - Lidlben vásároltam
- Konzerves vörösbab - Tescoban vásároltam
- Főtt, hűtött burgonya - Lidlben vásároltam, két nappal előtte megfőztem, hűtőben tároltam
- Főtt, hűtött rizs - Lidlben vásároltam, két nappal előtte megfőztem, hűtőben tároltam
- Corn flakes - Herbaházban vásároltam, natúr
- Rizsdara - Herbaházban vásároltam

Felhasznált eszközök:

- 8 férőhelyes keverő-inkubátor
- 200 ml-es mérőhenger
- Kisebb mérőhengerek
- Műanyag pipetták
- 1 ml-es pipetta

- Kávédaráló
- Dörzsmozsár
- Mérleg
- Konyhai reszelő

Felhasznált oldatok:

- Hőstabil alfa-amiláz enzim
- 37,5 °C-on és 73°C temperált csapvíz

A rizst és a burgonyát a mérés előtt két nappal megfőztem és lehűtöttem.

Ahhoz, hogy érdemben össze lehessen hasonlítani a redukálócukor tartalom mérési eredményeit, minden alapanyagot úgy kellett kimérni, hogy a keményítőtartalmuk közel hasonló legyen (20 gramm). Ehhez pedig ki kellett számolni az anyagok adagolt mennyiségét az átlagos keményítőtartalmuk alapján.

11. táblázat A különböző alapanyagok átlagos keményítőtartalma és a 20 gramm keményítőre kiszámolt alapanyag-igény (*Forrás: Saját munka*)

Sorszáma	Minta neve	Átlagos keményítőtartalom (g/100g)	20 g keményítőtartalomra kiszámolt alapanyag mennyiségek
1.	Burgonyakeményítő	100,0	20,0 g
2.	Kukorica keményítő	100,0	20,0 g
3.	Tápióka keményítő	100,0	20,0 g
4.	E1412	100,0	20,0 g
5.	E1413	100,0	20,0 g
6.	E1442	100,0	20,0 g
7.	Kukoricadara	70,0	28,5 g
8.	Búzadara	69,5	28,7 g
9.	Száraz vörösbab	39,0	51,2 g
10.	Nyers krumpli	18,0	111,0 g
11.	Zöld banán	78,1	25,6 g
12.	Konzerves vörösbab	39,0	51,2 g
13.	Főtt, hűtött burgonya	18,0	111,0 g
14.	Főtt, hűtött rizs	70,0	28,5 g
15.	Corn flakes	80,0	25,0 g
16.	Rizsdara	70,0	28,5 g

A poros és a darált alapanyagok nem, viszont minden más előkészületekkel járt. A száraz vörösbabot késes aprítóban le kellett őrölni, a nyers krumplit leszereltem, a zöld banánt, a konzerves babot és főtt burgonyát összenyomkodtam, a kukoricapelyhet lemorzsoltam.

Az anyagok megfelelő mennyiségeit az inkubátor keverőedényeibe kimértem (egyszerre csak 8 darabot), majd 200 cm³ temperált csapvízzel felöntöttem.

2. ábra A kimért alapanyagok (1-4.) (Forrás: Saját munka)



3. ábra A kimért alapanyagok (10-13) (Forrás: Saját munka)



Az inkubátorba helyeztem az edényeket, felszereltem a keverőlapátokat és megfelelő hőmérsékleten 1 percig 200 rpm sebességen keverni kezdtem. Ezzel a lépéssel homogenizáltam a mintát ahhoz, hogy mintát tudjak venni belőle az alfa-amiláz enzim adagolása előtt. A mintavételt műanyag pipettával végeztem, kicsi, felcímkézett mérőhengerekbe. Ezt követően 0,5 ml alfa-amiláz enzim került adagolásra minden egyes szuszpenzióba. Ez egy elég nagy mennyiségű enzimnek számít, viszont a mi esetünkben szükség volt erre, mivel az egyik inkubáció csak jóval az alfa-amiláz optimális működési tartománya alatt (37,5°C) történt. Az enzimadagolás végeztével 100 rpm sebességen, adott hőmérsékleten 60 percen keresztül keverttem. Az 1 órás inkubáció után mintát vettem kis mérőhengerekbe, amiket a 73°C-on történő vizsgálat után azonnal lehűtöttem, azért, hogy az enzim ne tudjon utána még hatni.

3.2 Redukálócukor tartalom meghatározása Schoorl-Regenbogen módszer szerint

A módszer elve: Ezen módszer alkalmazásával a szénhidrátok, ezen belül is a redukáló cukrok mennyiségi meghatározását tudjuk elvégezni. Réz komplex tartalmú oldatból lúgos közegben a cukrok aldehid csoportja réz-1-oxid kiválasztására képes. Azt a rézmennyiséget, amely nem reagált az aldehid csoporttal, jodometriásan határozzuk meg. Ezt úgy végezzük el, hogy kálium-jodidot adunk az oldatunkhoz, ezáltal jód keletkezik, amelynek mennyiségét nátrium-tioszulfáttal titrálás útján mérjük meg.

Ezzel a módszerrel ki tudjuk számolni, hogy mekkora az adott minta redukálócukor tartalma, tehát mekkora volt a szuszpenzióban található különböző cukrok redukáló ereje. Közvetetten pedig következtetni tudunk a rosttartalomra és a rezisztens keményítőtartalomra.

A 0. és a 60. percben vett növényi eredetű alapanyagok mintái kerültek felhasználásra, melyek korábban 37,5 °C-on és 73 °C-on kerültek inkubálásra és bontva alfa-amiláz enzimmal (minták 1-16.).

Felhasznált eszközök:

- 200 ml-es Erlenmeyer-lombik
- 100 ml-es mérőhenger
- rezsó
- 5 ml-es pipetta, pipettahegyek
- titrálóállvány

Felhasznált oldatok

- Schoorl A oldat
- Schoorl B oldat
- Desztillált víz
- 30%-os KI oldat
- 25%-os H₂SO₃ oldat
- 1%-os keményítő indikátor
- 0,05 M Na₂S₂O₃-oldat

4. ábra A felhasznált oldatok (*Forrás: Saját munka*)



Egy Erlenmeyer-lombika 10 cm^3 Schoorl A, majd 10 cm^3 Schoorl B oldatot mértem ki, melyhez még $30\text{-}35\text{ cm}^3$ desztillált vizet öntöttem és homogenizáltam. Ezt követően 1 ml mintát mértem ki az elegybe, figyelve arra, hogy a felszívott szuszpenzió mentes legyen nagyobb rostsálaktól, buboréktól. Az elegyet elkevertem, és forralni kezdtem egy villanyrezsón.

5. ábra Forralás a villanyrezsón (Forrás: Saját munka)



A forrástól számított 2 perc után a lombikot elkezdtem hideg vízben lehűteni, figyelve arra, hogy ne kevergessem a mintát. A hűtés után 10 cm^3 KI-oldatot, majd 10 cm^3 25%-os kénsavat tettem még a lombikba. A 4 csepp 1%-os keményítő indikátor hozzáadásával erősebb, látványosabb színekülönbség tapasztalható a titrálás során, amely az átütési pontnál jelentkezik. Ezen elegyet nátrium-tioszulfáttal titrálni kezdtem, mely során a barnás/zöldes szín halvány rózsaszín, szürkés-fehéres árnyalatú nem lett, és a végén leolvastam a nátrium-tioszulfát mennyiségi fogyását.

6. ábra A kiindulási és az átcsapási szín (Forrás: Saját munka)



Egy vakmintát is készítettem, melyet ugyanúgy állítottam össze, mint a többi mintát, annyi különbséggel, hogy az alapanyag szuszpenzió helyett 10 ml vizet adtam a reakcióelegyhez. Az eredmény kiszámolása úgy történt, hogy a vakminta és a mérőoldat fogyásának különbségét megszoroztam a nátrium-tioszulfát faktorával. A titrált mintának glükózban kifejezett redukálócukor tartalmát pedig a következő egyenlettel lehet kalkulálni:

$$\text{cukormennyiség (mg/...ml minta)} = 0,016x^2 + 30,8x + 0,355 \quad (1)$$

3.3 Nyers tészta reológiai paramétereinek vizsgálata doughLAB műszerrel

A mérés során arra voltam kíváncsi, hogy a rezisztens keményítők milyen változást tudnak okozni egy nyers tészta reológiai paramétereiben, és a különböző mennyiségű adagolás milyen hatással van a tulajdonságaira. Ezen paraméterek vizsgálatához legalkalmasabb módszerek azok, melyek alapja a dagasztás. A mixerek az energiát, vagyis a keverési ellenállást mérik, amely a lisztre és a hozzáadott alapanyagokra jellemzően mutat változást az idő függvényében (Haraszi, 2002).

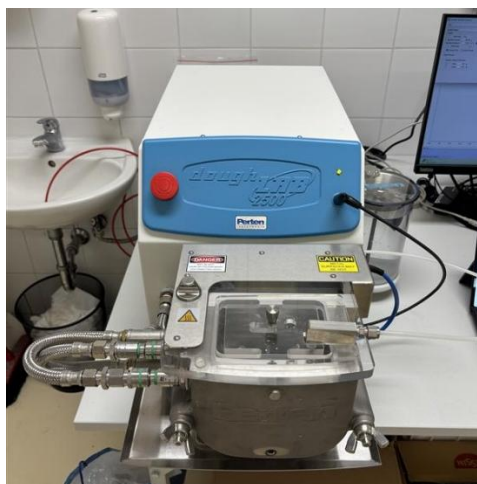
A farinográf működése során a tésztát két, egymással ellentétes irányban forgó, Z alakú keverőkar dolgozza össze. A vizsgálat megkezdése előtt pontosan kimért mennyiségű lisztet helyeznek a dagasztótálba, majd meghatározott térfogatú vizet adagolnak hozzá, miközben elindul a keverés. A készülék a keverés közben fellépő ellenállást méri, vagyis azt a nyomatókot,

amely a keverőkarok és a tál között keletkezik. Az így nyert adatokból egy jellegzetes görbe készül, amelyet farinogramnak neveznek (Haraszi, 2002).

A mért farinogram a tészta kialakulásának, stabil állapotának és későbbi ellágyulásának folyamatát ábrázolja. Amint a víz hozzáadása megkezdődik, a liszt hidratálódik és megindul a tésztaképződés, amit a görbe meredek emelkedése jelez. A tésztakialakulási szakasz addig tart, amíg a konzisztencia el nem éri az 500 FU (faringráf egység) értéket, amely a tészta optimális szerkezetének kialakulását jelzi.

