

DIPLOMADOLGOZAT

Tari Tamara Rita Diplomadolgozat

Tari Tamara Rita

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Élelmiszermérnök mesterképzési szak

**Lenmag- és tökmagliszt felhasználásának táplálkozásélettani és
reológiai hatása**

Belső konzulens: Dr. Mednyánszky Zsuzsanna
egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Táplálkozástudományi Tanszék

Belső konzulens: Dr. Kaszab Tímea
egyetemi adjunktus

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Élelmiszeripari Méréstechnika
és Automatizálás Tanszék

Készítette: Tari Tamara Rita

Budapest

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések	3
2. Irodalmi áttekintés.....	5
2.1. A glutén.....	5
2.2. Gluténnel kapcsolatos betegségek.....	6
2.2.1. Cöliákia (lisztérzékenység/gluténérzékenység)	7
2.2.2. Búzaallergia	7
2.2.3. Nem-cöliákias gluténérzékenység.....	8
2.3. Gluténmentes sütőipari termékek gyártástechnológiája	8
2.3.1. Pékáruk	8
2.3.2. A glutén helyettesítése	9
2.3.3. Gyártási technológia.....	9
2.4. Gluténmentes pékáruk jogi szabályozása az EU-ban és Magyarországon	10
2.5. A kutatásban használt alaplisztkeverék összetevői	10
2.5.1. Hidrokolloidok.....	10
2.5.2. Keményítő	11
2.5.3. Rizsliszt.....	12
2.5.4. Rostok.....	12
2.6. Gluténmentes tészták dúsítása élettani szempontból értékes összetevőkkel	13
2.6.1. A gluténmentes táplálkozás árnyoldalai.....	13
2.6.2. Antioxidánsok	14
2.7. Gluténmentes lisztek, lisztkeverékek.....	15
2.8. A kutatás során felhasznált értékes adalékanyagok	16
2.8.1. Lenmagliszt.....	16
2.8.2. Tökmagliszt.....	17
2.9. Vizsgálati módszerek elméleti háttere	19
2.9.1. Állományvizsgálat (TPA).....	19
2.9.2. Színmérés	19
2.9.3. TPC.....	20
2.9.4. FRAP	21
2.9.5. Aminosav-analízis.....	22
3. Anyagok és módszerek	24
3.1. Állományvizsgálat.....	25
3.2. Színmérés.....	27
3.3. TPC	27
3.4. FRAP	27
3.5. Aminosav analízis	28
3.6. Statisztikai analízis	29
4. Kísérleti eredmények és értékelésük	31
4.1. Tömegveszteség.....	31
4.2. Színmérés.....	33
4.3. Állományvizsgálat.....	40
4.3.1. Keménység	40
4.3.2. Kohézió.....	42
4.3.3. Rugalmasság	44

4.4. Diszkriminancia-analízis	45
4.5. Aminosav-analízis	49
4.5.1. Összfehérje-tartalom.....	49
4.5.2. Összesszenciális aminosav-tartalom	50
4.5.3. Esszenciális aminosav arány és limitáló aminosav	51
5. Következtetések és javaslatok.....	58
6. Összefoglalás	59
Irodalomjegyzék.....	61
Melléklet	71
Köszönetnyilvánítás	72

1. Bevezetés és célkitűzések

A glutén mindig is jelentős szerepet játszott az élelmiszeriparban. Legnagyobb előnye, hogy kémiai szerkezetének köszönhetően jellegzetes hálót hoz létre a sütőipari termékekben, mely főként a tészták rugalmas állományának kialakításában, valamint a sütés közbeni térfogatnövekedésben vesz részt. Ezenkívül számos további (rejtett) gluténforrás található meg a boltok polcain, például a fagylaltokba és mártásokba stabilizáló, illetve ízfokozó tulajdonsága miatt kerül sok esetben. A második, legtöbb glutént felhasználó ágazat a dinamikusan növekvő állateledel-ipar, de gyakran tüntetik fel összetevőként kozmetikumok és gyógyszerek csomagolásán is (Alkhalifa, 2023).

Mindezek ellenére, az elmúlt években a cöliákiás betegek számának drasztikus gyarapodásával a gluténmentes étrend világszerte nagyon gyakorivá vált az orvosok szakmai tudásbővítésének köszönhetően. Jelenleg ezen étrend betartása bizonyul a leghatékonyabb kezelési módszernek a több millió lisztérzékeny páciens klinikai tüneteinek enyhítésében. Azonban a fogyasztók egyre növekvő egészségtudatossága szintén szerepet játszott a funkcionális élelmiszerek iránti kereslet drámai növekedésében. Ennek a kategóriának képezik részét a gluténmentes élelmiszerek is. Bissinger és munkatársai (2012) kísérletükben megállapították, hogy az étrend követése szignifikáns összefüggést mutat a végzettséggel és a társadalmi-gazdasági státusszal. A KSH adatai alapján Magyarországon 2019-ben a 15. életévüket betöltötték 1,8%-a táplálkozott gluténmentes étrend szerint.

Ugyanakkor a gluténmentes étrend követőinek érdemes tudatában lenniük a táplálkozási forma árnyoldalaival, melyek közül a diplomamunkám témáját érintő rosszabb tápérték áll az első helyen. A hagyományosan glutént tartalmazó gabonafélék, azaz a búza, az árpa és a rozs fontos tápanyagok forrásai, beleértve a rostokat, vasat, kalciumot, magnéziumot, B-vitaminokat (például folsavat). A gluténmentes termékek gyakran nem tartalmazzák kellő arányban ezeket a tápanyagokat, illetve magasabb glikémiás indexszel és alacsonyabb fehérje- és rosttartalommal rendelkeznek, hacsak nincsenek speciálisan dúsítva. Emellett, hogy a gyártók kompenzálják a silányabb textúrát és ízt, néhány gluténmentes termék nagyobb mennyiségű összes- és telített zsírt, valamint cukrot tartalmazhat, mint a hagyományos változataik, ami hozzájárulhat a kalóriabevitel túlzott mértékű növekedéséhez. További akadály, hogy a termékek jóval magasabb árkategóriába tartoznak, mint gluténtartalmú megfelelőik. Az alternatív alapanyagok, a keresztszennyeződés elkerülése érdekében történő különleges feldolgozás, a jelenlegi inflációs helyzet, valamint a termékek alacsonyabb elterjedtsége mind hozzájárulnak a legtöbb ember számára nehezen megengedhető árakhoz. Végül a szociális

korlátozásokat is meg kell említeni, hiszen a diétát tartó személyek jóval kevesebb élelmiszerből válogathatnak egyes élethelyzetekben, ami kényelmetlenséget és stresszt okozhat (Leffler, 2009).

A különféle gluténmentes lisztek (például rizsliszt, szójaliszt, kölesliszt, hajdinaliszt) és lisztkeverékek tápértékének javításához jó megoldásnak bizonyulhat az egyes maglisztekkel, például a len- vagy tökmagliszttel történő dúsítás. Mindkét magliszt amellet, hogy gluténmentes, magas rosttartalommal rendelkezik, gazdag vitaminokban, antioxidánsokban, Omega-3 zsírsavakban és ásványi anyagokban. Továbbá számos daganatos, valamint szív- és érrendszeri betegség valószínűségének csökkentésében bizonyítottan nagy szerepet játszhatnak.

Diplomamunkám elkészítésének célja, hogy a népesség egyre nagyobb hányadát indokoltan vagy csupán trendkövetőleg érintő gluténmentes táplálkozás okán megvizsgáljam, hogy a gyakran kedvezőtlen tápértékű alaplisztkeverékből készülő gluténmentes sütőipari termékekre hogyan hat két, általam választott, előnyös táplálkozási tulajdonságú alapanyaggal történő dúsítás.

Ennek megállapításához reológiai és analitikai vizsgálatokat végzek az általam fejlesztett, len- és tökmagliszttel különböző koncentrációkban (2,5%, 5%, 7,5%, 10%) dúsított gluténmentes zsemléken. Céлом megállapítani, hogy ezek a pékáruk mennyire illeszthetők be a gluténmentesen táplálkozók étrendjébe.

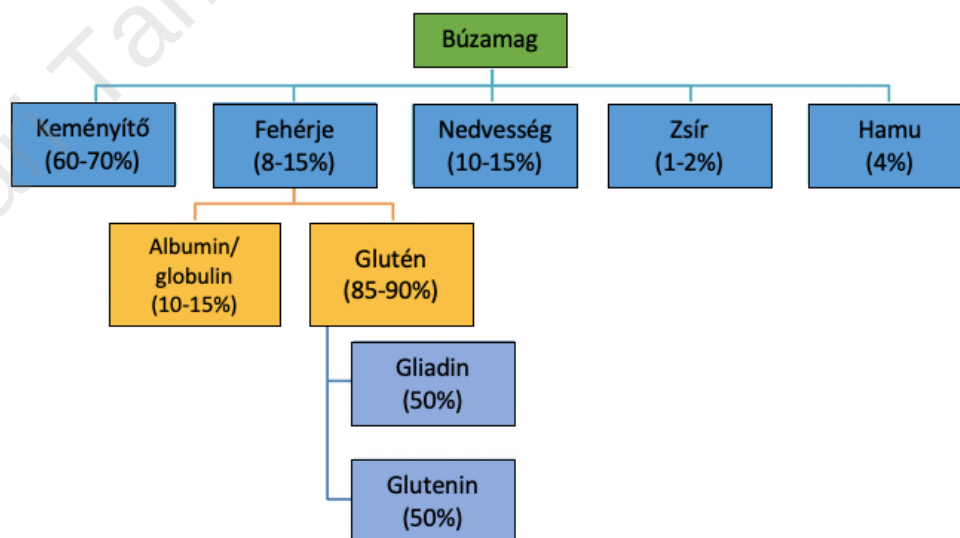
2. Irodalmi áttekintés

2.1. A glutén

A búzamax, melynek összetételét az 1. ábra szemlélteti, 8-15% fehérjét tartalmaz. Ennek 10-15%-át albumin/globulin, 85-90%-át pedig a glutén teszi ki, mely utóbbi a modern táplálkozási trendek meghatározó eleme (Wieser, 2007). A glutén a vízzoldható komponensek és a keményítő búzaszemekből történő kimosása után visszamaradó protein. Több komplex fehérjéből áll, melyek diszulfidkötésekkel kapcsolódó gliadinokból és gluteninekből (együttesen prolaminek) épülnek fel. Emiatt a bonyolult szerkezet miatt az emésztőenzimek nem képesek teljesen lebontani, a le nem bontott alkotók pedig jelentős immunválaszt válthatnak ki. Bélpermeabilitási vizsgálatok a glutaminban és prolinban gazdag komponenst, a gliadint azonosították a felelős immunmoduláló komponensként. A gliadin képes belépni a lamina propria-ba, a nyálkahártya saját kötőszövetes rétegébe, és egyeseknél az idegen antigén felismerése különböző mértékű immunválaszhoz vezethet. Azonban ennek a mechanizmusnak a teljes megértése még további kutatásokat igényel. Felvetések születtek, hogy az IgE-mediált búzaallergiát az omega-5-gliadin okozza. Más gluténkomponensek fogyasztás után további immunválaszokat eredményezhetnek, antitestek termelésével a szöveti transzglutamináz (tTG), az EMA (endomysium) vagy közvetlenül a gliadin ellen, ami a cöliákia ismertetője (Chaudhry et al., 2021). A gluténfehérjék alcsoportokba sorolhatók a kéntartalom, valamint a molekulatömeg alapján, továbbá elsődleges szerkezetük szerint megkülönböztetünk alfa-, béta-, gamma- és omega-gliadinokat (Shewry és Lookhart, 2003).

1. ábra A búzamax összetétele (Wieser, 2007)

(Forrás: Wieser, 2007 nyomán)



A sütőipari termékek sütésekor és tészták főzésekor kulcsfontosságú összetevő, mivel jelentősen befolyásolja az állagot (főként a rugalmasságot). Mivel hőálló, továbbá kötő és térfogatnövelő tulajdonságokkal is bír, a jobb textúra és íz kialakítása, valamint a nagyobb mértékű vízmegkötés miatt gyakran alkalmazzák adalékanyagként az élelmiszeriparban. Előfordul még vörösárukban, surimi készítményekben, vegán húsalternatívákban, emulgeáló-, stabilizáló- vagy zselésítőszerként cukorkákban, fagylaltokban, vajakban, fűszerekben, töltelékekben, pácokban és öntetekben, valamint töltőanyagként, illetve bevonatként a gyógyszer- és cukrásziparban. Ezenkívül egyre inkább különválasztják a búzától (vitális búzagluténként is ismerhetjük) vagy módosítják speciális felhasználási célokra (izolált búzafehérje), például alacsony fehérjetartalmú lisztek dúsítására (Kucek et al., 2015).

A glutén reológiai és funkcionális tulajdonságai a gluteninek és gliadinok arányától, valamint ezek kölcsönhatásától függenek. A két komponensnek eltérő, de kritikus jelentőségű szerepe van a késztermék viszkoelasztikus tulajdonságainak (a tészta kelesztése során felszabaduló szén-dioxid megkötésétől függ) és minőségének kialakításában. Például a tisztított, hidratált gliadinok a tészta nyújthatóságához, míg a hidratált gluteninek a keménységhez és rugalmassághoz járulnak hozzá nagyobb mértékben (Wieser, 2007).

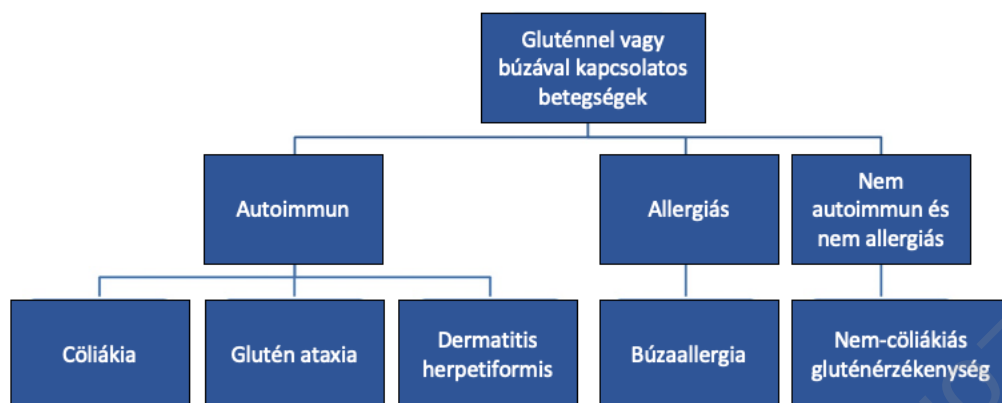
A különböző búzafajták fehérjetartalma, azon belül a glutén összetétele és eloszlása változó. A búzában található gliadinhoz hasonlóan, a rozsban lévő szekalint, az árpában lévő hordeint és a zabban lévő avenint is gluténként tartják számon. A tritikálé és a maláta, valamint egyéb ősi gabonák, mint a tönköly és a kamut szintén tartalmazzak glutént, tehát a lisztérzékenységben szenvedők ezeket sem fogyaszthatják (Biesiekierski, 2017).

A nyugati országokban a napi átlagos gluténbevitelt 5-20 g/nap-nak állapították meg. A Hoppe és munkatársai által Dániában készített országos felmérés alapján az átlagos gluténfogyasztás 10,4 g/nap a 20 és 75 év közötti egészséges felnőttek számára (Hoppe et al., 2017).

2.2. Gluténnel kapcsolatos betegségek

A glutén az egyik leggyakoribb gyomor-bélrendszeri panaszokat kiváltó élelmiszeralkotó. A vele kapcsolatos megbetegedések osztályozását a 2. ábra mutatja be, mely szerint megkülönböztetünk autoimmun, allergiás és egyéb rendellenességeket. Az alábbiakban ezek közül hármat, a cöliakiát, a búzaallergiát, valamint a nem-cöliakiás gluténérzékenységet (NCGS) szeretném ismertetni.

2. ábra A gluténnel kapcsolatos rendellenességek osztályozása
(Forrás: Biesiekierski, 2017 nyomán)



2.2.1. Cöliákia (lisztérzékenység/gluténérzékenység)

Az étrendi glutén által okozott autoimmun (immun-mediált) cöliákia a nyugati társadalmak lakosságának körülbelül 1%-át érinti, a nőket gyakrabban. A gluténfogyasztással kapcsolatos betegségek közül ez a legszéleskörűben tanulmányozott. A kiváltott, bélnyálkahártya-gyulladást, vékonybélboholy-pusztulást és fokozott bélpermeabilitást okozó immunválaszt a gluténfehérje gliadin frakciójában található toxikus peptidek idézik elő. A gluténérzékenység, mely összefüggésbe hozható az esetlegesen kialakuló malabszorpcióval, legkönnyebben felismerhető tünetei a puffadás és a székelési szokások megváltozása, de kiválthat még foghibákat, Duhring-betegséget, idegrendszeri panaszokat, ízületi és csontfájdalmat, menstruációs problémákat, hajhullást, körömtöredezést és vérszegénységet is. A (HLA)-DQ2 vagy DQ8 humán leukocita antigént hordozó egyéneknél hajlam mutatható ki a betegségre. Jelenleg ismert egyetlen kezelési módja az élethosszig tartó, szigorú gluténmentes diéta (Biesiekierski, 2017).

2.2.2. Búzaallergia

A búzaallergia egy IgE-mediált reakció, melyet a búza oldhatatlan gliadinjai idéznek elő. Leggyakrabban az alfa-amiláz- és a tripszin-inhibitor, ritkábban a glutén váltja ki a panaszokat. A világ populációjának körülbelül 0,4%-át érinti, főleg gyermekeket, azonban legtöbbjük hatéves korára kinövi. A tünetek a fogyasztást követő legfeljebb pár órán belül viszketés, különböző duzzanatok, bőrkiütések (például csalánkiütés, ekcéma), emésztőrendszeri problémák és akár életveszélyes anafilaxia formájában is jelentkezhetnek. A búzaliszt belelegezve „pékallergiát”, illetve rhinitist úgyszintén okozhat. A betegeknek

búzamentes étrendet kell követniük, de más gabonákat, például rozst, árpát általában fogyaszthatnak (Kucek et al., 2015).

2.2.3. Nem-cöliákiás gluténérzékenység

A gluténfehérjék olyan személyeknél is válhatnak ki a cöliákiához hasonló panaszokat, akiknél nem mutatható ki konkrétan a kór. Ezért ezt a betegséget nem-cölikáliás gluténérzékenységnek (NCGS) nevezik és a lakosság körülbelül 7-12%-át érintheti, azonban teljes feltérképezése még sok kutatást igényel. A cöliákiával ellentétben itt a hasi panaszok az étel elfogyasztását követő 20 percen belül már jelentkezhetnek, nem mutatható ki a vékonybél károsodása és társbetegségek sem lépnek fel. A betegség kialakulásában a stressz is jelentős szerepet játszhat, emiatt ugyancsak szoros összefüggésbe hozható az irritábilis bélszindrómával (IBS) (Biesiekierski és Iven, 2015).

2.3. Gluténmentes sütőipari termékek gyártástechnológiája

2.3.1. Pékáruk

A Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/16-1 számú előírása a sütőipari termékek nyolc csoportját különbözteti meg, melyek a következők: kenyerek, vizes tésztából készült péksütemények, tejes tésztából készült péksütemények, dúsított tésztából készült péksütemények, tojással dúsított tésztából készült finom pékáruk, omlós tésztából készült finom pékáruk, leveles tésztából készült finom pékáruk, zsemlemorzsa (MÉ 1-3/16-1, 2016).

Az általam készített zsemlék a vizes tésztából készült péksütemények kategóriájába tartoznak, definíciójuk az 85/2016. (XII. 19.) FM rendelet szerint: „A vizes tésztából készült péksütemény gabonaőrleményből (általában búzafinomliszt, BL 55 típusú lisztből), élesztő, só, víz és szükség szerint élelmiszer-adalékanyag és egyéb összetevők felhasználásával, tésztakészítéssel, alakítással, lazítással, majd sütéssel előállított, legfeljebb 50,0 g tömegű termék.” Érzékszervi jellemzőit tekintve az alakja legyen a termékre jellemző, domború, de ne torz. A héj a terméktípusra jellemző színű, sima vagy cserepes, esetleg vágott, nem lehet végigrepedt, kormos vagy szennyezett, égett, ázott, átnedvesedett vagy feltűnően sérült. A termékből legyen átsült, a héjtól nem elváló, a gyártáshoz felhasznált liszt jellegének megfelelő, egyenletes színű, rugalmas, laza szerkezetű, vékony pórusfalú, selymes tapintású; ne legyen morzsálódó, ragacsos, széteső, ne tartalmazzon idegen anyagokat, csomókat és ne legyen mikroorganizmusok által károsított. Aromája a termékre jellemző legyen, ne tartalmazzon idegen ízt és szagot. A bélzet szárazanyagára vonatkoztatott sótartalom NaCl-ban kifejezve

legfeljebb 2,1 m/m% lehet. A termék megnevezéséhez használhatók a hagyományosan ismert terméknevek, valamint a termék jellegét meghatározó nevek is (MÉ 1-3/16-1, 2016).

2.3.2. A glutén helyettesítése

Számos összetevőt kombináltak és teszteltek már annak érdekében, hogy olyan gluténmentes kenyeret kapjanak, melynek érzékszervi tulajdonságai, többek között az állaga és íze, valamint eltarthatósági ideje a gluténtartalmú kenyerekkel minél inkább megegyezik. A gluténmentes pékáruk dúsítására felhasznált gluténmentes lisztek hatására mind a nyers tészta, mind a kisült kenyér egyes tulajdonságai máshogy változtak. Paciulli és munkatársai (2016) megállapították, hogy a gesztenyeliszt jótékony hatással van a kenyér színére, növeli a rosttartalmat és az antioxidáns aktivitást, viszont kedvezőtlenül befolyásolja a térfogatot, a bélzet kohézióját és a retrogradáció, azaz a keményítő öregedésének ütemét. Miñarro és munkatársai (2012) a különféle hüvelyes lisztek hatását tanulmányozva felfedezték, hogy a csicseriborsó liszttel dúsított kenyér rendelkezik a legjobb fizikai és kémiai tulajdonságokkal, ezenfelül az érzékszervi tulajdonságok is ígéretesnek bizonyultak. A szójaliszt adagolása nagymértékben javított a termék tápértékén, továbbá a bélzet és a kéreg színén (Taghdir et al., 2017). Franco és munkatársai kutatásaik során rájöttek, hogy a rizsliszt alapú gluténmentes kenyérhez quinoaliszt hozzáadása jelentős fehérjetartalom-növekedést és különösen jó aminosav-összetételt eredményez. Ezen beltartalmi jellemzők mellett még a textúra, illetve a szín is kedvező eredményeket produkált, valamint a késztermék eltarthatósági ideje úgyszintén növekedett. Zorzi és munkatársai (2020) pedig tárolási kísérletet végeztek, mely azt mutatta meg, hogy a napraforgófehérje koncentráttal dúsított kenyerek retrogradációja csökkent.

2.3.3. Gyártási technológia

A gluténmentes kenyerek előállítása jelentősen különbözik a búzából készült változathoz képest. Általánosságban a búzakenyér gyártásánál az alapanyagok (liszt, víz, zsiradék, só, élesztő, opcionális adalékanyagok) alapos, 5-12 percig történő összekeverését követően előkelesztés történik körülbelül 30-40 °C-on, 80-90%-os relatív páratartalom mellett, 15 percig. Ezután a tésztát szét kell választani a kívánt méretű és tömegű darabokra, majd sor kerül a dagasztásra. Ennek végeztével a tésztadarabok sütőformákba kerülnek, amelyben egy második kelesztésen esnek át körülbelül 30 °C-on, 85%-os relatív páratartalmon a sütés előtt. A megsült és kihűlt kenyerek opcionálisan csomagolást is kaphatnak. Ezzel ellentétben a legtöbb gluténmentes kenyér valamilyen gluténmentes lisztből, keményítőből, vízből, sóból, cukorból, élesztőből, olajból, hidrokolloidból és további opcionális adalékanyagokból áll,

magasabb víztartalommal rendelkezik a búzalisztet tartalmazó termékekhez képest, ezáltal nyers tésztájuk sokkal folyósabb, mely hasonlít a piskótáéhoz. Ez a megnövelt vízmennyiség a keményítő gélesedéséhez szükséges sütés közben, ami a kenyér szerkezetét a leginkább hivatott kialakítani. Sokkal rövidebb, körülbelül 3-5 perces keverési (nem kell kialakítani és hidratálni a fehérjehálót), kelesztési (nincs előkelesztés), valamint sütési időt igényelnek és dagasztási lépés sem szükséges (Arendt et al., 2008).

