

SZAKDOLGOZAT

Szabó Kamilla Tünde szakdolgozat

SZABÓ KAMILLA TÜNDE

2025



MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

Élelmiszertudományi és
Technológiai Intézet

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus, Budapest

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Élelmiszermérnöki alapképzési szak (BSc)

BÉKALENCSÉVEL, MINT ALTERNATÍV FEHÉRJEFORRÁSSAL DÚSÍTOTT SZÁRAZTÉSZA FEJLESZTÉSE

Belső konzulens: Dr. Szedljak Ildikó Judit egyetemi adjunktus

Belső konzulens tanszéke: Gabona és Iparinövény Technológia Tanszék

Belső konzulens: Dr. Takács Krisztina Mária tudományos főmunkatárs

Belső konzulens tanszéke: Táplálkozástudományi Tanszék

Készítette: Szabó Kamilla Tünde (RNJ68K)

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, problémafelvetés és célkitűzések	1
1.1. Bevezetés.....	1
1.2. Problémafelvetés	2
1.3. Célkitűzések	2
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. Fehérjék szerepe a táplálkozásban.....	4
2.2. Élelmiszer fehérjeforrások	4
2.2.1. Húsfehérjék	7
2.2.2. A növényi fehérjék	7
2.2.3. Alternatív fehérjeforrások az élelmiszeriparban.....	7
2.3. Békalencse, mint alternatív fehérjeforrás az élelmiszeriparban	9
2.3.1. <i>Lemna minor</i> L.	11
2.3.2. A békalencse fajok beltartalmi jellemzői	11
2.3.3. A békalencse emészthetősége és biológiai értéke	16
2.3.4. A békalencse élelmiszerbiztonsági kockázata	18
2.3.5. Békalencse, mint új élelmiszer	19
2.4. Tulajdonságok	20
2.4.1. Zselésedés és oldhatóság	20
2.4.2. Habképző képesség	20
2.4.3. Emulgeáló tulajdonság	21
2.4.4. Víz/olaj tárolóképesség	21
2.4.5. Húsos íz	21
2.4.6. A textúra	21
2.4.7. A növényi fehérjék szerkezeti-funkcionális kapcsolata	22
2.5. <i>Lemna minor</i> mint takarmány	23
2.5.1. Haltakarmány	23
2.5.2. Baromfitakarmány	24
2.5.3. Sertéstakarmány	24

2.5.4. Kérődzőtakarmány	25
2.6. Békalencse felhasználásával készült élelmiszeripari termékek	25
3. Anyagok és módszerek.....	28
3.1. Felhasznált alapanyagok.....	28
3.1.1 Kölesliszt	28
3.1.2. Útifűmaghéj liszt	28
3.1.3. Békalencse.....	29
3.2. Tészta minták	30
3.3. Vizsgálatok.....	31
3.3.1.: Statikus humán <i>in vitro</i> emésztési modell.....	31
3.3.2. Nedvességtartalom mérés.....	34
3.3.3. Vízáktivitás mérése	35
3.3.4. Szín mérés	36
3.3.5. Extraktum készítése.....	37
3.3.6. Az antioxidáns kapacitás mérésének elmélete és menete.....	37
3.3.7. Összes polifenol tartalom meghatározása.....	40
3.3.8. Fehérjeteralom meghatározásának elmélete és menete.....	41
3.3.9. Főzési tulajdonságok meghatározása MSZ 200500/1-1985 szerint: Főzési idő meghatározása	43
3.3.10. Főzési tulajdonságok meghatározása MSZ 200500/1-1985 szerint: Duzzadóképeség (vízfelvétel mennyiségének) meghatározása.....	43
3.3.11. Főzési tulajdonságok meghatározása MSZ 200500/1-1985 szerint: Szétfőzés és összetapadás mértékének meghatározása	43
3.4. Az eredmények kiértékeléséhez használt statisztikai módszerek.....	43
4. Eredmények és kiértékelésük	44
4.1. Tápérték adatok	44
4.2. Nedvességtartalom	33
4.3. Vízáktivitás.....	34
4.4. Szín mérés	37
4.5. Antioxidáns kapacitás meghatározása.....	38

4.6. Összes polifenol tartalom meghatározása	39
4.7. Fehérjetartalom meghatározása	40
4.8. Főzési tulajdonságok meghatározása (MSZ 200500/1-1985)	41
5. Következtetések és javaslatok	43
5.1. Következtetések	43
5.2. Javaslatok	44
6. Összefoglalás	45
7. Köszönetnyilvánítás	47
8. Felhasznált irodalmak	48
9. Ábrák és táblázatok jegyzéke	54
9.1. Ábrák jegyzéke:	54
9.2. Táblázatok jegyzéke:	55
10. Mellékletek	56
1. számú melléklet	56
2. számú melléklet	57
3. számú melléklet	58
11. Hallgatói nyilatkozat	59
12. Konzulensi nyilatkozat	60
13. MI nyilatkozat	62

1. Bevezetés, problémafelvetés és célkitűzések

1.1. Bevezetés

Az élelmiszertudományban egyre nagyobb figyelmet kapnak az alternatív fehérjeforrások, melyek kulcsszerepet játszanak az új termékek fejlesztésében is (Wood & Tavan, 2022). A bolygónk népességének növekedésével párhuzamosan egyre több élelmiszert kell előállítanunk, miközben törekednünk kell mezőgazdaságunk környezeti terhelésének mérséklésére is (Wood & Tavan, 2022), hiszen a hagyományos állati fehérjék előállításának jelentős ökológiai lábnyoma van (De Beukelaar et al., 2019). Az utóbbi években a kereslet az állati fehérjék iránt számottevően nőtt, ugyanakkor a fehérjebevitel általános fontosságának növekedésével párhuzamosan a növényi fehérjealapú termékek piaca is gyors bővülés előtt áll (Ismail et al., 2020). A növényi eredetű fehérjék versenyképes előállítási költségeik révén képesek lehetnek piaci részesedést elvenni az állati fehérjéktől, melyek magukban foglalják a tej-, tojás-, valamint húsalapú forrásokat is (Ismail et al., 2020).

Az állati eredetű összetevőket nem igénylő, ezáltal környezetbarátabb, úgynevezett alternatív fehérjék fejlesztése egyre nagyobb hangsúlyt kap (Poore & Nemecek, 2018). Az alternatív fehérjeforrásokat több csoportra oszthatjuk: növényi alapú hús- és tejtermékek (hüvelyes növények, gabonák, algák, békalencsék stb.), erjesztett és sejttenyésztett termékek, rovarfehérjék, valamint mikroalgákon alapuló termékek (Wood & Tavan, 2022). Mindegyik csoportnak a feladata ugyanaz, helyettesítsék és egészítsék ki a meglévő állati eredetű fehérjéket.

A sejttenyésztett, laboratóriumban előállított húsok is ígéretesnek mutatkoznak több tényező miatt is. Kutatások szerint a mesterséges hús előállítása akár 96%-kal kevesebb üvegházhatású gázt eredményezhet, miközben 99%-kal kevesebb földterületet és 82–96%-kal kevesebb vizet igényel, mint a hagyományos marhahústermelés (Tuomisto & Teixeira de Mattos, 2011). A rovarfogyasztás évszázadok óta elterjedt étkezési szokás, főként Ázsia és Afrika egyes régióiban. Fenntartható alternatívának tekinthető, mivel az ehető rovarok jelentős mennyiségű fehérjét és többszörösen telítetlen zsírsavat tartalmaznak, noha ezek aránya fajonként változó. További előnyük, hogy a takarmányt jóval hatékonyabban képesek ehető biomasszává alakítani, mint a hagyományos haszonállatok (Halloran et al., 2017; Hadi & Brightwell, 2021). Kutatások és táplálkozástudományi vizsgálatok kimutatásai szerint a mikroalgákból származó fehérjék magas tápértékűek, minőségük hasonló a hagyományos növényi fehérjékéhez. Ennek ellenére ipari elterjedésüket jelenleg gátolja a magas előállítási

költségük és az ezzel járó technikai kihívások, különösen az ízletes élelmiszerekbe való beépítésük terén. Emiatt jelenleg az ezekből készült termékek többsége ételkiegészítőként, kozmetikai alapanyagként, vagy állati takarmányként kerül forgalomba (Becker, 2007).

1.2. Problémafelvetés

Társadalmunk számbeli és életszínvonalbeli növekedése, valamint a jelentős környezeti terhelése miatt a hagyományos állati fehérjék előállítása hosszú távon nem lehet fenntartható (De Beukelaar et al., 2019). Előrejelzések szerint 2050-re a Föld lakossága meghaladhatja a 9,7 milliárd főt is (UN, 2019), melynek döntő hányada Afrika, valamint Ázsia fejlődő régióiban fog élni. Ennek következtében az alternatív fehérjék széles körű elterjedéséhez kulcsfontosságú lesz, hogy ezek a termékek mind megfizethetőek, mind könnyen hozzáférhetőek legyenek a különböző társadalmi rétegeknek (Wood & Tavan, 2022).

A mezőgazdaság jelenleg az üvegházhatású gázkibocsátás mintegy 26%-áért felel, melynek legnagyobb részét, körülbelül a felét, az állattenyésztés teszi ki (Poore & Nemecek, 2018). Az állati hús előállítása ezen felül is jelentős mértékben hozzájárul a környezet romlásához világszerte. A húsvágás miatt tartott haszonállatok a Föld jégmentes területeinek közel egyharmadát és az édesvízkészletek mintegy 8%-át veszik igénybe (Tuomisto & Teixeira de Mattos, 2011). Az állati eredetű termékek előállítása ezek mellett jelentős szerepet játszik az erdők kiirtásában, a természetes élőhelyek lerombolásában, valamint a folyók és a tavak eutrofizációjában is - mely során elsősorban a nitrogén és foszfor felhalmozódásának következtében az algák és más vízi növények túlszaporodnak az élővizekben (Tuomisto & Teixeira de Mattos, 2011; Rónay, 2023).

1.3. Célkitűzések

Szakedolgozatom fő célja olyan száraztészta előállítása, amely hagyományos állati fehérje helyett alternatív fehérjeforrást használ fel.

Fontosnak tartottam ezt a témát, ugyanis a növekedő népesség hatására a jövőben szükség lesz alternatív fehérjeforrásokra is.

Célom adalékanyagmentes, jó tápértékű (pl. magas fehérje tartalmú, antioxidáns) termék kifejlesztése. Szeretnék olyan megoldást biztosítani, amelyet a vegetáriánus étrendet követők is szeretettel fogyasztanak.

Termékfejlesztésem során a vizsgálati lépések:

- ✓ útifűmaghéj- és kölesliszt keverék dúsítása békalencsével 0%, 5%, 10%, 15% és 20%-ban.
- ✓ lisztek, nyerstészták, száraztészták, főtt tészták és főzővizeik színértékének, vízaktivitásának, nedvességtartalmának, főzési tulajdonságának -, valamint antioxidáns kapacitásának, összes polifenol -, -fehérjetartalmának meghatározása.
- ✓ főtt tészták humán *in vitro* emésztése, majd a felszabaduló bioaktív komponensek meghatározása a fent említett paraméterekre vonatkozóan (az előbb említett vizsgálati módszerek alkalmazásával)

Céлом, hogy a mérések által meghatározzam a legmegfelelőbb dúsítási mértéket a vizsgált paraméterekre vonatkozóan.

Mindezeket amellet szeretném elérni, hogy az előállított tésztatermék megfeleljen az MSZ 20500/3-1985 szabványnak.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Fehérjék szerepe a táplálkozásban

A fehérjék a legfontosabb makrotápanyagok közé sorolhatók (Renet al., 2021), melyek aminosavakból épülnek fel és a legváltozatosabb felépítésű makromolekulák. A szervezetbe bekerülő fehérjék lebontását a pepszin kezdi meg a gyomorban, majd a hasnyálmirigy által termelt proteázok folytatják a folyamatot a vékonybélben. A lebontott aminosavak a vékonybél sejtjein keresztül szívódnak fel az a véráramba, amely révén a test szöveteibe szállítódnak, és energiaforrásként, továbbá új fehérjék szintézisére szolgálnak. A szervezet számára elengedhetetlenek a szövetek, az izomzat, az enzimek, a hormonok és az immunrendszer működéséhez.

A fehérjék összesen 20 aminosavból épülnek fel, melyekből 9 esszenciális, vagyis a szervezet nem képes előállítani, pótolni kell élelmiszerek által. Állati és növényi forrásból származhatnak a fehérjék. Megkülönböztetünk teljes értékű fehérjéket (melyek az összes esszenciális aminosavat megfelelő mennyiségben tartalmazzák) és a nem teljes értékű fehérjéket (amelyek egy vagy több esszenciális aminosavban hiányosak).

A fehérjék szerkezetére, emészthetőségükre, felszívódásukra és biológiai értékükre hatással lehetnek az élelmiszer-feldolgozási technológiák, mint pl. a fermentálás, a hőkezelés, a mechanikai eljárások.

2.2. Élelmiszer fehérjeforrások

Az állati eredetű fehérjéket fogyasztó csoportok többsége úgy vélekedik, hogy a kiegyensúlyozott táplálkozás kulcstényezője a húsok, illetve az állati eredetű termékek és nyersanyagok fogyasztása. A húst elhagyó emberek azonban egészségesebbnek tartják a húsmentes étrendet. Köztudott, hogy a húsok magas fehérjetartalommal rendelkeznek és teljes értékű fehérjeforrások, 9 esszenciális aminosavat tartalmaznak. A növényi eredetű nyersanyagok mindegyike hiányos egy vagy több aminosavban. Elegendő, illetve megfelelő mennyiségű fehérje bevitele a növényi nyersanyagok kombinálásával lehetséges.

Az 1. táblázat az 1 főre jutó napi fehérje mennyiséget jelöli a különböző élelmiszerek esetében grammban kifejezve. A táblázat alapján leolvasható, hogy a fehérjefogyasztás 2013 óta folyamatosan növekedik. Ez jelenleg még nem jelent gondot, azonban a későbbiekben kritikus tényező lehet, hiszen a Föld népessége folyamatosan növekszik a fehérjefogyasztás iránti vágygal és szükséglettel együtt (Újvári et al., 2020).

1. táblázat: Napi fehérjebevitel, grammban kifejezve

(Forrás: Központi Statisztikai Hivatal, n.d.)

Év	Hús	Hal	Tej	Tojás	Zsiradékok	Liszt és rizs	Burgonya	Zöldség, gyümölcs	Egyéb növényi eredetű élelmiszerek	Összesen	Ebből: állati fehérje
2005	33,7	1,7	16,0	5,9	1,9	32,1	4,6	7,0	2,5	105,4	59,2
2006	35,0	1,8	15,6	5,8	1,9	30,3	4,2	7,5	2,5	104,6	60,0
2007	33,4	1,8	15,7	5,7	1,8	29,1	4,1	7,2	2,5	101,3	58,4
2008	32,6	1,8	15,2	5,5	1,7	29,3	4,5	7,5	2,5	100,6	56,7
2009	32,7	1,7	15,0	5,3	1,7	29,1	4,2	7,4	2,4	99,5	56,4
2010	29,9	1,7	15,0	5,1	1,6	29,1	4,2	6,7	2,5	95,8	53,3
2011	29,5	1,7	14,6	4,7	1,6	28,1	4,4	6,7	2,3	93,6	52,1
2012	29,9	1,7	15,0	4,6	1,6	28,2	4,3	6,2	1,9	93,4	52,8
2013	29,4	1,7	14,1	4,6	1,4	28,2	4,0	6,5	2,2	92,1	51,3
2014	31,1	1,9	15,0	4,8	1,5	27,9	4,3	6,9	2,3	95,7	54,3
2015	33,9	2,0	15,9	4,9	1,7	27,7	4,2	7,3	2,5	100,1	58,4
2016	35,2	2,0	16,2	5,0	1,7	29,1	4,1	7,3	2,6	103,2	60,1
2017	37,9	2,1	15,9	5,1	1,7	29,8	3,9	7,3	2,8	106,5	62,7
2018	40,3	2,2	15,9	5,2	1,8	30,2	4,1	7,3	2,9	109,9	65,4

Az alternatív fehérjeforrások bevezetése a táplálkozásba számos pozitív tényezővel jár. Az ember egészségére nézve is előnyösebb, hozzájárul a környezeti fenntarthatósághoz. A fenntartható étrendet úgy határozta meg az ENSZ Élelmizésügyi és Mezőgazdasági Szervezete, vagyis a FAO, hogy megfeleljen a jelenlegi táplálkozási irányelveknek, megfizethető, elérhető és elfogadható legyen kulturális szempontból amellet, hogy környezeti hatása alacsony. A helytelen étkezésből következő halálozások száma jóval csökkenne a táplálkozási szokások, az élelmiszer-előállítási folyamatok megváltoztatása révén. Szinte az egyetlen hátránya, hogy jóval drágább ezen termékek ára jelenleg.

Számos növényfaj létezik a világon, amelyeknek valamely része (szára, levele, termése) alkalmas az emberi fogyasztásra. Az alternatív növények elsődleges fogyasztói csoportját az alternatív táplálkozási irányt követő (például vegetáriánus, vegán) vagy a valamilyen intoleranciában, allergiában szenvedő emberek alkotják. Választásuk okai közé tartozhat az egészségesebb életvitel iránti igény, a fenntarthatóság, a környezetvédelem, a gazdasági okok, illetve a filozófiai és vallási okok. Napjainkban csupán 20 növényfajt használnak az emberek élelmizésére, ellenben a Kárpát-medencében több mint 600 fogyasztásra alkalmas faj található a Növényi Diverzitás Központ kutatásai alapján (Nagy, n.d.).

Az alternatív növényi eredetű fehérjeforrások közül számos növényi nyersanyag képes a húsfehérjéket pótolni az aminosav összetételük alapján. Ilyen például az édes csillagfűrt, a keserű csillagfűrt, a fehér quinoa, a háromszínű quinoa (fehér 60%, vörös 20%, fekete 20% keverék), valamint az amaránt. Mednyánszky és munkatársai (2023) a mintákat az aminosavak megmérésének érdekében sósavval hígították, majd melegítették. Nátrium-hidroxidot adagoltak a semleges pH eléréséig, majd felhígították vízzel. Szűrés után a mintákat centrifugálták, majd egy AAA 400 Aminosav-Analizátor gép segítségével megmérték a mintákban található aminosavakat. Az aminosav összetételeket az *1. ábra* tartalmazza. Egy számítógépes program (CHROMULAN9 segítségével kiértékeltek. Következtetésképpen azt vonták le, hogy ezen vizsgált növények alkalmazhatóak, mint alternatív fehérjeforrások. Mind az aminosav összetételük, mind a fehérjetartalmuk alapján (Mednyánszky et al., 2023).