Az analízis elkészítéséhez egy farinográfyszerű műszert, a doughLAB-ot használtam, amely a Nissin Foods Kft. tulajdonában van és a vállalatnak a kecskeméti telephelyén található. A doughLAB egy rugalmas tészta reométer, amely szintén hagyományos Z-karos keverési mechanizmussal működik. Standard vagy egyedi beállításokkal képes meghatározni a vízfelvételt, a tésztakeverési profilt, a fejlődési időt, a stabilitást, valamint a lágyulást. A készüléket búza-, rozs-, durumbúza- és kevert lisztek vizsgálatára használják malomipari, sütőipari és élelmiszeripari laboratóriumokban. A doughLAB változtatható hőmérséklet- és sebességszabályozási képessége lehetővé teszi olyan minták vizsgálatát is, amelyek normál körülmények között nehezen kezelhetők.

7. ábra A farinográfyszerű műszer, a doughLAB (Forrás: Saját munka)



A műszerbe különböző programok előre be vannak táplálva, melyek közül az egyik a farinográf egyenérték módszer. Az egyik fő különbség a farinográf és a doughLAB között az a hőmérséklet-szabályozási rendszer. A farinográf általában csak fűtő funkcióval rendelkező vízfürdővel van ellátva, amelyet műanyag csövekkel csatlakoztatnak a készülékhez.

Egy standard vizsgálat során a keverés során keletkező munka hő termel, ami növeli a tál hőmérsékletét.

Amennyiben nincs hűtővíz-rendszer csatlakoztatva, a berendezés nem képes visszahűteni a hőmérsékletet a kiinduló értékre — így az a vizsgálat során legalább 1 °C-kal, hosszabb tesztek esetén ennél is nagyobb mértékben emelkedik. A hőmérséklet folyamatos növekedése mérhető hatással van a tészta hőmérsékletfüggő paramétereire, mint például a stabilitás, lágyulás, és a keverési tűrési index (MTI). A vizsgálat alatti hőmérséklet-emelkedés emellett befolyásolhatja a csúcnyomaték (peak torque) értékeit is, és így a vízfelvételt (WA), különösen erős lisztek esetében.

Ezzel szemben a doughLAB integrált hőmérséklet-szabályozással rendelkezik, amely biztosítja, hogy a keverőtál a teljes vizsgálat során az előre beállított hőmérsékleten maradjon. A farinográf egyenérték módszer azért készült, hogy a laboratóriumok össze tudják hasonlítani a doughLAB műszer által mért és a farinográfal készült mérési eredményeket. A módszer hasonlóan szabályozza a hőmérsékletet, mint a legtöbb farinográf, tehát a teszt során a hőmérsékletet 0,05 °C/perc sebességgel emeli a vizsgálat végéig.

8. ábra A doughLAB műszer keverőcsészejé egy keverés után (*Forrás: Saját munka*)



Felhasznált alapanyagok:

- BL-55 liszt
- E1412
- E1413
- víz

Felhasznált eszközök:

- doughLAB
- számítógép
- mérleg

A mérés kidolgozását az alapanyagok adagolási mennyiségével kezdtem, melynek alapját Sanz-Penella és munkatársai (2010) által írt tanulmány képezi, ahol 0%, 10%, 20% és 30% rezisztens keményítő adagolásával vizsgálták a lisztkeverési viselkedést, a tészta reológiai tulajdonságait, viszkozitási jellemzőket, keményítő hőtechnikai tulajdonságait a kenyérfőzés és -tárolás során, valamint a kenyér végső sütési teljesítményét. Én kétféle rezisztens keményítő adagolásával ugyanezen arányokat követtem:

12. táblázat Kísérletterv a doughLAB készülékhez (*Forrás: Saját munka*)

Minta neve	Liszt adagolása		Rezisztens keményítő adagolása	Liszt mennyisége a mintában (g/300g minta)	Rezisztens keményítő mennyisége a mintában (g/300g minta)
Kontrol	100%		-	300	-
RS1-10	90%	+	10% E1412	270	30
RS1-20	80%	+	20% E1412	240	60
RS1-30	70%	+	30% E1412	210	90
RS2-10	90%	+	10% E1413	270	30
RS2-20	80%	+	20% E1413	240	60
RS2-30	70%	+	30% E1413	210	90

A műszer és a számítógépes programjának elindítása után megtöltöttem desztillált vízzel víztartályt, és a mintát a műszer keverőtábjába tettem. Majd kiválasztottam a keverési módszert, ami a mi esetünkben a módosított húszperces keverési profil, felfűtési lépcsővel. Ezen keverési program az AACCI 54-21, a RACI hivatalos 06-02, valamint az ICC 115/1 szabványok alapján készült el. A program elindításához meg kell adni a liszt vagy lisztkeverék nedvességtartalmát, amelyet egy halogén nedvesség meghatározó készülékkel. Ezt a mérést a következő bekezdésben tárgyalom. A kezdeti vízfelvétel értéket (WA) is meg kell adni, amelyhez a korábbi mérésekből származó liszt vízfelvételének értéket írtam be. A doughLAB ez alapján automatikusan adagolni kezdte a megfelelő vízmennyiséget a megadott mintamérethez. A

vizsgálat végén a doughLAB kiszámította a pontos vízfelvételi értéket, amely szükséges ahhoz, hogy a minta elérje az 500 FU csúcsnyomatékot (ami 4902 mNm a 300 g-os tál esetén).

A következő paramétereket mérte és követte nyomon a műszer:

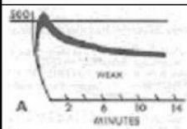
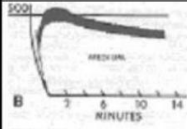
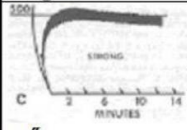
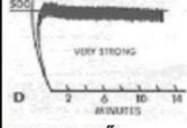
- vízfelvétel (%): vízfelvétel, ami mellett a nyers tészta konzisztenciáját 500 FU értékre lehet állítani.
- tészta kifejlődési idő (min): azt az időt jelenti, amely a víz hozzáadásának elkezdésétől a nyers tészta maximum konzisztenciájának (500 FU) eléréséig eltelik.
- stabilitás (min): azt az időt értjük ezalatt, ami akkor kezdődik, amikor a farinogram felső szegélye eléri az 500 FU vonalát, és akkor fejeződik be, amikor a farinogram felső szegélye elhagyja az 500 FU vonalát.
- lágulás (FU): A maximális konzisztencia és a 12. perc elteltével mért konzisztencia közti érték különbsége.
- keverési tolerancia index (FU): A maximális konzisztencia és a 5. perc elteltével mért konzisztencia közti érték különbsége.

Annak érdekében, hogy biztosan pontos eredményt kapjunk, érdemes ezt a mérést minden egyes minta esetén két alkalommal elvégezni a vízfelvétel miatt. Az első alkalommal csak megtippelni tudjuk a lisztünk vagy keverékünk vízfelvételének értéket, így az első program során kapott értékek nem feltétlen tükrözik a valóságot. Viszont az első mérés során kapott vízfelvételi érték megadásával a második mérés már biztosan pontosabb eredményt fog nekünk mutatni.

Minden egyes vizsgálat után a keverőtálat alaposan elmostam.

Az értékek összehasonlításához az MSZ ISO 5530-3 szabvány különböző lisztminőségi osztályainak jellemzőit vettem alapul. Az osztályok összefoglaló táblázatát a 9. ábra tartalmazza:

9. ábra A lisztminőségi osztályok jellemzői (*Forrás: NÁDOSI, 2005*)

<i>Minőségi osztályra jellemző görbe</i>	<i>Tészta kialakulási idő [perc]</i>	<i>Vízabszorbpció [%]</i>	<i>Fehérjetart. [%]</i>	<i>Keményítőszemcse sérülés</i>	<i>Felhasználás</i>
 <p>A <i>gyenge</i></p>	rövid (<2,5)	kis (<55)	kis (7,5-9)	alacsony	édes tésztából készült termékek, kekszek és metélt tészták
 <p>B <i>átlagos</i></p>	2,5-4	54-60	10-11,5	-	kis térfogatú kenyerek
 <p>C <i>erős</i></p>	4-8	>58	>11,5	-	kenyerek előállítására, gyengébb lisztek erősítésére (keverék liszt)
 <p>D <i>nagyon erős</i></p>	>10	-	>11,5	jelentős	javítóliszt

3.4 Liszt és lisztkeverék nedvességtartalmának vizsgálata

Módszer elve: A nedvességtartalom mérést halogén nedvességmérő készülékkel végeztem. A műszer termogravimetriás elven működik, és egy mérleg is bele van építve. A megfelelő mennyiségű minta kimérése után a halogénfűtő egység felmelegíti azt. Ezzel elkezd a minta nedvességtartalma párologni. A műszer nyomon követi a szárítás alatt a minta tömegének változását, így amikor a mérés befejeződik, a berendezés kiszámolja a minta végső nedvességtartalmát.

Mivel a doughLAB farinográf egyenérték programja a paraméterek megfelelő kiszámolása érdekében kéri a liszt vagy lisztkeverék pontos nedvességtartalmát, ezért azt először lemértem. A vizsgálatot egy Mettler-Toledo HC103 eszközzel végeztem, amely egy halogén nedvesség meghatározó.

10. ábra Halogén nedvesség meghatározó – Mettler-Toledo HC103 (Forrás: Saját munka)



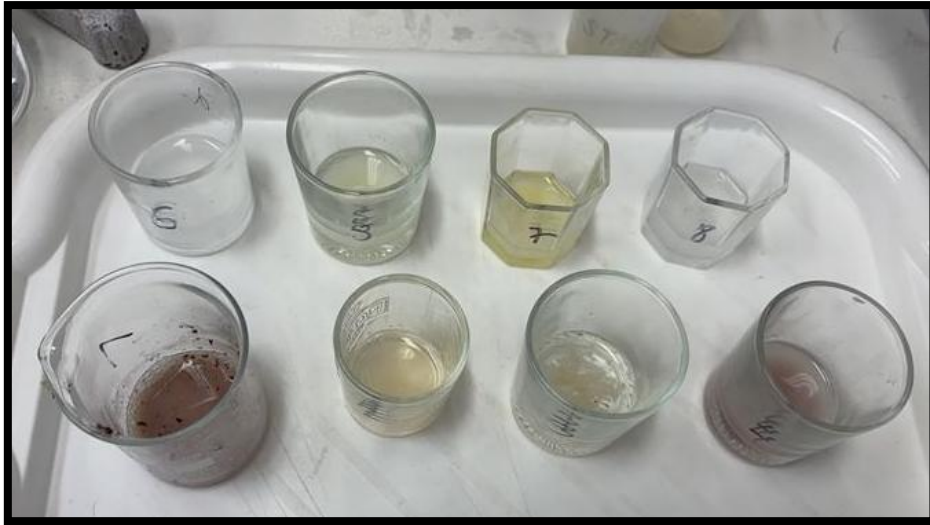
A műszerbe mérleg van beszerelve. A tálca tárazását követően 5 grammot mértem ki, majd a fedő lecsukásával elindítottam a mérést. Az analízis befejeztével a tálcát kitakarítottam. Minden minta nedvességtartalmának mérést három alkalommal végeztem el annak érdekében, hogy a három érték átlagát tudjam a doughLAB méréshez megadni.