2.4. Gluténmentes pékáruk jogi szabályozása az EU-ban és Magyarországon

A gluténmentes, nagyon alacsony gluténtartalmú élelmiszerek 2016. július 20-tól normál közfogyasztású élelmiszerként kezelendők a specifikus csoportoknak szánt élelmiszerek (609/2013/EU) új szabályozásának megfelelően. Ezen termékeket jelenleg a 828/2014/EU rendelet szabályozza, melynek életbe lépésével megszűnt a 36/2004. (IV.26.) ESZCSM rendelet által előírt bejelentési kötelezettség (Szűcs, 2018).

A „gluténmentes” kijelentés csak abban az esetben használható, ha az élelmiszer a végső fogyasztónak értékesített formájában legfeljebb 20 mg/kg glutént tartalmaz. Ez a minősítés feltüntethető a természetes módon gluténmentes termékek esetében is, azonban a fogyasztót nem tévesztheti meg. Tehát, ha a termék természetből adódóan gluténmentes (például tej, natúr joghurt, paradicsomlé stb.), továbbra sem használható a „gluténmentes” kifejezés. A „gluténérzékenyek is fogyaszthatják”, illetve a „coeliakiában szenvedők is fogyaszthatják” kijelentések kísérhetik még az előbbi (Szűcs, 2018). Az alábbi jelölésekkel, melyeket összefoglalóan a 3. ábra mutat be, szintén lehet utalni a gluténmentességre:

3. ábra Gluténmentességet szemléltető ábrák
(Forrás: Szűcs, 2018 nyomán)



2.5. A kutatásban használt alaplisztkeverék összetevői

2.5.1. Hidrokolloidok

Az élelmiszeriparban felhasznált hidrokolloidok építőkövei sokfélék lehetnek: algák (például karragének, alginátok), baktériumok [például xantángumi (XG)], citrus- és almafélék (például pektin), magkivonatok [például guargumi és szentjánoskenyérmag-liszt (LBG)],

növényi váladékok (például gumiarábikum) és cellulózszármazékok [például karboximetil-cellulóz (CMC), hidroxipropil-metil-cellulóz (HPMC), mikrokristályos cellulóz (MCC)]. Nagy molekulatömegűek (főleg a szénhidrátok) és jó vízmegkötő képesség jellemzi őket. Egyesek bizonyos körülmények között géleket képeznek, míg mások csak viszkozitást növelnek a vizes rendszerekben (Glicksman, 1979).

A hidrokolloidok a gluténhálót hivatottak imitálni a gluténmentes pékárukban, tehát hasonlóképpen tudják megváltoztatni a tészta jellemzőit, mint a glutén. A tészta viszkoelasztikus sajátosságait a poliszacharidláncok viszkoelasztikus tulajdonságai javítják vizes közegben. Ez a hatás a hidrokolloid poliszacharid lánc szerkezetétől és konformációjától függ, amely meghatározza az intermolekuláris kölcsönhatásokat (keresztkötések és összefonódások) (Tsatsaragkou et al., 2016).

Mivel ezeknek a molekuláknak nagy a vízmegkötő képessége, viszkozitásnövelőként alkalmazzák őket. Emellett a kelesztés során segítenek növelni a térfogatot is, illetve visszatartják a képződő gázbuborékokat, ezáltal lyukacsosabb bélzetet eredményeznek. Egyes cellulóz származékok hidrofób csoportokat tartalmaznak, amelyek affinitással rendelkeznek a tészta apoláris fázisához. Ennek következtében a gázbuborékok belső határfelületén létrejövő aktivitás sütés közben hálózatot alakít ki, mely növeli a tészta viszkozitását, a gázbuborékok méretét, tehát tovább gyarapodik a térfogat (Mir et al., 2015).

Az iparban leggyakrabban a cellulózszármazékokat szokták alkalmazni, mivel ezeknek van a legintenzívebb hatása. A kutatásom során felhasznált gluténmentes alaplisztkeverék is hidroxipropil-metil-cellulózt tartalmaz (HPMC), emellett kisebb arányban guar gumit. Hager és Arendt (2013) megállapította, hogy a legfeljebb 2%-ban adagolt HPMC a főleg kukorica- és teff lisztből készült kenyerek térfogatát pozitívan, míg a rizsliszt alapú kenyerek térfogatát negatívan befolyásolta. A hajdinaliszt alapú kenyerek térfogatára nem volt hatással, azonban a bélzet puhább lett. Az összes tésztánál nagyobb mennyiségű vízre volt szükség, melyhez HPMC-t keverték.

2.5.2. Keményítő

A munkám során kukoricakeményítőt tartalmazó gluténmentes lisztkeverékkel dolgoztam, de hasonlóképpen elterjedt még a tápióka és a burgonyakeményítő felhasználása is. A keményítő, mely natív vagy módosított lehet, ezen termékek mátrixaként viselkedik: a szén-dioxid visszatartásával tágítja a légbuborékokat, megakadályozza növekedés közbeni összetapadásukat és stabilizálja a végleges szerkezetet kihűlés után. A gluténmentes kenyerek minőségét a keményítő zselatinizációs hőmérséklete, csirizesedett formájának viszkozitása,

oldhatósága, a retrogradációs hajlam, valamint a benne levő amilózok lipidekkel és emulgeálószerrel való komplexképző képessége befolyásolja. A keményítő eredete, típusa és szemcsemérete pedig hatással van a pékáru vízvisszatartására, szerkezetére, továbbá ízére. A sütési lépés során jelentkező, kritikus fontosságú keményítő-gélesedés nemcsak a sütés körülményeitől, hanem a keményítő típusától és morfológiai tulajdonságaitól is függ. Másik fontos faktor a rendelkezésre álló víz hozzáférhetősége: kevés víz esetén a keményítő zselatinizációja késleltetve megy végbe, míg bőséges vízmennyiség esetén a folyamat ugyan gyorsan végbemegy, de magát a zselatinizációt és a keményítő öregedését, tehát a késztermék keményedését kisülés után negatívan befolyásolhatja (Houben et al., 2012).

A légbuborékok stabilitására a kelesztés és sütés alatt kedvezőtlenül hat, ha a tészta nem rugalmas, ezáltal pedig a kisült kenyerek vagy zsemlék mérete is kisebb lesz. Felmérések igazolják, hogy a fogyasztók a minél nagyobb térfogatú pékárukat részesítik előnyben. Sanchez és munkatársai (2002) kutatásaik során megállapították, hogy a kukoricakeményítő a tápióka keményítőhöz képest nagyobb térfogatot kölcsönöz a termékeknek.

2.5.3. Rizsliszt

A gyártók számos összetevőt használnak a gluténmentes kenyerek fejlesztésében annak érdekében, hogy a hagyományos kenyértészták viszkoelasztikus tulajdonságait utánozzák és következésképpen jobb készterméket nyújtsanak a fogyasztóknak. Az egyik leggyakrabban alkalmazott ilyen összetevő a rizsliszt, mely rendkívül sok előnnyel rendelkezik: magas kihozatalú, semleges/enyhe ízű, világos színű, hipoallergén, illetve könnyen emészthető szénhidrátokat és kevés nátriumot tartalmaz, kihozatala magas (Rosell és Marco, 2008). A rizs világszerte termesztett gabonafajta, a lakosság körülbelül 50%-ának fontos alapvető élelmiszere, főleg Ázsiában. A világ legnagyobb rizstermelője jelenleg Kína, ahol már több, mint 5000 éves múltra nyúlik vissza a növény termesztése. Az ázsiai országokban a rizsliszt sok elterjedt étel, például a rizstészta, dumpling, „rice cake” (henger alakú, nyúlós tésztájú rudacskák) alapja. Ugyanakkor a belőle készült pékáruk paraméterei (például szín, állag, térfogat) a rizs fajtájától, a belőle készült liszt szemcseméretétől, kémiai összetételétől, valamint a feldolgozási folyamattól függenek (Torbica et al., 2012).

2.5.4. Rostok

Az elmúlt néhány évtizedben a rostban gazdag élelmiszerek iránti érdeklődés növekedett és olyan hatalmas piac kialakulásához vezetett, amely rávilágít ennek a fontos élelmiszeralkotónak az értékére. A munkám során felhasznált, Old Millers' Original Soft &

tasty bread mix gluténmentes lisztkeverék háromféle rostot tartalmaz, melyek a következők: Psyllium (útifűmaghéj) rost, burgonyarost, almarost. Ezeken kívül még például a kukoricakorpa, rizskorpa, borsóhéj, szójahéj, földimogyoró héj, cukorréparost, szentjánoskenyérrost (karobrost), lenmagrost, teljes kiőrlésű rozs, növényi gumik, álgabonák és hidrokolloidok használata is elterjedt a gluténmentes készítményekben (Kupper, 2005). Nagy vízmegkötő képességüknek köszönhetően puha állagot kölcsönöznek a pékáruknak. A gyümölcsök és a zöldségek sejtfala, valamint parenchimális szövete szintén jó élelmi rostforrás a tápanyaghiány kompenzálására. Viszonylag nagy arányban tartalmaznak vízzoldható rostokat, melyek jó gélképző, olaj- és víztartó tulajdonságúak, illetve könnyen duzzadnak (Figuerola et al., 2005). Azonban az élelmiszeripar fejlődése arra készteti a termékfejlesztőket, hogy folyamatosan további új rostforrásokat keressenek. Így került az utóbbi pár évtizedben a globális piacra az almából, citrusfélélékből, guavából és banánból nyert rost. A gyümölcsökből származó rostok jobb tápértékkel rendelkeznek a gabonarostokhoz képest, mivel víz- és zsírtartó képességgel, alacsonyabb metabolikus energiával, kevesebb antinutritív komponenssel, valamint jobb oldható és oldhatatlan rostaránnyal rendelkeznek, továbbá bioaktív komponenseket (karotinoidokat, flavonoidokat) tartalmaznak (Chau és Huang, 2003).

Európában széles körben alkalmazzák élelmi rostforrásként az inulint, oligofruktózt, fruktánokat és a gyomor enzimjei által emészthetetlen rezisztens keményítőket. Az inulint főleg jeruzsálemi articsókából (csicsókából) vagy cikóriából vonják ki. Az inulin típusú fruktánok a zöldségekben és gyümölcsökben szintén jelentős mennyiségben vannak jelen. Az oligofruktózt és a cikóriából nyert inulint az európai országokban hivatalosan is élelmi rostként tartják számon (Arslan et al., 2019).

2.6. Gluténmentes tészták dúsítása élettani szempontból értékes összetevőkkel

2.6.1. A gluténmentes táplálkozás árnyoldalai

A gluténmentes termékek sokszor gyenge érzékszervi, szerkezeti, valamint táplálkozási tulajdonságokkal rendelkeznek a gluténfehérjék hiánya miatt. Nagy kihívás tehát az élelmiszeripar számára a kiváló minőségű gluténmentes pékáruk gyártása. Például a megfelelő állag elérésének érdekében a lisztalternatívákon kívül további összetevők keresése is indokolt (Ua-Arak et al., 2017).

Számos tanulmány vizsgálta már a gluténmentes étrend (GFD) minőségét összehasonlítva a gluténtartalmú táplálkozással (GCD). Azonban a cölikiában szenvedőknél végzett kutatások fenntartásokkal kezelendők, mivel esetükben a tápanyaghiány a krónikus

bélgyulladásból és az ebből eredő felszívódási zavarból szintén eredhet (Niland és Cash, 2018). Thompsonnak és munkatársainak (2005) 47 amerikai felnőtt gluténérzékeny, gluténmentes diétán lévő személy bevonásával végzett kutatása kimutatta, hogy az ajánlott kalcium-, vas- és rostbevitel 31%-át, 44%-át és 46%-át, illetve 63%-át, 100%-át és 88%-át fogyasztották a nők, illetve a férfiak. Ugyanezen vezető szerző két további tanulmánya pedig azt az eredményt hozta, hogy sok gluténmentes élelmiszer nem kellőképpen dúsított, mivel számos tápanyagban nem ért el megfelelő szinteket, beleértve az élelmi rostokat, folsavat, vasat, niacint (B3-vitamint), riboflavint (B2-vitamint) és tiamint (B1-vitamint). Ezenfelül a feldolgozott gluténmentes élelmiszerek sokszor magasabb lipid-, transzzsír-, fehérje-, és sótartalommal rendelkeznek, mint gluténtartalmú megfelelőik (Niland és Cash, 2018).

Egy 2013-as, 58 egészséges, gluténmentes diétát követő felnőttön végzett táplálkozási felmérés alapján kiderült, hogy a férfiak jelentősen kevesebb szénhidrátot, rostot, niacint (B3-vitamint), folsavat és kalciumot, illetve több zsírt és nátriumot vittek be a szervezetükbe, mint a glutént fogyasztók. Nők esetében a bevitt szénhidrát, rost, folsav, vas és kalcium mennyisége volt kevesebb, míg a zsíroké, telített zsírsavaké és koleszteriné pedig jóval több. A gluténmentes étrend tehát egyik nem esetében sem bizonyult kellően tápanyagdúsnak, hogy megfeleljen az összes táplálkozási ajánlásnak (Devlin, 2013).

A gluténmentes alternatív élelmiszerek másik árnyoldala a fogyasztót terhelő költségekben rejlik. Egy osztrák kutatás alapján a vizsgált gluténmentes élelmiszerek mindegyike lényegesen drágább volt a gluténtartalmú verziójukhoz képest: a gabonapelyhek 205%-kal, a kenyérfélék és egyéb pékáruk pedig 267%-kal (Missbach et al., 2015).

Szintén nem elhanyagolandó tényező a gluténérzékenyek pszichés terhelésnek való kitettsége, főleg a számukra megfelelő élelmiszerek elérhetősége, azok költségei, valamint címkéinek sokszor hosszadalmas áttanulmányozása miatt. A szigorú diéta és életvitel társadalmi elszigeteltség és negatív pszichoszociális hatások formájában nyilvánulhat meg. Sokan közülük félelemből kerülnek az éttermeket, illetve mondanak le az utazásról az gluténmentes ételek teljes hiánya vagy szűkös választéka miatt (Niland és Cash, 2018).

2.6.2. Antioxidánsok

Az emberi szervezet számára a megfelelő mennyiségű antioxidáns vegyület bevitele nélkülözhetetlen. Legtöbbjüket táplálékokkal természetesen, főként növények termése vagy magja útján vesszük be szervezetünkbe, ahol a normál fiziológiai működésünket, valamint a szabadgyökök részvételével kialakuló betegségek elleni védelmet biztosítják. Az oxidációt gyorsító katalizátorok működését saját oxidációjukkal gátolják, mivel így megkötik az oxigént.

Az autooxidáció során képződő peroxidgyökök az azokra hatással lévő, autooxidációt gátló, oxidációs inhibitor jellegű anyagokkal stabil végterméket képeznek, ezáltal megszakítják a további átalakulással járó láncreakciót. A kis molekulájú antioxidánsok közé soroljuk például az A-, C-, és E-vitamint, a béta-karotint, a flavonoidokat, a különböző fenolos vegyületeket, néhány kéntartalmú aminosavat, továbbá a redukált glutationt is (Boór, 2017).

Polifenolok

A polifenolok az antioxidánsok közé tartoznak, ezen hatásukat, mely egyben a legfontosabb tulajdonságuk, a lipidperoxidáció gátlásán keresztül érik el. Magasabb rendű növényekben megtalálható bioaktív fitokemikáliák, melyek több fenolgyűrűből épülnek fel és fontos szerepet játszanak a közvetlen szabadgyök-befogásban is. A fenolgyűrűk, valamint a hozzájuk kapcsolódó funkciós csoportok száma és minősége együttesen határozzák meg az adott polifenol fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságait. A polifenolok közé soroljuk például a hidrolizálható cserzőanyagokat (galluszsavszármazékokat), a kondenzált cserzőanyagokat (proantocianidineket), flavonoidokat, katechineket, kumarinokat, lignánokat és a lignineket. Főleg a zöldségek, gyümölcsök, teafélék és magok bővelkednek bennük, például a bogyósok, csonthéjasok, alma- és hagymafélék, illetve a kutatásom során felhasznált len- és tökmagliszt is (Hegedűs, 2013).

Megfelelő mennyiségük bevitele a szervezetbe elengedhetetlen az egészségmegőrzés szempontjából. Rendkívül sok pozitív hatást gyakorolnak a testünkre: gátolják a rákos sejtek proliferációját és a koleszterinfelvételt, részt vesznek számos enzim, például a telomeráz, a ciklooxygenáz, illetve a lipoxigenáz modulálásában. Ezenfelül befolyásolják a vérlemezkék funkcióját, továbbá megelőzik az endothél diszfunkciót (Hegedűs, 2013).

A 2021-es új OKOSTÁNYÉR® szerint a zöldség-gyümölcs ajánlott napi bevitele 500 g, tehát ez 182,5 kg/fő-t jelent évente (Internet 1.). A KSH legfrissebb, 2022-es adatai szerint a magyar lakosság fejenként átlagosan csupán 48 kg zöldséget (burgonyát nem számolva) és 37,8 kg gyümölcsöt fogyasztott. Ez kevesebb, mint az ajánlott mennyiség 50%-a és ennek vonzataként nyilván a polifenolokból is a kellénél kevesebb jut a magyarok szervezetébe. Ennek javításaképpen lehetne az étrendbe például a len- és tökmagliszttel dúsított pékárukat beilleszteni, nem csak gluténérzékenyeknek.

2.7. Gluténmentes lisztek, lisztkeverékek

Az alábbi, 1. táblázat azt szemlélteti, hogyan hat az egyes gluténmentes lisztekkel és keményítőkkal történő dúsítás (vagy egy másik gluténmentes liszt teljes egészében történő helyettesítése) a belőlük készült kenyerekre.

1. táblázat Gluténmentes lisztek hatása kenyerekre

(Forrás: saját szerkesztés, Turkut et al., 2016; Rostaminan et al., 2014; Burešová et al., 2017; Mancebo et al, 2015 nyomán)

Liszt fajtája	Aránya a lisztkeverékben	Élettani hatás	Eredmény	Hivatkozás
Quinoa liszt	25% (+ 25% rizsliszt + 25% burgonyakeményítő + 25% hajdinaliszt)	szív- és érrendszeri betegségek kockázatának csökkentése, segít az anyagcsere és a posztmenopauzális tünetek kontrollálásában	25% rizs-, 50% kölesliszthez és 25% burgonyakeményítőhöz viszonyítva: a sütési veszteségben, fajlagos térfogatban, fehérjetartalomban nem mutatkozott szignifikáns különbség; nagyobb viszkozitás; jobb érzékszervi tulajdonságok: lágyabb textúra, jobb íz és szín	Turkut et al. (2016)
Csicsseborsó liszt	80% (+ 20% kukoricaliszt)	a rák, a szív- és érrendszeri betegségek, a csontritkulás és a hiperlipidémia kockázatát csökkentő; vérnyomáscsökkentő; görcsoldó; jó gyomor- és májvédő	a kétféle liszt más arányú keverékeihez viszonyítva: jobb porozitás; kéreg-bélzet arány növekedése; szilárdság csökkenése; sötétebb szín	Rostaminan et al. (2014)
Hajdinaliszt	30% (+ 70% rizsliszt)	immunerősítő; vérnyomás- és koleszterinszint-csökkentő; vércukorszint-szabályozó; rák kockázatát csökkentő	100% rizsliszthez viszonyítva: keménység csökkenése; a rugalmasság, a kohézió és a bélzet porozitásának növekedése; jobb aroma; a héj és bélzet előnyösebb színe, megjelenése	Burešová et al. (2017)
Kölesliszt	30% (+ 70% rizsliszt)	immunerősítő; emésztést segítő; a szív- és érrendszeri betegségek és a cukorbetegség kockázatának csökkentése; fogyást elősegítő	100% rizsliszthez viszonyítva: keménység és rágósság növekedése; a bélzet színének és megjelenésének, illetve az aromának a romlása; a rugalmasság, porozitás és kohézió csökkenése	Burešová et al. (2017)
Amaránt liszt	30% (+ 70% rizsliszt)	csontritkulás kockázatát csökkentő; emésztést javító; koleszterinszint- és gyulladás-csökkentő; fogyást elősegítő	100% rizsliszthez viszonyítva: keménység és rágósság csökkenése; rugalmasság, porozitás és kohézió növekedése; a héj és bélzet előnyösebb színe, megjelenése; rosszabb íz	Burešová et al. (2017)
Kukoricakeményítő	100%	gyors vércukorszint-emelés	100% rizsliszthez viszonyítva: nagyobb térfogat, rugalmasság és keménység; rosszabb íz, megjelenés és általános elfogadottság; fényesebb kéreg	Mancebo et al. (2015)
Rizsliszt	100%	csontritkulás kockázatának csökkentése; májvédő; egészséges bélműködést segítő; jótékony hatás az érrendszerre	100% búzakeményítőhöz viszonyítva: kisebb térfogat, keménység, rugalmasság és kohézió; fakóbb kéreg; jobb megjelenés és általános elfogadottság	Mancebo et al. (2015)

2.8. A kutatás során felhasznált értékes adalékanyagok

2.8.1. Lenmagliszt

A kutatásom során készített zsemlek egy részéhez lenmaglisztet (*Linum usitatissimum*) adtam, ami egyedülálló tápanyagprofiljának köszönhetően a funkcionális élelmiszerek egyik potenciális forrása. Gazdag többszörösen telítetlen zsírsavakban (az összes zsírsavtartalom körülbelül 73%-a), mérsékelttel találhatóak benne egyszeresen telítetlen zsírsavak (az összes zsírsavtartalom körülbelül 18%-a) és szegény telített zsírsavakban (az összes zsírsavtartalom körülbelül 9%-a). A linolsav az összes zsírsavtartalom körülbelül 16%-át, az alfa-linolénsav (ALA) pedig annak körülbelül 57%-át teszi ki (Morris, 2001). Kristensen és munkatársai (2013) bebizonyították, hogy rosttartalma képes elnyomni a vér étkezés utáni megnövekedett zsírtartalmát, valamint az étvágyat. Ezenkívül csökkenti a szív- és érrendszeri betegségek kialakulásának kockázatát, a testsúlyt és a zsír felhalmozódását. A lenmag lignánjai megvédik a vérereket a gyulladásos állapot okozta károsodástól. Csökkenti étkezés után a glükóz

felszívódását, továbbá javítja a glükóztoleranciát és a koleszterinszintet. Három bioaktív komponensének, az élelmi rostoknak, a lignánoknak, illetve az ALA-nak legnagyobb egészségügyi előnyei a mellrák, a csontritkulás, a cukorbetegség, a szívbetegségek és a menopauza prevenciójához való hozzájárulás (Marpalle et al., 2014).

Az étrendbe az egész lenmag mellett a belőle készült őrlemény és olaj úgyszintén beépíthető. A lignánra, ALA-ra és szekoizolaricirezinol-diglükozidra (SDG) irányuló vizsgálatok kimutatták, hogy azok a feldolgozás és a tárolás során, akár magas hőmérséklet hatására is stabilak maradtak spagetti és makaróni tészta esetében (Hall et al., 2005). Muir és Westcott vizsgálata alapján a kenyérfeldolgozási folyamat nem befolyásolta az SDG stabilitását. Azonban gluténtartalmú tészták esetében a kialakuló gluténháló megköti a lenmagot, ami alacsony SDG szinthez vezethet.

Marpalle és munkatársai (2014) lenmagliszttel dúsított gluténtartalmú kenyereken végeztek számos különböző mérést. A kisült termék állományát egy The Stable Micro Systems texture analyser TA-XT2i gép mérte, mely 50 kg-os mérőcellával és 36 mm átmérőjű hengeres fejjel volt ellátva. A próba előtti sebesség 1 mm/s, a próba utáni sebesség 1,7 mm/s volt. A lenmagliszt adagolásának hatására a kenyérszelet összenyomásához szükséges erő csökkent, tehát a szerkezet lágyabb lett, ami a lenmagban található guminak és zsírnak, valamint az oldható rosttartalom vízmegkötő képességének köszönhető.