1. ábra: A minták aminosav-összetétele (mg/g)

(Forrás: Mednyánszky és munkatársai, 2023)

	Csillagfűrt édes	Csillagfűrt keserű	Fehér Quinoa	Háromszínű Quinoa	Amaránt
Aszparaginsav	28,24	28,82	8,50	8,44	9,08
Treonin	8,51	9,65	3,43	3,38	3,49
Szerin	14,46	15,99	4,16	4,39	7,32
Glutaminsav	77,90	83,62	15,45	16,49	21,75
Prolin	12,14	13,42	0,46	1,56	1,55
Glicin	11,74	11,23	5,42	5,34	8,36
Alanin	8,05	7,58	3,63	3,72	2,91
Valin	8,47	9,09	3,85	3,75	3,31
Cisztein	1,53	2,06	0,48	0,53	0,79
Metionin	0,85	0,99	1,87	1,46	1,81
Izoleucin	7,39	7,98	2,36	2,38	2,11
Leucin	22,17	23,55	7,11	7,08	6,36
Tirozin	8,67	9,25	1,71	1,69	2,09
Fenilalanin	8,45	8,10	3,70	3,23	3,54
Lizin	13,07	13,11	6,11	5,77	6,21
Hisztidin	5,59	5,87	2,25	2,64	2,36
Arginin	30,32	29,09	8,78	8,18	8,12
Összes (mg/g)	267,56	279,40	79,29	80,02	91,18
% (g/100g)	26,76	27,94	7,92	8,00	9,12

A korábban említett alternatív növényi fehérjeforrások közé tartozik még a köles, a hajdina, a chia, a cirok, a csicseriborsó és még számos növényi alapanyag (Nagy, n.d.).

2.2.1. Húsfehérjék

A húsfehérjék fontos szerepet játszanak a megfelelő mennyiségű aminosav bevitelében a húsfehérjék jó enzimes hasíthatóságuk, illetve magas biológiai értékük révén. (Szerdahelyi, 2000). A hús, amely a szervezetnek mikro- és makrotápanyagokat szolgáltat (például: lipidekkel, fehérjékkel, vitaminokkal és ásványi anyagokkal). Magas koleszterinszinttel rendelkezik, mely parhuzamba hozható az embernek az egészségügyi problémáival (Ihsan et al., 2024). A friss húsok biogén aminosav tartalma viszonylag alacsony. Biogén aminosavakat nevezünk a fehérjéket felépítő aminosav származékokat (Silla Santos, 1996, Hernandez-Jover et al., 1997). A húsok könnyen felvehető formában tartalmazzak vitaminokat és mikroelemeket. Táplálék-allergia esetén fontos az allergén teljes elhagyása az étrendből. Táplálék általi megbetegedések közül a hús az egyik legkisebb allergiás potenciállal rendelkező anyag (Barna, 2000). Nagyon fontos az allergén aktivitás vizsgálata a keresztallergia fellépésének kockázata miatt, ugyanis "rejtett" formában tartalmazhat nem hús eredetű allergént, például adalékanyagként szójafehérjét (Szerdahelyi, 2000).

2.2.2. A növényi fehérjék

A növényi fehérjekomponensek többségben liszt, koncentrátum vagy izolátum formájában találhatóak meg, a három csoportba való besorolást a teljes fehérjekoncentráció határozza meg. "A húsanalógok előállításához használt növényi eredetű fehérjék közül a szójafehérje adja a legtöbbet (az összes termék 63,3%-a, a koncentrátumok 33,4%-a, az izolátumok 20,3%-a és a texturált 9,6%), a búza (46,8%-a, a búzafehérje 14,7%-a és a glutén 32,1%-a), a borsó (40,2%-a, a koncentrátumok 28,4%-a és az izolátumok 12,2%-a)" (Ihsan et al., 2024).

2.2.3. Alternatív fehérjeforrások az élelmiszeriparban

Az állati fehérjeforrásokkal ellentétben az alternatív fehérjeforrások alacsony környezeti terheléssel járnak. Új és környezetbarát fehérjeforrások kifejlesztésére van igény a népességnövekedés, klímaváltozás és a fenntarthatóság iránti igény miatt. Az alternatív fehérjék: növényi alapú -, rovar-, mikrobiológiai fehérjék és laboratóriumban előállított húsok.

A növényi alapú fehérjéket (például: borsó, lencse, szója és egyéb hüvelyesek) gyakran használják tejtermék-, húshelyettesítők és egyéb fehérjében gazdag termék előállítására. Ebbe a csoportba tartozó fehérjék előnyei, hogy kevesebb üvegházhatású gáz kibocsátásával járnak és környezeti terhelésük alacsonyabb, hiszen víz - és földterület igényük kisebb. Ezen felül pozitív hatása van az emberi egészségre, például segíti megelőzni a kettestípusú cukorbetegséget (De Beukelaar et al., 2019).

Átlagosan 62-81% esszenciális aminosav mennyiség található meg a növényi termékekben a tyúktojás fehérjéhez képest viszonyítva (Gubicskóné & Szabó, 2015). A növényi fehérjeforrások többnyire alacsony mennyiségű metionint tartalmaznak. Alanin tartalma azonban magasabb a hüvelyeseknek, a gabonaféléknek, illetve a diófélék többségének, mint a tejtermékeknek. Magasabb szerint tartalmaznak a hüvelyesek, a gabonatermékek, a mogyorófélék, illetve egyes olajos magvak (például len-, szezám-, napraforgómag, mák), mint a különböző húsok. Az aminosav- tartalmukat tekintve elmondható, hogy a teljes kiőrlésű gabonák rendelkeznek magasabb mennyiséggel a hántolt gabonákhoz képest. A vegetáriánus, vegán étrendbe a békalcse beillesztése ezen szempontok miatt kifejezetten hasznos lenne, számos pozitív hatása lenne a tápanyag bevitelre nézve.

Az anyatej és a tyúktojásfehérje biológiai értéke 100%, a többi fehérje értékét ehhez viszonyítják. A relatív biológiai érték számításánál a fehérjék esszenciális aminosav tartalmát a tojásfehérjével hasonlítják össze, és egy olyan skálán fejezik ki, ahol az említett fehérje biológiai értéke 100 egységnek felel meg (Gubicskóné & Szabó, 2015) (2. ábra).

2. ábra: Élelmiszer fehérjék biológiai értéke

(Forrás: Rodler, 2005)

Élelmiszer	Táplálkozási érték
Anyatej, teljes tojás	100
Tehéntej	88-95
Tehéntejalbumin	104
Marhahús	88-92
Halhús	90-92
Edámi sajt	85
Ementáli jellegű sajt, sertéshús	84
Csirkehús	82
Szójafehérje	74-78
Burgonya	73
Bab, borsó, lencse	56-72
Rizs	63-67
Búzaliszt (83%-os kiőrlés)	53
Kukoricaliszt	49
Földimogyoróliszt	48

A második csoport a rovarfehérje. A rovarok tápanyagban gazdag és fenntartható fehérjeforrások. Alacsony ökológiai lábnyomot hagy az előállításuk. Mint a növényi alapú fehérjék, a rovarfehérjék is kevesebb üvegházhatású gázt bocsátanak ki és a rovarok tenyésztése

sem igényel annyi vizet, földet és energiát. Előnye még a rovaroknak, hogy hasznosítani képesek különböző hulladékot, például élelmiszerhulladékot és nagyon gyorsan szaporodnak.

A mikrobiológiai fehérjék csoportjába tartoznak az egysejt-fehérjék (Single Cell Protein, SCP), a mikroalgák és a fonalas gombák és élesztők. Az SCP-k gombákból, élesztőből és algákból nyert fehérjék. Alacsony környezeti terhelésük, magas fehérjetartalmuk és gyors növekedésük miatt potenciálisan hatalmas szerepük lesz a jövőben. A mikroalgák gazdagok fehérjékben és fenntarthatók. A fonalas gombák és élesztők könnyen emészthető fehérjeforrások, melyek a húshelyettesítő termékek ízének és textúrájának javításában játszanak szerepet.

A laboratóriumban előállított hús vagy más néven „tenyésztett húsok”. Ezeket laboratóriumi körülmények között állítják elő állati sejtekből. Előnyei közé tartozik az, hogy a hagyományos húsipar ökológiai lábnyomát minimalizálja, valamint csökkenti a metánkibocsátást, a víz- és a földhasználatot. Hátrányaihoz sorolható a jelenleg még magas előállítási költség, továbbá a technológiai kihívások.

2.3. Békalencse, mint alternatív fehérjeforrás az élelmiszeriparban

A *Lemnaceae* család öt nemzetségből (3. ábra és 4. ábra) és 37 fajból álló egyszikű növényekből áll. A család gyorsan és nagyrészt vegetatív módon szaporodik (tehát az anyanövényből fejlődik ki a hajtáskezdemény), nagy termőképességgel rendelkezik, kis helyigénye van tenyésztése során a laboratóriumban és aszeptikusan tenyészthető. Magas fehérjetartalommal rendelkezik, továbbá szennyvíz-tisztításra is képes tápanyag-és ásványi anyag eltávolításával, keményítőt hidrolizál és a keletkező glükóz fermentációval etanolt állít elő (Appenroth et al., 2013).

3. ábra: A békalencse alcsaládjai

(Forrás: Rutgers Duckweed Stock Cooperative, n.d.)



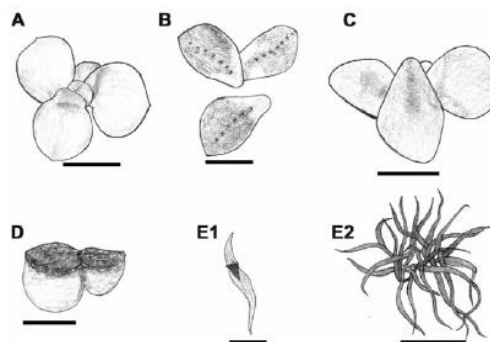
Hegelmaier és mtsi (1868) a *Lemnaceae* család *Lemna* 7 faját, *Wolffia* 12 faját és *Spirodela* 2 faját határozta meg (5. ábra). A *Lemnaceae* család fajai az *Araceae* család fajaival monofiletikusak, vagyis közös rendszertani őstől származnak. Optimális termesztési körülmények mellett a békalencse fehérjetartalma akár 40% is lehet (De Beukelaar et al., 2019).

Hazánkban kevésbé közismert fajok közé tartozik: bojtos békalencse (*Spirodela polyrrhiza*); keresztos békalencse (*Lemna trisulca*); púpos békalencse (*Lemna gibba*). Kiváló alkalmazkodóképességgel rendelkeznek, egészen szélsőséges környezeti feltételek mellett is megtalálhatók. Globális elterjedésük a sokféle ökológiai körülményhez való alkalmazkodásnak köszönhető: viszonylag széles pH értékeket (3 - 10,5) és hőmérsékleteket (17 - 30°C) elviselnek. 96 órán belül képes megduplázni a biomasszáját (Pagliuso et al., 2022). Illetve a trágyában gazdag tápközeg, valamint a növelt fényintenzitás fokozza a következő fajok növekedését és keményítő felhalmozódását bennük: a *Lemna minor* és a *Lemna aequinoctialis* (Xu et al., 2021).

Gyors növekedése miatt termesztése környezetbarát, a termékben lévő fehérje viszonylag könnyen felszívódik. Intenzív állattenyésztést vagy agrárkultúrát nem igényel. Szennyvíz tisztítására is alkalmas, termesztéséhez nincs szükség műtrágyák alkalmazására. Korlátozott ökológiai lábnyommal rendelkezik, körülbelül kilogrammonként 0,4 kg CO₂ keletkezik (De Beukelaar et al., 2019).

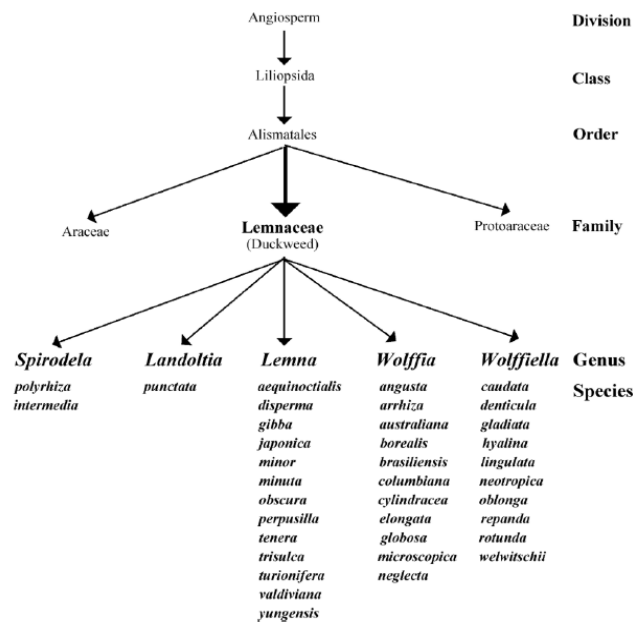
4. ábra: A Lemnaceae öt nemzetsége (A: *Spirodela* (*Spirodela polyrrhiza* öt szálás kolóniája), B: *Landolita* (három szálás kolóniája), C: *Lemna* (*Lemna minor* három (négy) szálás kolóniája), D: *Wolffia* (*Wolffia arrhiza* anya-és leányhajtásai) és *Wolffiella* (E1: egy hajtása, E2: kolónia))

(Forrás: De Beukelaar et al., 2019)



5. ábra: A Lemnaceae család eredete és felépítése

(Forrás: Appenroth et al., 2013)



Délkelet-Ázsiában (például: Laoszban, Thaiföldön és Mianmarban) "Khai-Nam" néven van jelen. Az emberi fogyasztásra használt domináns fajok a *Wolffia globosa* és a *Wolffia arrhiza*. Nyugaton még a mai napig sem képezi részét az emberi táplálkozásnak (De Beukelaar et al., 2019).

2.3.1. *Lemna minor* L.

A közönséges békalencse vízen (főként édesvízen) lebegő, apró növény. Jelenleg az *Araceae* családjába és a *Lemnaceae* alcsaládjába (zárvatermők) tartozik. Magas fehérjetartalma van, biomasszáját képes néhány nap alatt megduplázni optimális körülmények mellett, felismerhető jellegzetes kolóniájáról, amely 2-4 növényből áll. Emberek és állatok számára is fenntartható fehérjeforrásként használják, széles pH- és abiotikus toleranciával, fejlett gyökérszettel, széleskörű termesztési feltételekkel és alkalmazkodóképességgel rendelkezik, azonban növekedésének ütemét befolyásolhatja a környezete (például: hőmérséklet, tápanyag mennyiség, sótartalom stb.) (Sosa et al., 2024).

2.3.2. A békalencse fajok beltartalmi jellemzői

A békalencse táplálkozásbiológiáját tanulmányozó vizsgálatok eredményei a termesztési körülmények miatt elég széles tartományban mozognak. Egy tápanyagszegény vízben termesztett békalencse nyersfehérje tartalma 9-20% között van, míg az optimális tápanyagtartalmú vízben termesztett növényé 24-41% között is lehet (Appenroth et al., 2017).

Száranyanyag tartalma fehérjéből és keményítőből áll. A legfontosabb fehérje funkcióját nézve egy enzim, amely a növény fotoszintézisében egy kulcsszereplő. Ez az enzim a RuBisCo, vagyis Ribulóz-1,5-biszfoszfát karboxiláz/oxigenáz). Al-Snafi (2019) megbecsülte a békalecsében található fehérjefrakciók tömegét, amelyet 176.000 Da felettire és 14.000 Da alattira értékelte. A fehérjetartalmát alacsony globulin és közepes albumin tartalommal jellemezték. Dewanji (1993) vizsgálata azt mutatta, hogy az *L. minor* fehérje emészthetősége legalább 77,9% az *in vitro* vizsgálatokban, a pepszin-pankreatin módszer alapján. Ez azt jelenti, hogy viszonylag könnyen bontható le aminosavakra a *L. minor* fehérjeje, vagyis könnyen szívódik fel és vesz részt az anyagcserében (Dewanji, 1993, Xu et al., 2021).

Fehérje- és aminosav tartalom

A békalecséje teljes értékű fehérje, hiszen mind a 9 esszenciális aminosavat tartalmazza, ezen aminosavak a következők: valin, leucin, izoleucin, fenilalanin, triptofán, lizin, treonin és metionin. Más-más korcsoport számára fontosak ezek az aminosavak (például az újszülötteknek a megfelelő mennyiségben való előállítás hiánya miatt az arginin, hisztidin). A békalecsében található esszenciális aminosavak 48%-át alkotja a valin, a leucin és az izoleucin. Nem esszenciális aminosavakat is tartalmaz a békalecséje, ennek 25,87%-a a glutaminsav. A tyúktojáshoz képesti nem esszenciális aminosav arány 111-129%. Nem-proteinogén aminosavakat is tartalmaz, ilyen például a taurin, a citrullin és a hidroxiprolin. A békalecséje lizin tartalma magasabb, mint a búzaliszté, a kukoricáé és a rizsé (Appenroth et al., 2018). Gabona- és diófélékben ellenben alacsony mennyiségben van. Mind az állati, mind a növényi eredetű fehérje gazdag valinban. Tojásban és tejfehérjében 7-8%, elasztinban 15%, a kukoricában legalább 12%, a búzafehérjében pedig 6% körüli mennyiségben található meg. A békalecséje aminosav összetételét tartalmazza a 6. ábra.