4. Eredmények és értékelésük

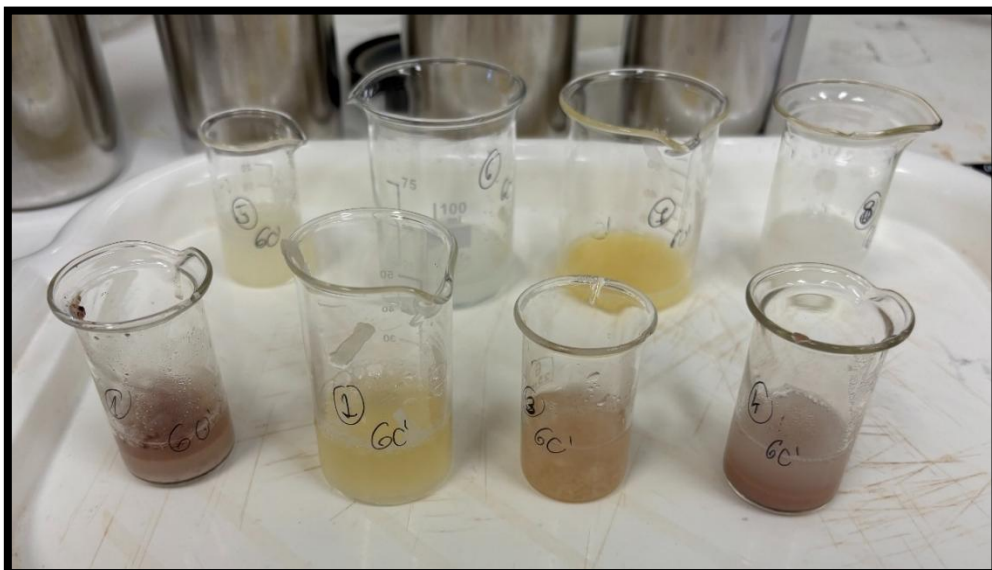
4.1 Az alapanyagok alfa-amiláz enzimmel történő bontásának eredménye

A 37,5 °C-on történő enzimes bontás 0. perces és 60. perces eredményeit a következő képek ábrázolják a teljesség igénye nélkül:

11. ábra 1-8. főzőpoharak tartalma: 37,5 °C-os inkubálás előtt vörösbab, nyers krumpli, zöld banán, konzerves vörösbab, főtt-hűtött burgonya, főtt-hűtött rizs, corn flakes és rizsdara minta (Forrás: Saját munka)



12. ábra 1-8. főzőpoharak tartalma: 37,5 °C-on 60 percig inkubált vörösbab, nyers krumpli, zöld banán, konzerves vörösbab, főtt-hűtött burgonya, főtt-hűtött rizsm corn flakes és rizsdara minta (Forrás: Saját munka)



Jól látható, hogy az ezen a hőmérsékleten végzett emésztés nem járt nagy változásokkal a minta színében, állagában. Ennek lehetséges oka, hogy a hőmérséklet túl alacsony volt ahhoz, hogy az ez a típusú enzim kifejtse hatását, illetve alacsony volt a hőmérséklet a különböző típusú keményítők csirizesedéséhez.

A 73 °C-on történő enzimes bontás eredményeinek vizuális bemutatását a következő képek ábrázolják a teljesség igénye nélkül:

13. ábra Burgonyakeményítő, kukoricakeményítő és E1442 a 60. percben 73 °C-on történő enzimes bontás után (*Forrás: Saját munka*)



Ezen a hőmérsékleten már nagy mértékű változás volt megfigyelhető a minták színében, állagában. A hőstabil alfa-amiláz enzim optimális hőmérséklete pontosan 73 °C, tehát ezért volt érzékszervileg tapasztalható a változás. A másik lehetséges ok, hogy ezeken a mintákon már látható volt változás, hogy ez a hőmérséklet már átlépte vagy éppen elérte a különböző típusú keményítők csirizesedési pontját. A burgonya csirizesedési hőmérséklete 52-67 °C, búzáé 52-64 °C, kukoricáé 62-72 °C, a tápiókának 70-80 °C között van.

4.2 A redukáló cukortartalom meghatározás eredményei

A nátrium-tioszulfát oldat fogyasztásának eredményeinek összesítését a következő táblázat tartalmazza:

13. táblázat A nátrium-tioszulfát oldat fogyasztásának eredményei térfogatban (ml) az egyes alapanyagok, inkubálási hőmérsékletek esetén két időpontban (*Forrás: Saját munka*)

Sorszám	Minta neve	Na ₂ S ₂ O ₃ fogyások (cm ³)		
		-	37,5 °C	73 °C
		0. perc	60. perc	60. perc
1.	Burgonyakeményítő	28,7	27	14,5
2.	Kukorica keményítő	27,4	25,6	15,6
3.	Tápióka keményítő	26,7	25,9	16,8
4.	E1412	27,3	27,2	15,9
5.	E1413	27,5	27,3	24,8
6.	E1442	28,4	25,9	18,4
7.	Kukoricadara	28,5	26,1	14,5
8.	Búzadara	28,1	24,9	13,8
9.	Száraz vörösbab	26,2	26,2	19,7
10.	Nyers krumpli	25,8	24,4	21,1
11.	Zöld banán	25,8	25,7	25,3
12.	Konzerves vörösbab	26,1	23,3	17,2
13.	Főtt, hűtött burgonya	24,8	21,1	18,9
14.	Főtt, hűtött rizs	26,6	23,5	22,3
15.	Corn flakes	26,8	21,1	13,4
16.	Rizsdara	26,2	24,5	17,9

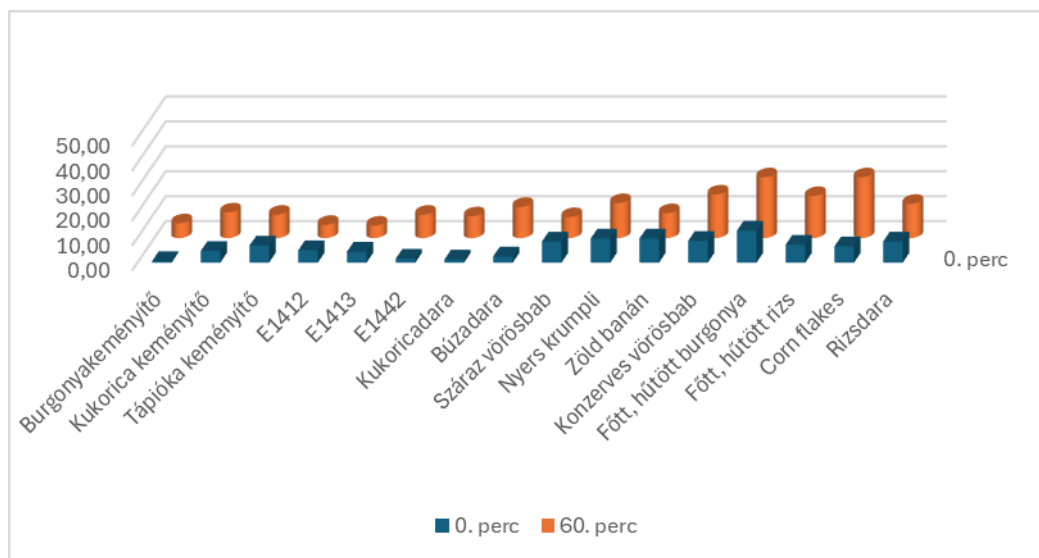
A mérési eljáráshoz tartozó redukáló cukortartalom számításának eredményei a 37,5 °C-os inkubálás esetén, és a 0. és 60. percében vett minták redukáló cukortartalmának ábrázolása:

14. táblázat A redukáló cukortartalom értéke a nátrium-tioszulfát oldat fogyásának értékéből számítva g/100 ml mértékegységben az egyes alapanyagok, inkubálási hőmérsékletek esetén 0. perc időpontban (Forrás: Saját munka)

Sorszám	Minta neve	Redukáló cukortartalom (g/100 ml)		
		-	37,5 °C	Változás (g/100 ml)
		0. perc	60. perc	
1.	Burgonyakeményítő	0,66	5,95	5,29
2.	Kukorica keményítő	4,71	10,32	5,61
3.	Tápióka keményítő	6,89	9,38	2,50
4.	E1412	5,02	5,33	0,31
5.	E1413	4,39	5,02	0,62
6.	E1442	1,59	9,38	7,79
7.	Kukoricadara	1,28	8,76	7,48
8.	Búzadara	2,53	12,51	9,98
9.	Száraz vörösbab	8,45	8,45	0,00
10.	Nyers krumpli	9,70	14,07	4,37
11.	Zöld banán	9,70	10,01	0,31
12.	Konzerves vörösbab	8,76	17,51	8,75

13.	Főtt, hűtött burgonya	12,82	24,40	11,58
14.	Főtt, hűtött rizs	7,20	16,88	9,68
15.	Corn flakes	6,58	24,40	17,83
16.	Rizsdara	8,45	13,76	5,31

14. ábra 37,5 °C-on végzett enzimes bontásból származó minták redukáló cukortartalma a 0. és a 60. percben (g/ml) (Forrás: Saját munka)



Az 14. táblázat adatai és az 14. ábra alapján elmondható, hogy a legkisebb kiindulási redukáló cukortartalma a burgonyakeményítőnek volt, ez 0,66 g/100 ml minta, míg a legnagyobb kiindulási értéke a főtt, hűtött burgonyának volt, ami 12,82 g/100 ml minta. A 37,5 °C-os inkubálás 60. percében vett mintái közül corn flakesnek és a főtt, hűtött burgonyának volt a legnagyobb redukáló cukortartalma. A legalacsonyabb értéke az E1413 anyagnak volt 60 perc után, amelynek értéke 5,02 g/100 ml volt. A legnagyobb változás a corn flakesben volt tapasztalható, ahol ugyanis 17,83 g/100 ml-el nőtt az érték 60 perc inkubálás után. Nem történt változás a vörösbab esetén. Kis különbség volt tapasztalható a két időpontban mért értékek között az E1412 anyag és a zöld banán esetén, ez a változás 0,31 g/100 ml volt.