2.8.2. Tökmagliszt

Az általam készített zsemle egy másik változatát tökmagliszttel (*Cucurbita pepo*) dúsítottam. Egyes európai országokban a tökmagot nyersanyagként használják az értékes pörkölt tökmagolaj előállításához, míg más országokban agráripari hulladéknak tekintik és megsemmisítik. Azonban előnyös fitokémiai összetétele miatt fogyasztása egyre inkább elterjedt mind pörköelve, mind nyersen, illetve kenyerek, különböző pelyhek, saláták és péksütemények adalékaként is kezd a köztudatba kerülni (Bialek et al., 2016). A magvak körülbelül 40% olajat tartalmaznak, mely gazdag telítetlen zsírsavakban, lecitinben, cellulózban, ásványi anyagokban és antioxidánsokban (karotinoidokban, tokoferolokban és fitoszterolokban). Ezen kívül szintén magas esszenciális aminosav- (például lizin, tirozin, triptofán, metionin) és vastartalommal bír, mely utóbbi miatt a vashiány okozta vérszegénységre hajlamos gyermekeknek és serdülőknek rendkívül ajánlott a fogyasztása. Számos kutatás bizonyítja az egészségre gyakorolt jótékony hatását, például képes a vérmétegy parazita okozta fertőzéssel járó lázat, hidegrázást, fejfájást, fáradtságot és erőteljes hasi diszkomfortot nagyban enyhíteni (Patel, 2013).

A tökmagliszt a hidegen sajtolt tökmagolaj mellékterméke, mely ellentétben a búzaliszttal gazdag rostokban (a száraz őrlemény körülbelül 47,9%-a), amik fokozzák a bélműködést és jóllakottság érzését idézik elő, kontrollálva a testsúlyt. Másik nagy előnye, hogy gluténmentes, így a gluténérzékenyek is bátran fogyaszthatják (Patel, 2013). Kenyében pedig az alultáplált csecsemők táplálására alkalmazzák magas étrendi energia-, fehérje-, valamint zsírtartalma miatt (Ward és Ainsworth, 1998).

A tökmaglisztet erőteljes zöld szín, illetve diós íz jellemzi. Sikeresen alkalmazták már palacsinták, sós és édes kenyerek, levesek, szószok stb. adalékaként, melyeket a gyermekek is szívesen fogyasztottak. Ezen különleges érzékszervi tulajdonságai és magas tápértéke további, belőle készült termékek fejlesztésére sarkallja az élelmiszermérnököket (Patel, 2013).

Batista és munkatársai 2018-ban tökmagliszttel dúsított, karobbal töltött muffinok állományát vizsgálták TPA (Texture Profile Analysis – két harapás teszt) módszerrel, ami a rágást hivatott szimulálni. A gép a keménység (adott deformációhoz szükséges erő) és kohézió (a minták belső kölcsönhatásaihoz szükséges energia) paramétereket rögzítette. Ezenkívül a rugalmasságot is megbecsülték azáltal, hogy a mintát erő nyomóerő megszüntetésével az milyen sebességgel nyeri vissza eredeti alakját. A behatolás előtti és utáni sebesség 60 mm/s, a behatolás sebessége 100 mm/s, a 20 cm átmérőjű hengeres fejjel végrehajtott deformáció pedig 80%-os volt. A négyféle minta közül a kontroll kizárólag búzalisztet tartalmazott, a 2.-ban a búzalisztmennyiség 25%-át, a 3.-ban annak 50%-át, a 4.-ben annak 75%-át helyettesítették tökmagliszttel. A legnagyobb keménységértéket a 4., valamint a 3. minta érte el 6,4 N-nal és 4,0 N-nal a tökmagliszt magas rosttartalma miatt, őket követte a kontroll 3,6 N-nal, a legpuhábbnak pedig a 25% tökmaglisztet tartalmazó minta bizonyult 3,0 N-os értékével. A hozzáadott tökmagliszt a 3-as és 4-es minták kohézióját befolyásolta szignifikánsan, mindkettőnél 0,5-ös érték született, ezt a kontroll muffin követte 0,44-gyel, végül ez a paraméter is a 2. minta esetében lett a legalacsonyabb, 0,43. A rugalmasságra a három, tökmaglisztet tartalmazó süteménynél 1,00-t, a kontrollnál 0,74-et kaptak a szerzők, aminek köze lehet a tökmagliszt magasabb fehérjetartalmához a búzaliszthez képest. Mivel a fogyasztók elég kritikusak a pékáruk keménységével és rugalmasságával kapcsolatban, ezért az előbbi értéke nem lehet túl magas (ahogy a kohézióé sem), míg az utóbbi túl alacsony, illetve nem különbözhet túlságosan a mindenki által ismert és elfogadott, búzalisztból készült termékekhez képest. Ennek megfelelően, csak a textúrát figyelembe véve, a búzaliszt legfeljebb 50%-át érdemes tökmagliszttel helyettesíteni.

2.9. Vizsgálati módszerek elméleti háttere

2.9.1. Állományvizsgálat (TPA)

A műszeres állományvizsgálatot az Egyesült Államokban szabadalmaztatták az 1960-as években. Az első műszert továbbfejlesztve alkotta meg Bourne (1968, 1974) a Universal Testing Machine-t, amely már nagyrészt azt a mérést végezte, amit ma TPA tesztnek nevezünk. A TPA (Texture Profile Analysis) széles körben elfogadott és gyakorlatilag standardizált módszer a különféle élelmiszerek állományi tulajdonságainak értékelésére. Maga a TPA teszt egy olyan ismétlődő kompressziós ciklus, amely a rágási folyamatot hivatott szimulálni és számos mérési paramétere személyre szabható. A vizsgálat alatt az erő (illetve a nyomófeszültség), a (relatív) deformáció, valamint az időadatok kerülnek dokumentálásra. A módszer elsődleges célja, hogy objektíven határozza meg és írja le mennyiségi értékekkel a minták állományi jellemzőit, amelyeket a fogyasztó rágás közben tapasztal, és ezeket az adatokat használja fel az egyes minták összevetésére. Fontos megjegyezni, hogy bár a módszer adatot szolgáltat a minta szerkezeti tulajdonságairól, nem alkalmazható a szerkezet pontos modellezésére, ugyanis az eljárás a fogyasztás során tapasztalt jellemzőket, például a rágósságot értékeli, nem pedig a szerkezeti attribútumokat, mint például az rugalmassági modulus. A méréssel meghatározott paraméterek közül néhány nem közvetlenül mért fizikai érték, hanem a mért adatokból származtatott, több érzékszervi tulajdonságot is leíró, összehasonlítás céljából használt mutató. Természetesen nem minden paraméter állapítható meg minden egyes élelmiszer minta esetében, továbbá a vizsgálat megkezdése előtt az adott élelmiszernek megfelelően kell megválasztani a nyomófej alakját és keresztmetszetét, a megközelítési és mérési sebességet, a relatív deformáció mértékét, az érzékelt minimális erőérték, valamint a mérési ciklusok számát és a közöttük lévő esetleges szünet hosszát (Csimá, 2015).

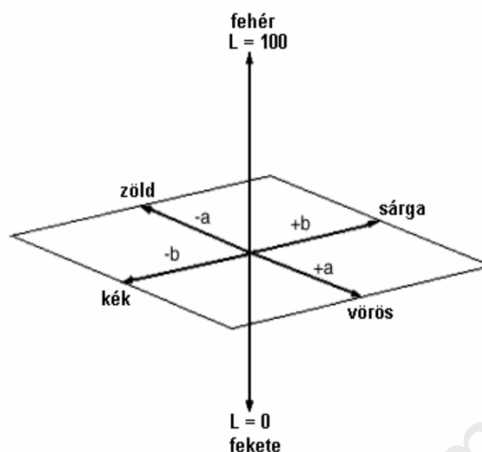
2.9.2. Színmérés

Régebben a Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság (CIE Commission Internationale de l'Eclairage) által elfogadott R, G, B, illetve X, Y, Z színrendszerek alapján történt a színmérés kiértékelése, ahol az alapszíníngér-jellemzők összetevői a következők voltak: 700 nm-en vörös, 546,1 nm-en zöld és 435,6 nm-en kék. Ennek továbbfejlesztésével pedig 1976-ban megszületett a napjainkban is alkalmazott három elemű CIELAB színingertér, mely a humán színérzékelésen alapszik. Az L^* a világossági tényezőt, ami a megvilágított felület fényvisszaverésének százalékos arányát adja meg, az a^* a zöld-piros átmenetet ($-a^*$ - $+a^*$), a b^*

a kék-sárga (-b*-+b*) színátmenetet jelenti (Zsom, 2017; Bátor, 2019). A színkoordináták térbeli elhelyezkedését a 4. ábra mutatja be.

4. ábra A CIELAB színtér koordinátái

(Forrás: Aydın, 2005 nyomán)



2.9.3. TPC

Ezen módszer segítségével az összpolicfenol tartalmat (Total Polyphenol Content) határoztam meg spektrofotometriásan. A különböző élelmiszerek összpolicfenol tartalmának mérésére számos módszer áll rendelkezésre, például elektrokémiai szenzorok, nagyhatékonyságú folyadékkromatográfia (HPLC), kolorimetria vagy eltérő módszerek kombinációja. Ezek közül Singleton és Rossi (1965) által kifejlesztett, a fenolokat oxidáló Folin-Ciocalteu (FC) reagenssel végzett kolorimetriás mérés tekinthető a legelterjedtebbnek. Ez magában foglalja a fenolvegyületek és a reagens közötti átmeneti komplexképződést, valamint egy elektrontranszfer reakciót a fenolokból a reagensbe az átmeneti komplexben. Mivel a molibdén könnyebben redukálható a volfrámnál, az elektrontranszfer többnyire a Mo(VI) és a fenol komponens között megy végbe kék színű terméket adva (Hao et al., 2021). A reakciót a következő egyenlet írja le:



A teljes reakció erősen pH-függő, mert a pH-viszonyok befolyásolják a fenolmolekulák deprotonációs reaktivitását és elektrondonor képességét az FC reagens redukciója során. Látványos színeképződés csak bázikus körülmények (~ pH 10, mely a fiziológiai pH-hoz képest nem reális) között, az oldathoz nátrium-karbonátot adva megy végbe. Azonban a mintát és az FC-reagenst a redoxireakció aktiválása végett néhány perccel a nátrium-karbonát hozzáadása előtt kell összekeverni, mivel utóbbi veszélyeztetheti az átmeneti komplex kialakulását, ezzel a

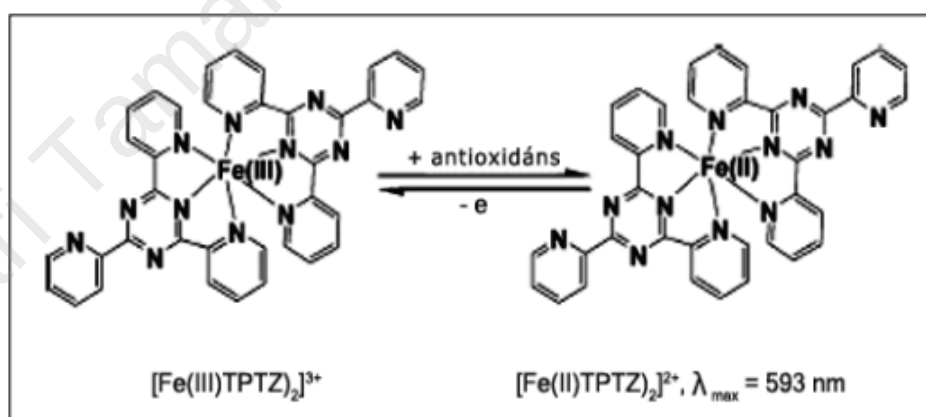
mérés sikerességét. A módszer egyszerűsége, reprodukálhatósága és érzékenysége mellett egy további előnye, hogy a kapott TPC érték közvetlenül felhasználható a minta antioxidáns aktivitási szintjének becslésére, amennyiben az nem tartalmaz túl sok fehérjét. Hátrányaként az egyensúlyi állapot eléréséhez szükséges hosszú (szobahőmérsékleten körülbelül 2 óras) reakcióidőt lehet kiemelni. Ez az idő azonban elengedhetetlen a kellő erősségű színmegjelenéséhez, valamint a hagyományos spektrofotométerrel 765 nm-en mért valós eredményekhez. Ezen a hullámhosszon egyéb, interferáló komponensek fényelnyelése elhanyagolható (Hao et al., 2021.)

2.9.4. FRAP

Az antioxidáns kapacitás mérésére Benzie és Strain (1996) nevéhez fűződő FRAP módszert választottam, amit elsőként a vérplazmára alkalmaztak sikeresen. A mozaikszó is az angol „ferric reducing ability of plasma”, azaz a plazma vasredukáló képessége kifejezésből ered. A vizsgálat azon alapszik, hogy a vas-2,4,6-tripiridil-S-triazin (TPTZ) komplex a fiziológiainál jóval alacsonyabb, 3,6-os pH-n, antioxidáns aktivitású vegyületek (AH) jelenlétében kék színváltozással redukálódik, mely spektrofotométerrel 593 nm-en mérhető. Ezt hivatott szemléltetni az 5. ábra is. A folyamat lejátszódó kinetikája miatt a reakcióidő csupán 5 perc. Egyszerűsége, gyorsasága, olcsósága, valamint jó reprodukálhatósága miatt széles körben elterjedt módszer (Balogh, 2010).

5. ábra Az FRAP módszer elméleti alapja

(Forrás: Balogh, 2010 nyomán)



Hátrányaként ugyanakkor kiemelhető, hogy az SH-csoportot tartalmazó (tiol típusú) antioxidánsokra, például a glutationra nem mutat érzékenységet (Kranl et al., 2005). A karotinoidokra sem alkalmazható, mivel azok nem rendelkeznek vasredukáló képességgel. Egyes vegyületek, például a kávésav és a ferulasav reakcióideje akár több óra is lehet, ezért a

kapott eredmény ezek antioxidáns kapacitását nem foglalja magába (Apak et al., 2007). Ezenfelül a 0,77 V-nál kisebb redoxpotenciálú komponensek is redukálják a vasiont, tehát a módszer nem csak antioxidánsokat detektál (Cao és Prior, 1998).

2.9.5. Aminosav-analízis

A mintáimban lévő aminosavak mennyiségi és minőségi meghatározását aminosav analízissel végeztem. A vizsgálat elvégzéséhez sokféle, különböző érzékenységgű módszer áll rendelkezésre, melyek közül a szabad aminosavak ioncserélő kromatográfiás elválasztásán és az ezt követő, oszlop utáni ninhidrines származékképzésen alapuló a legelterjedtebb (VIII. Magyar Gyógyszerkönyv, 2011). Ehhez először egy hidrolizálási lépést (legtöbbször sósavas) kell elvégezni, hogy a fehérjéket/peptideket azok építőelemeire, azaz aminosavakra bontsuk. A kromatografálás paraméterei alatt a pufferösszetétel (pH és lítiumion-koncentráció), a hőmérséklet, továbbá az áramlási sebesség értendőek, melyek változtatásával az elúciós idők optimalizálhatóak (Borbély, 2018).

A szétválasztáshoz növekvő pH-jú és lítiumion-koncentrációjú citrátpufferek, valamint lítium formában lévő divinil-benzollal 4%-ban térhálósított, szulfonált műgyanta szükségesek. A 2,2-es pH-jú pufferben lévő aminosavak ioncserélő oszlopra felvitelét követően, a savanyú és semleges aminosavak szétválasztását 0,2 M 3,25-ös és 4,25-ös pH-jú lítium-citrát pufferekkel, a bázikus aminosavak szétválasztását pedig, a készülék típusától függően, 0,35-0,85 M lítiumion-koncentrációjú 5,28-6,50 pH-jú pufferekkel végzik. A savas, illetve a hidroxil aminosavak eluálódnak leggyorsabban az oszlopról, ezeket követik a semleges, végül a bázikus aminosavak. Elsőként mindig a legsavasabb aszparaginsav válik le, a sort pedig a legbázikusabb arginin zárja (Ettre és Gehrke, 2006).

A ninhidrin azért szükséges, mivel az ioncserélő oszlopról távozó aminosavak alaphól szintelenek, azonban ez a vegyület a keverőblokkban kékes-lilára színezi őket. Ezután az összekevert oldat 100°C-on 5,5-ös pH-n 15-20 percet tölt el egy tefloncsőben. A ninhidrin az első lépésben az aminosavat α -iminosavvá dehidrogénezi, majd az iminosav ammóniává és α -ketosavvá hidrolizál. Egy ninhidrin molekula és a dehidrogénezést kiváltó redukált ninhidrin az ammóniával kondenzációs reakcióba lép; az így képződött termék, illetve annak módosulata a színes vegyület. A színintenzitást, a prolin kivételével, átfolyó küvettás fotométerben, 570 nm-en mérjük. A prolin és a ninhidrin reakciójában sárga vegyület keletkezik, tehát ennek a fényelnyelési maximuma kisebb, egészen pontosan 440 nm, tehát a fotometrázás is ezen a hullámhosszon kell, hogy történjen. Az így kapott kromatogram a mért fényabszorpció

kompenzográf általi regisztrálásának eredménye, melynek kiértékelése a következők szerint történik:

- a csúcsok helye mindig egy adott aminosavra jellemző,
- a csúcs alatti terület nagysága pedig az aminosav koncentrációját mutatja meg.

Az adott csúcs alatti területhez tartozó aminosav-mennyiség a standard kromatogram értékéhez viszonyítva fejezhető ki tömegszázalékban az eredeti mintára vonatkoztatva (Borbély, 2018).

2.10. Az általam választott mérési módszerek korábbi alkalmazásai

A 2.9.-es pontban részletezett mérési módszerek már bizonyítottan jól beváltak számítanak a gluténmentes pékáruk jellemzésére. Például Arora és munkatársai (2023) rizs-, köles-, és hajdinalisztból, valamint szójafehérje izolátumból készült kenyereken, míg Ziobro és munkatársai (2016) pedig kukorica- és burgonyakeményítő alapú kenyereken végezték el többek között a TPA tesztet is. A három szinténező (L^* , a^* , b^*) meghatározása szintén viszonylag gyakorinak számít gluténmentes termékek vizsgálata során, erre ismét Ziobro és munkatársai (2016), illetve a 2.7.-es pontban bemutatott Turkut és munkatársai (2016) által készített tanulmányt lehet említeni. A három kémiai módszert tekintve már kevesebb publikációval találkozhatunk. Ennek ellenére az aminosav-analízisre jó példa Wójcik és munkatársainak (2021) értekezése a borsófehérjével dúsított gluténmentes kenyerekről. Ezenfelül Litvynchuk és munkatársai (2022) végeztek tökmagliszttel dúsított kenyereken aminosav-analízist, de azok búzaliszt alapúak, tehát glutént tartalmazók voltak. A TPC és az FRAP mérés esetében Pecyna és munkatársai (2023) rizsliszt alapú, örölt kendervirággal dúsított kenyereken végzett vizsgálatát, illetve Drakula és munkatársai (2021) teljes kiőrlésű rizsliszt alapú, sárgaborsóliszttel dúsított kenyereken végzett munkáját említeném. Megállapítható tehát, hogy diplomamunkám, mely a gluténmentes zsemlék tök- és lenmagliszttel történő dúsításra fókuszál főleg a kémiai mérések tekintetében szolgálhat új információval.

3. Anyagok és módszerek

A kísérletünk során Old Millers' Original MAESTRO Gluténmentes lisztkeveréket (GM liszt)* helyettesítettünk lenmaglisztel, illetve tökmaglisztel különböző koncentrációkban (2,5%; 5%; 7,5%; 10%). Az alaptésztát elkészítéséhez a gluténmentes lisztet, langyos vizet, élesztőt, cukrot, olajat és sót használtunk. A 2. táblázatban ismertetném a kontroll, illetve a lenmag- és tökmaglisztel dúsított zsemle receptúráját, melyek kereskedelmi forgalomban kapható tök- és lenmaglisztel készültek, amelyek a préselést követően zsírtalanított törethől őrölt Nature Cookta termékek voltak. Összetételüket tekintve a tökmagliszt 100% tökmaglisztet tartalmazott, tápértéke 100 g termékben a következő volt: energia: 1479 kJ/352 kcal; zsír: 7,2 g (amelyből telített zsírok: 3,1 g); szénhidrát: 4,3 g (amelyből cukrok: 3,9 g); rost: 11,2 g; fehérje: 61,8 g; só: 0 g. A lenmagliszt pedig 100% lenmaglisztet tartalmazott, a következő tápértékkel 100 g termékben: energia: 1342 kJ/321 kcal; zsír: 19 g (amelyből telített zsírok: 9 g); szénhidrát: 4,6 g (amelyből cukrok: 4,4 g); fehérje: 33 g; só: 0 g. Mivel feltűnt, hogy a lenmaglisztnél nem került rosttartalom feltüntetésre, ezért más gyártók termékei között kerestem erre vonatkozó adatot. Az általam használt lenmagliszthez az EDEN PREMIUM márkájú tápértéke állt a legközelebb (csupán a zsírtartalom volt 6 g-mal kevesebb), melyen 35 g-os rosttartalom szerepelt (Internet 3). Ezt azért tartottam lényegesnek kiemelni, mert emésztőrendszerünk egészséges működéséhez elengedhetetlen a megfelelő rostmennyiség bevitele, ezért kulcsfontosságú, hogy pontos és kimerítő információval, azaz az ételcímke csomagolásán szereplő adatok lehető legrészletesebb leírásával támogassuk a fogyasztókat abban, hogy a számukra megfelelő terméket tudják kiválasztani.

2. táblázat Felhasznált alapanyag-mennyiségek

(Forrás: saját szerkesztés)

mennyiségek [g]	kontroll	lenmaglisztes				tökmaglisztes			
	0%	2,5%	5%	7,5%	10%	2,5%	5%	7,5%	10%
GM lisztkeverék*	285 g	277,875 g	270,25 g	263,625 g	256,5 g	277,875 g	270,25 g	263,625 g	256,5 g
langyos víz	250 g	250 g	250 g	250 g	250 g	250 g	250 g	250 g	250 g
friss élesztő	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g
cukor	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g	10 g
napraforgóolaj	20+15 ml	20+15 ml	20+15 ml	20+15 ml	20+15 ml	20+15 ml	20+15 ml	20+15 ml	20+15 ml
só	8 g	8 g	8 g	8 g	8 g	8 g	8 g	8 g	8 g
lenmagliszt	-	7,125 g	14,25 g	21,375 g	28,5 g	-	-	-	-
tökmagliszt	-	-	-	-	-	7,125 g	14,25 g	21,375 g	28,5 g

A sütőt a sütést megelőzően beállítottuk 200 °C-ra és előmelegítettük. A tészta készítése során először az élesztőt felfuttattuk a teljes langyos vízmennyiségben a cukorral. Ezzel

párhuzamosan a száraz alapanyagokat (liszt és só) 20 ml olajjal kimértük egy tálba. A felfutott élesztővel összekeverve összegyúrható tésztát kaptunk. 10 perc gyúrás követően, amikor a tészta már elvált az edény falától, a nyújtódeszkára tettük, további alálisztezés már nem volt szükséges. Henger alakúra formáztuk, majd feldaraboltuk 9 részre és a darabokból gombócokat gyúrtunk. A zsemlék tömegét sütés előtt lemértük. Ezt követően sütőtálcára téve kissé lelapítottuk őket. A maradék 15 ml olaj egyik felével megkentük a zsemléket, majd konyharuhával lefedve a sütő közelében 35 °C-on 30 percig kelesztettük őket. A kelesztést követően pedig a maradék olajat is rájuk kentük, és az előmelegített sütőben 200 °C-on 30 perc alatt megsütöttük azokat. Az elkészült, még forró pékárukat a sütőből kivéve vízzel gyorsan átkentük, majd rácsra téve 45 perc alatt szobahőmérsékletűre hűtöttük. Ez a részletes receptleírás a 6. ábrán is látható kontroll zsemlékre vonatkozik. A len- és tökmagliszttel dúsított tészták azonos módon készültek, azonban az eredeti lisztmennyiséget a maglisztekkel helyettesítettük a 2. táblázatban látható százaléokban, amit a liszttel szárazon elkeverve adagoltuk a tésztához.