6. ábra: A Lemna minor aminosav összetétele

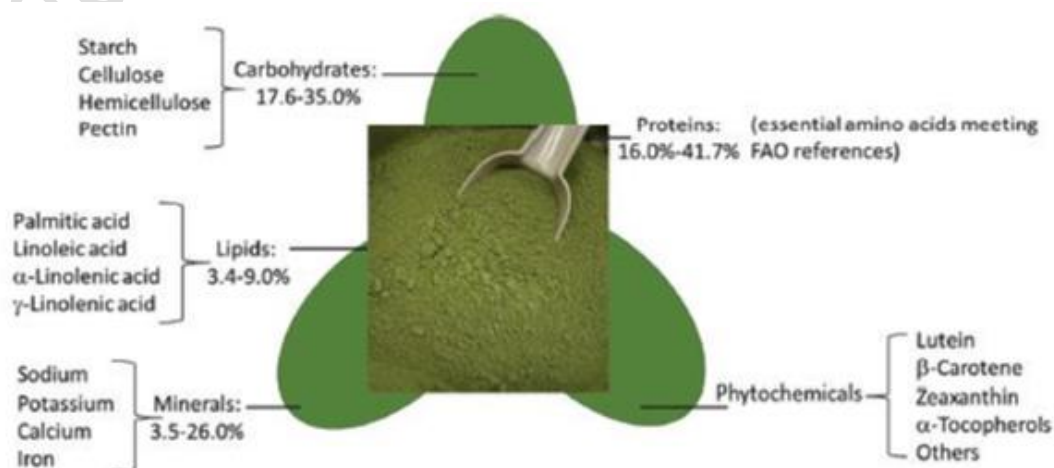
(Forrás: Appenroth et al., 2018)

Aminosav	Hisztidin	Metionin	Cisztein	Valin	Fenilalanin	Tirozin	Izoleucin	Leucin
Békalencse g/100g fehérje	1,5	2,5		4,6	7,5		3,7	7,3
Aminosav	Aszparaginsav	Glutaminsav	Szerin	Glicin	Treonin	Arginin	Prolin	Alanin
Békalencse g/100g fehérje	8,2	9,8	4,1	4,6	4	4,8	3,8	5,1

A békalencse tartalmaz többszörösen telítetlen omega-3- és -6-zsírsavakat, valamint megfelelő mennyiségű karotinoidokat, α -tokoferolokat, magas mennyiségben zeaxantint és polifenolt. Mind ezek mennyisége függ a termesztési körülmények minőségétől, de ha a körülmények megfelelőek, mindegyik felsorolt összetevő gazdag mennyiségben található meg benne (Polutchko et al., 2022). A szójanövényhez képest a békalencse összefehérje termelése akár 20-szor nagyobb is lehet, hiszen a békalencse teljes növényi biomasszája fehérjében gazdag míg a szójanövénynek csak a magja (Polutchko et al., 2022). A békalencse hozzávetőleges tápanyag összetételét a 7. ábra tartalmazza.

7. ábra: A békalencse hozzávetőleges tápanyag-összetétele szárazanyagra vonatkoztatva

(Forrás: XU et al., 2021)



Szénhidrát tartalom

A békalencse jelentős mennyiségű, számos különböző szénhidrátból tevődik össze (cellulóz, pektin, keményítő, hemicellulóz). Szárazanyagra vonatkoztatva 4-10% a keményítőtartalma, ez akár 40-75%-ra növelhető a termesztés feltételeitől függően. Magasabb tartalom elérése a termesztés alatti sókoncentráció növelésével, foszfát vagy nitrit hiányával, egyes nehézfémek jelenlétével és hozzáadott glükózzal érhető el. Az emberi táplálkozás szempontjából előnyös az alacsony keményítő tartalom (Al-Snafi, 2019).

Ásványi-anyag tartalom

Gostyńska és munkatársai (2022) bebizonyították spektrográfias vizsgálatokkal 14 ásványi elem jelenlétét a nyers növényekben. A szárazanyagtartalmának 8,74%-a nitrogén, körülbelül 2%-a magnézium és 1,5%-a jód. A szárazanyagtartalomnak 0,03%-át teszi ki a mangán, ez egészségügyi aggályokat jelent az EFSA szerint.

Zsírsvav összetétel

A békalencse egyaránt tartalmaz telítetlen, egyszeresen telített, valamint többszörösen telített zsírsvavakat. A telített zsírsvavtartalma viszonylag magas, ez főleg lignocerinsavból és palmitinsavból tevődik össze. Alacsony olajsav és MUFA (egyszeresen telítetlen zsírsvavak) és SCFA (rövid szénláncú zsírsvav) aránya alacsony. A PUFA (többszörösen telítetlen zsírsvavak) aránya magas, esetenként magasabb lehet, mint a hüvelyes liszteké. Magasabb SFA (telített zsírsvav) tartalma van a növényi olajokhoz képest, ez alól kivétel a kókusz- és a pálmaolaj, ezen felül alacsonyabb MUFA aránya.

A fő, többszörösen telítetlen zsírsvavak közül a linolsav és a γ -linolénsav (n6), valamint az α -linolénsav és a sztearidonsav (n3) zsírsvav találhatóak meg benne. A növényekben levő omega-6/omega-3 zsírsvav arányt 0,25 és 0,61 közötti értékre becsülték Appenroth és munkatársai (2017). A FAO (2010) ajánlásai szerint az egészséges étrendben elfogyasztott zsírsvav aránya, az n6/n3 arány nem lehet magasabb, mint 5. A magas n6/n3 zsírsvavakat bőségesen tartalmazó étrend hozzájárulhat a szív- és érrendszeri megbetegedések, a csontritkulás, valamint a gyulladós és az autoimmun betegségek kialakulásához. A hüvelyes növényekből készült lisztek átlagos n6/n3 arányok a következők: csillagfürt: 4,6; zöldborsó: 5,7; csicseriborsó: 21,8, a lenmag: 0,28; repce: 2,2; olívaolaj: 15 és napraforgó: 150. Azonban a pálmában, a kókuszban és a földimogyoróban alig lehet fellelni n6 zsírsvavat. A békalencsében található alacsony n6/n3 zsírsvavtartalmú α -linolénsav magas mennyisége fontos szerepet játszhat az étrend javításában (Appenroth et al., 2017).

Antioxidáns összetétel

A békalencse magas antioxidáns kapacitása - amely az összes antioxidáns vegyület hatását jelöli - miatt is jelentős táplálkozásbiológiai szempontból. Ezen molekulák képesek csökkenteni, gátolni az oxidációt, valamint alacsony mennyiségűek az oxidálandó szubsztráthoz képest viszonyítva. Léteznek lipofil (A- és E-vitamin, β -karotin), hidrofil (C-vitamin, polifenolok, aminosavak), citoszol antioxidánsok (Q10 koenzim) és szerkezeti antioxidánsok (szelén, cink, aminosavak, nyomelemek, szelenocisztein). Az antioxidánsok szinergens, egymást erősítő, regeneráló hatású molekulák, emiatt együtt sokkal hatékonyabbak a szabadgyökökkel szemben, mint külön-külön. A szabadgyökök semlegesítésében vagy kevésbé káros molekulává való átalakításukban szerepet játszó enzim például a szuperoxid-dizmutáz (SOD), kataláz vagy a glutation-peroxidáz (GSHpx).

Vannak enzimek, amelyek a káros végtermékeket bontják (például az alkoholokat, aldehideket, alkánokat). Ezeken felül kiemelkedő szerepet játszanak a DNS és egyéb, már károsodott molekulák „kijavítását”, rekonstrukcióját végző repair enzimrendszerek (például DNS-javító enzimek, aldózreduktázok, aldehydreduktázok stb.).

A nem enzimatisz védelemi rendszerek csoportjába tartoznak a kis molekulatömegű vegyületek, például a vitaminok (A-, C-, E-, K-vitamin), a flavonoidok (kvercetin, miricetin), a karotinoidok, a tioltartalmú vegyületek (cisztein, metionin), valamint a nyomelemek (vas, cink, szelén) stb.

Fontos kicsit részletesebben beszélni az aminosavakról, illetve azok szerepéről. A karotinoidok növényi pigmentek, amelyeknek fontos szerepe van a gyümölcsök és zöldségek minőségi paramétereinek meghatározásában. Növényekben, algákban és fotoszintetikus baktériumokban vannak jelen, itt kulcsszerepet játszanak a fotoszintézis folyamatában. 600 különböző karotinoidról van tudomásunk. Szerkezetük alapján két csoportba sorolhatók: a szénhidrogén karotinoidok, amelyek másnéven a karotinok, például β -karotin (A-vitamin provitaminja) és az oxigénezett karotinoidok, amelyek ezeknek a szénhidrogéneknek a származékai, másnéven xantofiliek, például a zeaxanthin és a lutein. A természetben található karotinoidokból nagyjából 40 van jelen egy tipikus emberi étrendben. Ezek közül 14-et és azoknak néhány metabolitját mutatták ki a vérben és a szövetekben. Antioxidáns hatásuk a szingulett oxigént kioltó tulajdonságaiknak és a peroxilgyökök megkötésére való képességüknek köszönhető. A karotinoidok fogyasztása több epidemiológiai felméréseknek köszönhetően összefüggésbe hozható a krónikus betegségek előfordulásának csökkentésével,

de ez még nem teljesen bizonyított. Egyéb pozitív egészségügyi hatása például az immunrendszer működésének fokozása, az égés elleni védelem és egyes rákos megbetegedések kialakulásának gátlása (Abdel Nasser & Omayma, 2013).

A másik fontosabb csoportot alkotják a polifenolok, amelyek növényi eredetű, másodlagos anyagcseretermékek, amelyek szerteágazó molekulacsaládot alkotnak. Mindegyikben található benzolgyűrű, amelyhez/amelyekhez hidroxilcsoport kapcsolódik. Antioxidáns hatásukat lipidperoxidáció gátlásán keresztül érik el. Legalább 8000 ismert polifenolról létezik tudomásunk szerint. A polifenolok legismertebb funkciója a növényi sérülések, vírusok vagy mikrobák okozta fertőzések elleni védelem, a beporzó rovarok virághoz való csábítása, ezen felül pedig a növény UV-kitettsége elleni védekezés. A polifenolok növényi eredetű élelmiszerek elfogyasztásával kerülnek be a humán szervezetbe. Átlagosan a szervezetbe bevitt polifenolok felét nem flavonoid típusú polifenolok teszik ki. A nem flavonoid típusú polifenolok legfontosabb szereplői a klorogénsavak, amelyek az összes polifenol bevitel 27–53%-át teszik ki (például kávéivásból). A gyümölcsökkel, zöldségekkel, olajos magvakkal, borral, csokoládéval, fűszerekkel bevitt flavonoidok (flavonolok, flavanonok, flavan-3-olok, proantocianidinek) jelentik még a polifenol-fogyasztás szempontjából a másik legfontosabb csoportot. Epidemiológiai és klinikai vizsgálatok alapján igazolt, hogy a polifenolokban gazdag ételek fogyasztása jótékony hatással bírnak a krónikus betegségek megelőzésére. Például a szív- és érrendszeri megbetegedések, egyes ráktípusok, vagy a II-es típusú cukorbetegség megelőzése kapcsán vannak pozitív eredmények (Abrankó, 2018).

Appenroth és munkatársai (2017) kísérletére alapozva elmondható, hogy a békalencse magas antioxidáns tartalommal rendelkezik, kiemelkedő mennyiségű luteint és zeaxantint tartalmaz. Érdekes lehet a makuladegeneráció megelőzése érdekében további kutatásokat folytatni. A benne található n6/n3 arány erősíti a növény xantofill hatását, ez fejti ki a szinergikus hatást az egészséges látást támogató karotinoidekkel, például a luteinnal és zeaxanthinnal. A viszonylag magas tokoferoltartalom és fitoszteroltartalom (ötször magasabb, mint más növényi olajokban) tovább növeli a békalencse táplálkozásbiológiai értékét. A fitoszterolok képesek csökkenteni a vérplazma koleszterinszintjét és az LDL koleszterint, amely megint hasznos az emberi egészségre nézve (Appenroth et al., 2018).

2.3.3. A békalencse emészthetősége és biológiai értéke

A biológiai érték (melynek rövidítése BÉ vagy BV) megmutatja, hogy 100 g fehérjét tartalmazó élelmiszer hány százalékban hasznosul az élelmiszer elfogyasztásakor. Vagyis

megmutatja, hogy a fehérjeszintézis során a fehérje milyen mértékben tud hasznosulni a szervezet által. A hasznosítást kifejezi a fehérjével együtt elfogyasztott nitrogén visszatartási százaléka. Egy fehérje annál kedvezőbb, minél kevesebb nitrogén ürül ki a szervezetből a vizelettel és minél több része alakul át szöveti fehérjévé. Számos tényező befolyásolja ezt az értéket, ilyen például a vitamin- és ásványianyag tartalom, a limitáló aminosavak, valamint az aminosav összetétel (Mednyánszky et al., 2023).

100%-nak tekinthető az anyatej, valamint a tyúktojásfehérje biológiai értéke. A többi fehérje relatív biológiai értékét a tyúktojásfehérjéhez viszonyítjuk (Gubicskóné & Szabó, 2015).

Az emészthetőség az elfogyasztott és a bélsárral ürülő táplálóanyagok különbsége. A bélsárban a takarmány emészthetetlen része, a megemésztett és fel nem szívódott, valamint a szervezet saját anyagai - bélhámsejtek, enzimek, stb. - is ürülnek. Az emésztés és a felszívódás az étellel elfogyasztott fehérjét, szénhidrátot, zsírt és egyéb makro- és mikroelemeket érinti. A növényi fehérjék hasznosulása, emésztése és felszívódása lassabb lehet a jelenlévő rostok vagy az antinutritív komponensek jelenléte miatt, míg az állati fehérjék hasznosulását a zsírok jelenléte csökkentheti. A táplálkozástudományi vizsgálatokat megkönnyítik azon emésztési modellek, melyek az emberi gyomor- és bélrendszer működését imitálják, és amelyek a komplex élelmiszerek emészthetőségét és felszívódását vizsgálják. Ezen modellek segítségével határozzák meg a szakemberek az emészthetőségi együtthatót (%) némely tisztított fehérjékre, növényi és állati eredetű élelmiszerekre vonatkozóan. A békalencse emészthetőségét Dewanji (1993) indiai szakember kutatta egyéb akvakultúrás növényekkel együtt. Pepszin-pankreatin használatával végzett in vitro emészthetőségi tesztek segítségével határozta meg a békalencse emészthetőségét 78%-ban.

Az Amerikai Élelmezésügyi- és Mezőgazdasági Hivatal (USDA) tápanyag-összetételi adatbázisából származnak a szójabab és a csillagfürt emészthetőségi együtthatóinak adatai (USDA Food Data Central, n.d.) (8. ábra).

8. ábra: Emészthetőségi együtthatók (D%)

(Forrás: Kővári-Szamák, 2024)

Vizsgált minták	Emészthetőségi együttható (D%)
Békalencse	78%
Csillagfürt	90%
Szójabab	96%

2.3.4. A békalencse élelmiszerbiztonsági kockázata

A békalencsét emberi fogyasztás előtt tesztelik szennyeződésekre, többek között nehézfémekre és fontos a mikrobiológiai biztonság is. Aggályok merültek fel a mangán túlzott expozíciójáról és az allergiás reakciókkal kapcsolatosan, mely a békalencse magas fehérjetartalmára vezethető vissza. Egyes fajok fogyasztása a 2015/2283 rendelettel összhangban engedélyezett az EFSA által, melyek a *Wolffia globosa* és *Wolffia arrhiza*.

Mind az állati eredetű, mind a növényi eredetű fehérjék hasznosulását, emésztését és felszívódását lassítják egyes tényezők. A növényi fehérjéknél ezek például a jelenlévő rostok vagy az antinutritív komponensek. A békalencse nem tartalmaz allergén fehérjét, ezért minden étel intoleranciában, allergiában szenvedő embernek is biztonságos a fogyasztása.

A fitoremediáció a szennyező anyagok növények felhasználásával történő felvétele vagy lebontása segítségével való környezeti tisztítást jelent. A vízi ökoszisztémákban az antropogén tápanyagok csökkentésének fontosságát felismerték a víz eutrofizációjának megelőzése érdekében és számos fizikai, kémiai és biológiai módszerrel kísérleteztek a szennyvízkezelésre vonatkozóan. A vízi növények használata egy környezetbarát módszert a tápanyagok eltávolítására, a mérgező tápanyagok és nehézfémek ártalmatlanítására, valamint az oxigénegyensúly fenntartására. Az olyan anyagok, mint a nitrogén és a foszfor, amelyek a vízforrások eutrofizációját okozzák, tápanyagként szolgálnak a növények növekedésének elősegítésére. A mezőgazdaság, az ipar és a gazdaság folyamatos fejlődésével több és több szerves szennyező anyag keletkezik. Egyes szerves szennyező anyagok biológiailag rosszul bomlanak le, és hajlamosak felhalmozódni a környezetben, ezzel veszélyeztetik az élelmiszerláncot. Gyakran teratogén, rákkeltő és/vagy mutagén hatásúak az állatokra és az emberekre nézve, mely súlyosan veszélyezteti az ökológiai környezet biztonságát és az emberi egészséget (Zhou et al., 2023).

A békalencse fajok vízben lévő különféle szerves szennyező anyagaival számos tanulmány foglalkozik. Ilyen anyagok például a mezőgazdasági vegyszerek, a gyógyszerek, a testápolási termékek és más ipari szerves vegyületekkel való kölcsönhatások. Az agrokémiai anyagok mérgezőek a békalencsére, azonban a békalencse képes ezen anyagokat eltávolítani a környezetből, ez azt jelöli, hogy a vízi növény hatékonyan kiküszöböli a szerves szennyeződések (Zhou et al., 2023). A Fertinnova elnevezésű európai kutatási projekt ('Transfer of Innovative techniques for sustainable Water use in Fertigated crops') (Cordis, 2017) keretein belül vizsgálták meg egy békalencse faj, a *Lemna minor* felhasználását a

szennyvízkezelésben. A növényt a szennyvízben lévő nitrogén, foszfor és fémek megkötésére használták, amely a növény óriási akkumulációs képességének köszönhető. A víztisztításhoz felhasznált békalencsét egy megszabott idő után betakarították, majd tiszta vízzel leáztatták, megállapították, hogy a növény takarmányként is felhasználható lett.

A békalencsére ható toxikus anyagokat fiziológiai paraméterek alapján mérték meg. Ilyen paraméter a klorofill vagy a karotinoid tartalom standardizált körülmények között, illetve a relatív növekedési sebesség. Meghatározhatók az effektív dózisok toxicitási paraméterei az úgynevezett Dózis-válasz görbékkel, melyek 10, 20 vagy 50% hatásszint mellett lehetséges. Ezen eljárás a biomonitoring, amely a növényben lévő anyagok toxicitásának számszerű meghatározására, illetve a vizek egészségének értékelésére használható fel. A LemnaTec cég egy automatizált módszert fejlesztett ki, amely az anyagok fitotoxikus hatásainak nyomon követésében specializálódik.