Alapvetően elmondható, hogy kismértékű változás volt tapasztalható a redukáló cukortartalomban a 37,5 °C-on történő inkubálás alatt 1 óra elteltével, mivel nem ez a hőmérséklet az optimális a hőstabil alfa-amiláz számára. Amennyiben pankreatikus alfa-amilázt használtam volna, és több óráig hagytam volna az emberi szervezet testhőmérsékletén (akár 16 óráig, mint az AOAC 2002.02 módszer), akkor nagyobb változást lehetett volna látni az értékekben.

A diagramon jól látszik, hogy azok az élelmiszerek, amelyek valamilyen technológiai lépésen átesetek (főzés, hűtés, feldolgozás, sterilizálás), azoknak a 0. percben és a 60. percben mért redukáló cukortartalmai is nagyobbak voltak, mint a többi terméknek. Ennek lehetséges oka, hogy ezek a termékek egyszer már átesetek egyfajta hőkezelésen, így a bennük lévő keményítőtartalom egyszer már elcsirizesedett. Az ilyen termékek voltak a konzerves vörösbab, a főtt-hűtött burgonya, rizs és a kukoricapehely. A szakirodalom alapján számítottam, hogy ezek az élelmiszerek RS3-ban gazdagok, ez miatt kisebb redukáló cukortartalom értékeket fognak produkálni, viszont valószínűleg ezen élelmiszerek keményítőtartalmának csak egy kisebb része retrogradálódhatott, és nagyobb része pedig maradt gyorsan emészthető keményítő.

A natív burgonya-, kukorica- és tapióka keményítő gyorsan emészthetők keményítőkből állnak, melyek bontása a redukáló cukortartalom növekedését okozta 60 perc után.

A kukorica-, rizs- és búzadara redukáló cukortartalmának növekedése közel hasonlóan változott, amely bizonyítja, hogy RS1 tartalmúak. Viszont a vörösbab esetén nem történt változás a cukortartalom értékben a két időpont között, amely jelenti azt, hogy a minta nem volt megfelelően ledarálva. Viszont azt is jelenti, hogy a száraz vörösbab nehezebben emészthető 37,5 °C-on az alfa-amiláz enzimnek, tehát a keményítőtartalmának hő hatására csirizesednie kell, hogy könnyebben emészthetővé tudjon. Ezt a feltevést bizonyítja a konzerves vörösbab és a száraz vörösbab értékei közötti különbség.

A nyers krumpli és a zöld banán esetén látszik, hogy ezek a minták RS2 tartalmúak, mivel ezen a hőfokon még nem csirizesedett el a keményítőtartalmuk, ezért ellenállnak az alfa-amiláz enzim bontásának.

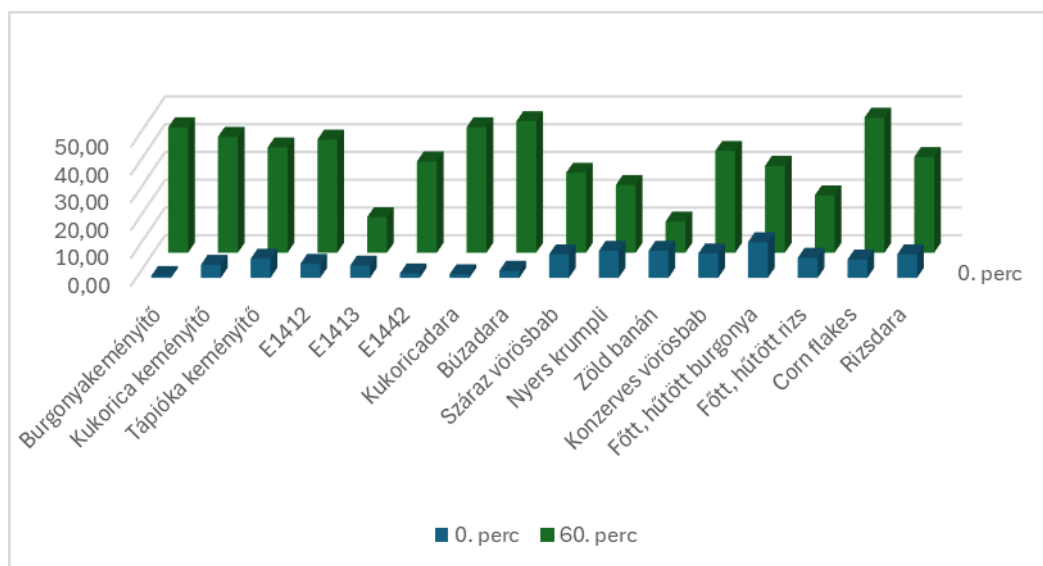
A kémiaiailag módosított keményítők közül az E1412 és az E1413 redukáló cukortartalma szinte nem is változott 60 perc után, melynek oka az erős észterezettség és keresztkötöttség. Az E1442 redukáló cukortartalma nagyobb növekedést mutatott 60 perc, ami alapján alacsonyabb rezisztenciával rendelkezik.

A mérési eljáráshoz tartozó redukáló cukortartalom számításának eredményei a 73,0 °C-os inkubálás esetén, és a 0. és 60. percében vett minták redukáló cukortartalmának ábrázolása:

15. táblázat A redukáló cukortartalom értéke a nátrium-tioszulfát oldat fogyásának értékéből számítva g/100 ml mértékegységben az egyes alapanyagok, inkubálási hőmérsékletek esetén 60. perc időpontban (*Forrás: Saját munka*)

Sorszám	Minta neve	Redukáló cukortartalom (g/100 ml)		
		-	73 °C	Változás (g/100 ml)
		0. perc	60. perc	
1.	Burgonyakeményítő	0,66	45,17	44,52
2.	Kukorica keményítő	4,71	41,70	37,00
3.	Tápióka keményítő	6,89	37,92	31,03
4.	E1412	5,02	40,76	35,74
5.	E1413	4,39	12,82	8,42
6.	E1442	1,59	32,88	31,29
7.	Kukoricadara	1,28	45,17	43,89
8.	Búzadara	2,53	47,39	44,86
9.	Száraz vörösbab	8,45	28,80	20,35
10.	Nyers krumpli	9,70	24,40	14,71
11.	Zöld banán	9,70	11,26	1,56
12.	Konzerves vörösbab	8,76	36,66	27,90
13.	Főtt, hűtött burgonya	12,82	31,31	18,49
14.	Főtt, hűtött rizs	7,20	20,64	13,44
15.	Corn flakes	6,58	48,65	42,07
16.	Rizsdara	8,45	34,46	26,01

15. ábra 73,0 °C-on végzett enzimes bontásból származó minták redukáló cukortartalma a 0. és a 60. percen (g/100 ml minta) (Forrás: Saját munka)



Az 15. táblázat adatai és az 15. ábra alapján elmondható, hogy a legkisebb kiindulási redukáló cukortartalma a burgonyakeményítőnek volt, ez 0,66 g/100 ml minta, míg a legnagyobb kiindulási értéke a főtt, hűtött burgonyának volt, ami 12,82 g/100 ml minta. A 73,0 °C-os inkubálás 60. percében vett mintái közül corn flakesnek volt a legnagyobb redukáló

cukortartalma, amelynek értéke 48,65 g/100 ml. A legalacsonyabb redukáló cukortartalma a zöld banánnak volt 60 perc után, amely 11,26 g/100 ml volt. A legnagyobb változás a búzadarában volt tapasztalható, ahol ugyanis 44,86 g/100 ml-el nőtt az érték 60 perc inkubálás után. Viszont a legkisebb változás a zöld banánban történt, melynek redukáló cukortartalma csak 1,56 g/100 ml-el nőtt 60 perc után.

A burgonya-, kukorica- és tapióka keményítő natív keményítők, gyorsan emészthető keményítőkből állnak, és ezt mutatja a redukáló cukortartalmuk is.

A magasabb hőmérséklet és a folyamatos keverés elérhető tette az alfa-amiláz számára az RS1-t, így a kukorica-, búza-, rizsdara és száraz vörösbab minták redukáló cukortartalma 60 perc után nagy értékeket produkált.

A nyers krumpli és a zöld banán redukáló cukortartalma növekedett ezen körülmények között, amely arra enged rávilágítani, hogy az RS2 az alfa-amilázzal szemben ellenáll addig, ameddig el nem csirizesedik. A zöld banán 60. percben mért értékének kismértékű növekedése talán a nagy rezisztens tartalmából ered, ezért hosszabb ideig tartó inkubálás szükséges a lebontásához. A konzerves vörösbab és a főtt, hűtött burgonya értékei közel hasonlóak, amely arra utal, hogy a keményítőtartalmuk retrogradálódása hasonló mértékű, típusú és ellenállóbb, mint az előzőekben említett élelmiszereké, ezért RS3-ban gazdagok lehetnek. Ugyanez vonatkozik a főtt-hűtött rizsre, amely esetén a retrogradáció nagyobb mértékű lehet, azért kaptam alacsonyabb értéket a 60. percben mért redukáló cukortartalmára. A corn flakes valószínűleg inkább nagyobb arányban tartalmaz gyorsan emészthető keményítőt, mint rezisztenset.

Az E1412 és E1442 esetén a magas hőmérséklet hatására felszakadtak az észterkötések, így már az alfa-amiláz enzim könnyebben hozzáfért a keményítőhöz és el tudta bontani.

Az E1413 adalékanyag egy foszforilezett dikeményítő-foszfát, amely keresztkötésekkel rendelkezik, ezáltal nem tudott elcsirizesedni és komoly rezisztenciát tudott kifejteni az alfa-amiláz enzim ellen.

4.3. Lisztkeverékek nedvességtartalom eredményei

A keverékek nedvességtartalmait három alkalommal mértem meg, és az átlagukat használtam fel a nyers tézta reológiai vizsgálatához.

16. táblázat Liszt és lisztkeverékek nedvességtartalmai és azok átlaguk (*Forrás: Saját munka*)

Minta neve	Nedvesség 1.	Nedvesség 2.	Nedvesség 3.	Átlag
Kontrol	14,29%	14,17%	14,20%	14,22%
RS1-10	14,13%	14,22%	14,18%	14,18%
RS1-20	14,02%	13,93%	14,01%	13,99%
RS1-30	13,89%	13,86%	13,68%	13,81%
RS2-10	14,14%	14,13%	14,05%	14,11%
RS2-20	13,93%	13,95%	13,85%	13,91%
RS2-30	13,92%	14,05%	13,95%	13,97%

A legnagyobb átlag nedvességtartalom értéke a kontrol mintának volt, a legalacsonyabb értéke pedig az RS1-30 mintának volt.