6. ábra A kontroll minták kelesztés előtt és után, valamint kisülve
(Forrás: saját felvétel)



3.1. Állományvizsgálat

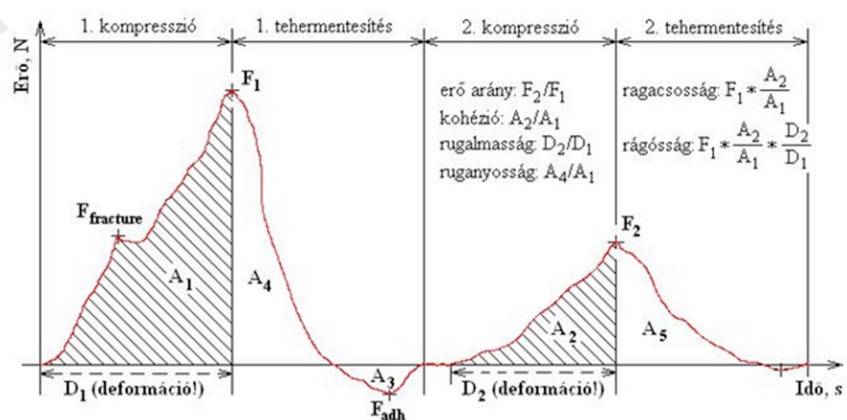
A kisütött zsemlék állományvizsgálatát SMS TA-XTplus precíziós állománymérő berendezéssel (Stable Micro Systems, Surrey, Anglia) végeztük, melyet a kontroll zsemlén történő mérés közben a 7. ábra szemléltet.

7. ábra Az SMS TA-XTplusz precíziós állománymérő berendezés mérés közben
(Forrás: saját felvétel)



A készülékkel lehetőség van roncsolásos és roncsolásmentes méréseket is végezni, amit számos mérőfej és mérőfeltét tesz lehetővé. Mintáim bélzetének állományvizsgálatához TPA (Texture Profile Analysis), más néven két harapás tesztet választottam. A készülék kiegészítő eszközével, egy párhuzamos szeletelővel a zsemlek kalapját és talpát levágva, 25 mm vastag korongokat szeleteltem. A mérési beállításokat Tóth és munkatársainak (2022) cikke alapján választottam meg. A teszt során A/BE-d35 típusú akrilkoronggal, a szeletek magasságának 50%-ig nyomtam meg a bélzetet 5 mm/s sebességgel terhelve, ahol a két harapás között eltelt idő 5 s volt. A TPA teszt erő-idő görbéjéből meghatározható hét reológiai tulajdonság közül a keménységet (N) (tehát az első kompresszió során mért maximális erőt), összetartó képességet (-), azaz kohéziót és a rugalmasságot használtam fel a kiértékelés során, ezek meghatározását a 8. ábra szemlélteti. Az egyes koncentrációkon 9 ismétléssel végeztem a mérést.

8. ábra Élelmiszer jellegzetes TPA mérési görbéje kiértékelési magyarázattal
(Forrás: Csima, 2015 nyomán)



3.2. Színmérés

A színmerést a zsemle bélzetén mintánként három ismételéssel végeztem, így egy-egy koncentráció esetén 27 színeredményt rögzítettem, a nyers téstán koncentrációkként pedig hárm-at-hárm-at. A méréseket ColorLite sph850 típusú spektrofotométerrel (ColorLite GmbH, Katlenburg-Lindau, Németország) végeztem. A használt színmérő készülékkel a világossági tényezőt (L^*), a vörös-zöld színezeti jellemzőt (a^*) és a kék-sárga színezeti jellemzőt (b^*) mértem. Mivel a zsemle bélzetének eltérő mértékű porózussága befolyásolta volna az eredményeket, ezért a bélzet tömörítése mellett döntöttünk a felületi szín megmérése mellett megelőzően.

3.3. TPC

A fizikai méréseken túlmenően a zsemlek összes polifenol tartalmát Singleton és Rossi (1965) metodikáját követve Folin-Ciocalteu reagenssel spektrofotometriás úton határoztam meg, 760 nm hullámhosszon. Az oldószerként szolgáló alkoholos extrakciós oldatot a mérendő mintákhoz Levent (2019), valamint Yeşil és Levent (2022) publikációi alapján készítettem el, 8:1:1 (80%-os metanol: 1%-os sósav: desztillált víz) arányban. A mintákat 1 percig kevertük DLAB MX-S Vortex keverő használatával (DLAB Instruments Ltd, Dlaboratory, Lund, Svédország), majd 200 rpm-es fordulatszámmal 2 órán keresztül rázattuk 25°C-os hőmérsékleten Gerhardt termosztálható körkörös síkrázóval (Kambič, Semič, Szlovénia). A rázatás után a mintákat 6000 rpm fordulatszámon 20 percig centrifugáltuk 20°C hőmérsékleten Hettich MIKRO 22 R laboratóriumi centrifugával. Az így kapott tiszta felülúszók -32°C-on kerültek tárolásra a mérések elvégzéséig. Az eredményeket hat mérési ismétlés alapján, egy galluszsavból készült kalibrációs görbe segítségével μM galluszsav/100g szárazanyag egységben fejeztem ki.

3.4. FRAP

Az FRAP technika alkalmazásával a vízzoldható antioxidáns aktivitás mutatható ki. Ezt a vizsgálatot savas környezetben kell végezni, mert az antioxidánsok a Fe^{3+} ionokat Fe^{2+} ionokká redukálják. Amennyiben a redukció sikeres, egy színes komplex keletkezik, amit fotométer segítségével 593 nm-en tudunk mérni, meghatározva így az antioxidánsok koncentrációját. A mérés elvégzéséhez szükség volt többféle oldat elkészítésére, beleértve az acetát puffert, a $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -t és a tripiridil-s-triazin (TPTZ) oldatot, hiszen az FRAP reagens ezen oldatok adott mennyiségéből tevődött össze, úgymint: 25 ml Na-acetát puffer (pH=3,6), 2,5 ml FeCl_3 és 2,5 ml TPTZ oldat. Az automatizált mérést, melynek kezdése előtt beállítottam

mind a mérési, mind a referencia hullámhosszot, a TECATOR FIASTAR 5000 készülékkel végeztem el (Bódi, 2007).

3.5. Aminosav analízis

A fehérjék aminosav összetételének vizsgálata savas hidrolízist követően folyadékkromatográfiás módszerekkel történik. A minta előkészítés nem egyszerű, ugyanis egyes aminosavak között (például valin-valin, valin-glicin, valin-izoleucin, izoleucin-izoleucin) a peptidkötés nem képes teljes hidrolízisre, illetve az instabil aminosavak (cisztein, metionin, triptofán) lebomlása aminosav veszteséget okozhat. A hidrolízis történhet savas, lúgos vagy enzimés módszerrel. A savas hidrolízist 6 N sósavval végzik 24 órán keresztül. Figyelembe kell vennünk, hogy a hidrolízis során veszteségek alakulhatnak ki, hiszen a savas hidrolízis során csak az aminosavak fele hidrolizálódik veszteség nélkül. A glutamin és aszparagin a savas közegben savi csoportot vesz fel, így az aszparaginsavval és a glutaminsavval együtt kerül detektálásra. A triptofán elbomlik, meghatározására csak lúgos hidrolízis alkalmazása esetén lehetséges (Lamp et al., 2018).

Az egyes sült mintafajták mind a 9 darabjának egy kisebb részét késes aprító segítségével apró morzszemcsékre daráltam. Mikro spatula és analitikai mérleg használatával 1 g körüli (30-40 mg fehérjének megfelelő) mennyiségű mintát mértem ki 12 cm³-es hidrolizáló csövekbe. Ezután mindegyik csőbe 10 cm³ 6 M koncentrációjú sósavoldatot adagoltam automata pipettával. A csöveket teflonbetétes kupakkal zártam le hermetikusan, majd 24 órán keresztül egy 110 °C-ra beállított blokk termosztátban tároltam azokat hidrolizálás céljából (Darragh és Moughan, 2005).

A mintáimban lévő aminosavak mennyiségi és minőségi analízisét egy AAA 400 Automatikus Aminosav Analizátorral végeztem, amelyet a csehországi Ingos Kft. gyártott. Ez a fotometriás detektorral felszerelt eszköz széleskörűen alkalmazható protein kutatásokban, táplálékok fehérjetartalmának vizsgálatában és ellenőrzésében, továbbá az orvosi diagnosztikai és gyógyszerkutatási területeken is. A kompakt, automatikus folyadék kromatográf működése közepes nyomású ionkromatográfián alapul. A készülék előnyei közé tartozik a kis mennyiségű reagensigény, a nagyfokú pontosság és a jó reprodukálhatóság. A lépcsős gradiens elúcióval történő elválasztás során használt Li-citrát puffer paraméterei (1. puffer: 0,18 M Li-citrát, pH = 2,80; 2. puffer 0,20 M Li-citrát, pH = 3,05; 3. puffer 0,36 M Li-citrát, pH = 3,35; 4. puffer 0,33 M Li-citrát, pH = 4,05; 5. puffer 1,20 M Li-citrát, pH = 4,65) összhangban voltak a gyártó által megadott értékekkel. A készülék specifikációit a 3. táblázat tartalmazza. Az adatok kiértékeléséhez a CHROMULAN V 0.82 (PIKRON, Csehország) szoftvert használtam.

3. táblázat Az analizátor paraméterei és a mérés körülményei
(Forrás: saját szerkesztés)

Mintaadagoló	A mintát egy perisztaltikus pumpa szívja fel. Mintatérfogát: 100 μ l Mintatartó tárcsa: 25 x 1,5 ml
Puffer	Li ⁺ -citrát puffer rendszer
Eluens	Áramlási sebessége: 0,30 cm ³ /min
Pumpák	Anyaga: saválló acél Állítható szállítás: 0,01-10 ml/min Legnagyobb nyomás: 40 MPa
Oszlop	Üvegoszlop Oszlopméret: 200 x 3,7 mm Oszlophőmérséklet: 45 °C és 65 °C között Kationcserélő gyanta típusa: OSTION LG ANB
Reaktor	Reaktor hőmérséklete: 121 °C
Reagens	Ninhidrin
Detektor	Kétcsatornás fotométer: 440-570 nm Küvetta térfoga: 5 μ l
Analízis idő	200 min
Kimutatási határ	0,5 μ mol/dm ³

9. ábra AAA 400 Automatikus Aminosav Analizátor
(Forrás: Internet 2.)



3.6. Statisztikai analízis

Az eredmények kiértékelése során a TPA mérés görbéit a használt állományvizsgáló készülék Exponent szoftverében található makró segítségével értékeltük ki. A Microsoft Excel 2019 szoftver segítségével átlag és szórás alapján adatredukciót végeztem, majd ezt követően készítettem el a program segítségével az oszlopdiagramokat, a színdiagramot, valamint az érzékszervi bírálat eredményeit bemutató pókhálódíagramot is.

A lenmag-, illetve tökmagliszttel dúsított zsemlék közötti szignifikáns különbség elemzésének vizsgálatához ANOVA tesztet, és post-hoc vizsgálatként Tukey vagy Dunett's T3 tesztet végeztem IBM SPSS 29 statisztikai szoftver segítségével. Emellett lineáris diszkriminancia analízist (LDA) is végeztem kereszt-validációval az ANOVA módszerhez hasonlóan csak a fizikai paraméterek vizsgálatára.

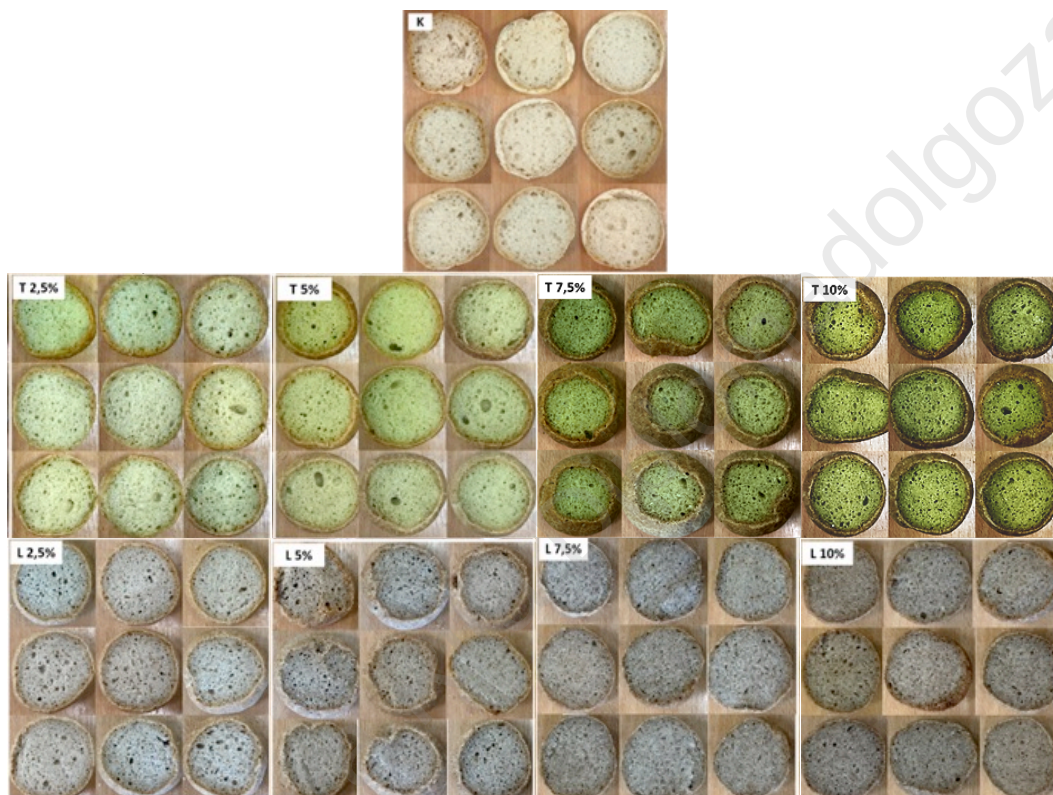
Tari Tamara Rita Diplomadolgozat

4. Kísérleti eredmények és értékelésük

A kisült, korongokra szeletelt összes zsemle felületét a 10. ábra mutatja be, koncentrációkra bontva. A mintacsoportok nevének magyarázata a mellékletben lévő M1. táblázatban található.

10. ábra A kisütött zsemlék mérési felülete

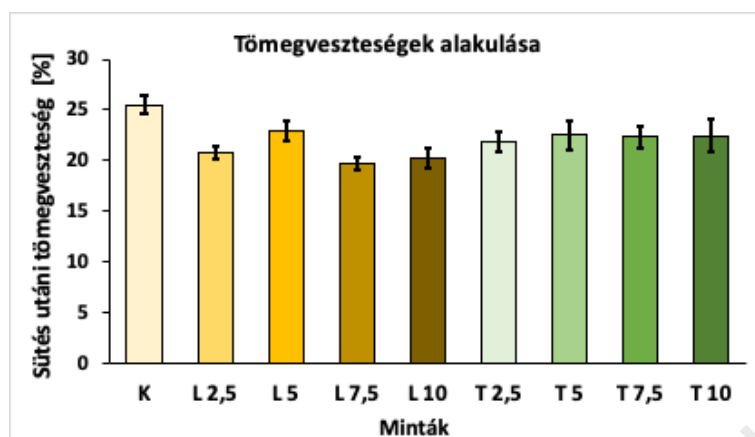
(Forrás: saját felvétel)



4.1. Tömegveszteség

A különböző fajtájú mintáim 9-9 darabjának sütés előtti és utáni tömegét átlagoltam, majd a veszteséget százalékban fejeztem ki, amit a szórásokkal együtt az alábbi oszlopdiagram szemléltet.

11. ábra A zsemlék százalékban kifejezett tömegvesztése
(Forrás: saját szerkesztés)



A legnagyobb, 25,52%-os tömegvesztés a kontroll (K) mintához tartozott, a dúsított zsemlék súlya a sütés hatására kisebb mértékben csökkent, ami vízmegkötő képességükkel magyarázható és pozitív tulajdonságként könyvelhető el. A lenmaglisztet tartalmazó pékáruk (L2,5, L5, L7,5, L10) az 5%-os koncentráció kivételével jobban megőrizték kiindulási tömegüket a tökmagliszttel dúsítottakhoz képest. A kapott eredmények alapján tehát arra lehet következtetni, hogy a lenmagliszt általánosságban több vizet tud megkötni. 20% alatti, egészen pontosan 19,69%-os tömegvesztés egyedül a 7,5% lenmagliszttel dúsított zsemlénél volt mérhető. Az L5 koncentráció magasabb nedvességvesztését formázási hiba is befolyásolta.

A tömegvesztések szórása a tökmaglisztes minták esetében kissé magasabbnak bizonyult, ami magyarázható azzal, hogy a tökmagliszttel dúsított zsemlék a kelesztés, majd a sütés során több helyen megrepedtek, így ezáltal nagyobb mennyiségű nedvesség távozhatott a zsemlék belsejéből.

A kontroll, valamint a 4-4 koncentrációban, magliszttel dúsított zsemlék vizsgálata során meghatározott paraméterek segítségével egytényezős varianciaanalízist is (ANOVA) végeztem. Ennek során a sütési tömegvesztés, a nyers tészta, valamint a sült bélzet színe (L^* , a^* , b^* komponensek), és az állománymérés során TPA teszttel meghatározott keménység, kohézió (azaz szerkezetet összetartó képesség) és a bélzet rugalmassága alapján az egyes mintacsoportok közötti szignifikáns különbséget $p < 0,05$ érték mellett vizsgáltam. Az így kapott eredményeket a 12., 17., 20., 23., 25., 27. és 29. ábrák mutatják be.

A kémiai vizsgálatok, azaz a TPC, az FRAP és aminosav-analízis esetében, az alacsony ismétlésszám miatt nem végeztem varianciaanalízist.

A sütési tömegveszteség ANOVA eredménye a 12. ábrán figyelhető meg. Látható, hogy a kontroll minta szignifikánsan elkülönül a többi mintától. Ez az elkülönülés mutatkozik a 7,5%-os lenmaglisztes (L7,5) minták esetében is.

12. ábra A sütési tömegveszteségek varianciaanalízise
(Forrás: saját szerkesztés)

	K	T 2,5	T 5	T 7,5	T 10	L 2,5	L 5	L 7,5	L 10
K									
T 2,5	+								
T 5	+	-							
T 7,5	+	-	-						
T 10	+	-	-	-					
L 2,5	+	-	-	+	-				
L 5	+	-	-	-	-	+			
L 7,5	+	+	-	+	+	+	+		
L 10	+	-	-	+	-	-	+	-	

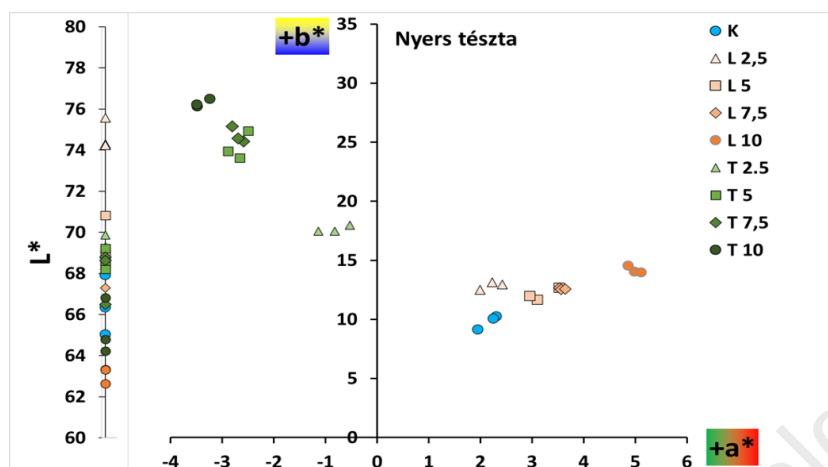
A kontroll minta mutatta a legnagyobb tömegveszteséget, míg a lenmagliszttel dúsított zsemlek, főként a 7,5%-os, jobban megőrizték súlyukat a vízmegkötő képességüknek köszönhetően. Ezekhez képest a tökmagliszttel dúsítottak enyhén nagyobb nedvességvesztést szenvedtek, részben a sütés során bekövetkező repedések miatt. A kontroll és az L7,5 minták szignifikánsan elkülönültek a többitől.

4.2. Színmérés

A nyers és sült tésztákon végzett színmérés összesített eredményeit a 13. és a 14. ábra tartalmazza. A színtényezőkre lebontott, részletes elemzés a következő bekezdésekben olvasható, ahol oszlopdiagramokon ábrázoltam egy-egy minta esetében a 3 (nyers) vagy 27 (sült bélzet) színadat átlagát, azok szórásával feltüntetve.

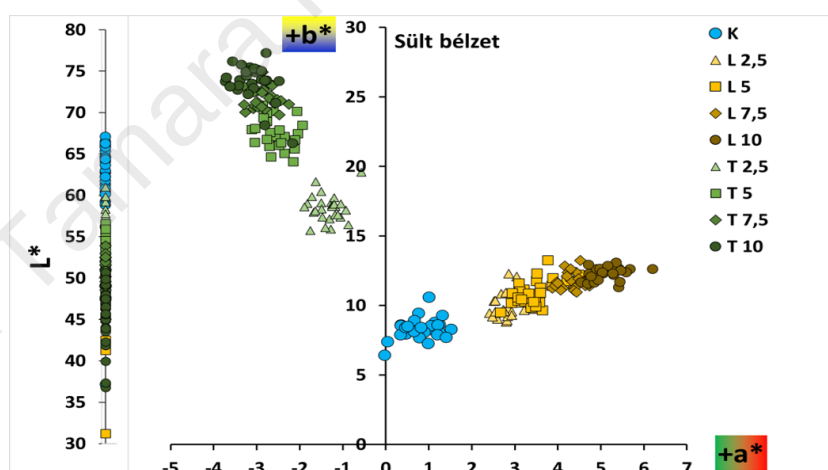
Az alábbi, 13. ábrán a nyers és a sült zsemleminták L^* , a^* , b^* értékei láthatóak módosított 2 dimenziós diagramokon. A nyers tészták esetében látható, hogy a lenmagliszttel dúsított minták színe közelebb áll a kontroll minta színéhez, továbbá a koncentráció növekedésével az a^* értéke növekszik, míg a b^* érték alig változik. A tökmagliszt esetében nő a színtelítettség és csökken a világossági tényező a koncentráció növekedésével arányosan.

13. ábra A nyers tészták színmérésének összesített eredményei
(Forrás: saját szerkesztés)



A kisütött zsemleminták esetében változás tapasztalható a nyers mintákhoz képest, ahogy a 14. ábra is mutatja. Ez a változás megfigyelhető a lenmaglisztes mintáknál, ahol a két kisebb koncentrációjú minta színe nem különül el egyértelműen egymástól, emellett megfigyelhető az a^* és b^* értékek csökkenése is a sütést követően. Az L^* értékek szintén csökkenést mutattak. A tökmaglisztes minták esetében a b^* érték csökkenése számottevőbb az a^* csökkenéséhez képest.

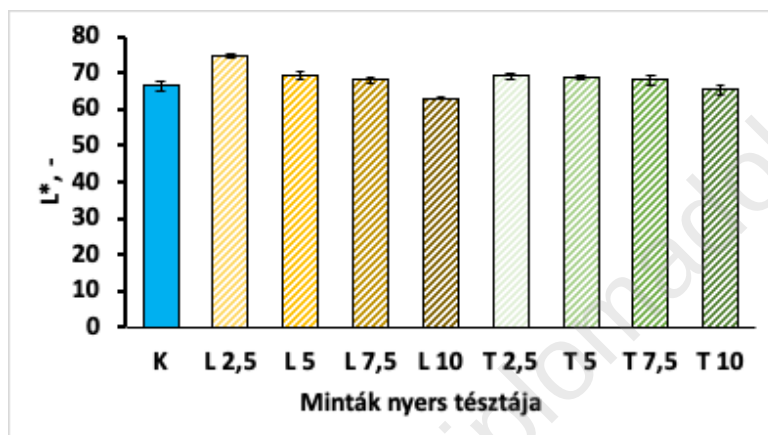
14. ábra A sült bélzetek színmérésének összesített eredményei
(Forrás: saját szerkesztés)



A színtényezők egyenkénti vizsgálatával továbbhaladva, a 15. ábrán jól látható, hogy a nyers tészták esetében a két maglisztet a legnagyobb, 10%-os koncentrációban tartalmazó minták világossági tényezője mutatkozott legalacsonyabbnak. A legsötétebb, 63,1-es világossági tényezőjű L10-es tésztaminta a kontrollhoz képest már sokkal erőteljesebb barna

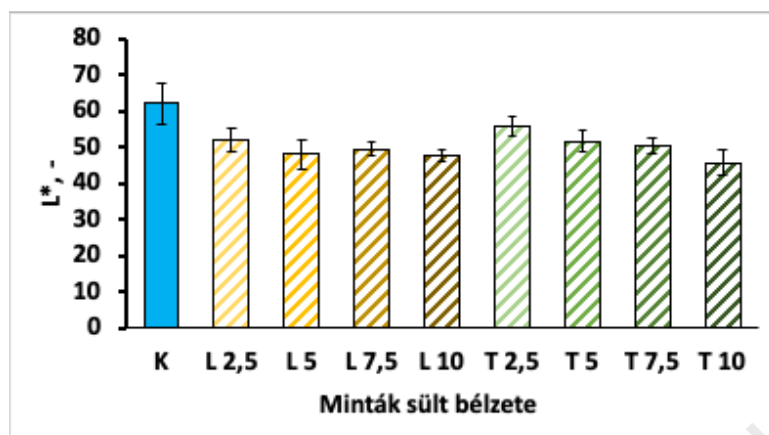
színnel bírt. Hasonlóan nagy eltérés volt megfigyelhető a 65,28-as L^* értékű T10-es tésztánál is, azonban ott értelemszerűen a sötétzöld dominált. Meglepő módon a 3. legalacsonyabb világossági tényező a kontroll mintához tartozott. A maglisztek fajtáját tekintve nem állapítható meg nagy különbség, de a koncentrációk növelésével mindkét esetben szépen kivehető a tészta sötétedése. A legvilágosabb sütés előtti színnel ($L^*=74,7$) az L2,5-ös minta rendelkezett.