2.3.5. Békalencse, mint új élelmiszer

Új élelmiszernek minősül minden olyan élelmiszer, amelyeket jelentős mennyiségben még nem fogyasztottak 1997 előtt az Európai Unión belül, illetve azok fogyasztása élelmiszerbiztonsági kockázatot jelenthet az élelmiszer újszerűsége miatt, ezek előállítási technológiájából, természetéből, felhasználási módjából, valamint a szerkezetéből. A Jelenlegi hatályban levő 2015/2283 EU rendelet szabályozza ezt a területet. A rendelet magába foglalja az új élelmiszerek csoportjait, illetve a forgalomba hozatalának a szigorú feltételeit. Ezen új élelmiszerek elfogadását végzi az Európai Bizottság, amely az Európai Unió tagállamok szakértőinek bevonásával. Feltételek, amelyeknek meg kell felelnie az új élelmiszernek például az emberi szervezetre való biztonságosság, a fogyasztó egyértelmű tájékoztatása és nem a félrevezetése, illetve a hasonlóság a helyettesítő élelmiszerhez. ezen feltételeket a Bizottság határozza meg (NÉBIH, n.d.).

Az új vagy ismeretlen élelmiszerektől való félelmet neofóbiának hívják. A neofóbia egyénenként eltérhet, idősődéssel fordítottan arányos tendenciát mutat ennek jelenléte és mennyisége. Egy új élelmiszer elfogadását számos paraméter befolyásolja, többek között a neofóbia is (De Beukelaar et al., 2019).

A Lemna minor Európában új élelmiszernek bizonyul, az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) alapján fő kritérium, hogy megfeleljen a fehérjeminőségi és biztonsági szabványoknak, különösen az allergén vizsgálatoknak. Az EFSA engedélyezi az Európai Unióban bizonyos fajok kereskedelmét. Emberi fogyasztás előtt tesztelik különböző

szennyeződésekre, mint például a nehézfémekre és a mikroorganizmusok jelenlétére. Más fajok (*Wolffia globosa*, *Wolffia arrhiza*) már kereskedelemben is árusítanak emberi fogyasztásra.

A méréseimhez felhasznált békalencse szárított változatát a 9. ábra tartalmazza.

9. ábra: A békalencse szárított változata

(Forrás: saját kép)



2.4. Tulajdonságok

2.4.1. Zselésedés és oldhatóság

Feladatuk a húsanalogoknak a texturális tulajdonságainak a javítása, melyet a fehérjék jellege határoz meg (például szójaalapú fehérjeizolátumok) (Sá et al., 2022). A fehérjék jellegén kívül a zselésedést a koncentrációjuk, aggregációjuk és denaturációjuk is befolyásolja (Lu et al., 2020). A fehérjék oldhatósága nagyrészt az emulgeáló tulajdonságukat befolyásolják, méghozzá az olaj/levegő-víz határfelületre történő mozgást. Oldhatóságuk növelhető poliszacharidok hozzáadásával, viszonylag nehezen oldhatóságuk miatt (Sim et al., 2021). Gyenge zselésedési tulajdonsággal rendelkezik a repcealapú fehérjeösszetevők (liszt, koncentrátum, izolátum) (Sá et al., 2022).

2.4.2. Habképző képesség

A növényi fehérjeforrások védőréteget képeznek, ami körülveszi a légbuborékokat. Ez biztosítja a puha és krémes állagot (például fagylalt, tejszínhab, sütemény). Erős habképző tulajdonságú és stabilitású a borsó-, csicseriborsó-, szója- és repce alapú fehérje a tojás alapú

fehérjéhez képest a nettó-töltés, a nagy felületi hidrofóbság és a kicsi molekulatömeg miatt (Hall & Moraru, 2021).

2.4.3. Emulgeáló tulajdonság

Meghatározásuk sokszor stabilitásuk és emulziólétrehozó képességük alapján történik. A paprika (kisméretű olajcseppekkel vitelezi kis) magas emulzió előállítására képes, a borsó és csicseriborsó (pH nagyobb, mint 10) magas emulziós aktivitásiindex-el rendelkezik (Vogelsang-O'Dwyer et al., 2021), továbbá a szójabab is (Lafarga et al., 2020).

2.4.4. Víz/olaj tárolóképesség

Minél magasabb a fehérjekoncentrációja egy növényi fehérjeizolatumnak, annál magasabb a víz- és olajmegkötő képessége. Előszeretettel használja az élelmiszeripar azt a növényi fehérjét, amely képes a víz és az olaj megkötésére is. A fehérje jellege fontos tényező, mivel a felületi hidrofóbia megváltozása eredményeként a víztartó képesség erényei változnak.

2.4.5. Húsos íz

Maillard reakció révén kapjuk meg a húsos ízt, ahol a szabad aminvegyületek kölcsönhatásba lépnek bizonyos körülmények mellett és melanoidinokat hoznak létre. Aminvegyület például a peptidek, az aminosavak és a redukáló cukrok (hexózok és pentózok). A növényi fehérjék enzimatis lebonatása eredményeként aminosavakra és peptidekre bomlanak, így keletkezik a húsos íz. A húsos íz előállítására számos növényi fehérjét felhasználtak már a szakirodalom szerint, ilyen például a borsó-, lenmag-, szója- és quinoafehérje (Jimenez-Munoz et al., 2021).

2.4.6. A textúra

A növényi fehérje biztosítja a rostos szerkezetét a húsanalógoknak. Az érzékszervi tulajdonságainak a húsban a hússzövet szerkezeti elrendeződése felelős. A rostos szerkezet kialakulását (ami a húsban van) akadályozza a növényi fehérjék alakja, mely gömbölyded. Fizikai módszer segítségével lehetséges megváltoztatni a növényi fehérjék eredeti alakját. Ilyen módszer például az extrudálás és a szálfonás. Az izomszövetek jellemzői így utánozhatók lesznek, felépítésüket tekintve rostokból, zsír- és kötőszövetekből épülnek fel. Ennek köszönhetően egy komplex hierarchikus rendszer alakul ki, mely eredménye, hogy viszkoelasztikus texturális tulajdonságuk lesz.

2.4.7. A növényi fehérjék szerkezeti-funkcionális kapcsolata

A legjelentősebb új fehérjeforrások közé tartoznak a nem hagyományos növények, az algák, a gombák és a rovarok (Sá et al., 2022). Ezeknél a cél az, hogy az összetevőkből megfelelő tulajdonságokkal rendelkező (fizikai, kémiai és érzékszervi) analógot hozzanak létre. A növényi fehérje alapú húsanalógot úgy állítják össze, hogy a húskészítmények textúrája, színe, íze és aromái hasonlóak vagy ugyanolyanok legyenek, mint a nem növényi fehérje alapúak. A növényi alapúaknál több anyagot is kombinálnak egymással (növényi alapú fehérjék, poliszacharidok, lipidek, vitaminok, ásványi anyagok, színező- és ízesítőanyagok) (Ihsan et al., 2024).

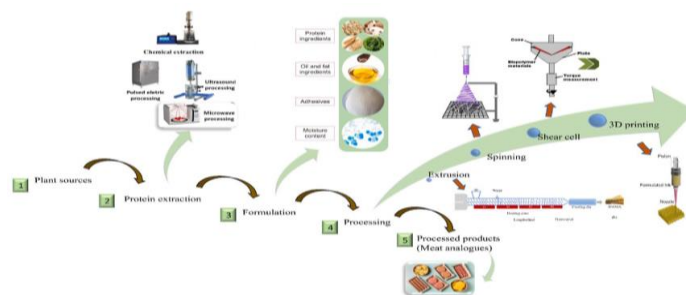
A végtermék fizikai-kémiai tulajdonságait alakító fehérjék funkcionalitását és hozamát az összetevők sajátosságai, a kivonási eljárás és a feldolgozási technológiák befolyásolják és határozzák meg. Például alacsonyabb extrakciós eredményt hoz magával a magas hőmérséklet és pH, az oldószeres körülmények, fehérjebontás, mely a konvekcionális módszerek idézik elő és a hosszan tartó extrakció (Espinosa-Pardo et al., 2020). A nem termikus, zöld technológiák nem hatnak károsan a környezetre, növelik az extrakció hatékonyságát és csökkentik a fehérjék lebontását. Ezen felül javíthatják a fehérjék potenciális táplálkozási és techno-funkcionális tulajdonságait (Ihsan et al., 2024).

Minimális környezeti hatása van a növényi alapú húspótlóknak, melyet az életciklus-értékelési vizsgálatok mutatták ki (Alvarez-Vin, 2021). A húsanalókok összetevőitől és az előállításuk technikájától a fenntarthatóság potenciális előnyei változnak. Jelentősen csökkentik a gáz kibocsátást (583 tonna/év CO₂ egyenérték) és javítják a táplálkozást (52.700 korai halálozás megelőzése/év).

A 10. ábra foglalja magába a növényi fehérje alapú húsanalókok feldolgozási folyamatát.

10. ábra: A növényi fehérje alapú húsanalókok feldolgozásának folyamata

(Forrás: Ihsan et al., 2024)



Hasonlatot lehet vonni a fehérje táplálkozási és élettani jellemzőit a fehérje biofunkcionalitásával. A technológiai funkcionális befolyásolja az élelmiszer fizikai-kémiai jellemzőit (megjelenés, oldhatóság, textúra, zselésedés, stabilitás, kohézió, emulgeálódás, tapadás, olaj- és víztartó képesség, viszkozitás és rugalmasság) (Wen et al., 2021). Intrinzik és extrinikus tényezőktől függenek a funkcionális proteinek (ezeknek az eltarthatósága, a funkcionális jellemzői és a stabilitása). Korlátozottan hasznosulnak a szójababon, a borsón, a repcén és a tehénborsón kívül. más forrásból származó növényi fehérjék (többek között a csicseriborsó, a lencse, a mungó, a cirok, az amarant, a mustár és a quinoa), ennek az a magyarázata, hogy egészen alacsony oldhatóságúak semleges pH-n (Sá et al., 2022). Leggyakrabban az élelmiszeriparban a növényi alapú fehérjék felhasználása húspótlókban, fehérjekiegészítőkben, rágcsálnivalókban, italokban, pékárukban, édességekben, levesekben, mártásokban és salátaöntetekben található meg (Sá et al., 2022).

2.5. *Lemna minor* mint takarmány

2.5.1. Haltakarmány

Egy tanulmányban közönséges pontyok (*Cyprinus carpio*) takarmányához adagoltak *L. minor*-t különböző százaléokban (0%, 5%, 10%, 15%, 20%). A vizsgálat végén megállapították, hogy magasabb végső tömegű, növekedési ütemű és aminosavtartalmú halak lettek a 15- és 20%-os *L. minor* kiegészítésű tápok esetében. Ezt azzal magyarázták, hogy a békalencse étrendbe illesztve növeli a pontyok tápértékét, azzal, hogy megnöveli a fehérje-, a lipid-, az aminosav- és az omega 3 tartalmat (Sosa D. et al., 2024). Egy másik vizsgálatban, melyet Irabor et al. tilápiával (*Oreochromis niloticus*) és édesvízi garnélarákkal (*Macrobrachium rosenbergi*) végzett a súlygyarapodás és gyorsabb növekedés a takarmány 50% *L. minorral* való helyettesítésével magyarázták. Egy eltérő kutatás során azt kísérletezték ki, hogy az optimális dúsítási érték az legfeljebb 50%, ugyanis 60% felett a harcsa (*Clarias gariepinus*) növekedése csökkent (Sosa D. et al., 2024). Egy másik tanulmányban a *L. minor* fehérjetartalmát az *Anabas testudineus* és a *Channa punctata* halak in vitro emészthetőségi vizsgálatával határozták meg. Jobb emészthetőséget a *C. punctata* mutatott, még hozzá 54% körüli értéket. 50% feletti relatív fehérjeemészthetősége van az *L. minor*nak, mely igaz, hogy alacsonyabb a többi vizsgált növényi fehérjéhez képest, de azt mutatja, hogy helyettesíthet az étrendben más fehérjéket (Devi et al., 2022).

2.5.2. Baromfitakarmány

Egy kísérletben a szezámagot helyettesítették különböző mennyiségű *L. minorral*, a vizsgálat során növekvő mennyiségű békalencse tartalmú takarmánnyal (0, 3, 6, 9%) etették a csirkéket. A 3 és a 6% *L. minor*t tartalmazó takarmánnyal etetett csirkéknél kapták a legjobb eredményeket a 6 hetes hizlalás után (Ahammad et al., 2003). Egy másik tanulmányban 402 frissen kikelt csirkénél cserélték ki a baromfitáp 7%-át *L. minorral*. A takarmányt kombinálták 3 fehérjeszintű kezelésben: 18, 20, 22% fehérjetartalom. Az *L. minorral* etetett állatoknál nagyobb súlygyarapodást tapasztaltak a kontrollal etetett állatokhoz képest. Továbbá a békalencsével etetett állatokon jelentek meg hamarabb a farok- és szárnytollak (Khang & Ogle, 2004). Egy másik vizsgálatnál 0% békalencsét tartalmazó izosztikus táppal, 5%-os enzimes és enzimentes, 10% enzimes és enzimentes kiegészítéssel etették a vizsgált állatokat. Magasabb testtömeget mértek az 5%-os enzimes kezelésnél, mint a kontrollnál. A takarmányfogyasztásnál pedig azt regisztrálták, hogy a legkevesebb a kontroll esetében volt, a legtöbb pedig a 10%-os enzimkiegészítésnél. Egy tanulmányban 72 kacsát vizsgáltak, amelyeket kontrollal, vagyis rizskorpával és szójababbal, rizskorpával és magas fehérjetartalmú *L. minorral* etettek 84 napon keresztül. Arányosan nőtt a kacsák végső súlya és a napi súlygyarapodása a takarmányban lévő békalencse mennyiségének növelésével, ezen felül a hasított test bőrének színe is vonzóbb lett ezen állatok esetében (Sosa D. et al., 2024).

2.5.3. Sertéstakarmány

A sertés étrendébe bevezetve azt tapasztalták, hogy az állatoknak javult a testük, nagyobb mértékben nőtt a húruk és a bőrük, továbbá csökkenést véltek a zsírban (Soñta et al., 2019). Rojas és munkatársai (Rojas et al., 2014) 3 kísérletet végeztek el. Meghatározták a foszfor standardizált teljes traktus emészthetőségét (STTD), az AA standardizált ileális emészthetőségét (SID) a *Lemna* fehérjekoncentrátumban (LPC). Ezeket az értékeket vetették össze a hal- és szójaliszt adataival (SBM). Az STTD általában magasabb eredményű lett a *Lemna* fehérjekoncentrátumban, mint a hal- és szójalisztben, mind ez magyarázható a közöttük lévő fitátkoncentrációval. Egy másik tanulmányban, Nguyen és munkatársai 8 hím sertés alaptápjához adtak *L. minor*t, *Brachiaria muticat* (parafű) és *Ipomoea aquaticat* (víziparaj). Megállapították, hogy azok az egyedek, melyek testtömegük 4%-át kitevő alaptápot kaptak plusz takarmányt, nagyobb mennyiségű szárazanyagot mutattak ki, illetve ízletesebbek is voltak. Továbbá az *L. minor* mutatta a legmagasabb visszatartott nitrogén szintet (Sosa D. et al., 2024).

2.5.4. Kérődzőtakarmány

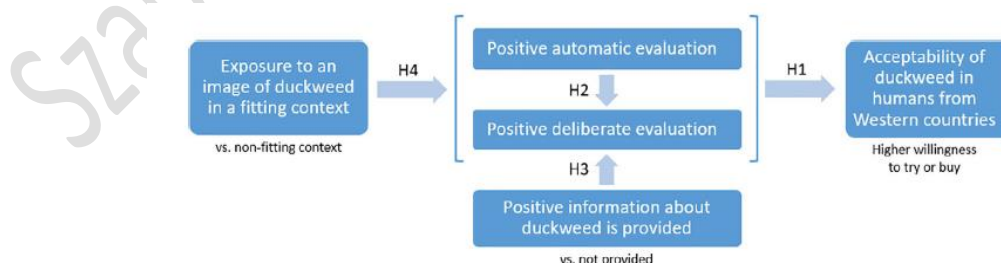
Több békalencse fajt (*Spirodela*, *Lemna*, *Wolffia*) vizsgálva kimutatták, hogy jól lebontható az állati bendőben mind a szárazanyag, mind a nyersfehérje (Soñta et al., 2019). Egy tanulmányban merinói anyajuhokat vizsgáltak, melyek békalencsét és más fehérjeforrásokat fogyasztottak. Vizsgálták az anyajuhok gyapjának mennyiségét és jellemzőit. A jellemzőin belül a gyapjúhozamot, a gyapjúnyúlás mértékét, valamint a szálak diaméterét. Nagyobb gyapjűmmennyiséget és magasabb megnyúlási arányt véltek az *L. minorral* etetett állatoknál, mint a többinél. Ezen kívül vizsgálták az állatok bendőjében lévő ammóniakoncentrációt és megállapították, hogy jó "menekülőfehérje" az *L. minor* (Damry et al., 2001). Reid és munkatársai (2004) 4 búrkecske csoportot vizsgáltak, szójalisztet tartalmazó takarmányukat fokozatosan békalencsével helyettesítettek. A tanulmányuk során vizsgálták a nitrogénfelvételt és -kiválasztást, a szérum karbamid-nitrogénszintet és a foszfort. Ezeknél a paramétereknél különbséget nem találtak a különböző csoportok között. A kísérlet bebizonyította, hogy táplálkozási szempontból összehasonlítható a szójababbal a békalencse és hogy nincsen negatív hatással a bendő pH-jára, a mennyiségre és az illékony zsírsavakra se (Sosa D. et al., 2024).

2.6. Békalencse felhasználásával készült élelmiszeripari termékek

Négy központi hipotézis alapján vizsgálták meg egy tanulmányban a békalencsét (11. ábra). A hipotézis tartalmazza a békalencséről és annak előnyeiről az előzetes ismereteket, a hozzáállást, mint emberi táplálék, az analógiákat és kategóriákat, az új élelmiszerhez való általános hozzáállást és a békalencse alkalmazásáról való elképzeléseket az étkezésben (De Beukelaar et al., 2019).

11. ábra: A négy központi hipotézis

(Forrás: De Beukelaar et al., 2019)



A tanulmányban tesztelték a kontextuális illeszkedést, a pozitív információszolgáltatás hatását és hogy ezek a paraméterek hogyan befolyásolták az új élelmiszer elfogadását. Körülbelül 2000 önkéntest toborzott a Wageningen Food & Biobased Research e-mailen

keresztül. 4 fotósorozatot mutattak meg a résztvevőknek, mely vagy az illeszkedő (szendvics, saláta, quiche, burgonyapürés ételek) vagy nem illeszkedő (sütemény, péksütemény, sajt, zöldséglé) képsorozatot ábrázoló, békalencsét tartalmazó termékeket, ételeket tartalmazta véletlen sorrendben. Tájékoztatták az önkénteseket a békalencse jelenlétéről, magas fehérjetartalmáról, előnyös termesztési körülményeiről (De Beukelaar et al., 2019).