4.4 Nyers tészta reológiai változásának eredményei

4.4.1 Nyers tészták reológiai paraméterei

A következő táblázat a doughLAB reológiai műszerrel készült elemzéseim eredményeit mutatja be, amelyeket farinográfós módszerrel végeztem el:

17. táblázat A különböző RS adagolás mellett mért nyers tészta reológiai paraméterei (*Forrás: Saját munka*)

Alapanyag neve	Hozzáadott mennyiség (%)	Minta neve	Korrigált vízfelvétel (%)	Tészta kifejlődési idő (min)	Stabilitás (min)	Mixing Tolerance Index - MTI (FU)	Lágyulás (FU)
E1412	0	Kontrol	60,00	7,70	12,20	28,40	53,80
	10	RS1-10	59,60	1,70	1,90	53,10	81,40
	20	RS1-20	58,00	1,60	1,40	91,80	114,10
	30	RS1-30	57,00	1,40	1,20	127,80	147,90
E1413	0	Kontrol	60,00	7,70	12,20	28,40	53,80
	10	RS2-10	58,10	1,80	1,70	87,80	114,00
	20	RS2-20	57,80	1,70	1,60	73,60	88,50
	30	RS2-30	59,20	1,30	1,30	114,40	145,10

Kontrol mintának a BL-55 lisztet használtam. Ez adta az alapot a többi lisztkeverék elkészítésének is. A liszthez 10-20-30% arányban kétfajta kémiaiailag módosított rezisztens

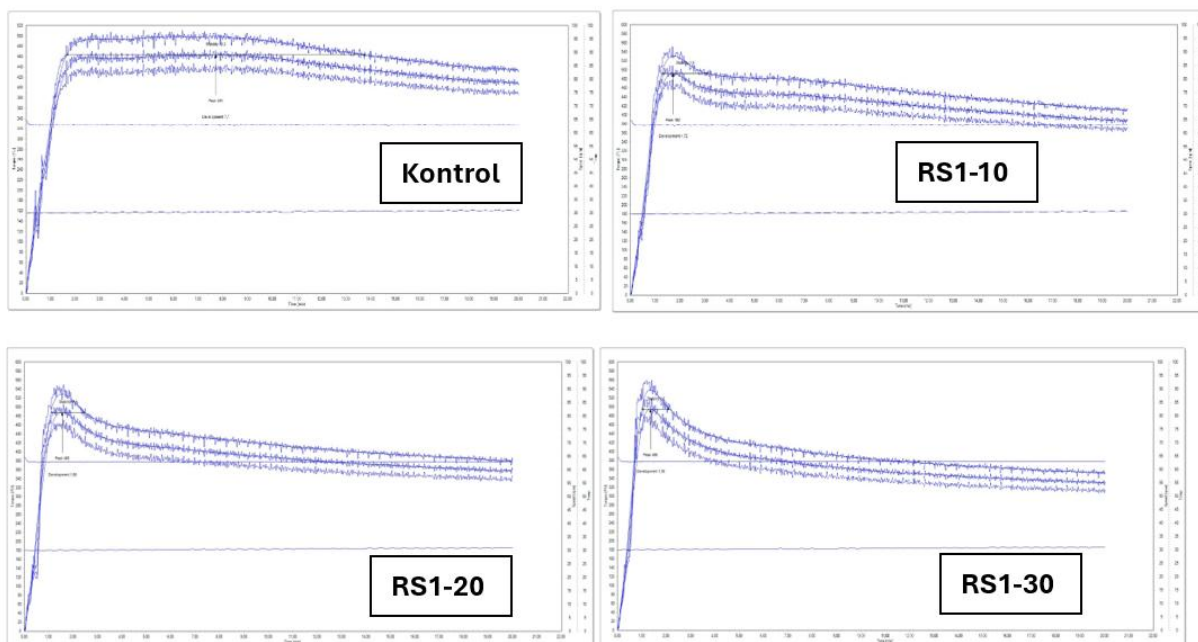
keményítőket adtam, és figyeltem meg a vízfelvétel, a tészta kifejlődési idő, a stabilitás a keverési tolerancia indexet (Mixing Tolerance Index – MTI) és a lágyulást. A két minta esetében kétféle változás volt megfigyelhető.

Az E1412 anyaggal készült lisztkeverékek esetén a vízfelvételben kismértékű csökkenés volt tapasztalható az adagolt alapanyag mennyiség növekedésével. Ezek az eredmények viszont nincsenek összhangban a korábbi szakirodalmakkal, ahol a rezisztens keményítők lisztkeverékekben történő adagolása a vízfelvétel növekedését eredményezte (Ozturk et al., 2009; Barros et al., 2018; Sanz-Penella et al., 2010) A tészta kifejlődési idő a kontrol mintához látványosan lecsökkent már a 10%-os adagolás mellett is: 7,70 percről 1,70 (10%)- 1,60 (20%)– 1,40 (30%) percre. Hasonló tendencia volt megfigyelhető a stabilitás esetén is, mivel a lisztkeverékek sokkal kevesebb ideig voltak stabilak a csak lisztet tartalmazó mintához képest. Ezek a hatások azt eredményezték, hogy a keverési tolerancia érték és a lágyulás értékei rendkívül megugrottak, az adagolás mennyiségének növelésével ezen értékek emelkedést mutatnak.

Ha összehasonlítjuk az 16. ábrán szereplő farinogramokat, akkor ott is látjuk, hogy a görbe csúcs előtti része az adalékanyag növelésével egyre meredekebb, a tésztafejlődés idejének csökkenését mutatja be. A farinogramok lefutásának eltérése a kontrol minta görbéjéhez képest a csúcs után meredekebb. Ez a stabilitás értékének csökkenését ábrázolja.

Minőségi osztályba való sorolás esetén mind a háromfajta nyers tésztát a gyenge minőségi osztályba sorolnám a rövid tészta kialakulási idő. Igaz, a vízadszorpció nem volt kevesebb, mint 55%, de a görbe tészták görbéjének lefutása inkább hasonlít a gyenge tésztákéra.

16. ábra Az E1412 adalékanyag különböző mennyiségű adagolásának (0%-10%-20%-30%) farinogramjai (*Forrás: Saját munka*)

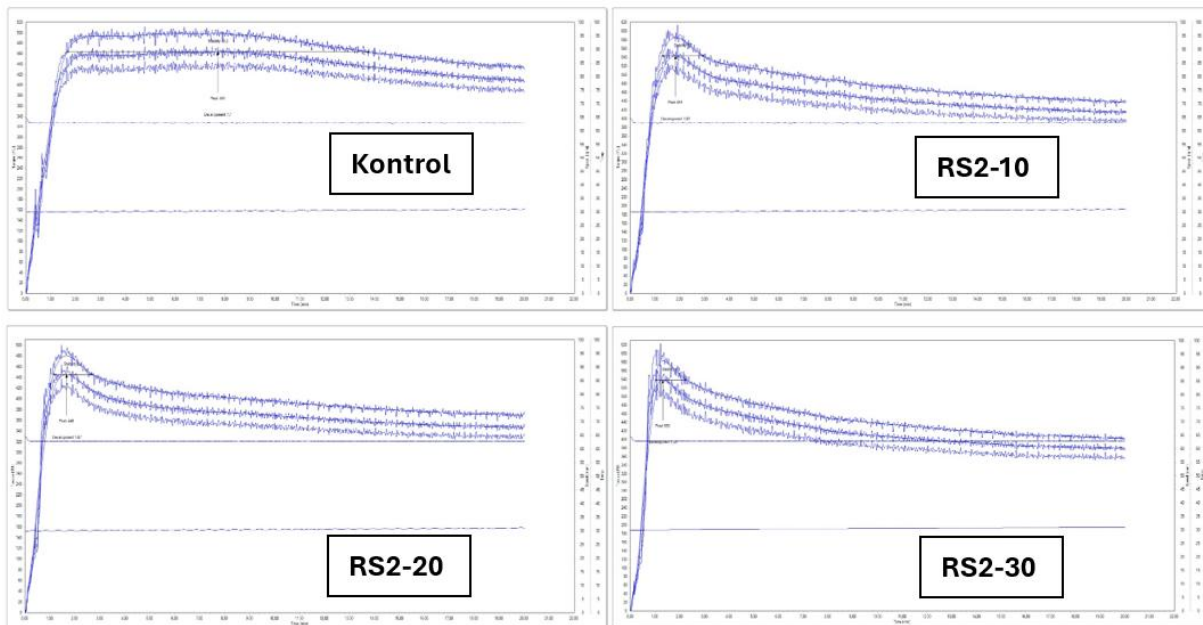


Az E1412 adalékanyag adagolásának eredményei esetén jól értelmezhető tendencia alakult ki az egyes paraméterek értékeinek alakulásából. Ezzel szemben az E1413 alapanyag adagolásáról ez nem mondható el. Ebben az esetben is megfigyelhető a vízfelvétel csökkenése az adalékanyag arányának növelése során, viszont a 30% arányban E1413-at tartalmazó minta vízfelvétele nagyobb volt, mint a 10%-ot tartalmazó, ezzel a legközelebb került a kontrol minta értékéhez a 3 adagolási arány közül. A tesztá kifejlődési idő csökkenő tendenciát mutatott, a legalacsonyabb idő alatt, 1,30 perc, az RS2-30 minta tesztája fejlődött ki. A stabilitásról ugyanez mondható el. A keverési tolerancia index és a lágyulás esetén kirívó adatokat produkált az RS2-20 minta, mivel ebben az esetben nem növekedés volt tapasztalható a két paraméter értékében, hanem csökkenés RS2-10 mintáéhoz képest. Az RS2-30 ezen két értéke nagy lett, ahogy az várható volt.

A farinogramokon is jól látható (17. ábra), hogy egyik minta görbéje sem hasonlít a kontrol mintáéhoz. A görbe csúcs előtti része az adalékanyag növelésével egyre meredekebb, a tesztáfejlődés idejének csökkenését mutatja be. A farinogramok lefutásának eltérése a kontrol minta görbéjéhez képest a csúcs után meredekebb. Ez a stabilitás értékének csökkenését ábrázolja.

Minőségi osztályba való sorolás esetén mind a háromfajta nyers tesztát a gyenge minőségi osztályba sorolnám a rövid tesztá kialakulási idő. Igaz, a vízadszorpció nem volt kevesebb, mint 55%, de a görbe teszták görbéjének lefutása inkább hasonlít a gyenge tesztákéra.

17. ábra Az E1413 adalékanyag különböző mennyiségű adagolásának (0%-10%-20%-30%) farinogramjai (*Forrás: Saját munka*)



Ha összehasonlítjuk a két mintával készült reológiai mérések farinogramjait, látható, hogy a 10%-os minták közül a RS2 meredekebb görbével rendelkezik, míg az RS1 csúcs utáni lefutási görbéje. A 20%-os és 30%-os RS1 mintának a meredekebb a lefutási görbéje az RS2 mintáéhoz képest.