15. ábra A minták nyers tésztájának világossági szintényezői
(Forrás: saját szerkesztés)



A sütés hatása a 16. ábrán figyelhető meg. Kijelenthető, hogy mindegyik minta sötétedett, ami a Maillard-reakcióval és a nedvességtartalom csökkenésével magyarázható. Emellett több hasonlóság is észrevehető az előző bekezdésben bemutatottakkal, mivel az L10-es, illetve a T10-es zsemlek produkálták a legalacsonyabb értékeket, 47,51-et és 45,50-et, továbbá a maglisztek mennyiségének növekedésével szintén egyenletesen csökkent az L^* értéke. Kivételt képez ez alól az L7,5-ös mintahalmaz, mivel 49,40-es értékével világosabbnak mondható az L5 zsemlek 47,89-es adatához képest. Ez esetben, a szemmel látottakat igazolva, a kontroll mintára kaptam a legmagasabb, 62,14-es átlagot. Megállapítható még továbbá az, hogy a csökkenő értékek mellett a szórás nőtt. Ezt az eredményt vélhetően a bélzet porozitása is befolyásolta. A vizsgálat során azt tapasztaltuk, hogy a zsemlek bélzete a növekvő maglisztkoncentráció hatására tömörödött, ezáltal a porózussága csökkent.

16. ábra A sült minták bélzetének világossági tényezői
(Forrás: saját szerkesztés)



A tészta CIELAB színtényezői közötti különbséget mind a nyers tésztára, mind pedig a kisült zsemlek bélzetére is megvizsgáltam. Az ANOVA eredményeket a 17. ábra szemlélteti.

17. ábra A nyers tészták és a kisült zsemlek világossági színtényezőinek varianciaanalízise
(Forrás: saját szerkesztés)

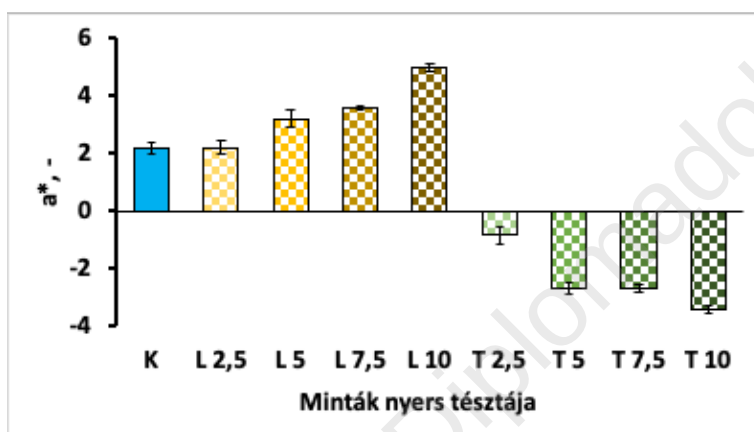
	K	T2,5	T5	T7,5	T10	L2,5	L5	L7,5	L10		K	T2,5	T5	T7,5	T10	L2,5	L5	L7,5	L10
K										K									
T2,5	+									T2,5	+								
T5	+	-								T5	+	+							
T7,5	+	-	-							T7,5	+	+	-						
T10	-	+	+	+						T10	+	+	+	+					
L2,5	+	+	+	+	+					L2,5	+	+	-	-	+				
L5	+	-	-	+	+	+				L5	+	+	+	-	-	+			
L7,5	+	-	-	-	+	+	+			L7,5	+	+	-	-	+	-	-		
L10	+	+	+	+	+	+	+	+		L10	+	+	+	-	-	+	-	-	

Ezen fenti ábra alapján jól látható, hogy az L* világossági tényező esetében a minták nagyobb mértékben különültek el egymástól nyers állapotban (balra), mint sütés után (jobbra). Az eredményeket befolyásolhatta a zsemle bélzetének eltérő mértékű porozitása, ami végett a későbbiekben jobban meg kellene vizsgálni ez utóbbi változását a koncentráció függvényében. A nyers tészta esetében a kontroll minta csak a T10-es mintától nem tért el szignifikánsan, valamint látszik, hogy a világossági tényező alapján nem különülnek el egymástól a különböző koncentrációk a tökmagliszt és lenmagliszt esetében sem. A sütés hatására nagyobb hasonlóság mutatkozott a különböző minták között.

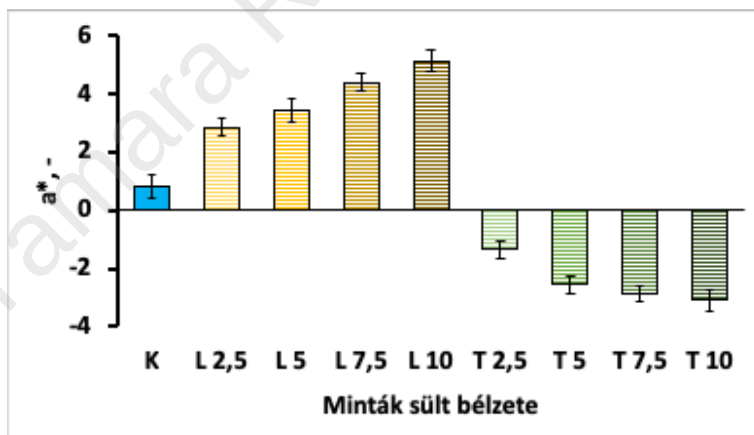
A 18. ábrán a nyers, a 19. ábrán pedig a sült tészták vörös-zöld színtényezői szerepelnek. Ezek alapján megállapítható, hogy a kontroll, illetve a lenmagliszttel dúsított zsemlek a pozitív, azaz a vörös, míg a tökmagliszttel dúsított zsemlek a negatív, azaz a zöld tartományban helyezkednek el. A koncentrációkkal párhuzamosan növekvő és csökkenő értékek itt is tisztán

kirajzolódnak. Sütés hatására csak a kontroll mintánál mértem 1,34-es nagyságú értékcsökkenést (2,21-ről 0,83-ra), a többi zsemlénél 1-nél nagyobb változás nem történt. A lenmaglisztes minták enyhén vörösebb tónusúak lettek, a tökmaglisztesek pedig fele-fele arányban rendelkeztek több (T2,5-ös és T7,5-ös minták) vagy kevesebb (T5-ös és T10-es minták) zöld pigmenttel. A legmagasabb értékek az L10-es (nyers: 4,99, sült: 5,13), míg a legalacsonyabbak a T10-es mintákhoz (nyers: -3,40, sült: -3,09) tartoztak.

18. ábra A minták nyers tésztájának vörös-zöld szintényezői
(Forrás: saját szerkesztés)



19. ábra A sült minták bélzetének vörös-zöld szintényezői
(Forrás: saját szerkesztés)



Ahogy a 20. ábra is mutatja, az a^* vörös-zöld színezeti paraméterben számottevő változást nem okozott a sütés, a magliszt fajtája és a fajtán belüli különböző koncentrációk is szignifikáns különbséget mutatnak. Ez alól csupán a 7,5%-os tökmaglisztes minta kivétel, ami nagyon közeli értéket mutat a T5 és T10 mintákhoz.

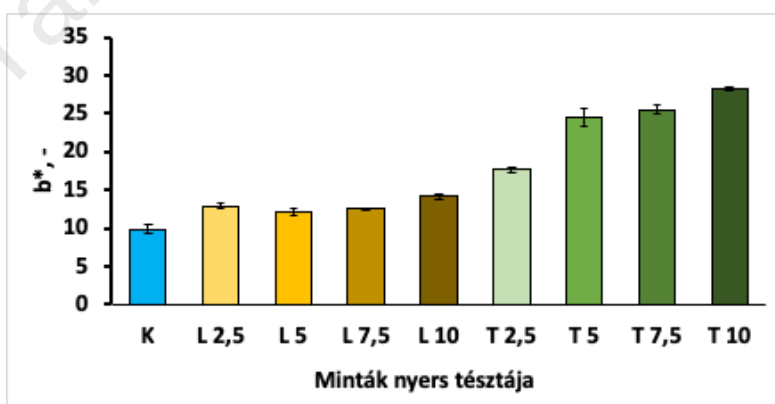
20. ábra A nyers tésták és a kisült zsemlék vörös-zöld szintényezőinek varianciaanalízise
(Forrás: saját szerkesztés)

	K	T2,5	T5	T7,5	T10	L2,5	L5	L7,5	L10
K									
T2,5	+								
T5	+	+							
T7,5	+	+	-						
T10	+	+	+	+					
L2,5	-	+	+	+	+				
L5	+	+	+	+	+	+			
L7,5	+	+	+	+	+	+	+		
L10	+	+	+	+	+	+	+	+	

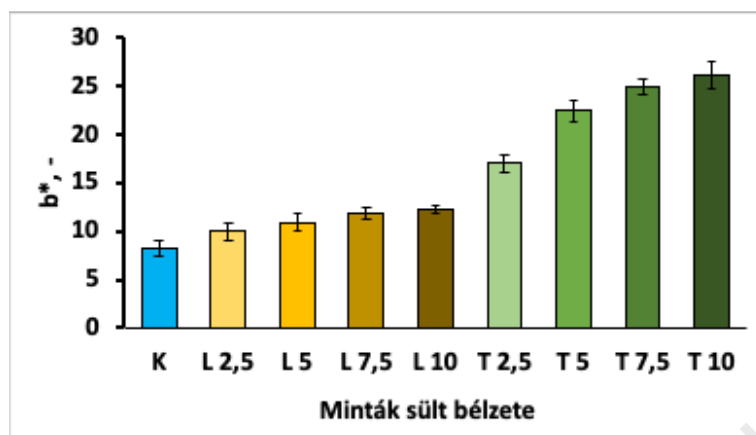
	K	T2,5	T5	T7,5	T10	L2,5	L5	L7,5	L10
K									
T2,5	+								
T5	+	+							
T7,5	+	+	-						
T10	+	+	+	-					
L2,5	+	+	+	+	+				
L5	+	+	+	+	+	+			
L7,5	+	+	+	+	+	+	+		
L10	+	+	+	+	+	+	+	+	

Végül, a sárga-kék szintényezők alakulását a nyers téstáknál 21. ábra, a sült bélzeteknél pedig a 22. ábra szemlélteti. Az összes zsemlén sütés előtt és után is pozitív b^* értéket mértünk, azonban a hőkezelés hatására mindegyiknél értékcsökkenés következett be, melynek mértéke 0,62-től (T2,5) 2,91-ig (L2,5) terjedt. A legalacsonyabb és a legmagasabb értékeket a kontroll, illetve a T10-es minta érte el mindkét esetben: a nyers kontroll és T10-es téstára 9,82-es és 28,28-as, a sült kontroll, valamint T10-es bélzetre pedig 8,30-as és 26,09-es átlagot kaptam. A maglisztek adagolásának hatására, párhuzamosan a koncentrációk növelésével, a sárga tónus erősödni kezdett. Egyedüli kivételként a nyers L2,5-ös minta említendő, mivel 12,86-os b^* értékével megelőzi a nyers L5-ös és L7,5-ös mintákat és azok 12,09-es, illetve 12,59-es értékét. Megállapítható az is, hogy a tökmagliszttel dúsított zsemlék több sárga pigmentet tartalmaznak a lenmaglisztesekhez képest. A sült minták szórása a 9-szeres eredménymennyiség miatt lett nagyobb mindhárom szintényezőnél. A sütés során a másik két tényezőhöz hasonlóan itt is nőtt a szórás.

21. ábra A minták nyers téstájának sárga-kék szintényezői
(Forrás: saját szerkesztés)



22. ábra A sült minták bélzetének sárga-kék színtényezői
(Forrás: saját szerkesztés)



A 23. ábrán megfigyelhető, hogy a b^* kék-sárga színjellemző a nyers és sült tészta esetében is szignifikáns különbséget mutat szinte minden minta esetében, itt csupán a lenmaglisztes minták kisebb koncentrációi nem mutatnak egyértelmű különbséget a nagyobb koncentrációktól.

23. ábra A nyers tészták és a kisült zsemlék sárga-kék színtényezőinek varianciaanalízise
(Forrás: saját szerkesztés)

	K	T2,5	T5	T7,5	T10	L2,5	L5	L7,5	L10
K		+							
T2,5	+								
T5	+	+							
T7,5	+	+	+						
T10	+	+	+	+					
L2,5	+	+	+	+	+				
L5	+	+	+	+	+	+			
L7,5	+	+	+	+	+	-	-		
L10	+	+	+	+	+	+	+	+	

A lenmagliszttel dúsított nyers tészták színe közelebb állt a kontroll minta színéhez, és az a^* értékük növekedett a koncentráció növelésével, míg a b^* értékük alig változott. A tökmagliszttel dúsítottaknál nőtt a színtelítettség és csökkent a világosság a koncentráció növekedésével. A kisült zsemlémintáknál a színtényezők változtak a nyers mintákhoz képest, a lenmagliszteseknél az a^* és b^* értékek, illetve az L^* értékek csökkentek. A tökmagliszttel dúsítottak b^* értéke jelentősebben csökkent az a^* -hoz képest. A színtényezőket külön vizsgálva megállapítható, hogy a kétféle magliszt között nincs nagy különbség a világossági tényezők tekintetében és a sütés hatására, valamint a koncentrációk növelésével mindegyik minta sötétedett. A varianciaanalízis alapján jobban elkülönültek egymástól a zsemlék nyersen, mint kisülve. Ezen értékeket az általam nem eléggé átfogóan vizsgált porozitás is befolyásolhatta. A

lenmaglisztes zsemlek a vörös, míg a tökmaglisztesek a zöld szintartományban helyezkedtek el. Az ANOVA teszt kimutatta, hogy a T7,5-ös minta kivételével, jelentős változást nem okozott az a^* színezeti paraméterben a sütés. Minden zsemle pozitív b^* értékkel rendelkezett, de a sütés hatására ez az érték csökkent. A tökmaglisztes zsemlek több sárga pigmentet tartalmaztak a lenmagliszteseknél. Ezen színtényezőnél szinte az összes minta esetében szignifikáns különbség volt megfigyelhető. A sütés során a mindhárom színtényező szórása nőtt.

4.3. Állományvizsgálat

Az állományvizsgálat során végzett TPA mérés eredményeiből háromféle tulajdonság, a keménység, a kohézió és a rugalmasság alapján hasonlítottam össze a mintákat.

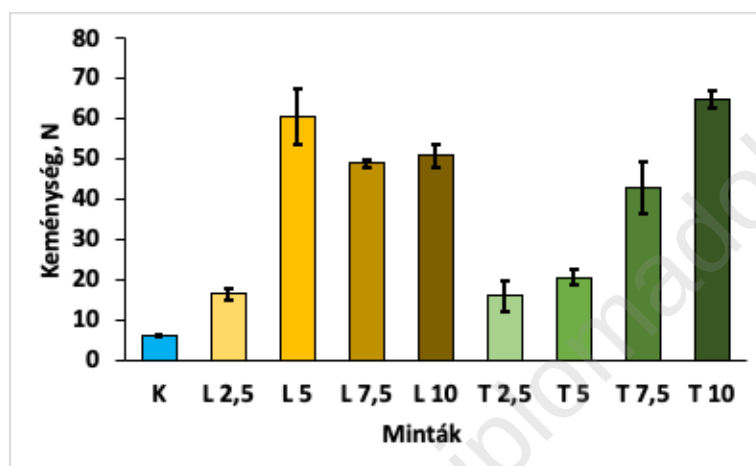
A három tényezőre mért eredményeket koncentrációkként (9 zsemle) átlagoltam, majd a kapott értékeket szórásukkal együtt 1-1 oszlopdiagramon ábrázoltam ez esetben is, melyeknek a 24., 26. és 28. ábrák felelnek meg.

4.3.1. Keménység

A 24. ábrán tehát jól látható, hogy a kontroll minta 6,26 N-os értékéhez képest a magliszttel dúsított zsemlek keménysége, azaz az első kompresszióhoz szükséges maximális erő növekedett. Ez az alaplisztkeverékben lévő, térfogatnövelőszerként alkalmazott szóda-bikarbónával hozható összefüggésbe: a nátrium-hidrogén-karbonát a sütési hő hatására szén-dioxidot bocsát ki, valamint hozzájárul a vízgőz képződéséhez is, ezáltal levegősebbé téve és megemelve a tésztát. Emellett a nedvességtartalom megtartásában szintén hasznát veszik a sütőiparban. Tehát az alaplisztkeverék mennyiségének csökkentésével egyre kevesebb szóda-bikarbóna került a zsemlekbe, így azok bélzete tömörödött, egyre kevésbé lett puha állagú. A tökmagliszttel dúsított mintáknál szépen nyomon követhető a keménység növekedése a koncentráció növelésével. A tömörödés megmutatkozott a már korábban bemutatott színmérési eredményekben is. A legnagyobb, 65,01 N-os értéket a T10-es mintára kaptam, ami a kontrollhoz viszonyítva több, mint 10-szeres keménységet jelent. A lenmaglisztes zsemleknél az L5-ös mintahalmaz kiugró, 60,59 N-os értéke és nagy szórása azzal magyarázható, hogy a mérőfej több zsemlelénél kismértékben hozzáérhetett a héjhoz, mivel egyes darabok rendkívül tömörek és szabálytalan alakúak voltak és nem lehetett szép korongokat szelni belőlük. Alakjuk a formázás, a kelesztés, a sütés előtti lenyomás vagy a sütés során válhatott ilyenné. A tökmaglisztes minták esetében a koncentráció növekedése jól nyomon követhető szignifikánsan elkülönülő csoportokat eredményezett.

A keménység eredményei mellett megjegyzendő, hogy a mérés közben a nagyobb koncentrációjú minták esetében megfigyelhető volt a nyomás hatására bekövetkező eltörése a bélzetnek. A méréshez használt akril koronggal történt megnyomás hatására a korong a bélzetet az érintkezési felület peremén, annak körvonalában elvágta. Ez is igazolja, hogy a minta porózusságának, laza, rugalmas szerkezetének csökkenésével keményedett a bélzet.

24. ábra A sült minták keménységértékei
(Forrás: saját szerkesztés)



Az állományvizsgálat esetében a TPA teszt három paramétere alapján vizsgáltam a minták szignifikáns különbözőségét, melyek a keménység, a kohézió és a rugalmasság voltak. Mivel a TPA tesztet a kisült zsemléken végeztem el, itt csak 1-1 táblázat kerül bemutatásra.

A keménység esetében (25. ábra) mind a tök-, mind a lenmaglisztes mintáknál egyaránt a legkisebb koncentráció és a kontroll minta között nem volt szignifikáns különbség, ahogy a két nagyobb koncentráció esetén is hasonló eredmény látszott a lenmaglisztnél.

25. ábra A keménységértékek varianciaanalízise
(Forrás: saját szerkesztés)

	K	T 2,5	T 5	T 7,5	T 10	L 2,5	L 5	L 7,5	L 10
K									
T 2,5	-								
T 5	+	+							
T 7,5	+	+	+						
T 10	+	+	+	+					
L 2,5	-	-	+	+	+				
L 5	+	+	+	-	-	+			
L 7,5	+	+	+	-	+	+	-		
L 10	+	+	+	-	+	+	-	-	

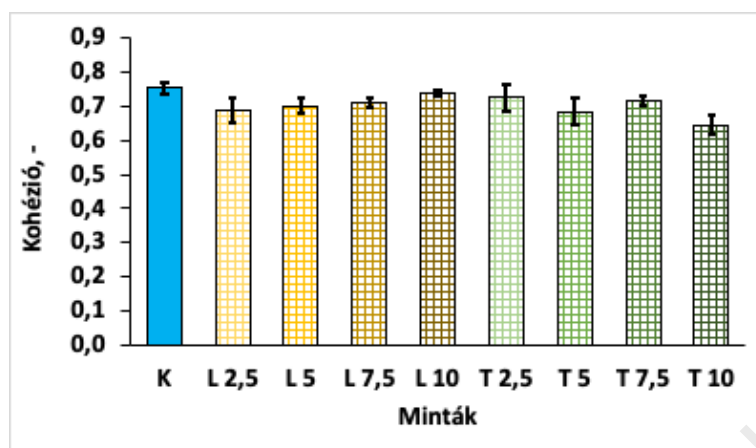
A magliszttel dúsított zsemlék keményebbek voltak a kontrollhoz képest, részben a csökkent szódabikarbóna-tartalom miatt, ami kevésbé levegős és tömörebb szerkezetet eredményezett. A keménység növekedése nyomon követhető volt a tökmagliszt

koncentrációjának növekedésével. Azonban az L5-ös lenmaglisztes minta kiugróan kemény volt az egyenetlen formák és a mérőfej által a héjhoz történő hozzáérés miatt. A magasabb koncentrációjú minták eltörése a mérés során megerősítette a bélzet keményedését és szerkezetének megváltozását. Mindkét maglisztnél a legkisebb koncentráció és a kontroll minta között, valamint a lenmaglisztes minták két magasabb koncentrációjánál nem mutatkozott szignifikáns különbség.

4.3.2. Kohézió

Elméletben a kohézió értékeknek a keménység növekedésével arányosan kell csökkenniük, mivel egyre jobban törik szét a szerkezet ugyanakkora terhelésnél. Azonban ez méréseim esetében csak részben bizonyosodott be. Ugyan a legkevésbé kemény kontroll mintának lett a legnagyobb, 0,75-ös összetartó ereje, valamint a legkeményebb, T10-es zsemléknek pedig a legalacsonyabb, 0,64-es, de a minták nagyobb hányadánál a várttól más sorrend keletkezett. A lenmagliszttel dúsított zsemléknél a koncentráció növekedésével enyhén nőttek a kohézió értékek is (az egyes minták közötti különbségek a 0,1-et sem érték el), ami ezek alapján a lenmag egy sajátosságának tekinthető. A tökmaglisztes dúsítás hatására viszont már fokozatos csökkenés figyelhető meg, a T7,5-ös minta 0,72-es kiugró értékét leszámítva. Ez utóbbira magyarázatot adhat, hogy a 9 db zsemle közül többnél itt sem sikerült szabályos, a mérőfej számára elegendő bélzetfelülettel rendelkező korongokat szelni a tömörség vagy deformáció miatt, mely az 4.3.1.-es pont végén leírt tényezők miatt alakulhatott ki. A 26. ábrán bemutatott kohézió eredmények alapján elmondható továbbá, hogy a lenmaglisztes mintáknál a növekvő koncentrációval arányos növekvő kohézió kapcsolatban áll a zsírtartalma 19 g/100 g a termékben, míg a tökmaglisztnél ugyanez csupán 7,2 g/100 g. A magasabb zsírtartalomnak köszönhetően a szerkezet összetartóbbnak bizonyult. A tökmagliszt esetében a magliszt rosttartalma okozhatta az egyre csökkenő kohéziót.

26. ábra A sült minták kohézió értékei
(Forrás: saját szerkesztés)



A szerkezet összetartó képességét leíró kohézió szerint (27. ábra) szignifikánsan csak a T10 minta tért el a többitől, ami azt jelenti, hogy a 10%-os tökmagliszt koncentráció instabilabbá teszi a szerkezetet. Ezt a mérés végzésekor a terhelés során tapasztalt eltérés is megerősítette a bélzetnél. Habár ez volt a legmagasabb zsírtartalmú, magliszttel dúsított minta, mégis könnyen tört.