Affect misattribution eljárással (AMP) mérték a termékek automatikus értékelését. Az eljárás lényege, hogy automatikus torzítás lép fel a megítélés alatt egy inger hatására, amelynek expozíciója affektív állapotot idéz és vált ki (Payne & Lundberg, 2014). Ha a tárgyak jelentés nélkülieknek mutatkoztak, akkor megbízható értékelést tapasztaltak a primre adott affektív válasza az eljárástól. Az AMP próba elején a 4 kép közül megmutattak egyet (vizuális prima) rövid ideig (300 ms), majd a 4 kínai írásjel közül egyet (véletlenszerűen adott) ugyanennyi ideig (De Beukelaar et al., 2019) (12. ábra).

12. ábra: A négy kínai írásjel az automatikus kiértékeléshez (balról jobbra: kék, sárkány, reggel és tigris)

(Forrás: De Beukelaar et al., 2019)

青 | 龙 | 辰 | 虎

A karaktert egy 7 pontos Likert-skálán kellett a résztvevőknek értékelniük, mely a nagyon kellemetlentől a nagyon kellemesig terjedt. A felmérés végén manipulációs ellenőrzésekkel vizsgálták, hogy a résztvevők másként értékelték-e a kínai írásjeleket vagy sem. A szándékos értékelés 3 deliberatív attitűdelemmel lett értékelve 7 pontos szemantikus differenciaskálán, amelynek 3 típusa van (az általános, amelyik a nagyon negatívától a nagyon pozitívig, a kognitív, mely a nagyon értelmetlentől a nagyon értelmesig és az érzelmi, amely a nem túl ízletesről a nagyon ízletesig terjed). 7 pontos skálán értékelték (teljesen nem egyetértéstől a teljesen egyetértésig) a termék elfogadhatóságát és két tétellel mérték (a két tétel a következő: "hajlandó vagyok megvenni" és "hajlandó vagyok kipróbálni"). Ugyanúgy 7-es skálán kellett értékelni a résztvevőknek, hogy a békalencse a bemutatott ételhez mennyire illik. Szemantikus differenciaskálán (ugyanúgy 7 pontos) mérték az emberek általános véleményét a békalencséről ("nagyon negatív-nagyon pozitív, nagyon értelmetlen- nagyon értelmes, nem túl ízletes-nagyon ízletes, nagyon ismeretlen- nagyon ismerős, nagyon természetellenes- nagyon természetes, nagyon nem biztonságos- nagyon biztonságos, nagyon hozzáférhető- nagyon

exkluzív, nagyon egészségtelen- nagyon egészséges, nagyon környezetkárosító- nagyon környezetbarát” (De Beukelaar et al., 2019)).

































Pliner és Hobden (1992) által kifejlesztett 10 tételes ételmiszer-neofóbia skála (FNS) holland fordításával mérték az új vagy ismeretlen élelmiszerektől való félelmet. A környezettel kapcsolatos aggodalmat pedig a 12 itemes, 3 skálából álló Environmental Motives Scale (EMS) mérte. Ki kellett még tölteni a résztvevőknek egy adaptált rövid változatú ételválasztási kérdőívet (vagyis az FCQ-t). A 8 ételt a felmérés végén megint 7 pontos skálán értékelték, amely a nem túlpozitívól a nagyon pozitívig terjedt és megkérdezték a résztvevőktől az életkorukat, a nemüket, a legmagasabb befejezett iskolai végzettségüket, az ételintoleranciájukat, -allergiájukat és a különleges étrendi követelményeiket (De Beukelaar et al., 2019).

Az adatelemzés AZ IBM SPSS 24 programmal zajlott. Az eredményeket megbízhatónak ítélték meg. ”Az elemzések Pearson-féle X², ANOVA-k, korrelációs és regresszós modellekből állnak”.

A 13. ábra foglalja magába az különböző békalencsével elkészített ételeket.

13. ábra: Az étkezési ingerek (4) a 4 feltétel függvényében, holland nyelvről fordított szöveggel

(Forrás: De Beukelaar et al., 2019)

		Fit		Non-fit	
Information	Provided				
					
					
					
	Not provided				
					
					
					

3. Anyagok és módszerek

Méréseimet a 2024, 2025 években végeztem a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Gabona- és Iparnövény Technológiai - és a Táplálkozástudományi Tanszékeken végeztem.

3.1. Felhasznált alapanyagok

3.1.1 Kölesliszt

A kölesliszt (*Panicum miliaceum L.*) a Dénes-Natura Kft. (Pécs) által gyártott teljes kiőrlésű termék (15. ábra), melynek tápérték adatait a 14. ábra tartalmazza.

14. ábra: A kölesliszt tápérték adatai 100g termékben

(Forrás: saját kép)

Átlagos tápérték 100 g termékben	
Energia	1532kJ(362kcal)
Zsír	3,2 g
- amelyből telített zsírsavak	0,3 g
Szénhidrát	58,5 g
- amelyből cukrok	0,03 g
Fehérje	11,2 g
Só	0,03 g

15. ábra: A kölesliszt

(Forrás: saját kép)



3.1.2. Útifűmaghéj liszt

Az általam használt útifűmaghéj lisztet (*Psyllium husk powder*) a BioMenü Kft.-nél vásároltam (gyártó: Caleido IT-Outsource Kft.) (17. ábra). Valamint a 16. ábra tartalmazza a tápérték adatait.

16. ábra: Az útifűmaghéj liszt tápérték adatai 100 gramm termékben

(Forrás: saját kép)

Átlagos tápérték/100 g	
Energia	931 kJ/222 kcal
Zsír	1,3 g
amelyből telített zsírsav	0,2 g
amelyből egyszerűen telítetlen zsírsav	0,4 g
amelyből többszörösen telítetlen zsírsav	0,6 g
Szénhidrát	16,4 g
amelyből cukor	0,4 g
Rost	67,8 g
Fehérje (protein)	3,6 g
Só	0,3 g

17. ábra: Az útifűmaghéj liszt

(Forrás: saját kép)



3.1.3. Békalencse

A kísérletben használt apró békalencse (*Lemna minor*), a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar (DE MÉK) Halbiológiai Laboratóriumának saját állományából származott, itt fóliasátorban tenyésztették.

Tesztkörnyezet: Az apró békalencsét (*Lemna minor*) egy 10m*4m*0,5m medencében voltak felnevelve, amelynek ammónia- $0,53 \pm 0,02$ mg/l, nitrit- $0,021 \pm 0,003$ mg/l, és nitráttartalma $0,1 \pm 0,03$ mg/l volt a mérési időszak alatt. Az egység megvilágítása természetes fényel történt (minimum 7204 - maximum 33462 Lux). A víz tápanyagtartalma NPK műtrágyával volt fenntartva, kéthetente 5 dkg hozzáadásával, valamint a víztérben keszeg lárvák nevelése történt, amely további szervesanyag dúsítást jelentett.

A békalencsét begyűjtés után kézi szőlőpréssel addig préselték, amíg a víz ki csöpögött belőle (kb. 10 perc), majd 37-40°C-on légkeveréses szárítószekrényben szárították 2 napig. A szárított békalencsét ledaráltam, majd ezzel végeztem el a méréseimet (18. ábra). A békalencse beltartalmi adatait a Debreceni Egyetem bocsátotta rendelkezésemre, amelyeket a 2. táblázat tartalmazza.

18. ábra: A békalencsepor

(Forrás: saját kép)



2. táblázat: A rendelkezésemre bocsátott Lemna minor békalencsefaj beltartalmi adatai

(Forrás: Debreceni Egyetem)

Száranyag (m/m%)	93,69
Nedvesség (m/m)%	6,31
Fehérje (m/m%)	33,96
Rost (m/m%)	16,8
Zsír (m/m%)	1,59
Hamu (m/m%)	18,05
Nmka (m/m)%	23,29

Nmka=Nitrogénmentes kivonható anyag, gyakorlatilag szénhidrátfélék, tömegszázalékban megadva

A szárított békalencsét 200 mm lisztméret nagyságúra daráltam (Reisch Grindomix GM2000, 4 speed; 1000 rpm), majd szobahőmérsékleten tároltam.

3.2. Tészta minták

Száraztészták:

A békalencsével dúsított száraztészta minták összetételét az 3. táblázatban foglaltam össze. A tészták egy része tojással, a másik része tojás nélkül (helyette csapvízzel) készült, melyeket különböző koncentrációban (0%, 5%, 10%, 15% és 20%) békalencsével dúsítottam. A tészták hozzávalóit homogénre kevertem, ezután a vizet hozzáadva 15 percig pihentettem, majd a tésztát sodrófával kinyújtottam, hosszúmetélt formájúvá vágtam. Ezután a nyers tésztát légkeveréses sütőben szárítottam (60 percig, 80°C-on).

Főtt száraztészták:

A szárított tésztákat tízszeres mennyiségű forralt vízben főztem, majd a főzési idejét ellenőriztem (lásd. 3.3.9.pont).

Emésztett tészták:

3. táblázat: Tésztaminták összetétele és jelölése

(Forrás: saját táblázat)

Tésztaminták	Tészták összetétel				
	15 g alaptészta			kiegészítő alapanyagok	
	kölesliszt (g)	útifűmaghéj liszt (g)	békalencseörlemény (g)	4 db. tojás (g)	csapvíz (ml)
Tojással (+T)	10	5	0	1,8	16,5
	9,5	5	0,5	1,8	16,6
	9	5	1	1,8	16,7
	8,5	5	1,5	1,8	16,6
	8	5	2	1,8	16,8
Tojás nélkül	10	5	0	0	17,5
	9,5	5	0,5	0	18,2
	9	5	1	0	18,4
	8,5	5	1,5	0	18,1
	8	5	2	0	18,6
Tésztaminták	Tésztaminták jelölése				
	tésztaminták a technológiai feldolgozás fázisai szerint				
	nyerstészta	száraztészta	főtt tészta	főtt tészta főzővize	Emésztett főtt tészta (vékonybélfázis)
Tojással (+T)	NY 0% + T	SZ 0% + T	F 0% + T	FV 0% + T	E 0% + T
	NY 5% + T	SZ 5% + T	F 5% + T	FV 5% + T	E 5% + T
	NY 10% + T	SZ 10% + T	F 10% + T	FV 10% + T	E 10% + T
	NY 15% + T	SZ 15% + T	F 15% + T	FV 15% + T	E 15% + T
	NY 20% + T	SZ 20% + T	F 20% + T	FV 20% + T	E 20% + T
Tojás nélkül	NY 0%	SZ 0%	F 0%	FV 0%	E 0%
	NY 5%	SZ 5%	F 5%	FV 5%	E 5%
	NY 10%	SZ 10%	F 10%	FV 10%	E 10%
	NY 15%	SZ 15%	F 15%	FV 15%	E 15%
	NY 20%	SZ 20%	F 20%	FV 20%	E 20%

3.3. Vizsgálatok

3.3.1.: Statikus humán *in vitro* emésztési modell

A humán emésztés modellezését *in vitro* Minekus és munkatársai (2014) és Brodkorb és munkatársai (2019) által kidolgozott módszer szerint végeztem, 1 g mintára vonatkoztatva. Szimulált emésztőnedveket (nyál -SSF, Simulated Salivary Fluid; gyomorfoládék - SGF, Simulated Gastric Fluid; vékonybélfoládék - SIF, Simulated Intestinal Fluid) használtam az emésztés során, melyek a tápcsatorna ezen szakaszaira jellemző megfelelő koncentrációjú elektrolit oldatot, megfelelő aktivitású emésztő enzimeket, megfelelő koncentrációjú CaCl_2 -t és desztillált vizet tartalmazott (4. táblázat).

Megjegyzés: Az emésztőnedveknél hozzáadott 5M HCl/5M NaOH és víz mennyiségét az emésztési procedúra előtt, előre meg kell határozni ún. pH-teszt mérésel. Ez azt jelenti, hogy az adott élelmiszer pH értéke alapján kell igazítani az emésztési fázisok pH-értékeit az elvárásnak megfelelően (5M HCl / 5M NaOH és víz mennyiségének meghatározásával) az enzimek jelenléte nélkül (helyette desztillált víz). Erre azért van szükség, hogy az *in vitro* emésztésnél már azonnal hozzáadható legyen (előre ismert legyen) a szükséges mennyiség, hogy az emésztési idő alatt tartani lehessen végig a kívánt pH értéket.

4. táblázat: Emésztőnedvek összetétele (1 g kiindulási mintára vonatkoztatva)

(Forrás: saját táblázat)

SZÁJ-szimulált nyál	1 ml
(1.25x)SSF elektrolit törzsoldat (pH 7)	0,8 ml
0,3M CaCl ₂ *2H ₂ O	5 <u>ul</u>
alfa amiláz (végkonc.-ban: 75 U/ml)	0,1 ml
Desztillált víz (ul)	0,095 ml

GYOMOR -szimulált gyomorfolyadék	2 ml
(1.25x)SGF elektrolit törzsoldat (pH 3)	1,6 ml
0,3M CaCl ₂ *2H ₂ O	1 ml
pepszin (végkonc.-ban: 2000U/ml)	0,2 ml
5M HCl (ul)	mintától függő a mennyiség (összesen 0,199 <u>ul</u> lehet), beállítani pH 3-ra
Desztillált víz (ul)	

VÉKONYBÉL -szimulált vékonybélfolyadék	4 ml
(1.25x)SIF elektrolit törzsoldat (pH 7)	2,2 ml
pankreatin (végkonc.-ban: tripszinre vonatkoztatva: 100 TAME U/ml)	1 ml
epe (10 mM)	0,488 ml
0,3M CaCl ₂ *2H ₂ O	8 ml
5M NaOH (ul)	mintától függő a mennyiség (összesen 0,304 <u>ul</u> lehet), pH 7-re beállítani
Desztillált víz (ul)	

Szimulált emésztőfolyadékok törzsoldatainak térfogatai 500 ml folyadék-végtérfogatra vannak kiszámolva minden egyes szimulált oldat esetében, azonban az elektrolit törzsoldatok desztillált vízzel 400 ml-re, azaz 1,25 koncentrációra vannak kiegészítve (-20°C-on történő tárolás céljából.) Az enzimek, epesók, Ca²⁺ oldat és víz hozzáadása eredményezi a megfelelő elektrolitkoncentrációt a végső emésztési keverékben. CaCl₂ (H₂O)₂ nincs hozzáadva az elektrolit törzsoldatokhoz, mert kicsapódás következhet be; ehelyett a szimulált emésztőfolyadék és az élelmiszer végső keverékéhez van hozzáadva (lásd 5. táblázat).

5. táblázat: 1,25x koncentrátumú szimulált emésztőnedvek elektrolit törzsoldatainak összetétele

(Forrás: saját táblázat)

			Szimulált emésztőnedvek elektrolit törzsoldatai					
	összetevő törzsoldat koncentrációja	összetevő törzsoldat molaritása	(1.25x)SSF elektrolit törzsoldat (pH 7)	SSF elektrolit összetevők koncentrációja a szájfázis végtérfogatóban	(1.25x)SGF elektrolit törzsoldat (pH 3)	SGF elektrolit összetevők koncentrációja a gyomorfázis végtérfogatóban	(1.25x)SIF elektrolit törzsoldat (pH 7)	SIF elektrolit összetevők koncentrációja a vékonybélfázis végtérfogatóban
Összetevők	g/l	M	ml	mM	ml	mM	ml	mM
KCl	37,3	0,5	15,1	15,1	6,9	6,9	6,8	6,8
KH ₂ PO ₄	68	0,5	3,7	3,7	0,9	0,9	0,8	0,8
NaHCO ₃	84	1	6,8	13,6	12,5	25	42,5	85
NaCl	117	2	-	-	11,8	47,2	9,6	38,4
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	30,5	0,15	0,5	0,15	0,4	0,1	1,1	0,33
(NH ₄) ₂ CO ₃	48	0,5	0,06	0,06	0,5	0,5	-	-
			390 ml-ig desztivvel feltölteni		390 ml-ig desztivvel feltölteni		390 ml-ig desztivvel feltölteni	
pH-beállítás: 6M HCl-el (kb.)			~ 0.09		~1.3		~0.7	
			400 ml-re desztivvel kiegészíteni az oldatot		400 ml-re desztivvel kiegészíteni az oldatot		400 ml-re desztivvel kiegészíteni az oldatot	
			Tárolás aliquotokban, -20°C-on, 1 hónapig		Tárolás aliquotokban, -20°C-on, 1 hónapig		Tárolás aliquotokban, -20°C-on, 1 hónapig	

nyál -SSF, Simulated Salivary Fluid; gyomorfolyadék - SGF, Simulated Gastric Fluid; vékonybélfolyadék - SIF, Simulated Intestinal Fluid

Emésztőenzim aktivitások, és epesav koncentráció meghatározása az emésztési fázisok végtérfogatóban:

A harmonizált emésztési protokollal összhangban az enzimek aktivitását az emberi szervezetben feltételezett fiziológiás körülményeknek megfelelően állítottam be. A nyál fázisban humán nyál alfa-amilázt (Sigma-Aldrich, Germany, A1031-5KU) alkalmaztam, aminek az aktivitását a szimulált nyálnedv végső térfogatában 75 U/ml-re állítottam be. A gyomor fázisban sertés eredetű pepszint (Sigma-Aldrich, Germany, P7012) használtam, melynek aktivitását a szimulált gyomorfolyadék végső térfogatában 2000 U/ml-re állítottam be. A vékonybél fázisban sertés eredetű pankreatint (Sigma-Aldrich, Germany, P1750) használtam, melynek aktivitását a pankreatin enzimmészletében lévő tripszin enzim aktivitása szerint 100 TAME (p-Toluene-Sulfonyl-L-arginine methyl eszter) U/ml -re számoltam a szimulált vékonybélfolyadék végső térfogatában. A vékonybélfolyadék epe kivonatot (Sigma- Aldrich, Germany, B8631) is tartalmazott: 10 mM koncentrációban.

Kereskedelmi forgalomban kapható emésztőenzimek aktivitásának meghatározása:

Az emésztési fázisok végtérfogatában az említett enzimaktivitások beállításához szükséges volt a rendelkezésemre álló enzimek -a felhasználás előtti állapotában lévő -aktivitását megmérnem. A felhasznált alfa-amiláz, pepszin és pankreatin aktivitása Bernfeld 1955, Anson 1938; Hummel 1959 módszere alapján került meghatározásra. Az alfa-amiláz enzim esetében 173,9 U/mg, a pepszin esetében 2197,5 U/mg, a pankreatin esetében 2,6 U/mg aktivitást mértem. Az epesav koncentrációját a Bile Acids Enzymatic Cycling Kittel mértem le (Dialab, 903120), mely 2,05 mM/mg volt.