A minőségi osztályok alapján elmondható, hogy a jelenlegi információk tudatában az effajta rezisztens keményítő tartalmú tészta inkább alkalmasak kekszek és metélt tészták készítéséhez, mint kenyérhez.

A vízfelvétel szakirodalomtól való eltérését okozhatja, hogy a rezisztens keményítő minták egy évesek már, és a tárolásuk nem történt mindig optimális körülmények között. Még lehetségesnek találok azt is, hogy a minták a szobahőmérsékletnél hidegebbek voltak, amikor belekerültek a műszerbe, és ez is okozhatott másfajta eredményt az irodalomhoz képest.

5. Következtetések és javaslatok

Csak a rezisztens keményítő tartalom mérésére nincs egy univerzálisan elfogadott mérési módszer. Az egyes rosttartalom mérések során a különböző rosttípusokkal együtt lehetséges a mérése.

Különböző növényi eredetű anyagok, termények és élelmiszerek alfa-amilázzal történő bontása során arra voltam kíváncsi, hogy mennyire lehet különbséget tenni a 4 típusú rezisztens keményítő között azáltal, hogy a keményítőt redukáló cukrokra bontom. RS1-4 csoportokat tartalmazó anyagokat vizsgáltam.

A 37,5 °C-on történő 1 órás inkubálás nem hozott mutatott nagy változásokat a redukáló cukortartalomban, mivel a hőmérséklet és az idő is nagyon kevés volt hozzá.

A 73 °C-on történő 1 órás inkubálás sem hozott átütő eredményeket, viszont már lehetett látni, hogy elindult egy folyamat a keményítőbontásban, és az eredményekből már következtetést lehetett levonni.

A natív keményítők (burgonya, kukorica, tapióka) nagy redukáló cukortartalma a könnyen emészthető keményítők magas arányát jelezte.

A búza-, kukorica-, rizsdara és száraz vörösbab, mint RS1 tartalmú anyagok, esetén a fizikailag elérhetetlen rezisztens keményítők felszabadultak 73 °C-on 60 perc után, ez nagyobb redukáló cukortartalom értékeket eredményezett. A száraz vörösbab értéke volt a legalacsonyabb a négy minta közül, ennek lehetett nagyobb rezisztens keményítő tartalma.

A nyers krumpli és a zöld banán esetén a 37,5 °C-on történő inkubálás esetén alig történt változás egy óra alatt, viszont a nyers krumpliban a 73 °C-on megnőtt a redukáló cukortartalom. A nyers krumpliban és a zöld banánban az RS2 típus van jelen, mivel amíg nem csirizesednek, addig nem is bontja őket az alfa-amiláz. A zöld banán enzimes bontásához valószínűleg több időre lett volna szükség, hogy látványosabb eredményt érjek el.

A konzerves vörösbab és a főtt, hűtött burgonya értékeinek változása hasonló volt, amely arra utal, hogy a keményítőtartalmuk retrogradálódása hasonló mértékű, típusú és ellenállóbb, mint a korábbi előzőekben említett élelmiszereké, ezért RS3-ban gazdagok lehetnek. A főtt-hűtött rizsre is ez vonatkozik, mely esetén a retrogradáció nagyobb mértékű lehetett. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a főzés és a hűtés kombinációja növeli a rezisztens keményítő tartalmat. A corn flakes inkább nagyobb arányban tartalmazhat gyorsan emészthető keményítőt, mint rezisztenset.

A kémiaiilag módosított keményítők közül az E1412 és az E1413 redukáló cukortartalma szinte nem is változott 37,5 °C-on 60 perc után, melynek oka az erős észterezettség és

keresztkötöttség. Viszont az E1412-nek magas hőmérsékleten felszakadhattak az észterkötései. Az E1413 erős keresztkötöttsége miatt alacsony redukáló cukortartalma volt 73 °C-on 60 perc után is. Az E1442 redukáló cukortartalma nagyobb növekedést mutatott 60 perc, ami alapján alacsonyabb rezisztenciával rendelkezik.

Az eredmények alapján a különböző típusú rezisztens keményítőket jobban el lehetett volna különíteni, ha az inkubálás tovább tartana, mint egy óra, vagy ha valamelyik rosttartalom vizsgálati módszerrel végeztem volna mérést. Viszont számomra ezen diplomamunka elkészítése során erre nem volt lehetőség.

Egy lehetséges élelmiszeripari felhasználási lehetőséget is megvizsgáltam, a kenyér lisztjében való keverést. Mivel jogilag engedélyezett ezen két adalékanyag használata a kenyerek egy bizonyos csoportjában, jó ötletnek gondoltam kipróbálni belekeverni a kenyér alapanyagai közé. Mivel korábban már születtek publikációk ilyen témakörben, az adagolási arányok és reológiai mérési módszer eldöntése után, az adatok összehasonlításának lehetősége is megvolt. A farinográfyszerű műszerrel végzett eredmények alapján elmondható, hogy mind a három adagolási mennyiség messze állt az eredeti, kontrol eredménytől. A tézstakialakulási idő, a stabilitás csökkent; a lágyulás és a keverési tolerancia index növekedett, mindezt korábbi tanulmányok eredményei is alátámasztják. Viszont a többi, szakirodalmi cikkekben leírt adatokkal szemben a rezisztens keményítővel dúsított minták vízfelvétele növekedés helyett csökkenést mutatott. Ennek egyik lehetséges oka, hogy a minták esetleg nem szobahőmérsékletűek voltak, hanem hidegebbek. A minták közül az E1413 adalékanyagot 20%-ban tartalmazó minta görbéje a lágyulási érték miatt kevésbé gyors csökkenést a csúcshatás elérése után. Azt biztosan lehet állítani, hogy a rezisztens keményítő 10%-os adagolása már nagy hatással van kenyér dagaszthatóságára, azt negatívan befolyásolja. Az MSZ ISO 5530-03 minőségi besorolási osztályai szerint minden típusú tészta csakis gyenge tészta lenne, és kekszek és metélt tészták készítéséhez lenne csak érdemes felhasználni.

Érdemes lenne több mérést végezni, és az adatokat statisztikailag is elemezni, hogy határozott konklúziót lehessen levonni, mely típusú lisztkeveréket lehetne kenyérnek felhasználni. A jövőben ezen kenyereken érdemes lenne egy sütési próbát is végezni, illetve a kenyér szerkezetének vizsgálata is hasznos lenne annak érdekében, hogy meg lehessen állapítani, milyen hatással van a bélzet szerkezetére. A kenyerekből rosttartalom vizsgálatot is el tudnék képzelni a nyerstésztából és a sült kenyérből annak érdekében, hogy megnézzük, mennyit változik az érték a nagy hőfokon történő sütés hatására. Ezen felül akár egy érzékszervi minősítést is lehetne készíteni, amely során összehasonlításra kerülnek a kontrol és a rezisztens keményítővel növelt kenyerek állag, szín, íz, illat alapján.

6. Összefoglalás

Az emberek étkezési szokásai jelentős változáson mentek keresztül az elmúlt évtizedekben. A nagyobb zsírtartalmú és alacsony rosttartalmú ételek fogyasztása túlsúlyba került. Ez sok negatív következménnyel jár az egészségre nézve.

Az elmúlt években került nagyobb mértékben előtérbe a rosttartalom fogyasztása és annak fontossága. Rengeteg pozitív hatása van az emberi szervezetre nézve, és a fogyasztók körében a rostfogyasztás tudatossága egyre elterjedtebb.

Ezt felismerve az ipar, elkezdett olyan élelmiszereket gyártani, amelyek hagyományos rostok felhasználásával készülnek, mint a korpa, útifűmaghéj, teljes kiőrlésű liszt. Újabb rosttartalom növelési lehetőségek az elmúlt években jelent meg. Ezek egyike a rezisztens keményítő.

Az RS egyre felkapottabb témának számít, mivel prebiotikus hatása révén hozzájárul a bél mikroflórájának egyensúlyának fenntartásához, nem mellesleg elősegíti a fogyást. Sok élelmiszer, termék alapvetően tartalmaz rezisztens keményítőt, viszont vannak olyan konyhai trükkök, technológiai eljárások, amelyek alkalmazásával elérhető a keményítőtartalom egy részének rezisztenssé alakítása.

Különböző alapanyagok, termények és élelmiszereket 37,5 °C-on és 73 °C-on 1 órán keresztül alfa-amiláz enzimmal emésztettem. A 0. percben és a 60. percben vett mintákból redukáló cukortartalmat mértem.

Redukáló cukortartalom meghatározás eredményeiből következtettem egyes termény, alapanyag és élelmiszer rezisztens keményítőtartalmára és hogy melyik RS csoportba tartozik. Jól el lehetett különíteni a nagy, gyorsan emészthető keményítőt tartalmazó natív keményítőket és a kukoricapelyhet, az RS1 csoportot tartalmazó búza-, rizs-, kukoricadarát és szárazbabot, a 2-es RS-csoportot tartalmazó nyers krumplit és zöld banánt, a retrogradált keményítőt tartalmazó főtt-hűtött burgonyát, rizst, konzerves vörösbabot, illetve a RS4-et tartalmazó E1412, E1413 és E1442 anyagokat.

A főzés és hűtés növeli a rizs, a burgonya RS tartalmát. A zöld banán meglepően nagy RS tartalommal rendelkezik. A kukoricapelyhely inkább gyorsan emészthető keményítőket tartalmaz.

Egy lehetséges élelmiszeripari alkalmazhatóságát, a kenyérben történő felhasználását figyeltem meg, annak is egy kis részét, a nyers tészta keverését. Figyeltem a vízfelvétel, a tészta kifejlődési idő, a stabilitás, a lágyulás és a keverési tolerancia index változását két különböző kémiai módosított rezisztens keményítő, E1412 és E1413, 10%, 20% és 30%-os adagolása mellett. A vizsgált paraméterek negatív irányba változtak az adalékanyagok hozzáadásával.

Nőtt az MTI és a lágyulás értéke, míg a csökkent a vízfelvétel, stabilitás és kifejlődési idő. Érdekes mód a vízfelvétel csökkenése nem egy tipikus változás a korábban megjelent szakirodalmak alapján, inkább növekedést mutat ez az érték a keményítőtartalom emelkedésével. Érdeemes lenne a kenyereket kisütetni, és összehasonlítani a rosttartalmukat a nyers tésztában és a sült pékáruban.