27. ábra A kohézió értékek varianciaanalízise
(Forrás: saját szerkesztés)

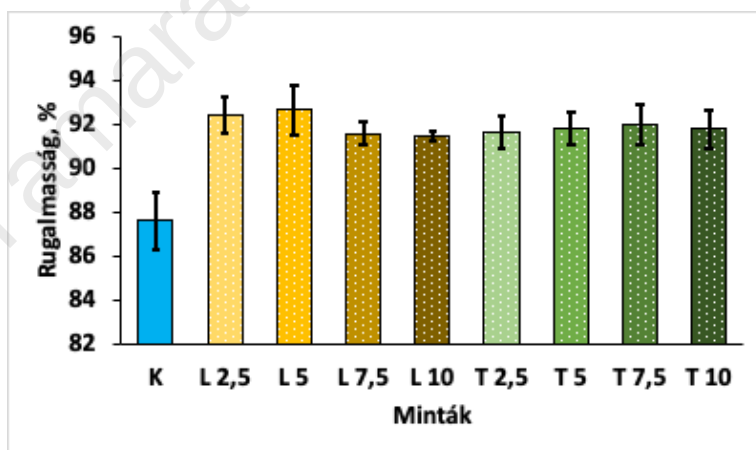
	K	T 2,5	T 5	T 7,5	T 10	L 2,5	L 5	L 7,5	L 10
K									
T 2,5	-								
T 5	-	-							
T 7,5	-	-	-						
T 10	+	+	+	+					
L 2,5	-	-	-	-	+				
L 5	-	-	-	-	+	-			
L 7,5	-	-	-	-	+	-	-		
L 10	-	-	-	-	+	-	-	-	

A kohézió elméletileg csökken a keménység növekedésével, de a mérések ezt csak részben támasztották alá. A legkevésbé kemény kontroll zsemlének volt a legnagyobb, míg a legkeményebb T10-esnek a legalacsonyabb kohéziója. A lenmaglisztes mintáknál a koncentráció növekedésével a kohézió is nőtt, ami a lenmag magas zsírtartalmával magyarázható, míg a tökmaglisztes mintáknál a rosttartalom miatt csökkent. A szabálytalan korongok a mérésekben eltéréseket okozhattak. Szignifikánsan csak a T10-es minta tért el a többitől, ami instabil szerkezete miatt a terhelés hatására könnyen eltört.

4.3.3. Rugalmasság

A rugalmasság értékeit a 28. ábra alapján elemezve kijelenthető, hogy a többi mintától jóval elmaradó, 87,61%-os rugalmassággal a kontroll minta rendelkezett. Az alap lisztkeverék összetevői közül ezen a tulajdonságon egy adalékanyag, a guar gumi hivatott javítani. Azonban a maglisztekkel történő dúsítás hatására mindegyik esetben még tovább nőtt a %-os érték, ugyanis hiába törte meg a mérőfej pereme a bélzetet, az a mérőkorong felülete alatt rugalmas maradt tömör szerkezetének köszönhetően. 92% fölötti eredményt csak az L2,5-ös (92,42%) és L5-ös (92,68%) zsemlékre kaptam, a többi mintánál 91,5% (L10) és 91,99% (T7,5) között helyezkedtek el az értékek. A rugalmasságot tehát az alacsony koncentrációban adagolt lenmagliszt befolyásolta leginkább. A lenmagliszt a két magasabb, illetve a tökmagliszt mind a négy koncentrációban közel ugyanúgy hatott az állomány ezen tényezőjére. A rugalmasság növekedése a magasabb zsírtartalomnak köszönhető, amely mindkét magliszttel készült zsemlékre igaznak bizonyult. Továbbá, elemezve a TPA görbéket megállapítottam, hogy a második harapás maximális erőszükséglete a tökmaglisztes zsemlék esetében kisebb eltérést mutatott az első harapás maximális erőértékéhez képest. Emellett az első harapást követően a minták visszarugózásában nem volt tapasztalható számottevő különbség a koncentráció növekedésével, ezzel szemben a lenmaglisztes mintáknál az első terhelést követően valamennyivel több időre volt szükség a minta visszarugózásához.

28. ábra A sült minták rugalmasság értékei
(Forrás: saját szerkesztés)



A bélzet rugalmasságának varianciaanalízise (29. ábra) a kohézióval majdnem teljesen azonos eredményt mutatott, ami logikus, mivel, ha képes törni a bélzet, akkor a rugalmassága háttérbe szorul a plasztikusságához képest.

29. ábra A rugalmasság értékek varianciaanalízise
(Forrás: saját szerkesztés)

	K	T 2,5	T 5	T 7,5	T 10	L 2,5	L 5	L 7,5	L 10
K									
T 2,5	-								
T 5	-								
T 7,5	-	-	-						
T 10	+	+	+	-					
L 2,5	-	-	-	-	+				
L 5	-	-	-	-	+	-			
L 7,5	-	-	-	-	+	-	-		
L 10	-	-	-	-	+	-	-	-	

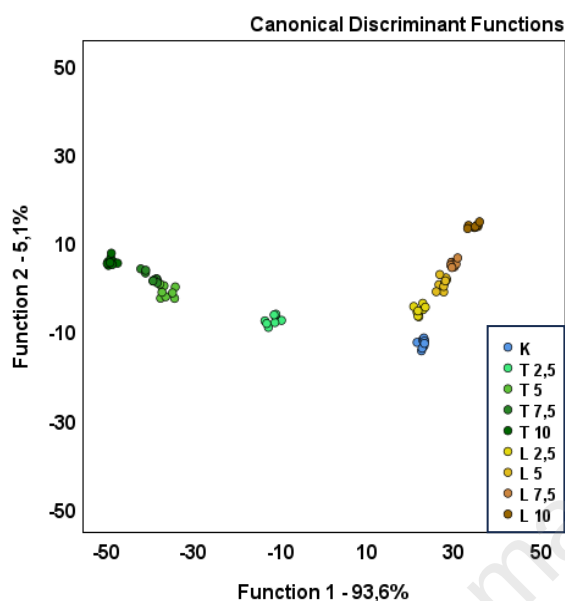
A kontroll mintához tartozott a legalacsonyabb rugalmasság, ugyanis a maglisztekkel történő dúsítás növelte ezt az értéket a zsírtartalom növekedése miatt. A legnagyobb rugalmasságot a két legalacsonyabb koncentrációjú lenmaglisztes minta érte el. A tökmaglisztes zsemlek kisebb eltérést mutattak az első és második harapás közötti erőszükségletben, míg a lenmagliszteseknél több időre volt szükség a minták visszarugózásához az első terhelés után. Ezen tényező varianciaanalízise szinte teljesen megegyezett a kohézióéval.

4.4. Diszkriminancia-analízis

A fizikai mérések során meghatározott paraméterek alapján diszkriminancia-analízissel (LDA) megvizsgáltam a csoportok elkülöníthetőségét, valamint kiválasztottam ezek közül azokat a paramétereket, amelyek a legjobb, valamint a legrosszabb elkülönítést eredményezték.

A legerősebb hatása a nyers tészták és a sült bélzet CIE L*a*b* színparamétereinek volt, amit a tömegveszteség paraméter sem rontott, mindkét esetben (tömegveszteséggel vagy nélkül) a csoportba sorolás és kereszt-validáció (CV) egyaránt 100%-ban hibátlanul valósult meg. A 30. ábra a zsemleminták LDA eredményét mutatja, ahol az első változó (Function 1) a variancia 93,6%-át írta le és az első két változó együtt 98,7%-át.

30. ábra A zsemleminták diszkriminancia-analízise (Function1-Function2) a CIE $L^*a^*b^*$ színparaméter eredményei alapján
(Forrás: saját szerkesztés)

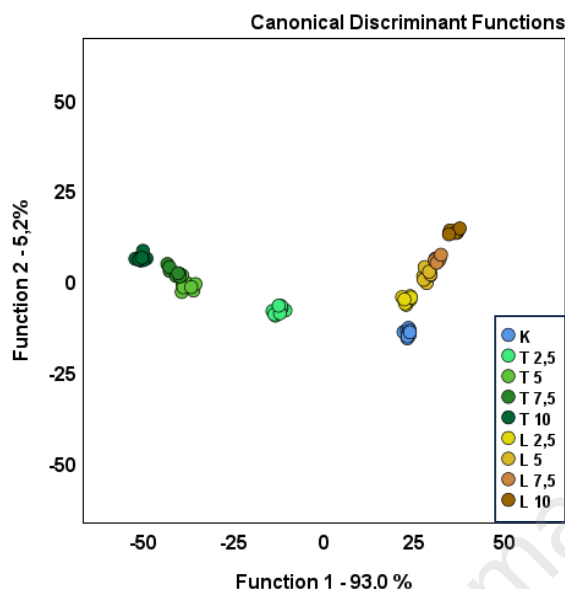


Megjegyzendő azonban, hogy a sült bélzet CIE $L^*a^*b^*$ értékei dominánsabbak a nyers tésztához képest. A sütés során a szín nagyobb különbséget mutatott az egyes koncentrációk között.

A tömegvesztés, a nyers és sült tészta $L^*a^*b^*$, keménység, kohézió és rugalmasság paraméterek együttes hatását vizsgálva megállapítottam, hogy a csoportba sorolás ugyan 100%-ban helyes volt, ám a kereszt-validáció során egy T5-ös mintát a T7,5-ös csoportba sorolt. Ezzel a CV 98,8%-ban bizonyult helyesnek. A 31. ábra ennek az elemzésnek a grafikus ábrázolása, amelynél látható, hogy az első két változó a variancia 98,2%-át írja le.

31. ábra A zsemleminták diszkriminancia-analízise (Function1-Function2) az összes fizikai paraméter eredményei alapján

(Forrás: saját szerkesztés)



A csoportok elkülönítésében a legkevésbé meghatározó paraméterek a TPA mérés során meghatározott keménység, kohézió és rugalmasság voltak, mivel a csoportba sorolás 54,34%-ban, míg a CV csupán 43,2%-ban bizonyult helyesnek. A 4. táblázat ennek eredményét mutatja be.

4. táblázat A zsemlecsoporthoz diszkriminancia-elemzésének keresztvalidációs táblázata a keménység, kohézió és rugalmasság eredményei alapján

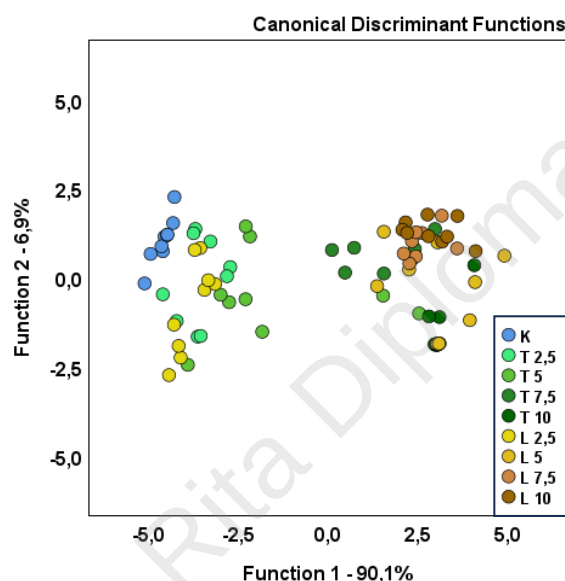
(Forrás: saját szerkesztés)

eredeti csoportok	csoportba sorolás										kereszt-validáció									
	K	T 2,5	T 5	T 7,5	T 10	L 2,5	L 5	L 7,5	L 10	összesen	K	T 2,5	T 5	T 7,5	T 10	L 2,5	L 5	L 7,5	L 10	összesen
K	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	88,9	11,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	88,9
T 2,5	22,2	33,3	0,0	0,0	0,0	44,4	0,0	0,0	0,0	33,3	33,3	22,2	0,0	0,0	0,0	44,4	0,0	0,0	0,0	22,2
T 5	0,0	33,3	22,2	11,1	0,0	22,2	11,1	0,0	0,0	22,2	0,0	33,3	22,2	11,1	0,0	22,2	11,1	0,0	0,0	22,2
T 7,5	0,0	0,0	0,0	44,4	33,3	0,0	0,0	11,1	11,1	44,4	0,0	0,0	11,1	11,1	33,3	0,0	0,0	33,3	11,1	11,1
T 10	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	0,0	33,3	0,0	0,0	66,7	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	0,0	33,3	0,0	0,0	66,7
L 2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,4	0,0	0,0	0,0	44,4	11,1	44,4	0,0	0,0	0,0	44,4	0,0	0,0	0,0	44,4
L 5	0,0	0,0	0,0	11,1	22,2	0,0	33,3	22,2	11,1	33,3	0,0	0,0	0,0	11,1	22,2	0,0	22,2	22,2	22,2	22,2
L 7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	66,7	33,3	66,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	55,6	44,4	55,6
L 10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,2	77,8	77,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	33,3	55,6	55,6
összesen	122,2	122,2	22,2	66,6	122,2	111,0	77,7	122,2	133,3	54,34	133,3	111,0	33,3	33,3	122,2	111,0	77,7	144,4	133,3	43,24

A csoportba sorolásnál és a kereszt-validációnál is egyaránt látszik, hogy a maglisztel dúsított zsemlek közül egyik csoportot sem sikerült elkülöníteni 100%-ban helyesen a többitől. A csoportba sorolásnál csupán a kontroll (K) csoport különült el egyértelműen, ám ez a kereszt-validációnál már téves besorolást jelentett 11,1%-ban a T2,5-ös csoportba. Ha a legnagyobb mértékben helyes besorolást nézzük, akkor a kereszt-validációnál a maglisztes minták közül a T10-es csoport 66,7%-ban helyesen besorolt, míg a csoport többi mintája – tévesen – az L5-ös

minták közé keveredett. A T7,5-ös csoport mintái csupán 11,1%-ban vannak a helyükön, azonban a minták 33,3-33,3%-a a T10-es és az L7,5-ös csoportokba került. A 32. ábra szemlélteti ezeket a komoly csoportkeveredéseket. Látható, hogy a tökmaglisztes minták lenmaglisztes csoportokba történt téves besorolása mellett, a két kisebb tökmagliszt-koncentrációjú csoporthoz keveredett a legkisebb koncentrációjú lenmaglisztes csoport 66,7%-a.

32. ábra A zsemleminták diszkriminancia-analízise (Function1-Function2) a TPA mérés keménység, kohézió és rugalmasság eredményei alapján
(Forrás: saját szerkesztés)



A fenti eredményeket figyelembe véve megállapítható, hogy pusztán a TPA eredmények alapján nem különíthetők el egymástól a maglisztes csoportok.

Véleményem szerint az érzékszervi bírálat fontos lenne a termékek alaposabb vizsgálata szempontjából, mert az állomány mellett a rágás során bekövetkező változásokról, ízről, aromáról, érzékszervi tulajdonságok alapján a bírálók kedveltségi rangsort is felállíthatnának.

*Az elvégzett diszkriminancia-analízis során a fizikai paraméterek közül a nyers tészta és sült bélzet CIE L*a*b* színparamétereinek dominanciája biztosította a kontroll és a magliszttel dúsított zsemlecsoportok 100%-ban helyes csoportba sorolását. Ezzel szemben erre a célra legalkalmatlanabb paramétereknek – számos téves besorolással - a TPA mérés során meghatározott keménység, kohézió és rugalmasság paraméterek bizonyultak.*

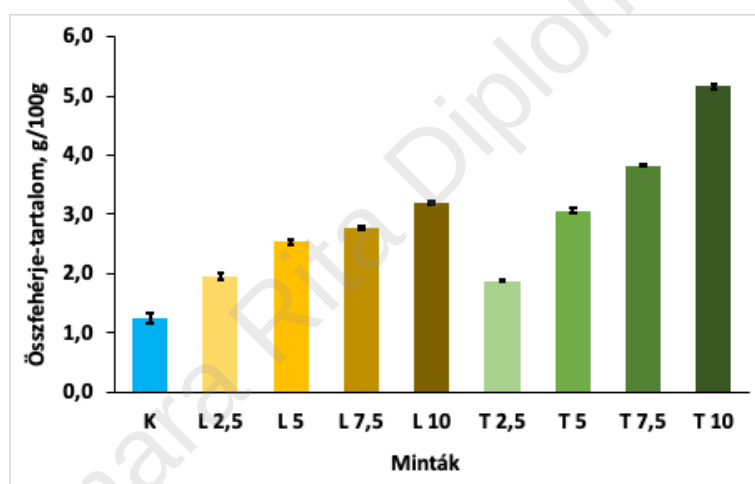
4.5. Aminosav-analízis

A vizsgálathoz használt kiértékelő program $\mu\text{g/g}$ -ban mutatta ki az egyes aminosavak mennyiségét. Mindegyik mintára 2 párhuzamos mérést végeztem, majd ezek átlagolt értékeivel számoltam tovább. A kromatografálás során kapott aminosav eredmények között nem szerepel a triptofán, mivel indol-csoportja a savas mintaelőkészítés hatására elbomlott, így ez az aminosav nem mutatható ki ezzel a mintaelőkészítési eljárással.

4.5.1. Összfehérje-tartalom

Az egyes aminosavak átlagolt értékeit összeadtam, majd $\text{g}/100\text{g}$ -ra történő átváltással meghatároztam az összfehérje-tartalmakat. Az így kapott eredményeket, azok szórásával a 33. ábrán látható oszlopdiagramon tüntettem fel.

33. ábra A sült minták összfehérje-tartalma $\text{g}/100\text{ g}$ zsemlére vonatkoztatva
(Forrás: saját szerkesztés)



A diagramról leolvasható, hogy legalacsonyabb, $1,26\text{ g}/100\text{g}$ -os összfehérje-tartalom a kontroll mintához tartozott. Jól kirajzolódik, hogy a maglisztekkel történő dúsítás hatására az összes zsemlétípus már magasabb értékeket produkált. A két maglisztet összevetve, a 2,5%-os koncentráció kivételével (ahol az L2,5-ös minta $1,95\text{ g}/100\text{g}$ -os értéket, a T2,5-ös minta pedig csak $1,88\text{ g}/100\text{g}$ -os értéket ért el) a tökmaglisztes zsemlékből volt az azonos koncentrációknál több fehérje kimutatható. Így tehát a legmagasabb, $5,16\text{ g}/100\text{g}$ -os összfehérje-tartalommal a T10-es zsemlék rendelkeztek. Azonban ezek az értékek még mindig túl alacsonyak ahhoz, hogy az egészséges, átlagos életvitelű, de nem várandós, felnőttek napi 50 g -os ($0,8\text{ g}/\text{testtömegkg}$; az összes, napi energiafelvétel 12-15%-a) ajánlott fehérjeszükségletéhez nagyobb mértékben hozzájáruljanak (anélkül, hogy meghaladná a napi ajánlott szénhidrátbevitelt, ami az összes

energiabevitel 55-75%-a), ebből adódóan azt főleg más típusú élelmiszerekből (hús-és tejtermékekből, tojásból, hüvelyesekből) kell fedezni (SZTE, 2012).

4.5.2. Összesszenciális aminosav-tartalom

A zsemlék összesszenciális aminosav-tartalmát a 5. és az 6. táblázat szemlélteti. A triptofánt a fentebb említett ok miatt leszámítva, mindegyik mintában megtalálható valamennyi esszenciális aminosav. A mérés során a két kéntartalmú aminosavak, a metionin és a cisztein, valamint a fenilalanin és a tirozin eredménye összesítve, egy adatként kerül megadásra. Ezek az aminosavak a szervezetben átalakulnak egymásba, egymást helyettesítő aminosavak. A FAO/WHO által meghatározott referenciafehérje összetételében is együttesen kerülnek meghatározásra (FAO, 2018).

5. táblázat A kontroll és a tökmagos zsemlék esszenciális aminosav-összetétele [mg/g fehérje]
(Forrás: saját szerkesztés)

Esszenciális aminosavak (mg/g fehérje)	Sült kontroll	Tökmag 2,5%	Tökmag 5%	Tökmag 7,5%	Tökmag 10%
Hisztidin	0,29	0,39	0,66	0,97	1,28
Izoleucin	0,31	0,44	0,81	0,86	1,28
Leucin	1,24	1,68	2,70	3,14	4,30
Lizin	0,58	0,71	1,03	1,25	1,76
Metionin + cisztein	0,38	0,57	0,77	0,92	1,15
Fenilalanin + tirozin	0,85	1,25	2,03	2,38	3,37
Treonin	0,60	0,70	1,01	1,20	1,61
Valin	0,56	0,75	1,30	1,50	2,17
SUMMA	4,82	6,47	10,29	12,22	16,92

6. táblázat A lenmagos zsemlék esszenciális aminosav-összetétele [mg/g fehérje]
(Forrás: saját szerkesztés)

Esszenciális aminosavak (mg/g fehérje)	Lenmag 2,5%	Lenmag 5%	Lenmag 7,5%	Lenmag 10%
Hisztidin	0,39	0,51	0,60	0,68
Izoleucin	0,57	0,70	0,80	0,98
Leucin	1,69	2,14	2,31	2,42
Lizin	0,73	0,96	1,20	1,21
Metionin + cisztein	0,63	0,79	0,70	0,82
Fenilalanin + tirozin	1,42	1,65	1,84	2,06
Treonin	0,77	1,10	1,08	1,18
Valin	0,85	1,27	1,20	1,44
SUMMA	7,04	9,12	9,72	10,79

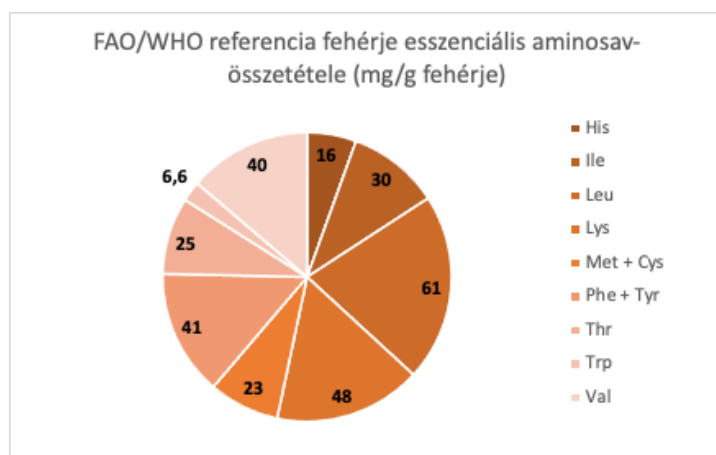
Kitűzött célokat elérve, a dúsítás hatására mindegyik esetben magasabb összesszenciális aminosav-tartalmú, tehát értékesebb termékeket kaptam a kontroll minta 4,82 mg/g fehérje eredményéhez képest, mely az elágazó láncú aminosavak (BCAA), tehát a leucin, az izoleucin és a valin tekintetében szintén a legszegényebbnek mutatkozott. Ez utóbbi három aminosav azért kiemelt fontosságú, mivel az emberi izomszövet nélkülözhetetlen aminosavainak harmadát teszik ki. Az értékek növekedésének sorrendje megegyezik az összfehérje-tartalom növekvő sorrendjével. Leucinnál volt a legtöbb, hisztidinből pedig a legkevesebb kimutatható a mintákban. A tökmaglisztet tartalmazó zsemlénél a 2,5%-os koncentráció kivételével nagyobb mértékben nőtt az esszenciális aminosavak mennyisége (már az 5%-os koncentrációtól kezdve 10 mg/g fehérje feletti volt az értéke) a lenmaglisztes mintákhoz képest (ez esetben csak a 10%-os koncentráció haladta meg a 10 mg/g fehérjét), tehát kijelenthető, hogy ez a magliszt előnyösebb táplálkozási szempontból. A 10%-os koncentrációnál 1 g fehérjében már elég jelentős, 6,13 mg-os eltérés figyelhető meg.

A dúsítás mindegyik esetben növelte az zsemlék összesszenciális és ezzel együtt az elágazó láncú aminosav-tartalmát a kontroll mintához képest. Mivel a növekedés a tökmaglisztes zsemlénél volt nagyobb mértékű, így a tökmagliszt tekinthető előnyösebbnek táplálkozási szempontból a lenmagliszthez képest.

4.5.3. Esszenciális aminosav arány és limitáló aminosav

A FAO és a WHO szakértői kidolgoztak egy elméleti síkon létező táplálékot, amely optimális mennyiségben és arányban tartalmazza az esszenciális aminosavakat három életkornak megfelelően, melyek a következők: 0-6 hónapos kor, 6 hónapos és 3 éves kor közötti időszak, valamint 3 év feletti kor. Ez utóbbi esetben ugyan a fehérjeszükséglet még módosul az életkor és az életvitel alapján, de az esszenciális aminosavak iránti igény már nem változik olyan mértékben, hogy szükség volna további megkülönböztetésre (FAO, 2018). Mivel az általam készített zsemlék fogyasztása jellemzően ezt a 3. kategóriát érinti, ezért mérési eredményeimet ezen referencia fehérje aminosav-összetételével vetettem össze. Ennek megoszlását mutatja be a 34. ábra.