Ezen aktivitás értékek már rendelkezésemre álltak, így diplomamunkámban nem részletezem a mérések részletes protokollját.

A humán *in vitro* emésztés procedúra lépései

Az emésztési kivánt minták kiindulási mennyisége 1 g volt. Az adott vizsgálati mintáknak megfelelő fázis pH értékeket minden esetben pH tesztmérésekkel állítottam be (3 párhuzamos méréssel). Emésztési fázisonként haladva az emésztmény és a mesterséges emésztőnedv aránya mindig 50:50 v/v% volt. Ennek megfelelően az emésztési kivánt 1 g mintához 1 ml szimulált nyálfoládékat adtam, ami így együtt 2 ml szájfázis térfogatnak felelt meg (2 perc, 37°C, kevertetés rázóinkubátorban). A 2 perces rágás szimulálása után az emésztményhez 2 ml szimulált gyomorfoládékat adtam, kialakítva így a 4 ml gyomorfázis végtérfogatot. A gyomorfázisban történő emésztést 37°C-on 2 órán keresztül végeztem, kevertetés mellett. A 2 órás inkubáció után az emésztményhez további, 4 ml szimulált vékonybél foládékat adtam, így kialakítva a 8 ml végső térfogatot. A gyomor fázishoz hasonlóan a vékonybélben történő emésztést is 2 órán keresztül 37°C-on végeztem rázótermosztátban. Az enzimes reakciót azonnali -70°C-ra való hűtéssel állítottam le.

3.3.2. Nedvességtartalom mérés

A nedvességtartalom mérésére Satorius MA 50 típusú gyorsnedvességmérő készüléket (19. ábra) használtam. A békalencsepor, a kölesliszt, az útifűmaghéjliszt, a nyers-, a száraz- és a főtt tészának vizsgáltam a nedvességtartalmát.

Az eszköz a tömegvesztéséből számítja ki a nedvességtartalmat, úgy, hogy tömegállandóságig 105°C párologtatja el a víztartalmat a mintákból.

A békalencsepor és a száraztészta nedvességtartalma legfeljebb 13% lehet az MSZ 6369-1:1985 rendelet alapján.

19. ábra: Satorius MA 50 típusú gyorsnedvességmérő készülék

(Forrás: saját kép)



3.3.3. Vízakktivitás mérése

A vízakktivitás az eltarthatóságban játszik szerepet. A nedvességtartalomtól abban különbözik, hogy a vízakktivitás nem a mintában található teljes nedvességet mutatja, hanem csak a hozzáférhető víz mennyiségét. Az élelmiszerekben eltérő mennyiségben található kötött víz, amely csak bizonyos fizikai vagy kémiai módszerek segítségével nyerhető ki, ezáltal ezt a mikroorganizmusok nem tudják hasznosítani. Mikroorganizmusok számára a szabad víz az, amit anyagcsere folyamataikhoz, illetve szaporodáshoz fel tudnak használni, ezt vizsgáljuk a vízakktivitás mérése során. A vízakktivitás jele az a_w , amely egy 0 és 1,00 közti szám. Ez a szám minél kisebb, annál kevesebb a termékben található mikroorganizmusok számára hasznosítható víz, ezáltal tovább tárolható. A vízakktivitás meghatározásához Novasina MS1 típusú vízakktivitás-mérő gépet használtam, a gépet a 20. ábra mutatja. A méréshez a kekszeket por állagúra daráltam, majd a gép tartályába egyenletesen eloszlattam.

20. ábra: Vízakktivitás-mérő készülék

(Forrás: saját kép)



3.3.4. Színmérés

Minolta CR-310 gyors színmérő készülék segítségével mértem a békalencsepor, a kölesliszt, az útifűmaghéjliszt, a nyers-, száraz- és főtt tészták színét. A 21. ábra szemlélteti a készüléket. A CIELAB színingertér koordinátái: L^* a világossági tényező; az a^* érték, mely a zöldtől a pirosig terjed, ahol a negatív érték a zöld, pozitív érték a piros; a b^* érték, mely a kéktől a sárgáig terjed, ahol negatív érték a kék, a pozitív érték a sárga.

21. ábra: Minolta CR-310 színmérő készülék

(Forrás: saját kép)



A világossági tényező egy mérőszám, amely az élelmiszerek színének a világosságát vagy a fényességét jelzi. Ez elsősorban azoknál az élelmiszereknél fontos, ahol a minőségre is kíváncsiak vagyunk és ahol a szín a fogyasztói észlelést és preferenciát jelentős mértékben befolyásolja.

Kalibrációval kezdtem a mérést, aminek elvégzése egy standard kerámia etalonnal történt. A készülék a mintáknak az L^* , a^* és b^* értékeit fehér lapra helyezés után megállapítja. 3-3 párhuzamos mérést végeztem mintánként.

Meghatároztam a teljes színinger különbséget (ΔE^*), amely a következő képlettel számolható:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$$

ΔE^* kiszámolásával meghatároztam, hogy a békalencse koncentráció növelésével hogyan változik a szín a kontrollhoz (0%-hoz) képest (nyers, a száraz, a főtt tészta esetében egyaránt).

3.3.5. Extraktum készítése

A négytizedesjegy pontosságú analitikai mérleg segítségével kimért 0,1500 g mintához (békalencsepor, nyerstészta, száraztészta, főtt tészta) két spatula kvarchomokot adtam hozzá, mellyel a mintákat két percig szárazon dörzsöltem. Ezután 1500 µl metanol és desztillált vizes oldatot (1:2 aránnyal) pipettáztam az egyes mintákhoz, majd megismételtem a dörzsölés folyamatát, 5 percig. Ezt követően a dörzsmozsár tartalmát centrifugacsőbe töltöttem, majd lecentrifugáltam (6000 fordulat/perc, 15 perc, 4°C) az előre lehűtött Hettich Zentrifugen centrifugában (22. ábra). A felülszót -20°C-on tároltam a további vizsgálatok (3.3.7. pont: összes polifenol tartalom, 3.3.6. pont: antioxidáns kapacitás, 3.3.8. pont: vízben oldható fehérje-tartalom) megkezdéséig. A kivonatkészítésnél három-három párhuzamos mérést hajtottam végre.

22. ábra: Hettich Zentrifugen gép

(Forrás: saját kép)



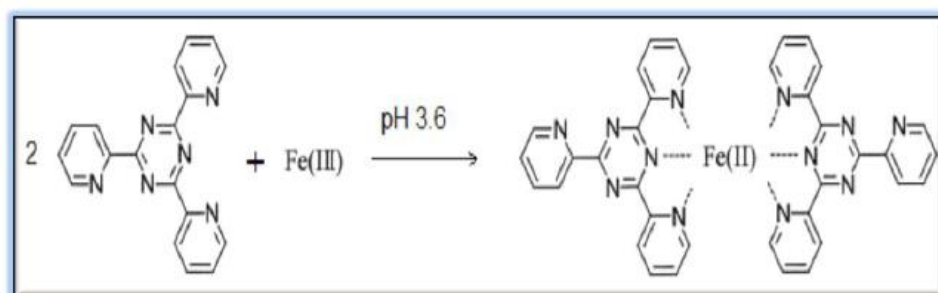
3.3.6. Az antioxidáns kapacitás mérésének elmélete és menete

A békalencsepor, a kölesliszt, a nyerstészták, a száraztészták és a főtt tészták, továbbá a főzővizek antioxidáns kapacitás meghatározását a vasredukáló képességen alapuló FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) módszer alapján végeztem, amelyet Benzie és Strain (1996) dolgozott ki.

A vizsgálat alapja, hogy a Fe(III) ionokat Fe(II) ionokká redukálják a mintákban található antioxidáns vegyületek. Az FRAP egy kvantitatív módszer, amellyel meghatározhatjuk egy minta antioxidáns aktivitását, mivel a vas(III) redukálása mérhető fényabszorpcióval történik (595 nm-en) (23. ábra).

23. ábra: FRAP módszer elvi ábrája

(Forrás: Alta'ee, 2013)



A TPTZ (2,4,6-tripiridil-S-triazin) és a vas(III)-jal (Fe^{3+}) komplex jellemzője, hogy nem eredményez színes reakciót, amelyet a FRAP módszerben mérni tudnánk. A vas(III)-TPTZ komplex színe szinte színtelen (halvány sárga), ami nem segítené az antioxidáns aktivitás mérését. A FRAP tesztben az antioxidánsok csökkentik a vas(III)-at vas(II)-vé. A vas(II) már reakcióba lép a TPTZ-szel, és létrejön – alacsony pH-n -egy kék színű komplex (vas(II)-TPTZ), amelynek intenzitása a minta antioxidáns aktivitásával van összefüggésben. A TPTZ és a vas(II)-ionok közötti reakció során keletkező kék komplex nem sugároz fényt (nem fluoreszkál), hanem a fény abszorpcióját változtatja meg (abszorpciós spektroszkópián alapuló színreakció).

A FRAP-reagens több komponensből tevődik össze, melyeket frissen készítettem el:

Nátrium-acetát puffer (0,3 M; pH 3,6)	Négy tizedesjegy pontosságú analitikai mérlegen mértem ki 1,5500 g nátrium-acetátot (vízmentes CH_3COONa), amelyet 8,0 ml ecetsavval kevertem össze, majd desztillált vízzel hígítottam fel 500,0 ml-re.
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20 mM)	0,0540 g vas (III)-klorid hexahidrátot ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) mértem ki analitikai mérlegen, majd ezt hígítottam fel 10 ml desztillált vízzel és összekevertem.
2,4,6-Tri(2-pyridil)-s-triazine (TPTZ, $\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_6$) (20 mM) 40 mM HCl-ban	Négy tizedesjegy pontosságú analitikai mérlegen kimértem 0,0624 g 2,4,6-tri (2-piridil)-S-triazint és hozzáadtam 68 μl 37%-os HCl-t, majd ezt feltöltöttem 20,0 ml-re. Ennek eredményeképpen

	kaptam egy 20 mM koncentrációjú elegyet 40 mM-os sósav oldatban.
--	--

A FRAP reagens így 20 ml TPTZ oldatból, 20 ml $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ oldatból, továbbá 50 ml nátrium-acetát puffer elegyéből épül fel.

Kalibráció felvétel: 1 M aszkorbinsav törzsoldattal történt. Ennek elkészítése: 0,0088 g szilárd aszkorbinsavat egészítettem ki 50 ml-re desztillált vízzel. A 6. táblázat tartalmazza a kalibrációs oldatok összetételét.

6. táblázat: A vízben oldható antioxidáns kapacitás meghatározásához szükséges kalibrációs sor oldatai és azok mennyiségei

(Forrás: saját táblázat)

	FRAP reagens (μl)	Aszkorbinsav oldat (μl)	Aszkorbinsav koncentráció (mg/ml)	Desztillált víz (μl)
1	1500	0	0	50
2	1500	5	0,018	45
3	1500	10	0,035	40
4	1500	20	0,071	30
5	1500	30	0,106	20

Mérés menete:

A kémcsövekbe 1500 μl FRAP reagenst és 50 μl mintát (békalencsepor, porkeverékek, száraztészták és főtt tészták extraktumjait) pipettáztam. 5 perc pihentetés után a kémcsövek tartalmát küvettékba töltöttem és Rayleigh UV-1800 típusú spektrofotométerrel $\lambda = 593 \text{ nm}$ hullámhosszon megmértem az abszorbancia értéküket.

Az antioxidáns kapacitást a kalibrációs egyenes egyenlete alapján határoztam meg, és az antioxidáns kapacitást aszkorbinsav egyenértékkel (ASE, aszkorbinsav egyenérték /mg/g szárazanyag) határoztam meg. A spektrofotométert a 24. ábra szemlélteti.

(Forrás: saját kép)



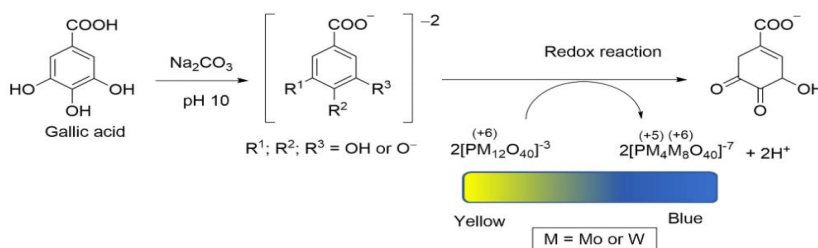
3.3.7. Összes polifenol tartalom meghatározása

A békalencsepor, a kölesliszt, a nyerstészta, a száraztészta és a főtt tészta extraktumait, továbbá a főzővizek összes polifenol tartalmát Singleton és Rossi (1965) által kidolgozott módszer alapján vizsgáltam.

A vizsgálathoz Folin-Ciocalteu reagenst (phosphotungstic-phosphomolybdic acid color reagent, foszphotungstosav-foszfomolibdén-sav színreagens) használtam. Ez egy komplex sav, amely foszfor, tungstén (W) és molibdén (Mo) atomokat tartalmaz. A reagens molibdén Mo(VI) ionja elektront vesz fel, majd a fenolos vegyületek hatására Mo(V) ionná redukálódik. Színváltozás következik be, vagyis a kiindulási sárga oldat színe kékes színűvé változik a redukció eredményeként (25. ábra). Ennek köszönhetően a mintákat 760 nm-en spektrofotometriásan mérhettem.

25. ábra: A redox reakció és a színváltozás a Folin-Ciocalteu tesztben, valamint a Munteanu által azonosított fémkomplexek

(Forrás: Munteanu & Apetrei, 2021)



A méréshez szükséges oldatok:

Folin-Ciocalteu reagens	10 ml Folin-Ciocalteu reagenshez 100 ml desztillált vizet adtam
Hígító-oldat	80 ml metanol és 20,0 ml desztillált víz keveréke

Na ₂ CO ₃ oldat (0,7 M)	7,42 g Na ₂ CO ₃ -t 100 ml desztillált vízzel elegyítettem
galluszsav-oldat (0,3 M) - kalibrációhoz	5,1 mg galluszsavat (C ₇ H ₆ O ₅) 10 ml hígító-oldatban oldottam fel, mely oldatot a kalibrációs egyenes felvételéhez használtam

7. táblázat: A vízben oldható összes polifenol tartalom meghatározásához szükséges kalibrációs sor oldatait és azok mennyiségei

(Forrás: saját táblázat)

	Folin-Ciocalteu oldat (μl)	Hígító oldat (μl)	Galluszsav oldat (μl)	Galluszsav koncentráció (mg/ml)	Nátrium-karbonát oldat (μl)
1	1250	250	0	0	1000
2	1250	200	50	0,0102	1000
3	1250	150	100	0,0204	1000
4	1250	100	150	0,0306	1000
5	1250	50	200	0,0408	1000

A minták mérése: esetében kémcsövekbe pipettáztam 1250 μl Folin-Ciocalteu oldatot, amihez 200 μl hígító oldatot, továbbá 50 μl mintát adtam. Szobahőmérsékleten hagytam pihenni azokat 1 percig, majd 1000 μl nátrium-karbonát oldatot adtam hozzá (7. táblázat). A kalibrációs oldatokat és a mérendő mintákat 50°C-ra előmelegített Labnet D1100 Accublock Digital Dry Bath száraz termosztátban, 5 percig inkubáltam. Az inkubáció után hagytam a mintákat szobahőre lehűlni, majd spektrofotométerrel megmértem az abszorbanciájukat $\lambda = 760$ nm hullámhosszon.

Az összes polifenol tartalmat a kalibrációs egyenes egyenlete alapján határoztam meg, és az összes polifenoltartalmat galluszsav egyenértékkel (GSE, Galluszsav egyenérték /mg/g szárazanyagban) határoztam meg.

3.3.8. Fehérjetartalom meghatározásának elmélete és menete

A békalencsepor, a kölesliszt, a nyerstészták, száraztészta és főtt tészta extraktumainak, továbbá a főzővizek fehérjetartalmát Layne (1957) által kidolgozott módszer alapján határoztam meg.

A mérés elmélete:

A fehérjék lúgos közegben rézsókkal színes komplexeket képeznek (26. ábra). A kialakult szín arányos a fehérje-koncentrációval.

(Forrás: Internet)



A Biuret reagens több komponensből áll, melyek elkészítése a következőképpen történt:

NaOH-oldat (0,2 M, pH 12)	Táramérlegben bemértem 8 g NaOH pasztillát feldolítottam 1000 ml desztillált vízben
rézszulfát -kálium-nátrium-tartarát	Kimértem 3 g $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ -t
kálium-nátrium-tartarát	Kimértem 9 g $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \times \text{H}_2\text{O}$ -t

A Biuret reagens: a kimért szilárd komponeket 1000 ml-re mérőlombikban jelre töltve NaOH-oldattal (0,2 M) feloldottam.

Kalibrációs oldatok összetétele: 5 mg/ml-es BSA-törzsoldatot használtam a kalibráció elkészítéséhez. 25 mg marhaszérum albumint (BSA, bovine serum albumin) 5,0 ml desztillált vízben oldottam. (8. táblázat).

8. táblázat: A fehérjetartalom meghatározásához szükséges kalibrációs sor oldatai és azok mennyiségei

(Forrás: saját táblázat)

	Biuret reagens (μl)	BSA oldat (μl)	BSA koncentráció (mg/ml)	Desztillált víz (μl)
1	1500	0	0,0	1000
2	1500	100	0,2	900
3	1500	200	0,4	800
4	1500	300	0,6	700
5	1500	400	0,8	600

A vizsgálandó minták: esetében 300 μl mintához 1500 μl Biuret reagenst és 700 μl desztillált vizet pipettáztam, majd 37 °C-ra előmelegített száraz termosztátban inkubáltam az oldatot. a kalibrációs oldatokat, továbbá a mérendő mintákat. Az inkubálás 30 percig tartott. Az idő letelte után szobahőmérsékleten hagytam kihűlni a kémcsöveket. Spektrofotometriásan $\lambda = 580 \text{ nm}$ -en mértem meg a küvétába töltött minták abszorbanciáját.

A fehérjetartalmat mg/g szárazanyagban határoztam meg.

3.3.9. Főzési tulajdonságok meghatározása MSZ 200500/1-1985 szerint: Főzési idő meghatározása

25 g törmelékmentes száraztésztát 250 cm³ ivóvízben forraltam fel, közben a lehetséges lesülés elkerülése érdekében rendszeresen megkevertem üvegbottal. A mérés főzési időtartamát percben kifejezve rögzítettem az újra forrás kezdetétől számítva. A főzési folyamat akkor érte el a végét, amikor a tészta belsejében már nem észleltem fehér színű, lisztes csíkot. Ennek függvényében olvastam le az eltelt időt.