7. Irodalomjegyzék

- Ahuja, G., Jaiswal, S., Chibbar, R. N. (2013): Starch biosynthesis in relation to resistant starch. In: Shi, Y.C., Maningat, C. C. (szerk.): *Resistant Starch: Sources, Applications and Health Benefits*, 1-22.
- Anon (2001): The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46, 112–126.
- Annison, G., Illman, R. J., & Topping, D. L. (2003): Acetylated, propionylated or butyrylated starches raise large bowel short-chain fatty acids preferentially when fed to rats. *The Journal of Nutrition*, 133(11), 3523-3528.
- Asp, N. G., Björck, I. (1992): Resistant starch. *Trends in Food Science & Technology*, 3(4), 111-114.
- Asp, N. G. (1994): Nutritional classification and analysis of food carbohydrates. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 59(3), 679-681.
- Baghurst, K. I., Baghurst, P. A., & Record, S. J. (2001): Dietary fiber, non-starch polysaccharide, and resistant starch intakes in Australia. In: Spiller, G.A. (szerk.): *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*, Boca Raton: CRC Press, pp. 605-614
- Barros, J. H., Telis, V. R., Taboga, S., & Franco, C. M. (2018). Resistant starch: effect on rheology, quality, and staling rate of white wheat bread. *Journal of food science and technology*, 55(11), 4578-4588.
- Berry, C. S. (1986): Resistant starch: formation and measurement of starch that survives exhaustive digestion with amylolytic enzymes during the determination of dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 4(4), 301-314.
- Betancur, A. D., & Chel, G. L. (1997): Acid hydrolysis and characterization of *Canavalia ensiformis* starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(11), 4237-4241.
- Björck, I., Gunnarsson, A., & Østergård, K. (1989): A study of native and chemically modified potato starch. Part II: Digestibility in the rat intestinal tract. *Starch-Stärke*, 41(4), 128-134.
- Booher, L. E., Behan, I., McMeans, E., & Boyd, H. M. (1951): Biologic utilizations of unmodified and modified food starches. *The Journal of Nutrition*, 45(1), 75-99.
- Bornet, F. (1993): Technological treatments of cereals. Repercussions on the physiological properties of starch. *Carbohydrate Polymers*, 21(2-3), 195-203.
- British Nutrition Foundation (1990): *Complex carbohydrates in foods: the report of The British Nutrition Foundation's Task Force*. London: Chapman & Hall.
- Brown, I. L. (2004): Applications and uses of resistant starch. *Journal of AOAC International*, 87(3), 727-732.
- Bushuk, W., & Winkler, C. A. (1957). Sorption of water vapor on wheat flour, starch and gluten. *Cereal Chemistry*, 34(2), 73-86.
- Champ, M., Langkilde, A. M., Brouns, F., Kettlitz, B., & Le Bail-Collet, Y. (2003): Advances in dietary fibre characterisation. 2. Consumption, chemistry, physiology and measurement of resistant starch; implications for health and food labelling. *Nutrition research reviews*, 16(2), 143-161.
- Champ, M. (2013): Metabolic effects of resistant starch. *Resistant starch: Sources, applications and health benefits*, 229-250.

- Cummings, J. H., & Englyst, H. N. (1991): Measurement of starch fermentation in the human large intestine. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 69(1), 121-129.
- Csapó, J., Albert, C., & Kiss, D. (2021): Élelmiszeranalitika mérnököknek.
- De Groot, A. P., Til, H. P., Feron, V. J., Dreef-van der Meulen, H. C., & Willems, M. I. (1974): Two-year feeding and multigeneration studies in rats on five chemically modified starches. *Food and Cosmetics Toxicology*, 12(5-6), 651-663.
- De Vries, J. W. (2004): Dietary fiber: the influence of definition on analysis and regulation. *Journal of AOAC international*, 87(3), 682-706.
- Dexter French (1984): Organisation of starch granules. In: Starch 2nd edition, chapter 7., 183-247.
- Dysseler, P., & Hoffem, D. (1994): Estimation of resistant starch intake in Europe. In: EURESTA: *Proceedings of the concluding plenary meeting of EURESTA*, p. 84-86
- Ebihara, K., Shiraishi, R., & Okuma, K. (1998): Hydroxypropyl-modified potato starch increases fecal bile acid excretion in rats. *The Journal of Nutrition*, 128(5), 848-854.
- Eerlingen, R. C., & Delcour, J. A. (1995): Formation, analysis, structure and properties of type III enzyme resistant starch. *Journal of Cereal Science*, 22(2), 129-138.
- Ellis RP, Cochrane MP, Dale MFB, Duffus CM, Lynn A, Morrison IM, Prentice RDM, Swanston JS, Tiller SA. (1998): Starch production and industrial use. *Journal of Science of Food and Agriculture*, 77(3), 289–311.
- Englyst, H., Wiggins, H. S., & Cummings, J. H. (1982): Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates. *Analyst*, 107(1272), 307-318.
- Englyst, H. N., Kingman, S. M., & Cummings, J. H. (1992): Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46, 33-50.
- Fausto, F. D., Kacchi, A. I., & Mehta, D. (1997): Starch products in confectionery. *Bev Food World*, 24(4), 4-16.
- French, D. (1984): Organization of starch granules. In: Whistler, R. L. - Bemiller J. N. - Paschall E. F. (szerk.): *Starch: Chemistry and technology*, New York: Academic press, pp. 183-247
- Goldring JM (2004): Resistant starch: safe intakes and legal status. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists International*, 87 (3): 733–739.
- Gordon, D. T., & Okuma, K. (2002): FOOD COMPOSITION AND ADDITIVES - Determination of Total Dietary Fiber in Selected Foods Containing Resistant Maltodextrin by Enzymatic-Gravimetric Method and Liquid Chromatography: Collaborative Study. *Journal of AOAC International*, 85(2), 435-444.
- Hayakawa, K., Tanaka, K., Nakamura, T., Endo, S., & Hoshino, T. (1997): Quality characteristics of waxy hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.): Properties of starch gelatinization and retrogradation. *Cereal chemistry*, 74(5), 576-580.
- Haynes L, Gimmler N, Locke JP, Mee-Ra-Kweon, Slade L, Levine H. (2000): *Process for making enzyme-resistant starch for reduced-calorie flour replacer*. U.S. patent 6,013,299. Jan 11, 2000. Wilmington: Nabisco Technology Co.

- Haralampu, S. G., & Gross, A. (1998): *Granular RS and method of making*. US Patent 58, 49, 090. Dec 15, 1998. Bedford: Opta Food Ingredients.
- Haralampu, S. G. (2000): Resistant starch —a review of the physical properties and biological impact of RS3. *Carbohydrate Polymers*, 41(3), 285-292.
- Haraszi, R., (2002). Gabonaccsira- és amarant fehérjék funkcionális jellemzése modell és komplex rendszerekben. PhD értekezés, *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem*, Biokémiai és Élelmiszertudományi Tanszék
- Hasjim, J., Lee, S. O., Hendrich, S., Setiawan, S., Ai, Y., & Jane, J. L. (2010): Characterization of a novel resistant-starch and its effects on postprandial plasma-glucose and insulin responses. *Cereal Chemistry*, 87(4), 257-262.
- Higgins, J. A., Higbee, D. R., Donahoo, W. T., Brown, I. L., Bell, M. L., & Bessesen, D. H. (2004): Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. *Nutrition & Metabolism*, 1(1), 8.
- Holm, J., Lundquist, I., Björck, I., Eliasson, A. C., & Asp, N. G. (1988): Degree of starch gelatinization, digestion rate of starch in vitro, and metabolic response in rats. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 47(6), 1010-1016.
- Hódsági, M., Jámbor, Á., Juhász, E., Gergely, S., Gelencsér, T., & Salgó, A. (2012): Effects of microwave heating on native and resistant starches. *Acta Alimentaria*, 41(2), 233-247.
- Hódsági, M., Gergely, S., Gelencsér, T., & Salgó, A. (2012): Investigations of native and resistant starches and their mixtures using near-infrared spectroscopy. *Food and Bioprocess Technology*, 5(1), 401-407.
- http1: EUR-Lex. Letöltés dátuma: 2025.04.01. forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R1169-20250401>: 35
- http2: EUR-Lex. Letöltés dátuma: 2025.07.31. forrás: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008R1333-20250731>: 37
- http3: Élelmiszergazdaságért és Agrárszakképzésért felelős államtitkárság. Letöltés dátuma: 2012. december. forrás: https://elelmiszerlanc.kormany.hu/download/5/18/60000/%C3%9Atmutat%C3%B3%20rostartalom%20meghat%C3%A1roz%C3%A1shoz_2013_04_02.pdf : 4-6
- Hylla, S., Gostner, A., Dusel, G., Anger, H., Bartram, H. P., Christl, S. U., Kasper, H., Scheppach, W. (1998): Effects of resistant starch on the colon in healthy volunteers: possible implications for cancer prevention. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 67(1), 136-142.
- Iyengar, R., Zaks, A., & Gross, A. (1991): *U.S. Patent No. 5,051,271*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., Bowling, A. C., Newman, H. C., Jenkins, A. L., Goff, D. V. (1981): Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 34(3), 362-366.
- Jenkins, P. J., Cameron, R. E., & Donald, A. M. (1993): A universal feature in the structure of starch granules from different botanical sources. *Starch-Stärke*, 45(12), 417-420.

- Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Augustin, L. S., & Vuksan, V. (2002): High-complex carbohydrate or lente carbohydrate foods? *The American Journal of Medicine*, 113(9), 30-37.
- Kawabata, A., Takase, N., Miyoshi, E., Sawayama, S., Kimura, T., & Kudo, K. (1994): Microscopic observation and X-ray diffractometry of heat/moisture-treated starch granules. *Starch-Stärke*, 46(12), 463-469.
- King, J. M., & Tan, S. Y. (2010): *U.S. Patent No. 7,687,248*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Lee, S. C., Prosky, L., & Vries, J. W. D. (1992): Determination of total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods - Enzymatic-gravimetric method, MES-TRIS buffer: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 75(3), 395-416.
- Liversey, G. (1994): Energy value of resistant starch. In: Asp G, Van Amelsvoort JMM, Hautvast JGAJ (szerk): *Proceedings of the concluding plenary meeting of EURESTA*, Wageningen: EURESTA, pp. 56-62.
- Ludwig, D. S., & Eckel, R. H. (2002): The glycemic index at 20 y. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 264-265.
- McCleary, B. V., & Monaghan, D. A. (2002): Measurement of resistant starch. *Journal of AOAC International*, 85(3), 665-675.
- McCleary, B. V., & Rossiter, P. (2004): Measurement of novel dietary fibers. *Journal of AOAC International*, 87(3), 707-717
- McCleary, B. V. (2013). Measurement of resistant starch and incorporation of resistant starch into dietary fibre measurements. *Resistant Starch*, 131-144.
- McCleary, B. V., Sloane, N., Draga, A., & Lazewska, I. (2013): Measurement of total dietary fiber using AOAC Method 2009.01 (AACC International Approved Method 32-45.01): evaluation and updates. *Cereal Chemistry*, 90(4), 396-414.
- Morita, T., Kasaoka, S., Hase, K., & Kiriya, S. (1999): Psyllium shifts the fermentation site of high-amylose cornstarch toward the distal colon and increases fecal butyrate concentration in rats. *The Journal of Nutrition*, 129(11), 2081-2087.
- Muir, J. G., Walker, K. Z., Kaimakamis, M. A., Cameron, M. A., Govers, M. J., Lu, Z. X., Young, G. P., O'Dea, K. (1998): Modulation of fecal markers relevant to colon cancer risk: a high-starch Chinese diet did not generate expected beneficial changes relative to a Western-type diet. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 68(2), 372-379.
- Nádosí, M. (2005): Búzaliszt vizsgálata. *Budapesti Műszaki Egyetem, Biokémiai és Élelmiszertechnológiai Tanszék*
- NHS (2022): How to get more fibre into your diet. NHS honlapja. Letöltés dátuma: 2025.10.21. forrás: URL: <https://www.nhs.uk/live-well/eat-well/digestive-health/how-to-get-more-fibre-into-your-diet/>
- Nugent, A. P. (2005). Health properties of resistant starch. *Nutrition Bulletin*, 30(1), 27-54
- Ozturk, S., Koksel, H., & Ng, P. K. (2009): Farinograph properties and bread quality of flours supplemented with resistant starch. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 60(6), 449-457.

- Platel, K., & Shurpalekar, K. S. (1994): Resistant starch content of Indian foods. *Plant Foods for Human Nutrition*, 45(1), 91-95.
- Prosky, L., Asp, N. G., Furda, I., Devries, J. W., Schweizer, T. F., & Harland, B. F. (1985): Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 68(4), 677-679.
- Raben, A., Andersen, K., Karberg, M. A., Holst, J. J., & Astrup, A. (1997): Acetylation of or beta-cyclodextrin addition to potato beneficial effect on glucose metabolism and appetite sensations. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 66(2), 304-314.
- Rakszegi, M. (2014). Az amilóz/amilopektin arány hatása a búza feldolgozóipari minőségére. *Növénytermelés*, 63(2), 103-124.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006): Resistant starch – a review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 5(1), 1-17.
- Sanz-Penella, J. M., Wronkowska, M., Soral-Śmietana, M., Collar, C., & Haros, M. (2010): Impact of the addition of resistant starch from modified pea starch on dough and bread performance. *European Food Research and Technology*, 231(4), 499-508.
- Seib, P. A., & Woo, K. (1999): *U.S. Patent No. 5,855,946*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- Shin, M., Woo, K., & Seib, P. A. (2003): Hot-water solubilities and water sorptions of resistant starches at 25° C. *Cereal Chemistry*, 80(5), 564-566.
- Soral-Śmietana, M., & Wronkowska, M. (2000): Resistant starch of pea origin. *Żywność: nauka-technologia-jakość*, 7(2), 204-212.
- Szeitz-Szabó, M., Bíró, L., Bíró, G., & Zajkás, G. (2009). Táplálkozási szokások és tápanyagbevitel Magyarországon. *Orvosi Hetilap*, 150(34), 1584–1595.
- Tachibe, M., Kato, R., Nishibata, T., Tashiro, K., Kishida, T., & Ebihara, K. (2010): Evaluation of nondigested carbohydrates in hydroxypropylated tapioca starch. *Journal of Food Science*, 75(1), 1-4.
- Tomlin, J., & Read, N. W. (1990): The effect of resistant starch on colon function in humans. *British Journal of Nutrition*, 64(2), 589-595.
- Topping, D. L., & Clifton, P. M. (2001): Short-chain fatty acids and human colonic function: roles of resistant starch and nonstarch polysaccharides. *Physiological reviews*, 81(3), 1031-1064.
- Visser, R. G., Suurs, L. C., Bruinenberg, P. M., Bleeker, I., & Jacobsen, E. (1997): Comparison between amylose-free and amylose containing potato starches. *Starch-Stärke*, 49(11), 438-443.
- Whistler, R.L, Daniel, J. R. (2000): Starch. In: Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology. Harmadik kiadás. Purdue University: John Wiley & Sons, Inc., Vol. 21, pp. 492-507.
- World Health Organization (1972): *Food additive series no 1. Toxicological evaluation of some enzymes, modified starches and other substances*. Geneva: World Health Organization.
- Yue, P., & Waring, S. (1998): *Functionality of resistant starch in food applications*.

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

Ábrák:

1. Keresztkötéses keményítő előkészítése – 7. oldal
2. A kimért alapanyagok (1-4.) – 32. oldal
3. A kimért alapanyagok (10-13) – 32. oldal
4. A felhasznált oldatok – 34. oldal
5. Forralás a villanyrezsón – 34. oldal
6. A kiindulási és az átcsapási szín – 35. oldal
7. A farinográfyszerű műszer, a doughLAB – 36. oldal
8. A doughLAB műszer keverőcsészéje egy keverés után – 37. oldal
9. A lisztminőségi osztályok jellemzői – 38. oldal
10. Halogén nedvesség meghatározó – Mettler-Toledo HC103 – 41. oldal
11. 1-8. főzőpoharak tartalma: 37,5 °C-os inkubálás előtt vörösbab, nyers krumpli, zöld banán, konzerves vörösbab, főtt-hűtött burgonya, főtt-hűtött rizs, corn flakes és rizsdara minta – 42. oldal
12. 1-8. főzőpoharak tartalma: 37,5 °C-on 60 percig inkubált vörösbab, nyers krumpli, zöld banán, konzerves vörösbab, főtt-hűtött burgonya, főtt-hűtött rizs, corn flakes és rizsdara minta – 42. oldal
13. Burgonyakeményítő, kukoricakeményítő és E1442 a 60. percben 73 °C-on történő enzimes bontás után – 43. oldal
14. 37,5 °C-on végzett enzimes bontásból származó minták redukáló cukortartalma a 0. és a 60. percben (g/ml) – 45. oldal
15. 73,0 °C-on végzett enzimes bontásból származó minták redukáló cukortartalma a 0. és a 60. percben (g/100 ml minta) – 47. oldal
16. Az E1412 adalékanyag különböző mennyiségű adagolásának (0%-10%-20%-30%) farinogramjai – 51. oldal
17. Az E1413 adalékanyag különböző mennyiségű adagolásának (0%-10%-20%-30%) farinogramjai – 52. oldal

Táblázatok:

1. A különböző keményítőtípusok besorolása, leírása, élelmi forrása és a keményítő in vitro táplálkozási besorolása – 8. oldal
2. A különböző rosttartalom mérési módszerek összefoglalója a módszer AOAC számával, mérési lehetőségével, módszer rövid leírásával és az említett korlátaival – 15. oldal

3. Különböző alapanyagok, termények rezisztens keményítő és magas molekula tömegű élelmirost tartalma az AOAC 2002.02, 2009.01 és 991.43 módszerrel mérve – 16. oldal
4. Különböző termények, élelmiszerek élelmirost tartalma az AOAC 985.29 és 991.43 módszerrel mérve – 16. oldal
5. Különböző termények, élelmiszerek élelmirost tartalma az AOAC 2009.01 és 2011.25 módszerrel mérve- 17. oldal
6. A becsült napi RS beviteli értéke régiókra, országokra bontva – 20. oldal
7. Különböző keményítők, és kezelt vagy kezeletlen rezisztens keményítők rezisztens keményítő tartalmának összefoglalója, kiegészítve az adott minta duzzadásával vízben 25 °C hőmérsékleten (g/g), duzzadási erejével 95 °C hőmérsékleten (g/g) és oldhatóságával 95 °C hőmérsékleten – 26. oldal
8. Különböző kereskedelmi forgalomban lévő keményítővel kiegészített kenyerek farinográf értékei – 28. oldal
9. Rezisztens keményítővel kiegészített kenyerek farinográf értékei – 28. oldal
10. Módosított borsókeményítőből származó rezisztens keményítő adagolásával elért farinográf értékek nyers kenyértésztára – 29. oldal
11. A különböző alapanyagok átlagos keményítőtartalma és a 20 gramm keményítőre kiszámolt alapanyag-igény – 31. oldal
12. Kísérletterv a doughLAB készülékhez – 38. oldal
13. A nátrium-tioszulfát oldat fogyasztásának eredményei térfogatban (ml) az egyes alapanyagok, inkubálási hőmérsékletek esetén két időpontban – 44. oldal
14. A redukáló cukortartalom értéke a nátrium-tioszulfát oldat fogyasztásának értékéből számítva g/100 ml mértékegységben az egyes alapanyagok, inkubálási hőmérsékletek esetén 0. perc időpontban – 44-45. oldal
15. A redukáló cukortartalom értéke a nátrium-tioszulfát oldat fogyasztásának értékéből számítva g/100 ml mértékegységben az egyes alapanyagok, inkubálási hőmérsékletek esetén 60. perc időpontban – 47. oldal
16. Liszt és lisztkeverékek nedvességtartalmai és azok átlaguk – 49. oldal
17. A különböző RS adagolás mellett mért nyers tészta reológiai paraméterei – 49. oldal

9. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni Kiss Zsuzsanna tanárnőnek a hasznos, szakmai tanácsait és iránymutatását, amely nagyban hozzájárult diplomamunkám elkészítéséhez.

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

**6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója**

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

diplomadolgozat nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: Máté Balázs János
A Hallgató Neptun kódja: YMEGY6
A dolgozat címe: Különböző növényi eredetű rezisztens keményítők
összehasonlító vizsgálata
A megjelenés éve: 2025.
A konzulens intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Biomérnök és Erjedéssipari Technológiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2025 év 11 hó 10 nap


Hallgató aláírása


NYILATKOZAT

Máté Balázs János (név) (hallgató Neptun azonosítója: YMEGY6) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: Budapest, 2025 év november hó 11 nap


belső konzulens

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Máté Balázs János
Neptun-kódja:	YMEGY6
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomamunka
A munka címe:	Különböző növényi eredetű rezisztens keményítők összehasonlító vizsgálata

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Fordítás	ChatGP, verzió 5	Valamennyi angol nyelvű szakirodalmi cikk

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest....., 2025. 11...... hó 10. nap

Nékte' Balázs János

Hallgató aláírása

Miss Zuzsanna

Konzulens/Témavezető aláírása