34. ábra A FAO és a WHO általam felhasznált referencia fehérjének aminosav-összetétele
(Forrás: saját szerkesztés FAO (2018) adatok alapján)



Az esszenciális aminosav arányok (EAA) kiszámítása során az egyes mintacsoportok mg/g fehérjében kifejezett esszenciális aminosavait elosztottam a FAO/WHO referencia fehérje ugyanazon esszenciális aminosavának mg/g fehérje értékével. Az így kapott arányszámok 1-hez való közelségéből megállapítható, hogy az adott zsemle mennyire felel meg a FAO/WHO referencia fehérje összetételének. A legkisebb, 1 alatti EAA-val rendelkező esszenciális aminosav pedig a limitáló jelzővel definiálható, melyeket a 7. és a 8. táblázatban pirossal jelöltem.

7. táblázat A kontroll és a tökmagos zsemle aminosav arányai és limitáló aminosavai
(Forrás: saját szerkesztés)

Esszenciális aminosavak	Kontroll EAA	T2,5 EAA	T5 EAA	T7,5 EAA	T10 EAA
Hisztidin	1,44	1,32	1,59	1,59	1,55
Izoleucin	0,83	0,78	0,89	0,75	0,83
Leucin	1,61	1,47	1,44	1,34	1,37
Lizin	0,95	0,79	0,70	0,68	0,71
Metionin + cisztein	1,33	1,31	1,09	1,05	0,97
Fenilalanin + tirozin	1,65	1,62	1,61	1,52	1,59
Treonin	1,9	1,49	1,31	1,25	1,25
Valin	1,11	0,99	1,06	0,98	1,05

8. táblázat A lenmagos zsemlék aminosav arányai és limitáló aminosavai
(Forrás: saját szerkesztés)

Esszenciális aminosavak	L2,5 EAA	L5 EAA	L7,5 EAA	L10 EAA
Hisztidin	1,23	1,26	1,34	1,32
Izoleucin	0,97	0,92	0,95	1,02
Leucin	1,42	1,38	1,36	1,24
Lizin	0,78	0,79	0,90	0,79
Metionin + cisztein	1,40	1,34	1,10	1,12
Fenilalanin + tirozin	1,77	1,58	1,62	1,57
Treonin	1,58	1,73	1,56	1,48
Valin	1,09	1,25	1,08	1,12

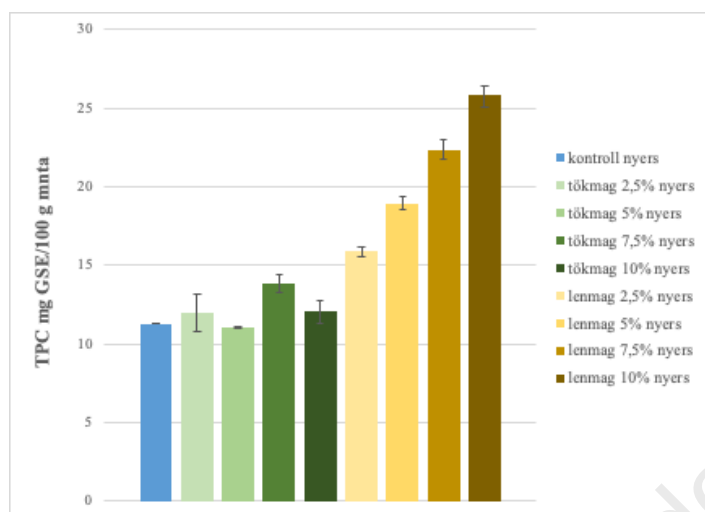
Az összes zsemlétípus csak izoleucinból és lizinből tartalmaz kevesebbet a referencia fehérjéhez viszonyítva, azonban ez alól kivételt képez a lenmaglisztet 10%-os koncentrációban tartalmazó minta, mely csak lizinből szenved hiányt. A kontroll és a T2,5-ös zsemlék limitáló aminosava az izoleucin lett, bár utóbbiban ennek mennyisége csupán egy századdal kisebb a lizinhez képest. A többi mintánál a dúsítás hatására a lizin mutatkozott limitálónak, melyből a tökmaglisztesekben volt kevesebb. A szakértők által megállapított minimum értékekkel összevetve a T7,5-ös zsemlék hisztidinből, az L5-ös zsemlék treoninból, a maradék minták pedig fenilalanin + tirozinból tartalmazták a legnagyobb mértékű többletet.

A zsemlék komplettálása a maglisztekkel nem volt eredményes. Szinte mindegyik zsemlé kevesebb izoleucint és lizint tartalmaz a referencia fehérjéhez képest, kivéve a 10%-os lenmaglisztet, amely csak lizinből szenved hiányt. A limitáló aminosavak tehát az izoleucin és lizin, mely utóbbiból többnyire a tökmaglisztes zsemlék tartalmaznak kevesebbet. Több minta tartalmaz hisztidin-, treonin-, vagy fenilalanin + tirozin többletet a szakértői minimumhoz képest.

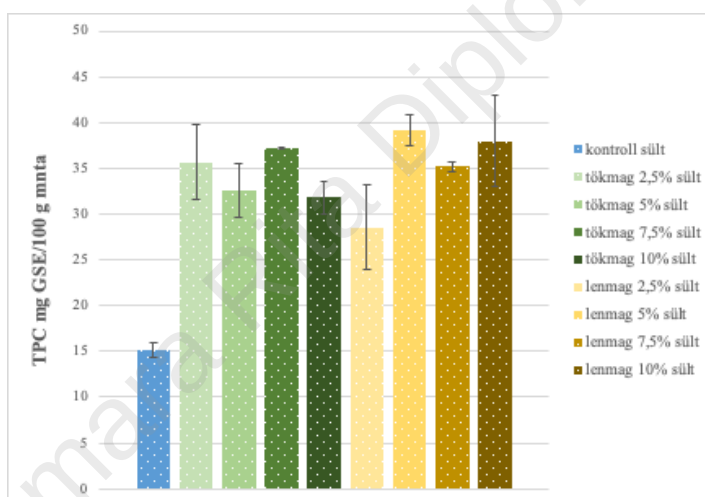
4.6. TPC

A 100 g mintára meghatározott összes polifenol-tartalmak átlagértékét és azok szórását mutatja be a 35. és a 36. ábra a nyers és a sült zsemlék esetében.

35. ábra A nyers tésztákban mért összes polifenol-tartalom
(Forrás: saját szerkesztés)



36. ábra A sült tésztákban mér összes polifenol-tartalom (mg GSE/100 g minta)
(Forrás: saját szerkesztés)



Jól látható, hogy mindegyik sült zsemlében nagyobb a polifenol-tartalom, mint a nyers tésztákban, ami valójában koncentrációást jelent, hiszen a nedvességtartalom nagy része a sütés során eltávozott, így kisebb tömegben mértük körülbelül ugyanazt a mennyiséget. Tekintettel arra, hogy a zsemle kisütött állapotban kerülnek fogyasztásra, a sült darabokban lévő polifenol-mennyiségnek van jelentősége táplálkozási szempontból. A kontroll mintához képest 1,9-2,6-szoros növekedések voltak tapasztalhatóak. Érdekes módon mindkét szélsőérték lenmaglisztes mintához tartozott: az alsó (28,52 mg GSE/100 g minta) az L2,5-öshöz, a felső (39,14 mg GSE/100 g minta) pedig az L5-öshöz. Az itt mért értékek alapján nem mutatkozott nagy különbség a két magliszt között, mivel két koncentrációnál a tökmaglisztes, két koncentrációnál pedig a lenmaglisztes termékek érték el magasabb eredményt. A koncentrációk

növekedésével nem arányosan változó értékek valószínűleg a minták inhomogenitásának köszönhetőek. Viszont a polifenolok hőre érzékeny vegyületek, ezért annak megállapítására, hogy a sütés esetleg csökkenti-e a TPC értékeket, átszámoltam a koncentrációkat a zsemlék szárazanyagára, melyet a 9. táblázat mutat be. Kismértékű csökkenés egyedül a kontroll zsemléknél volt tapasztalható, a többi mintánál elég eltérő mértékű növekedés következett be, feltehetően az előbb említett inhomogenitás végett. Ezekből leszűrhető, hogy az általam készített, dúsított zsemléket ért sütési idő és hőmérséklet vélhetően nem csökkentette a polifenol-tartalmat és a maglisztekkel történő dúsítás a polifenolok előnyös tulajdonságai (például egyes krónikus betegségek kialakulási kockázatának csökkentése) miatt emelte a sült zsemlék táplálkozási értékét.

9. táblázat A minták szárazanyagra vonatkoztatott összes polifenol-tartalmának (TPC) változása a sütés hatására

(Forrás: saját szerkesztés)

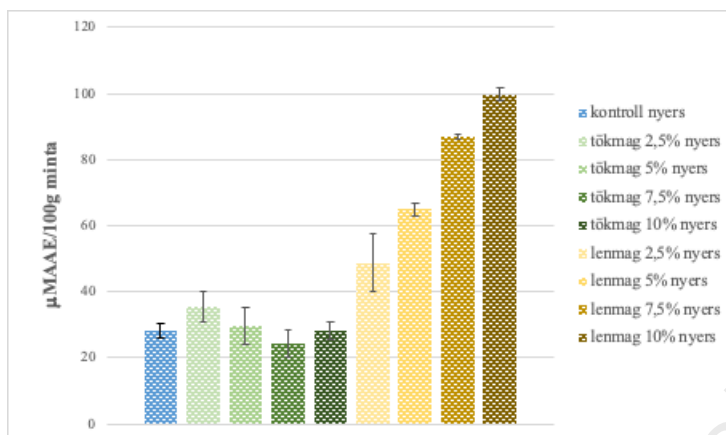
Minta	nyers tészta		sült tészta		TPC változás
	sz.a. %	mGSE /100g	sz.a. %	mGSE /100g	%
kontroll	54,11	20,84	77,3	19,54	-6,24
tökmag 2,5%	51,98	23,08	70,54	50,58	119,17
tökmag 5%	52,48	21,05	74,59	43,61	107,14
tökmag 7,5%	51,10	27,10	74,50	50,02	84,57
tökmag 10%	52,60	22,96	75,30	42,25	83,98
lenmag 2,5%	51,47	30,86	74,01	38,53	24,86
lenmag 5%	50,39	37,57	77,02	50,81	35,26
lenmag 7,5%	52,83	42,30	80,37	43,80	3,56
lenmag 10%	56,49	45,68	77,05	49,30	7,93

4.7. Összes antioxidáns kapacitás

Az összes antioxidáns kapacitás mérési elve megegyezett a TPC mérésével, mivel mindkettő elektronátmeneten alapuló antioxidáns kapacitási mérési módszer. Mivel a növényi eredetű antioxidáns vegyületek oldódási és extrahálhatósági tulajdonságai eltérőek, ezért a szabadgyökökkel folytatott reakcióik is változatosak, ami miatt gyakran alkalmaznak többféle módszert az antioxidáns kapacitás mérésére. Az ezzel a módszerrel kapott FRAP-értékeket a nyers (37. ábra) és sült (38. ábra) tészták esetében mM aszkorbinsav/100 g mintában fejeztem ki.

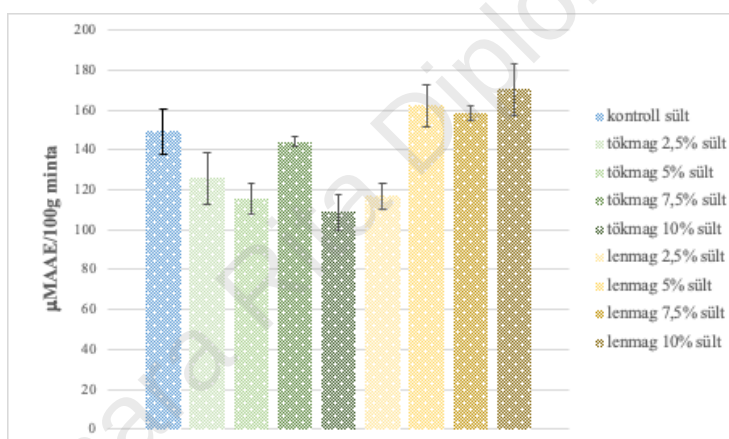
37. ábra A nyers zsemlek összes antioxidáns kapacitása aszkorbinsav egyenértékben FRAP módszer szerint ($\mu\text{MAAE}/100\text{ g}$ minta)

(Forrás: saját szerkesztés)



38. ábra A sült zsemlek összes antioxidáns kapacitása aszkorbinsav egyenértékben FRAP módszer szerint ($\mu\text{MAAE}/100\text{ g}$ minta)

(Forrás: saját szerkesztés)



Az itt kapott eredmények, elvárásaimnak megfelelően, nagyjából összhangban vannak a TPC mérés során tapasztaltakkal. Viszont ez esetben a nyers tésztáknál a T7,5-ös minta érte el a legalacsonyabb értéket (a TPC mérésnél viszont magasabb értékkel rendelkezett a kontrollnál és az összes tökmaglisztes mintánál), míg a sült zsemleknél a T10-es minta (a TPC mérésnél erre is jóval magasabb értéket kaptam a kontrollnál, illetve enyhén magasabbat az L2,5-ös mintánál). A legmagasabb értékekben csak a sült zsemleknél volt kismértékű különbség, ugyanis ennél a mérésnél az L10-es minta némileg megelőzte az L2,5-öst. Ezek az eltérések esetleges mérési hibákból adódhattak, mivel a maglisztek kémiai összetétele miatt itt is minden esetben nőnie kellett volna az összes antioxidáns kapacitásnak a kontroll mintához képest. Összességében az FRAP-értékek azt mutatták, hogy a lenmagliszttel történő dúsítás tekinthető valamelyest előnyösebbnek a tökmagliszthez képest.

A sült zsemlékben minden esetben megnőtt az összes polifenol-tartalom és az összes antioxidáns kapacitás, mely valószínűleg a sütés során bekövetkező vízvesztés miatt történt. Mivel a zsemlék sült formában kerülnek fogyasztásra, a sült darabok polifenol-tartalmának van jelentősége a táplálkozás szempontjából, és ez 1,9-2,6-szorosára nőtt a kontroll mintához viszonyítva. Az antioxidáns kapacitás mérési eredményei is hasonló tendenciákat mutattak, azonban ott a lenmagliszt valamelyest előnyösebbnek bizonyult a tökmagliszthez képest. A két, azonos elven működő mérés elvégzésével megállapítható, hogy a maglisztek hozzáadása növelte a zsemlék táplálkozási értékét.

5. Következtetések és javaslatok

- A gluténmentes pékárukon végzett eddigi tanulmányok vizsgálattípusai alapján, diplomamunkám főleg a kémiai mérések tekintetében szolgál új információval. Ezenfelül, korábban nem végeztek vizsgálatot sem len- és/vagy tökmagliszttel dúsított gluténmentes zsemléken.
- A tök- és lenmaglisztről szóló irodalmakkal összevetve a kémiai mérések igazolták a kétféle magliszt előnyös aminosav- és antioxidáns-összetételét, a TPA mérés pedig azt, hogy a tökmagliszt adagolása, annak magas rosttartalma miatt keményíti a pékáru szerkezetét és növeli a rugalmasságot. A gluténtartalmú, lenmaglisztes kenyerek állományvizsgálatával ellentétben, esetemben a keménységértékek nőttek a kontroll mintához képest.
- A vizsgált minták estében fontos lenne a folytatásban a porozitás alaposabb vizsgálata, és a TPA teszt eredményekkel történő összehasonlítása.
- A kapott TPA eredményeket megvizsgálva érdemes lenne nagyobb mintaszámmal megismételni a méréseket, mivel a minták keménysége miatt az adatvesztés befolyásolhatta és torzíthatta is a kapott eredményeket.
- A fejlesztett termékek érzékszervi bírálata a jövőben elengedhetetlen lenne, melyre a maglisztek gluténmentességét igazoló dokumentum hiánya miatt nem volt lehetőségem a lisztkeveréket előállító gluténmentes üzemben. A tanszéki sütő kapacitása végett pedig az összes, általam vizsgált tészta rövid idő alatt történő összeállítása és kisütése sem lett volna kivitelezhető.
- Ezenfelül az érzékszervi eredmények alapján, egyrészt további statisztikai elemzéssel becsülni lehetne a fizikai és kémiai paraméterek segítségével az adott érzékszervi tulajdonságo(ka)t, másrészt pedig a bírálók tetszését leginkább elnyerő zsemlé(ke)t össze lehetne egy másik bírálaton hasonlítani (amihez glutént fogyasztó bírálókat is felkérnénk) a maglisztek azonos koncentrációban tartalmazó gluténtartalmú zsemlékkel.

6. Összefoglalás

Annak ellenére, hogy a glutén régóta fontos szerepet játszik az élelmiszeriparban, sajnos a cöliákiás betegek száma drasztikusan növekszik. Mivel tüneteik enyhítésében a gluténmentes étrendre való áttérés bizonyult a leghatékonyabbnak, ez magával vonzotta a gluténmentes élelmiszerek iránti kereslet növekedését is. Azonban ezek a termékek általában rosszabb tápértékűek és drágábbak gluténtartalmú megfelelőiknél, hacsak nem dúsítják őket valamilyen értékes összetevővel.

Diplomamunkám célja az volt, hogy megállapítsam, miként hat két, előnyös táplálkozási tulajdonságú magliszt adagolása a gluténmentes zsemlékre és azok hogyan illeszthetők be a gluténmentes étrendbe. Ennek megválaszolásához reológiai és analitikai vizsgálatokat végeztem a len- és tökmagliszttel 2,5%, 5%, 7,5% és 10%-os koncentrációkban dúsított, általam fejlesztett pékárukon. További célom volt ezáltal a hasonló szakirodalmakat áttekintve egy hiánypótló munkát létrehozni.

A kiértékelés során először a **tömegveszteségeket** számoltam ki, ahol kiderült, hogy a legnagyobb mértékű csökkenést a kontroll minta szenvedte el. A lenmagliszttel dúsított zsemle jobban megőrizték súlyukat a vízmegkötő képességüknek köszönhetően, míg a tökmagliszttel dúsítottak enyhén nagyobb nedvességvesztést szenvedtek a sütés során bekövetkező repedések miatt. A **szín mérés** alátámasztotta, hogy a sütés hatására és a maglisztek koncentrációjának növekedésével sötétedés következett be. A kétféle magliszt között a világossági tényezők tekintetében nem volt nagy különbség. Az a^* színparaméter esetében a lenmaglisztes zsemle a vörös, míg a tökmaglisztesek a zöld színtartományban helyezkedtek el. Minden zsemle pozitív, tehát sárga tartományú b^* értékkel rendelkezett, de a sütés hatására ez az érték csökkent. Az **állományvizsgálatnál** három reológiai tulajdonságra fókuszáltam: a keménységre, a kohézióra és a rugalmasságra. A magliszttel dúsított zsemlék keményebbek voltak a kontrollhoz képest, részben a csökkent szódabikarbóna-tartalom miatt, ami kevésbé levegős és tömörebb szerkezetet eredményezett. A magasabb magkoncentrációjú minták eltörése a mérés során megerősítette a bélzet keményedését és szerkezetének megváltozását. A kohézió elméletileg csökken a keménység növekedésével, de a mérések ezt csak részben támasztották alá. A lenmaglisztes mintáknál a koncentráció növekedésével a kohézió is nőtt, ami a lenmag magas zsírtartalmával magyarázható, míg a tökmaglisztes mintáknál a rosttartalom miatt csökkent. A dúsítás növelte a rugalmasságot a zsírtartalom növekedése miatt. A tökmaglisztes zsemle kisebb eltérést mutatott az első és a második

harapás közötti erőszükségletben, míg a lenmagliszteseknél több időre volt szükség a minták visszarugózásához az első terhelés után. Az elvégzett **diszkriminancia-analízis** alapján a CIE $L^*a^*b^*$ színparaméterek játszották a legfőbb szerepet a kontroll és a dúsított zsemlecsoportok 100%-ban pontos besorolásában. Ezzel ellentétben a TPA vizsgálat során kapott keménység, kohézió és rugalmasság értékek a legkevésbé megfelelő paramétereknek bizonyultak, számtalan hibás besorolást eredményezve. Az **aminosav-analízis** kimutatta, hogy a dúsítás mindegyik esetben növelte a zsemlek összfehérje-, összesszenciális és ezzel együtt az elágazó láncú aminosav-tartalmát. A növekedés a tökmaglisztes zsemleknél volt nagyobb mértékű, így ebből a szempontból ezen magliszt fogyasztása tekinthető előnyösebbnek. Azonban a mért értékek még mindig túl alacsonyak ahhoz, hogy az egészséges, átlagos életvitelű felnőttek napi fehérjeszükségletéhez számottevő mértékben hozzájáruljanak. A zsemlek komplettálása a maglisztekkel nem volt eredményes, a limitáló aminosavak az izoleucin és a lizin voltak, mely utóbbiból többnyire a tökmaglisztes zsemlek tartalmaztak kevesebbet. Az **összes polifenol-tartalom** és az **összes antioxidáns kapacitás** a sült zsemleekben minden esetben megnőtt, valószínűleg a sütés során bekövetkező vízvesztés okán. A két, azonos elven működő méréssel megállapítottam, hogy a maglisztek, az FRAP módszer alapján főleg a lenmagból származó, hozzáadása növelte a zsemlek táplálkozási értékét.

Diplomamunkámban korábban nem vizsgált, len- és tökmagliszttel dúsított gluténmentes kenyérfélék vizsgálatát végeztem el. Kémiai méréseim megerősítették a maglisztek előnyös aminosav- és antioxidáns-tartalmát, míg a TPA mérés bizonyította, hogy a tökmagliszt hozzáadása növeli a pékáru szerkezetének keménységét és rugalmasságát. Azonban esetemben a keménység növekedett a kontroll mintához képest, ellentétben a gluténtartalmú lenmaglisztes kenyereken végzett vizsgálatokkal.

További kutatások során kiemelten fontos lenne a vizsgált minták porozitásának részletes elemzése és az eredmények összevetése egy nagyobb mintaszámú, és így az adatvesztésen alapuló torzítást elkerülő TPA teszt eredményeivel. A fejlesztett termékek érzékszervi minősítése elengedhetetlen lenne a jövőben, azonban ehhez szükség lesz egy, a maglisztek gluténmentességét igazoló dokumentumra. A bírálók pontjai alapján az adott érzékszervi tulajdonságo(ka)t becsülni lehetne a fizikai és kémiai paraméterek segítségével, illetve a tetszésüket leginkább elnyert zsemle(ke)t összehasonlítani a maglisztekkel azonos koncentrációban tartalmazó gluténtartalmú zsemlellyel egy további, glutént is fogyasztó bírálók bevonásával rendezett minősítésen.