3.3.10. Főzési tulajdonságok meghatározása MSZ 200500/1-1985 szerint:

Duzzadóképeség (vízfelvétel mennyiségének) meghatározása

A mérés kiindulópontja a száraztészta tömegének mérése. Ezt két tizedesjegy pontosságú táramérleg segítségével határoztam meg. Hasonlóan az előző méréshez, ebben az esetben is megfőztem a tésztákat, a korábban meghatározott idő (lásd 3.3.9. pont) függvényében. Amikor a tészta elérte a kívánt főtt állapotot, leöblítettem langyos vízzel, majd a vizet lecsepegtettem. A főtt tészta tömegének megmérése után a tészták duzzadóképeségét százalékos tömegértékben fejeztem ki a következő képlet alapján:

$$\text{Vízfelvétel (\%)} = \frac{a - b}{a} \cdot 100$$

ahol,

a = a főtt tészta tömege (g)

b = a száraztészta tömege (g)

Megfelelőség esetén a duzzadóképeség 100% vagy afeletti értéket mutatott.

3.3.11. Főzési tulajdonságok meghatározása MSZ 200500/1-1985 szerint:

Szétfőzés és összetapadás mértékének meghatározása

Kiválogattam az összetapadt és a szétfőtt darabokat, a főtt tészta össztömegét ehhez viszonyítottam, százalékos tömegértékben megadva.

3.4. Az eredmények kiértékeléséhez használt statisztikai módszerek

Egytényezős varianciaanalízissel (ANOVA) értékeltem ki a mért és számított adatokat, eredményeket, a PAST szoftver használatának segítségével, melyben a varianciatáblázat összehasonlítja a békalencseőrleményhez tartozó átlagokat. A szórásukat pedig a Levene's test. A konkrét különbségre a csoportok között a Tukey féle összehasonlítás mutat.

4. Eredmények és kiértékelésük

Kölesliszt, útifűmaghéjliszt bázisú száraztészta mintákat állítottam elő tojással, vagy tojás felhasználása nélkül, melyet békalencse porral 5%, 10%, 15% és 20% - al dúsítottam (27. ábra).

27. ábra: Száraztészta modellek

(Forrás: saját kép)

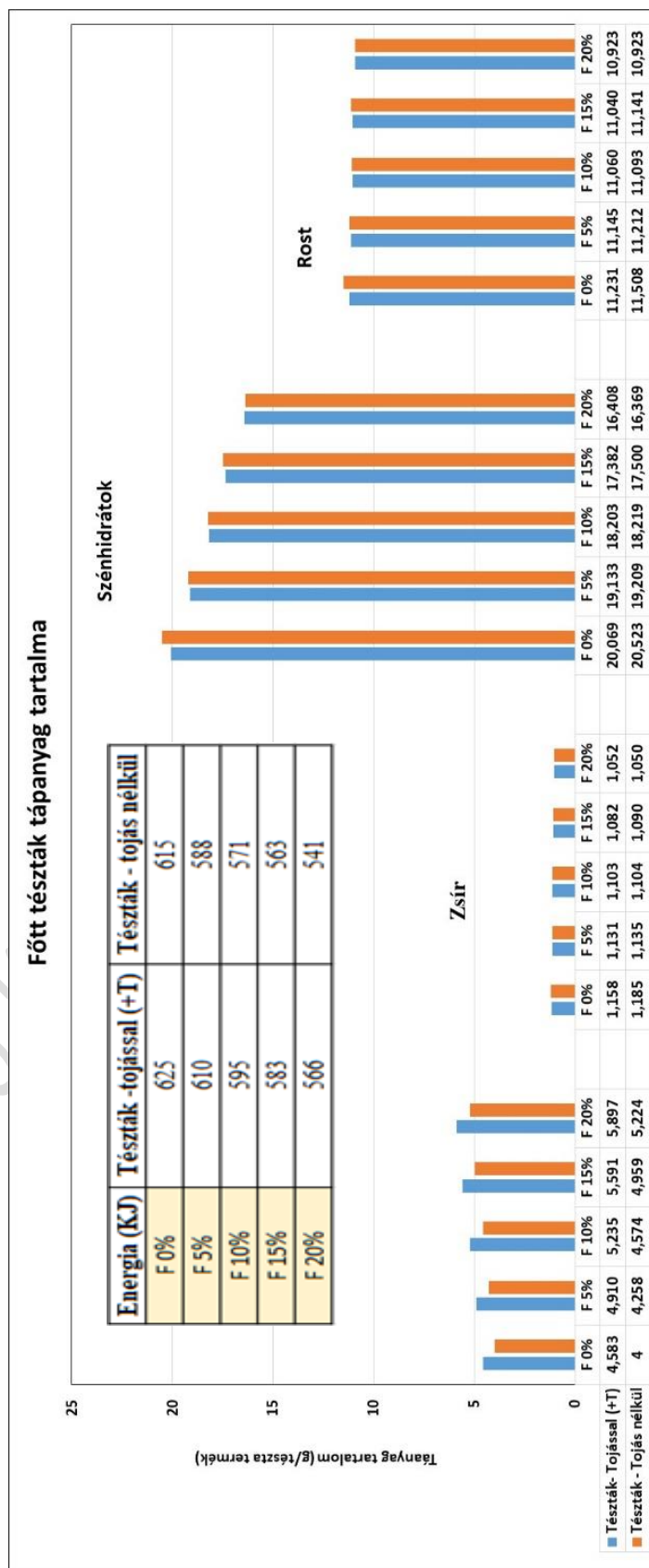


4.1. Tápérték adatok

Táplálkozásunk szempontjából a főtt tésztaminták tápérték adatait tartottam fontosnak meghatározni, melyet az alapanyagok csomagolásán feltüntetett tápanyag adatok alapján számoltam ki (28. ábra).

28. ábra: A főtt tészták tápanyag tartalma

(Forrás: saját ábra)



A békalencse por hozzáadásával a tészta minták **fehérje-tartalma** fokozatos növekedést mutatott a dúsítási érték növelésével arányosan. A tojással készített minták nem sokkal, de mégis megnövelték kismértékben a tészták fehérje-tartalmát, ami a tojás jelenlétének köszönhető. Legmagasabb fehérje-tartalmú a 20%-os tojásos és tojásmentes tészták voltak.

A tápérték adatainak egytényezős varianciaanalízissel való kiértékelése által a Levene's test a két csoportot (tojásos és tojásmentes minták) összevetette és a $p = 0,05$ szignifikancia szinten nincs szignifikáns eltérés a csoportok szórásai között ($p = 0,9877$).

A varianciatáblázat a két csoport átlagát vizsgálja. A minták $p=0,05$ szignifikancia szinten szignifikánsan nem különböznek ($F = 4,708$, $p = 0,07309$). Ez is bizonyítja azt, hogy egymástól nem különböznek a tojásossal és tojásmentesen készült termékmodellek fehérje tartalma.

Minimális csökkenést tapasztaltam a **zsírtartalmaknál** a tojásos és a tojás mentes minták esetében. Az értékek szinte hasonló értékűek lettek a két csoport között, minden mintapáros esetében. Néhány adat a tojásosnál, néhány a tojásmenteseknél magasabbak. A varianciatáblázat a két csoport átlagát vizsgálja. Megállapítható, hogy nincs szignifikáns eltérés ($F = 0,06766$; $p = 0,8013$), az átlagok nem különböznek statisztikailag. A Levene's teszt alapján ($p = 0,6999$) elmondható, hogy nincs szignifikáns eltérés a varianciák között.

Minimális eltérés van a tojásos és a mentes tészták **szénhidrát** adatai között. Néhol magasabb értékeket vesznek fel a tojásos minták, néhol a mentesek. Csökkenő tendencia ellenben látható mindkét mintasor esetén. A tápérték adatainak egytényezős varianciaanalízissel való kiértékelése által elmondható, hogy 0,05 szignifikancia szinten ($p = 0,8317$) nincs szignifikáns különbség a szóráshomogenitásban. Az átlagok ($F = 0,01702$, $p = 0,8994$) szignifikánsan megegyeznek.

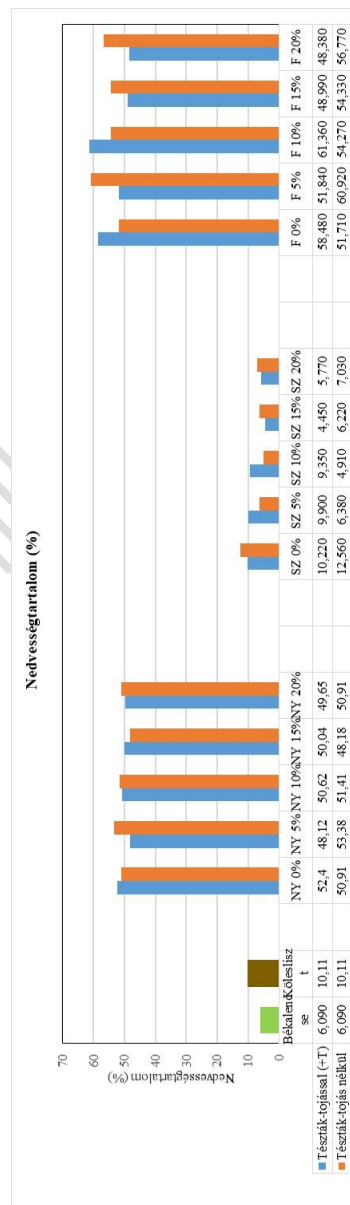
A **rosttartalomértékek** kiegyensúlyozottak a tészták között. Nincs szignifikáns eltérés az átlagok ($F = 0,7702$, $p = 0,4057$), valamint a szórások ($p = 0,3909$) között sem.

4.2. Nedvességtartalom

Általánosan megfigyelhető, hogy a tojásos tészták nedvességtartalma kismértékben magasabb, mint a tojásmenteseké, ami a tojás hozzáadásával járó víztartalom növekedéssel magyarázható. A tésztához különböző koncentrációban hozzáadott békalencsepor nem mutatott szoros összefüggést a nedvességtartalom változásával. Legalacsonyabb értékkel a száraztészták rendelkeztek, mely a szárítás hatására következett be. A száraztészták nedvességtartalma maximum 13% lehet, melyek az előírásoknak megfelelnek. Ezen értékeket a 29. ábra foglalja össze.

29. ábra: A nedvességtartalom értékek %-ban kifejezve

(Forrás: saját ábra)



4.3. Vízáktívítás

A vízáktívítás (a_w) a mikroorganizmusok számára hozzáférhető víztartalmat jelöli. A vízáktívítást gőznyomások hányadosával határozhatjuk meg. A számlálóban szerepel a közegben lévő vizes oldat gőztenziója, vagyis a légtér parciális vízgőz nyomása, a nevezőben pedig az oldószer gőztenziója, vagyis a tiszta víz azonos hőmérsékleten mért gőznyomása. 0 és 1 közé esik a vízáktívítás értéke. 0 a szabad vizet nem tartalmazó rendszeré, 1 pedig a desztillált vízé. A mikróbák többsége 0,75-nél kisebb a_w esetén képtelen szaporodni. A baktériumok esetén beszélünk a legmagasabb vízigényről, szaporodásukhoz szükséges vízáktívítás értékének az élelmiszerben nagyobbnak kell lennie, mint 0,91-nek. Ez alól kivételt képeznek a halofil baktérium fajok, vagyis a sókedvelő bakteriumok, amelyeknek a vízáktívítás érték akkor ideális, ha az 0,75 értéknél nagyobb. Az élesztő és a penészgombák szaporodásához szélesebb vízáktívítási tartomány van. A gombák képesek a legalacsonyabb vízáktívítású közegben szaporodni, például az *Aspergillus glaucus* 0,8, a *Saccharomyces rouxi* 0,6 vízáktívítási érték mellett. 0,67 értéknél egyes élesztők képesek (például xerofil), 0,79 érték mellett pedig a xerotróf élesztőgombák. Összességében megállapítható, a Gram negatív baktériumok vízáktívítás igénye a Gram pozitív baktériumokhoz képest nagyobb. Ezen felül a baktériumoké a gombákhoz képest magasabb. A gombák, melyek romlást okoznak 0,8 értéknél, a baktériumok, amelyek romlást okoznak 0,91 értéknél képesek növekedni (Sándor & Peles, 2015). A 30. ábrán láthatók a különböző mikroorganizmusok szaporodási vízáktívítási igényei, illetve a 31. ábrán egyes mikroorganizmusok minimális vízáktívítási igényei.

30. ábra: Mikroorganizmusok szaporodásának vízáktívítási igénye

(Forrás: Rajkó et al., 1997; Deák, 2006; Laczay, 2008)

a_w	Mikroorganizmusok
0,86 - 0,99	baktériumok általában
0,75 - 0,91	halofil baktériumok
0,85 - 0,99	élesztőgombák általában
0,60 - 0,85	ozmofil élesztőgombák
0,80 - 0,99	penészgombák általában
0,71 - 0,85	xerotoleráns gombák
0,61 - 0,85	xerofil gombák

31. ábra: A mikroorganizmusok minimális vízáktívítási igénye

(Forrás: Bíró, 1994; Szabó, 2008)

Mikroorganizmusok	a_w -érték	Szaporodás
Gram-negatív pálcák zöme	0,95 alatt	nem szaporodik.
Gram-pozitív baktériumok	0,88 alatt	nem szaporodnak.
kivétel a <i>S. aureus</i> , mely enterotoxint csak	0,86 értékig 0,92 értékig	szaporodik, de termel.
Enzimek aktivitása a lipázé	0,85 alatt 0,30 alatt	gátlódik, szűnik meg.
Penészgombák	0,70-0,65 alatt	nem szaporodnak.
Romlást okozó baktériumok	0,91 értékig	fejlődnek.
Élesztők	0,80-0,88 értékig	fejlődnek.
Mikroorganizmusok	0,57-0,50 alatt	nem szaporodnak.

A 32. diagramról leolvasható a minták vízáktívítási adatai. A békalencse ($a_w = 0,18$) rednkívül alacsony vízáktívítási értékkel rendelkezik, alig található benne szabad víz. Az alacsony érték miatt baktériumok, élesztők, penészek sem képesek szaporodni vagy életben maradni. A kölesliszt ($a_w = 0,38$) esetében sem képesek szaporodni vagy életben maradni a

baktériumok, élesztők, csak egyes xerofil penészek képesek (például *Xeromyces bisporus*) (Sándor & Peles, 2015).

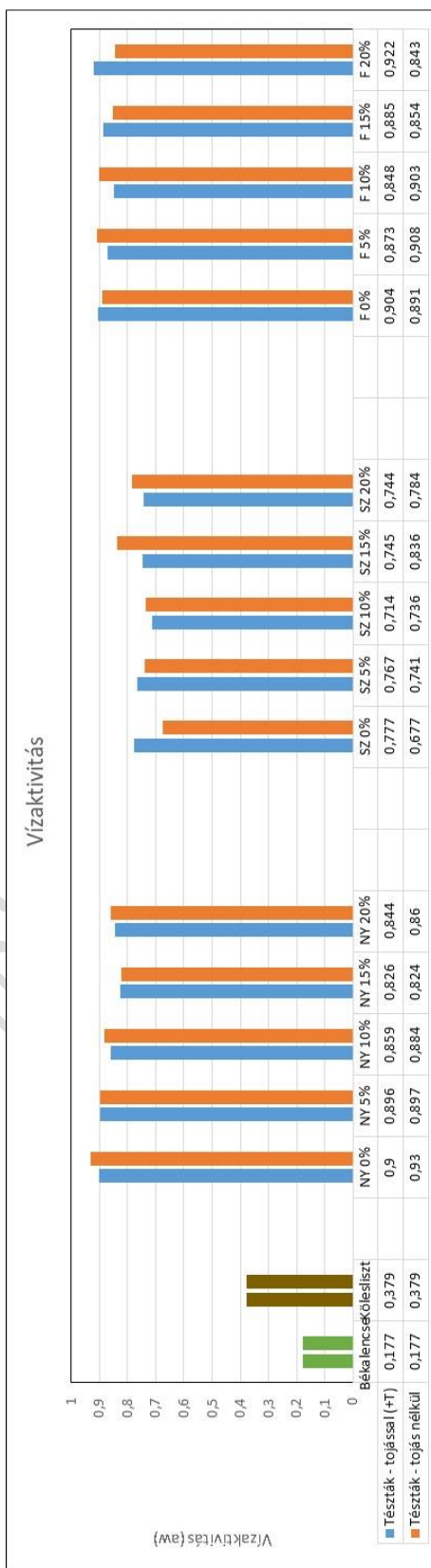
A nyers tészták ($a_w = 0,82-0,93$) romlásveszélye magas, ezért hűtést igényelnek. Képesek szaporodni élesztő, penészek és baktériumok is. A baktériumok 0,91-0,93 tartományban (például *E. coli*, *Staphylococcus aureus*), a halofil baktériumok pedig 0,75-0,91 tartomány között még életképesek, de lassú növekedés jellemző rájuk ilyenkor. A nyers tojásos tésztáknál ($a_w = 0,83-0,9$) jól szaporodnak a penészek, illetve az élesztők, valamint a halofil vagy ozmofil baktériumok (például *Staphylococcus aureus*) is képesek. A legtöbb Gram⁻ baktérium már nem nő aktívan. A nyers állapotban lévő tojásos tészták mindezek miatt közepesen magas romlásveszélyű minták. A nyers tojásmentes tészták ($a_w = 0,82-0,93$) alsó értékénél (0,82-0,85) csak ozmofil élesztők és xerotoleráns penészek, felső értékénél (0,91-0,93) baktériumok, penészek és élesztők is szaporodnak (Sándor & Peles, 2015).

A száraz tésztáknál általánosan ($a_w = 0,68-0,84$) baktériumok egyáltalán nem szaporodnak, penészek 0,7-0,8 vízakaktivitás tartomány között lassan nőhetnek, valamint az ozmofil élesztők is képesek túlélni ilyen környezetben. A száraz tojásos tészták ($a_w = 0,71-0,78$) tartós termékeknek számítanak, de nedves környezetben xerotoleráns penészek (például *Penicillium*, *Aspergillus* fajok) képesek szaporodni. Baktériumok és élesztők ezzel szemben nem. A tojásmentes tészták jól tárolható, mikrobiológiailag stabil minták, ha tárolásuk szárazon zajlik. 0,68-0,75 között gyakorlatilag semmi nem nő, viszont 0,8-0,84 között ozmofil élesztők és xerofil penészek életképesek (Sándor & Peles, 2015).