Irodalomjegyzék

1. Alkhalifa, F. M., Deeb, F. A. A., Al-Saleh, W. M., Al Hamad, S. S., Adams, C. (2023): Knowledge of and behaviors toward a gluten-free diet among women at a health sciences university. *Journal of Taibah University Medical Sciences* 18(6): 1567-1576. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2023.07.012>
2. Apak R., Guclu K., Demirata B., Ozyurek M., Celik S. E., Bektasoglu B., Berker K. I. és Ozyurt D. (2007): Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules* 12(7): 1496-1547. DOI: <https://doi.org/10.3390/12071496>
3. Arendt, E. K., Morrissey, A., Moore, M. M., Dal Bello, F. (2008): Gluten-free breads. Chapter 13. In: Arendt, E. K., Dal Bello, F. (ed): *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*, Elsevier, Oxford, USA, pp. 289-319 ISBN: 978-0-12-373739-7
4. Arora, K., Tlais, A. Z. A., Augustin, G., Grano, D., Filannino, P., Gobetti, M., Di Cagno, R. (2023): Physicochemical, nutritional, and functional characterization of gluten-free ingredients and their impact on the bread texture. *LWT* 177: 114566. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114566>
5. Arslan, M., Rakha, A., Xiaobo, Z., Mahmood, M. A. (2019): Complimenting gluten free bakery products with dietary fiber: Opportunities and constraints. *Trends in food science & technology* 83: 194-202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.011>
6. Aydin I., Colakoglu G. (2005): Effects of surface inactivation, high temperature drying and preservative treatment on surface roughness and colour of alder and beech wood. *Applied Surface Science*. 252(2): 430-440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.01.022>
7. Balogh, E. (2010): Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata bogyós gyümölcsök esetében. Budapesti Corvinus Egyetem, Alkalmazott Kémia Tanszék, Budapest, doktori értekezés
8. Batista, J. E. R., Braga, L. P., Oliveira, R. C. D., Silva, E. P., Damiani, C. (2018): Partial replacement of wheat flour by pumpkin seed flour in the production of cupcakes filled with carob. *Food Science and Technology* 38: 250-254. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.36116>
9. Bátor, E. (2019): A Kápia fajtatípusú étkezési paprika eltarthatóságának vizsgálata objektív roncsolásmentes módszerrel. Szent István Egyetem, Árukezelés és Érzékszervi Minősítési Tanszék, Budapest, diplomadolgozat

10. Bialek, M., Rutkowska, J., Adamska, A., Bajdalow, E. (2016): Partial replacement of wheat flour with pumpkin seed flour in muffins offered to children. *CyTA-Journal of Food*. 14(3): 391-398. DOI: 10.1080/19476337.2015.1114529
11. Biesiekierski, J. R., Iven, J. (2015): Non-coeliac gluten sensitivity: piecing the puzzle together. *United European gastroenterology journal*. 3(2): 160-165. DOI: 10.1177/2050640615578388
12. Biesiekierski, J. R. (2017): What is gluten?. *Journal of gastroenterology and hepatology* 32: 78-81. DOI: <https://doi.org/10.1111/jgh.13703>
13. Bissinger, J. G. (2012): Knowledge and understanding of gluten and the gluten-free diet by students at James Madison University, James Madison University, Harrisonburg, VA, USA, master's thesis
14. Bódi, Z. (2007): A genetikai polimorfizmus, címeralkotó elemek és néhány minőségi tulajdonság vizsgálata kukorica genotípusoknál. Debreceni Egyetem, Kertészettudományi és Növényi Biotechnológiai Tanszék, Debrecen, doktori értekezés
15. Boór, A. (2017): Bogyós gyümölcsök levének besűrítése kíméletes, membrán szeparációs eljárással. Pannon Egyetem, Biomérnöki, Membrántechnológiai és Energetikai Kutató Intézet, Veszprém, doktori értekezés
16. Borbély, D. (2018): Alternatív növényi eredetű fehérjeforrások vizsgálata. Szent István Egyetem, Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék, Budapest, diplomadolgozat
17. Burešová, I., Tokár, M., Mareček, J., Hřivna, L., Faměra, O., Šottníková, V. (2017): The comparison of the effect of added amaranth, buckwheat, chickpea, corn, millet and quinoa flour on rice dough rheological characteristics, textural and sensory quality of bread. *Journal of Cereal Science* 75: 158-164. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.04.004>
18. Cao G. H. és Prior R. L. (1998): Comparison of different analytical methods for assessing total antioxidant capacity of human serum. *Clinical Chemistry*. 44(6): 1309-1315. DOI: <https://doi.org/10.1093/clinchem/44.6.1309>
19. Chau, C. F., Huang, Y. L. (2003): Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibers prepared from the peel of *Citrus sinensis* L. Cv. Liucheng. *Journal of agricultural and food chemistry*. 51(9): 2615-2618. DOI: [10.1021/jf025919b](https://doi.org/10.1021/jf025919b)
20. Chaudhry, N. A., Jacobs, C., Green, P. H., Rampertab, S. D. (2021): All things gluten: A review. *Gastroenterology Clinics*. 50(1): 29-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gtc.2020.10.007>

21. Csima Gy. (2015): Zselatin alapú édesipari termék reológiájának jellemzése; Doktori disszertáció; Budapest Corvinus Egyetem; Budapest
22. Darragh, A.J., Moughan, P.J. (2005): The effect of hydrolysis time on amino acid analysis. *Journal of AOAC International*. 88(3): 888-893. DOI: <https://doi.org/10.1093/jaoac/88.3.888>
23. Devlin, J. (2013): Nutrient intakes of healthy adults on a gluten-free diet, Eastern Michigan University, Ypsilanti, MI, USA, master's thesis
24. Drakula, S., Novotni, D., Mustač, N. Č., Voučko, B., Krpan, M., Hruškar, M., Čurić, D. (2021): Alteration of phenolics and antioxidant capacity of gluten-free bread by yellow pea flour addition and sourdough fermentation. *Food Bioscience* 44: 101424. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101424>
25. Ettre, L. S., Gehrke, C. W. (2006): The development of the amino acid analyzer. *LC-GC North America*. 24(4): 390-400. DOI: https://doi.org/10.1142/9781860949449_0019
26. FAO (2018): Protein quality assessment in follow-up formula for young children and ready to use therapeutic foods. FAO, Rome, Italy ISBN: 978-92-5-131120-2
27. Figuerola, F., Hurtado, M. L., Estévez, A. M., Chiffelle, I., Asenjo, F. (2005): Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food chemistry*. 91(3): 395-401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.04.036>
28. Franco, W., Evert, K., Van Nieuwenhove, C. (2021): Quinoa flour, the germinated grain flour, and sourdough as alternative sources for gluten-free bread formulation: impact on chemical, textural and sensorial characteristics. *Fermentation*. 7(3): 115. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation7030115>
29. Glicksman, M., (1979): Gelling hydrocolloids in food product applications. In: Blanshard, J. M. V., Mitchell, J.R. (ed.): Polysaccharides in Foods, Butterworth, London, UK, pp. 185–204.
30. Hager, A. S., Arendt, E. K. (2013): Influence of hydroxypropylmethylcellulose (HPMC), xanthan gum and their combination on loaf specific volume, crumb hardness and crumb grain characteristics of gluten-free breads based on rice, maize, teff and buckwheat. *Food hydrocolloids*. 32(1): 195-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.12.021>
31. Hall III, C. A., Manthey, F. A., Lee, R. E., Niehaus, M. (2005): Stability of α -linolenic acid and secoisolariciresinol diglucoside in flaxseed-fortified macaroni. *Journal of food science*. 70(8): 483-489. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11505.x>

32. Hao, Z., Zheng, Q., Jin, L., Zhou, S., Chen, H., Liu, X., Lu, C. (2021): Rapid measurement of total polyphenol content in tea by kinetic matching approach on microfluidic paper-based analytical devices. *Food Chemistry* 342: 128368. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128368>
33. Hegedűs, A. (2013): A csonthéjas gyümölcsök antioxidáns hatásában megnyilvánuló genetikai variabilitás jellemzése. Budapest Corvinus Egyetem, Genetika és Növénytermesztés Tanszék, Budapest, doktori értekezés
34. Hoppe, C., Göbel, R., Kristensen, M., Lind, M. V., Matthiessen, J., Christensen, T., Trolle, E., Fagt, S., Madsen, M. L., Husby, S. (2017): Intake and sources of gluten in 20-to 75-year-old Danish adults: a national dietary survey. *European journal of nutrition* 56: 107-117. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1062-3>
35. Houben, A., Höchstätter, A., Becker, T. (2012): Possibilities to increase the quality in gluten-free bread production: an overview. *European Food Research and Technology* 235: 195-208. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1720-0>
36. Internet 1. Okostányér: kijött az új ajánlás, hogy mennyi zöldséget, gyümölcsöt kellene enni. <https://www.egeszsegkalauz.hu/életmod/taplalkozas/okostanyer-kijott-az-uj-ajanlas-hogy-mennyi-zoldseget-gyumolcsot-kellene-enni/0s0ksvp> (Megtekintés dátuma: 2023.02.24.)
37. Internet 2. Automatic amino acid analyser AAA 400. https://www.pikron.com/pages/products/hplc/aaa_400.html (Megtekintés dátuma: 2023.08.17.)
38. Internet 3. EDEN PREMIUM Lenmagliszt 500 g. <https://www.edenpremium.hu/products/lenmagliszt-500g> (Megtekintés dátuma: 2023.10.26.)
39. Központi Statisztikai Hivatal (2019): Élet glutén nélkül – cöliákia, lisztérzékenység nemzetközi napja, május 16. https://www.ksh.hu/infografika/2021/glutenmentes_infografika.pdf (Megtekintés dátuma: 2023.10.13.)
40. Központi Statisztikai Hivatal (2022): 14.1.2.11. Az egy főre jutó éves élelmiszer-fogyasztás mennyisége régió és a települések típusa szerint (2010-2020) https://www.ksh.hu/stadat_files/jov/hu/jov0051.html
41. Kranl K., Schlesier K., Bitsch R., Hermann H., Rohe M. és Böhm V. (2005): Comparing antioxidative food additives and secondary plant products - use of different assays. *Food Chemistry*. 93(1): 171-175. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.012>

42. Kristensen, M., Savorani, F., Christensen, S., Engelsen, S. B., Bügel, S., Toubro, S., Tetens, I., Astrup, A. (2013): Flaxseed dietary fibers suppress postprandial lipemia and appetite sensation in young men. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 23(2): 136-143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2011.03.004>
43. Kucek, L. K., Veenstra, L. D., Amnuaycheewa, P., Sorrells, M. E. (2015): A grounded guide to gluten: how modern genotypes and processing impact wheat sensitivity. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 14(3): 285-302. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12129>
44. Kupper, C. (2005): Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*. 128(4): S121-S127. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2005.02.024>
45. Levent, H. (2019): Physical, chemical and sensory evaluation of gluten-free tarhana with legume hulls and flours. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 11(4): 401-409. DOI: 10.3920/QAS2018.1538
46. Leffler, D. A., Dennis, M., George, J. B. E., Jamma, S., Magge, S., Cook, E. F., Schuppan, D. Kelly, C. P. (2009): A simple validated gluten-free diet adherence survey for adults with celiac disease. *Clinical Gastroenterology and Hepatology* 7(5): 530-536. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cgh.2008.12.032>
47. Litvynchuk, S., Galenko, O., Cavicchi, A., Ceccanti, C., Mignani, C., Guidi, L., Shevchenko, A. (2022): Conformational changes in the structure of dough and bread enriched with pumpkin seed flour. *Plants*. 11(20): 2762. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants11202762>
48. Mancebo, C. M., Merino, C., Martínez, M. M., & Gómez, M. (2015). Mixture design of rice flour, maize starch and wheat starch for optimization of gluten free bread quality. *Journal of Food Science and Technology* 52: 6323-6333. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1769-4>
49. Magyar Élelmiszerkönyv 1-3/16-1 számú irányelv (2016): Sütőipari termékek. https://elelmiszerlanc.kormany.hu/download/2/2b/a2000/1_3_16_1%20M%C3%89%20S%C3%BCt%C5%91ipari%20term%C3%A9kek_%202018%20janu%C3%A1r%201_m%C3%B3dos%C3%ADt%C3%A1s.pdf (Megtekintés dátuma: 2023.02.24.)
50. Marpalle, P., Sonawane, S. K., Arya, S. S. (2014): Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT-Food Science and Technology*. 58(2): 614-619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.003>

51. Miñarro, B., Albanell, E., Aguilar, N., Guamis, B., Capellas, M. (2012): Effect of legume flours on baking characteristics of gluten-free bread. *Journal of cereal science*. 56(2): 476-481. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.012>
52. Mir, N. A., Gul, K., Riar, C. S. (2015): Technofunctional and nutritional characterization of gluten-free cakes prepared from water chestnut flours and hydrocolloids. *Journal of Food Processing and Preservation*. 39(6): 978-984. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfpp.12311>
53. Missbach, B., Schwingshackl, L., Billmann, A., Mystek, A., Hickelsberger, M., Bauer, G., König, J. (2015): Gluten-free food database: the nutritional quality and cost of packaged gluten-free foods. *PeerJ* 3: e1337. DOI: 10.7717/peerj.1337
54. Morris, D. H. (2001): Essential nutrients and other functional compounds in flaxseed. *Nutrition Today*. 36(3): 159-162.
55. Muir, A. D., Westcott, N. D. (2000): Quantitation of the lignan secoisolariciresinol diglucoside in baked goods containing flax seed or flax meal. *Journal of agricultural and food chemistry*. 48(9): 4048-4052. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf990922p>
56. Niland, B., Cash, B. D. (2018): Health benefits and adverse effects of a gluten-free diet in non-celiac disease patients. *Gastroenterology & hepatology*. 14(2): 82-91.
57. Paciulli, M., Rinaldi, M., Cirlini, M., Scazzina, F., Chiavaro, E. (2016): Chestnut flour addition in commercial gluten-free bread: A shelf-life study. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie* 70: 88-95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.034>
58. Patel, S. (2013): Pumpkin (*Cucurbita* sp.) seeds as nutraceutic: a review on status quo and scopes. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*. 6(3): 183-189. DOI: 10.3233/s12349-013-0131-5
59. Pecyna, A., Buczaj, A., Różyło, R., Kobus, Z. (2023): Physical and Antioxidant Properties of Innovative Gluten-Free Bread with the Addition of Hemp Inflorescence. *Applied Sciences*. 13(8): 4889. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13084889>
60. Rosell, C.M., Marco, C., (2008): Rice. Chapter 4. In: Arendt, E., Dal Bello, F. (ed.), *Gluten-Free Cereal Products and Beverages*, Elsevier, Oxford, USA, pp. 81–100 ISBN: 978-0-12-373739-7
61. Rostamian, M., Milani, J. M., Maleki, G. (2014): Physical properties of gluten-free bread made of corn and chickpea flour. *International Journal of Food Engineering*. 10(3): 467-472. DOI: <https://doi.org/10.1515/ijfe-2013-0004>
62. Sanchez, H. D., Osella, C. A., De La Torre, M. A. (2002): Optimization of gluten-free bread prepared from cornstarch, rice flour, and cassava starch. *Journal of food science*. 67(1): 416-419. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb11420.x>

63. Shewry, P. R., Lookhart, G. L. (ed.) (2003): Wheat gluten protein analysis. American Association of Cereal Chemists (AACC), St Paul, MN, USA, ISBN: 1891127322
64. Szegedi Tudományegyetem Természettudományi és Informatikai Kar Biokémiai és Molekuláris Biológiai Tanszék (2012): „Az vagy, amit eszel” Táplálkozásbiokémia, pathobiokémia
65. Szűcs, V. (szerk.) (2018): Élelmiszeripari kézikönyv 2. Gluténmentes élelmiszerek. Nemzeti Agrárgazdasági Kamara, Budapest, ISBN: 978-615-5307-46-1
66. Taghdir, M., Mazloomi, S. M., Honar, N., Sepandi, M., Ashourpour, M., Salehi, M. (2017): Effect of soy flour on nutritional, physicochemical, and sensory characteristics of gluten-free bread. *Food Science & Nutrition*. 5(3): 439-445. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.411>
67. Thompson, T., Dennis, M., Higgins, L. A., Lee, A. R., Sharrett, M. K. (2005): Gluten-free diet survey: are Americans with coeliac disease consuming recommended amounts of fibre, iron, calcium and grain foods?. *Journal of human nutrition and dietetics*. 18(3): 163-169. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-277X.2005.00607.x>
68. Torbica, A., Hadnađev, M., Hadnađev, T. D. (2012): Rice and buckwheat flour characterisation and its relation to cookie quality. *Food Research International*. 48(1): 277-283. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.001>
69. Tóth, M., Kaszab, T., Meretei, A. (2022): Texture profile analysis and sensory evaluation of commercially available gluten-free bread samples. *European Food Research and Technology*. 248(6): 1447–1455. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03944-2>
70. Tsatsaragkou, K., Protonotariou, S., Mandala, I. (2016): Structural role of fibre addition to increase knowledge of non-gluten bread. *Journal of Cereal Science* 67: 58-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.10.003>
71. Turkut, G. M., Cakmak, H., Kumcuoglu, S., Tavman, S. (2016): Effect of quinoa flour on gluten-free bread batter rheology and bread quality. *Journal of Cereal Science* 69: 174-181 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.03.005>
72. Ua-Arak, T., Jakob, F., Vogel, R. F. (2017): Influence of levan-producing acetic acid bacteria on buckwheat-sourdough breads. *Food microbiology* 65: 95-104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.02.002>
73. VIII. Magyar Gyógyszerkönyv Ph. Eur. 6.6 kiegészítő kötet (2011): Aminosav-analízis. Országos Gyógyszerészeti Intézet, Budapest
74. Ward, D., Ainsworth, P. (1998): The development of a nutritious low cost weaning food for Kenya infants. *African Journal of health sciences*. 5(1-2): 89-95.

75. Wieser, H. (2007): Chemistry of gluten proteins. *Food microbiology*. 24(2): 115-119. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.004>
76. Wójcik, M., Różyło, R., Schönlechner, R., Berger, M. V. (2021): Physico-chemical properties of an innovative gluten-free, low-carbohydrate and high protein-bread enriched with pea protein powder. *Scientific Reports*. 11(1): 14498. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93834-0>
77. Yeşil, S., Levent, H. (2022): The influence of fermented buckwheat, quinoa and amaranth flour on gluten-free bread quality. *LWT* 160: 113301. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113301>
78. Ziobro, R., Juszczak, L., Witczak, M., Korus, J. (2016): Non-gluten proteins as structure forming agents in gluten free bread. *Journal of food science and technology*. 53(1): 571-580. DOI: [10.1007/s13197-015-2043-5](https://doi.org/10.1007/s13197-015-2043-5)
79. Zorzi, C. Z., Garske, R. P., Flôres, S. H., Thys, R. C. S. (2020): Sunflower protein concentrate: A possible and beneficial ingredient for gluten-free bread. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 66: 102539. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102539>
80. Zsom, T. (2017): Gyökérzöldségek és burgonyafélék áruismerete, minőségi jellemzői, értékmérő tulajdonságai, áruátvételi szempontok. Szent István Egyetem, Budapest

Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. ábra A búzamag összetétele (Wieser, 2007)	5
2. ábra A gluténnel kapcsolatos rendellenességek osztályozása	7
3. ábra Gluténmentességet szemléltető ábrák	10
4. ábra A CIELAB színtér koordinátái.....	20
5. ábra Az FRAP módszer elméleti alapja	21
6. ábra A kontroll minták kelesztés előtt és után, valamint kisülve	25
7. ábra Az SMS TA-XTplusz precíziós állománymérő berendezés mérés közben	26
8. ábra Élelmiszer jellegzetes TPA mérési görbéje kiértékelési magyarázattal	26
9. ábra AAA 400 Automatikus Aminosav Analizátor	29
10. ábra A kisütött zsemlek mérési felülete	31
11. ábra A zsemlek százalékban kifejezett tömegvesztése.....	32
12. ábra A sütési tömegvesztések varianciaanalízise	33
13. ábra A nyers tészták színmérésének összesített eredményei.....	34
14. ábra A sült bélzetek színmérésének összesített eredményei	34
15. ábra A minták nyers tésztájának világossági szintényezői.....	35
16. ábra A sült minták bélzetének világossági tényezői.....	36
17. ábra A nyers tészták és a kisült zsemlek világossági szintényezőinek varianciaanalízise	36
18. ábra A minták nyers tésztájának vörös-zöld szintényezői.....	37
19. ábra A sült minták bélzetének vörös-zöld szintényezői	37
20. ábra A nyers tészták és a kisült zsemlek vörös-zöld szintényezőinek varianciaanalízise	38
21. ábra A minták nyers tésztájának sárga-kék szintényezői	38
22. ábra A sült minták bélzetének sárga-kék szintényezői.....	39
23. ábra A nyers tészták és a kisült zsemlek sárga-kék szintényezőinek varianciaanalízise	39
24. ábra A sült minták keménységértékei	41
25. ábra A keménységértékek varianciaanalízise.....	41
26. ábra A sült minták kohézió értékei	43
27. ábra A kohézió értékek varianciaanalízise	43
28. ábra A sült minták rugalmasság értékei	44
29. ábra A rugalmasság értékek varianciaanalízise.....	45
30. ábra A zsemleminták diszkriminancia-analízise (Function1-Function2) a CIE L*a*b* színparaméter eredményei alapján	46
31. ábra A zsemleminták diszkriminancia-analízise (Function1-Function2) az összes fizikai paraméter eredményei alapján	47
32. ábra A zsemleminták diszkriminancia-analízise (Function1-Function2) a TPA mérés keménység, kohézió és rugalmasság eredményei alapján.....	48
33. ábra A sült minták összfehérje-tartalma g/100 g zsemlekre vonatkoztatva	49
34. ábra A FAO és a WHO általam felhasznált referencia fehérjének aminosav-összetétele	52
35. ábra A nyers tésztákban mért összes polifenol-tartalom	54
36. ábra A sült tésztákban mér összes polifenol-tartalom (mg GSE/100 g minta).....	54
37. ábra A nyers zsemlek összes antioxidáns kapacitása aszkorbinsav egyenértékben FRAP módszer szerint (mMAAE/100 g minta).....	56
38. ábra A sült zsemlek összes antioxidáns kapacitása aszkorbinsav egyenértékben FRAP módszer szerint (mMAAE/100 g minta).....	56

1. táblázat Gluténmentes lisztek hatása kenyerekre.....	16
2. táblázat Felhasznált alapanyag-mennyiségek	24
3. táblázat Az analizátor paraméterei és a mérés körülményei	29
4. táblázat A zsemlecsoportok diszkriminancia-elemzésének keresztvalidációs táblázata a keménység, kohézió és rugalmasság eredményei alapján.....	47
5. táblázat A kontroll és a tökmagos zsemlek esszenciális aminosav-összetétele [mg/g fehérje].....	50
6. táblázat A lenmagos zsemlek esszenciális aminosav-összetétele [mg/g fehérje]	50
7. táblázat A kontroll és a tökmagos zsemlek aminosav arányai és limitáló aminosavai	52
8. táblázat A lenmagos zsemlek aminosav arányai és limitáló aminosavai	53
9. táblázat A minták szárazanyagra vonatkoztatott összes polifenol-tartalmának (TPC) változása a sütés hatására.....	55

Melléklet

M1. táblázat: A minták nevei és azok jelentése

(Forrás: saját szerkesztés)

Minta neve	Jelentés
K	Kontroll
L2,5	Lenmaglisztet 2,5%-os koncentrációban tartalmazó
L5	Lenmaglisztet 5%-os koncentrációban tartalmazó
L7,5	Lenmaglisztet 7,5%-os koncentrációban tartalmazó
L10	Lenmaglisztet 10%-os koncentrációban tartalmazó
T2,5	Tökmaglisztet 2,5%-os koncentrációban tartalmazó
T5	Tökmaglisztet 5%-os koncentrációban tartalmazó
T7,5	Tökmaglisztet 7,5%-os koncentrációban tartalmazó
T10	Tökmaglisztet 10%-os koncentrációban tartalmazó

Köszönetnyilvánítás

A jelentős tudományos utazáshoz, amelyen diplomamunkám készítése közben részt vettem, szeretnék őszinte köszönetet mondani két konzulensemnek, Dr. Mednyánszky Zsuzsának és Dr. Kaszab Tímeának, akik nélkülözhetetlen támaszai voltak ennek a folyamatnak. Az Önök szakértelme iránytűként szolgált nekem az ismeretek tengerén, míg bátorításuk fényként ragyogott a bizonytalanság pillanataiban. A kihívásokkal teli időszakokban nyújtott támogatásuk és a végtelen türelem, amellyel útmutatást adtak, mély nyomot hagyott bennem, és ezért mélyen hálás vagyok. Kérem, fogadják még egyszer őszinte köszönetemet, amelyet diplomamunkám minden oldala tükröz.

Szívemből jövő köszönet illeti a családomat és barátaimat is. A szeretetük, bátorításuk és megértésük volt az a biztos alap, amelyre építkezve folytathattam tudományos munkám.

Hálás és nagyon szerencsés vagyok, hogy az életem részei vagytok.

NYILATKOZAT

a diplomadolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Tari Tamara Rita
A Hallgató Neptun kódja: EAMSC8
A dolgozat címe: Lenmag- és tökmagliszt felhasználásának táplálkozásélettani és reológiai hatása
A megjelenés éve: 2023
A konzulensek intézetének neve: Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulensek tanszékének a nevei: Táplálkozástudományi Tanszék
Élelmiszeripari Méréstechnika és Automatizálás 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.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan 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: 2023. év 10. hó 27. nap

Tari Tamara Rita
Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

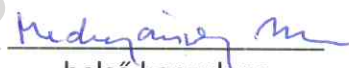
Tari Tamara Rita (EAMSC8) konzulenseiként nyilatkozunk arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettük, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattuk.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javasoljuk / nem javasoljuk.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: 2023. év 10. hó 27. nap


belső konzulens


belső konzulens