A főtt tészták ($a_w = 0,84-0,92$) nagyon romlandó, hűtést igényelő minták. Baktériumok, élesztő és penészek is képesek szaporodni, 0,84-0,86 között főleg gombás növekedés tapasztalható. A tojásos tészták ($a_w = 0,85-0,92$) magas vízakaktivással rendelkeznek, melyek ideális körülményeket biztosítanak a legtöbb élelmiszerromlást okozó baktériumoknak. Élesztők és penészek könnyen szaporodnak, 0,86-tól a *Staphylococcus aureus* is, illetve 0,95 környékétől *E. coli* és *Bacillus subtilis* is. Gyors hűtést vagy azonnali fagyasztást igénylő legromlandóbb kategória. A tojásmentes tészták ($a_w = 0,84-0,91$) esetében szaporodnak az élesztők és a penészek a teljes tartományban, baktériumok csak 0,9-től. Kissé stabilabb tészták, de gyors romlás tapasztalható hűtés hiányában (Sándor & Peles, 2015).

32. ábra: A minták vízaktivitás értékei

(Forrás: saját ábra)

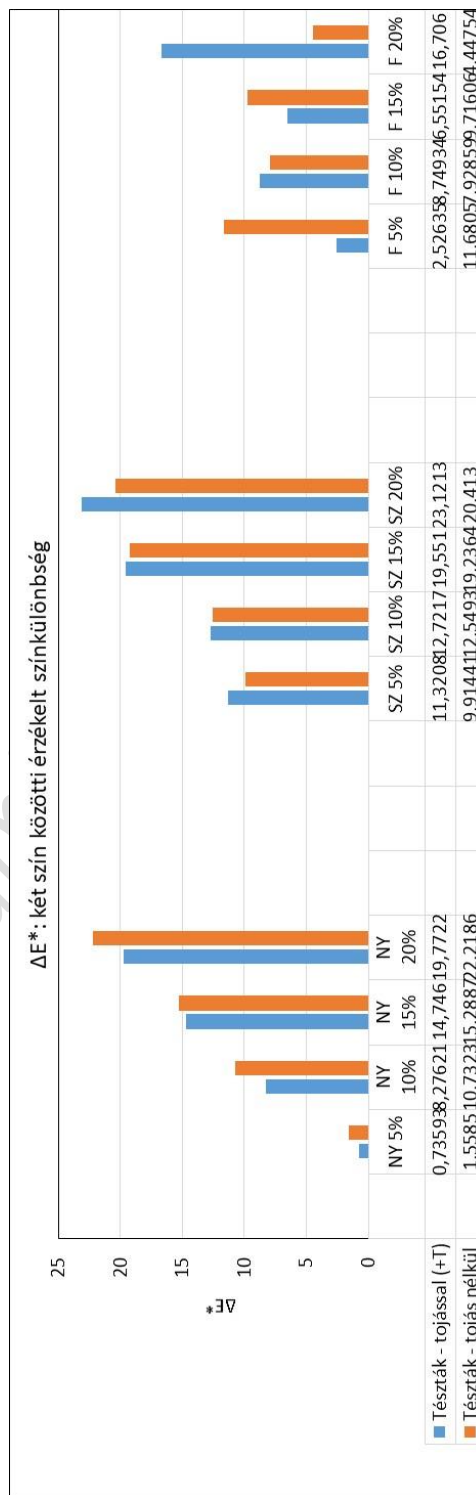


4.4. Színmérés

Az 33. ábra foglalja magába az L*, a* és b* mért adataiból számított színinger különbség (ΔE^*) értékeket. A 3.3.4. pontban említett képlettel határoztam meg az értékeket.

33. ábra: A nyers, a száraz és a főtt minták színinger különbség értékei

(Forrás: saját ábra)



ΔE^* kiszámolásával meghatároztam, hogy a békalencse koncentráció növelésével hogyan változik a szín a kontrollhoz (0%-hoz) képest (nyers, a száraz, a főtt tészta esetében egyaránt, mint a tojásos és mind a tojásmentes mintasorra vonatkoztatva).

A nyers tészták esetében nincs szignifikáns eltérés az átlagok ($F = 0,04854$, $p = 0,8311$) között 0,05 szignifikancia szinten, továbbá a varianciák között ($p = 0,8561$) sem szignifikáns az eltérés.

A száraz tészták esetében az egytényezős varianciaanalízissel kiértékelve elmondható, hogy nincs statisztikailag igazolható eltérés az átlagok között ($F = 0,02883$, $p = 0,8694$). A szórások között 0,05 szignifikancia szinten sincs különbség ($p = 0,8983$).

A főtt tészták esetében az egytényezős varianciaanalízissel értékelve megállapítható, hogy az átlagok és a szórások között sincs szignifikáns eltérés 0,05 szignifikancia szinten. A csoportok szórásai között nincs különbség szignifikánsan, hiszen a p-érték Levene's teszttel 0,6146 és az átlagok között sincsen ($F = 0,00184$, p-érték = 0,9669).

Összefoglalva elmondható, hogy a nyers tésztáknál tapasztalok egyértelmű színinkerkülönbség növekedést a békalencse mennyiségének növelésével arányosan. A száraztészták esetében jól látható a tendenciától való kismértékű eltérés, azaz nem a békalencse növelésével arányosan változik a ΔE^* érték, ami a szárítási módszernek tudható be. A főtt tészták esetében a főzés ideje és hőmérséklete befolyásolta a színparaméterek változását.

4.5. Antioxidáns kapacitás meghatározása

A vízben oldható antioxidáns kapacitást a FRAP módszer segítségével vizsgáltam meg. Az *1. számú melléklet* tartalmazza a nyers, a száraz, a főtt, a főzővizek és az emésztett tojásos és tojásmentes minták eredményeit.

A különböző technológiai feldolgozottságú tészták esetében -mind a tojásos, mind a tojás nélküli mintákat tekintve – a békalencsepor mennyiségének növelésével fokozatos tendencianövekedést tapasztaltam az antioxidáns kapacitás értékeknél.

A legmagasabb antioxidáns kapacitása a tojással készített, 20%-os békalencseporral dúsított nyers tésztának (1,8002 ASE mg/g szárazanyag) volt.

Megállapítottam, hogy jelentősen csökkent mind a tojásos, mind a tojásmentes minták esetében a száraztészták antioxidáns kapacitása a nyerstésztákhoz képest. Ennek oka, hogy a szárítás (75-80°C-on) csökkenti az antioxidáns kapacitás értékeket.

Főzés hatására tovább csökkent a minták antioxidáns kapacitása. Főzés, mint forróvízes extrakció hatására kioldódnak a vízben oldható antioxidánsokkal kapacitással rendelkező komponensek.

Tojással és a tojás nélkül készített tésztákat összehasonlítva szignifikáns különbséget nem tapasztaltam az antioxidáns kapacitás értékekre vonatkozóan.

A főtt tészta humán *in vitro* emésztése során az eredményekből látható, hogy az emésztőenzimek jobban hozzáférhetőbbé tették a tésztákban lévő biogén elemek, köztük az antioxidáns tulajdonságú komponenseket.

Egytényezős varianciaanalízissel kiértékelve a következő adatokat kaptam. A nyers tészták esetében ($F = 0,9851$, $p = 0,35$), a száraztésztáké ($F = 0,2102$, $p = 0,6588$), a főtt tésztáké ($F = 0,02148$, $p = 0,8871$), a főzővizeké ($F = 0,2543$, $p = 0,6277$) és végül az emésztett tészták értékei ($F = 0,3711$, $p = 0,5593$). Statisztikailag vizsgálva, a különböző állapotban levő tészták és a főzővizek csoportjainak az átlagai között $p = 0,05$ szignifikancia szinten nincsen szignifikáns eltérés.

A Levene's test általi eredmények pedig a következők: a nyerst tészták értéke ($p = 0,731$), a száraztésztáké ($p = 0,5798$), a főtt tésztáké ($p = 0,6598$), a főzővizeké ($p = 0,7936$) és az emésztett tészták eredménye ($p = 0,9885$). Levene's testtel a szóráshomogenitást vizsgálva megállapítható, hogy egyiknél sincs szignifikáns eltérés a varianciák között $p = 0,05$ szignifikancia szinten.

4.6. Összes polifenol tartalom meghatározása

Singleton és Rossi (1965) által kidolgozott módszer segítségével vizsgáltam meg a minták vízben oldható összes polifenol tartalmát, melynek eredményei a 2. számú mellékletből olvashatóak le.

A nyers -, száraz- és főtt tészták esetében -mind a tojásos, mind a tojás nélküli mintákat tekintve – a tésztakészítés konyhatechnikai lépések előrehaladtával fokozatos tendencianövekedést tapasztaltam a teljes polifenol tartalom értékeknél, a békalencsepor mennyiségének növelése hatására. Ha összehasonlítom a mintacsoportokat, akkor a tojásos minták polifenol tartalma magasabb a tojásmentesekhez képest.

A legmagasabb teljes polifenol tartalom a tojással készített, 20%-os békalencseporral dúsított tésztáknál volt tapasztalható minden mintacsoport esetében.

A szárítás, a forróvízes extrakció, az *in vitro* emésztés hatására az összes polifenol tartalom értékeinek változása hasonló tendenciát mutatott, mint az antioxidáns kapacitás értékek, ugyanazon okok miatt.

Egytényezős varianciaanalízissel kiértékelve a következő adatokat kaptam. A nyers tészták esetében ($F = 0,4783$, $p = 0,5088$), a száraztésztáké ($F = 0,01019$, $p = 0,9221$), a főtt tésztáké ($F = 0,2601$, $p = 0,6238$), a főzővizeké ($F = 0,8192$, $p = 0,3918$) és végül az emésztett tészták értékei ($F = 0,2418$, $p = 0,6361$). Statisztikailag vizsgálva, a különböző állapotban levő tészták és a főzővizek csoportjainak az átlagai között $p = 0,05$ szignifikancia szinten nincsen szignifikáns eltérés, vagyis feltételezhetően megegyeznek.

A Levene's test általi eredmények pedig a következők: a nyerst tészták értéke ($p = 0,5356$), a száraztésztáké ($p = 0,2163$), a főtt tésztáké ($p = 0,9396$), a főzővizeké ($p = 0,9414$) és az emésztett tészták eredménye ($p = 0,7197$). Levene's testtel a szóráshomogenitást vizsgálva megállapítható, hogy egyiknél sincs szignifikáns eltérés a varianciák között $p = 0,05$ szignifikancia szinten.

4.7. Fehérjetartalom meghatározása

Layne által kidolgozott módszerrel (1957) vizsgáltam a vízben oldható fehérjetartalmat, melynek az eredményei a 3. számú mellékletben látható.

A legmagasabb fehérjetartalmú termékek a 20%-os békalencseporral dúsított tésztáknál volt: tojással előállított termék esetében 12,890 mg/g szárazanyag, míg a tojás nélkül készített tészta esetében 11,9588 mg/g szárazanyag volt.

A szárítás, a forróvízes extrakció, valamint az az *in vitro* emésztés hatására az összes polifenol tartalom értékeinek változása hasonló tendenciát mutatott, mint az antioxidáns kapacitás és a teljes polifenol értékek.

Egytényezős varianciaanalízissel kiértékelve a következő adatokat kaptam. A nyers tészták esetében ($F = 2,441$, $p = 0,1568$), a száraztésztáké ($F = 2,151$, $p = 0,1807$), a főtt tésztáké ($F = 0,9777$, $p = 0,3517$), a főzővizeké ($F = 0,1717$, $p = 0,6895$) és végül az emésztett tészták értékei ($F = 2,847$, $p = 0,13$). Statisztikailag vizsgálva, a különböző állapotban levő tészták és a főzővizek csoportjainak az átlagai $p = 0,05$ szignifikancia szinten megegyeznek.

A Levene's test általi eredmények pedig a következők: a nyerst tészták értéke ($p = 0,7485$), a száraztésztáké ($p = 0,7665$), a főtt tésztáké ($p = 0,8783$), a főzővizeké ($p = 0,9314$) és az

emésztett tészták eredménye ($p = 0,8133$). Levene's testtel a varianciákat vizsgálva elmondható, hogy a szórás-homogenitások megegyeznek $p = 0,05$ szignifikancia szinten.

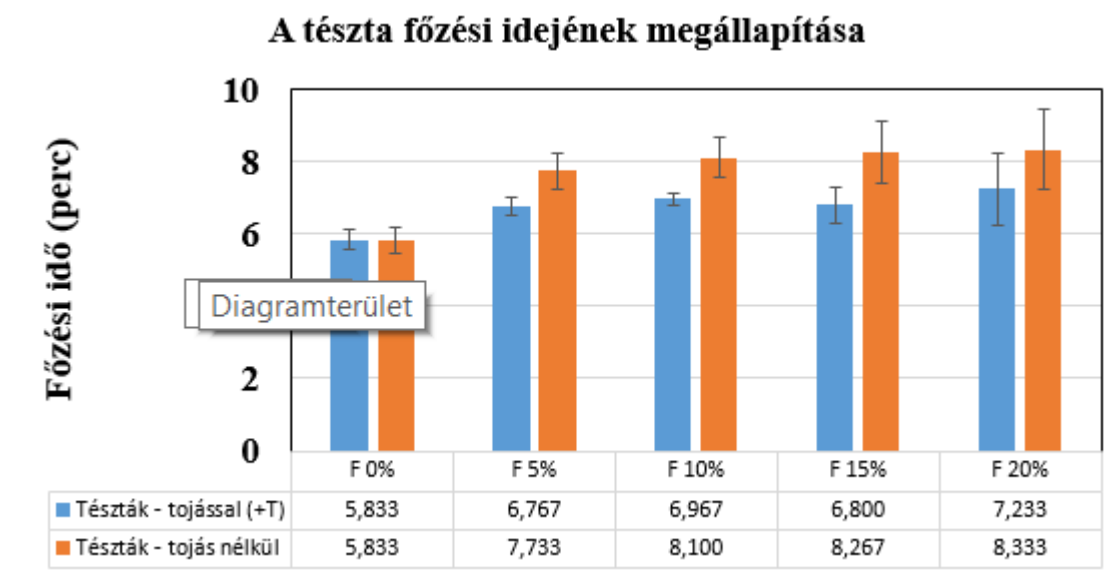
4.8. Főzési tulajdonságok meghatározása (MSZ 200500/1-1985)

A főzési tulajdonság meghatározása magában foglalja a főzési idő és a duzzadó képesség vizsgálatokat, melyeket az MSZ 200500/1-1985 szabvány szerint végeztem.

A tészták főzési idő értékeit a 34. ábra, a duzzadó képesség értékeit pedig az 35. ábra szemlélteti. Ezekből az ábrákból láthatjuk, hogy az előállított tésztamodellek a Magyar Szabvány előírásainak megfelelnek.

34. ábra: A tészta minták főzési ideje

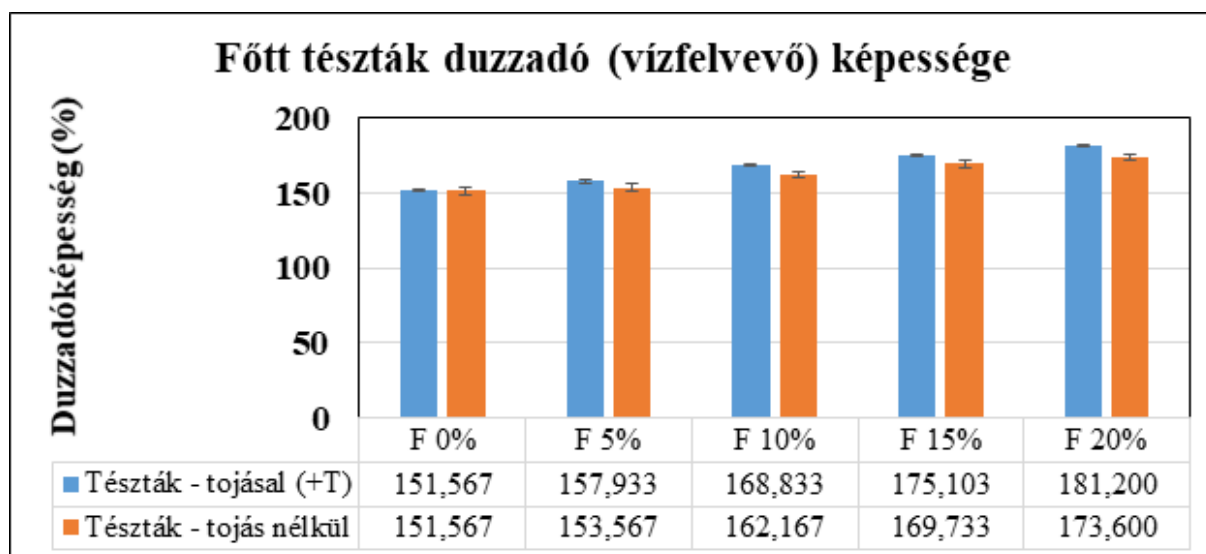
(Forrás: saját ábra)



A főzési idő 5-9 perc között változott. Megállapítottam, hogy a békalencseporral történő dúsítás mértékével fokozatosan növekedett a főzési idő, a megváltozott mátrix-összetételnek köszönhetően. Legkevesebb ideig a békalencsét nem tartalmazó, leghosszabb ideig pedig a 20% békalencsével dúsított mintákat főztem. A főzést ugyanis addig végeztem, míg a tészta közepén lévő fehér lisztcsík el nem tűnt. Ha a tojásos és a tojásmentes minták közötti különbséget vizsgálom, akkor elmondható, hogy a 0%-os mintákat kivéve, a tojást nem tartalmazó tészták főzési ideje volt hosszabb.

Statisztikailag megállapítható, hogy a szórásuk szignifikánsan nem térnek el ($p = 0,2928$). Feltételezhetjük, hogy a csoportok varianciái egyenlők. Nincs statisztikailag igazolható különbség, eltérés a csoportok átlagai között ($F = 3,18$, $p = 0,1124$).

(Forrás: saját ábra)



A duzzadó, vagy más szóval vízfelvevő képesség azt fejezi ki, hogy egy anyag mennyi vizet tud magába szívni vagy megtartani. Minél nagyobb a tészta vízfelvevő képessége, annál nagyobb térfogatú tésztát kapunk, ami egy alap fogyasztói igény.

Mindkét tésztaminta csoport esetében – haladva a feldolgozottsági állapot mentén - enyhe duzzadóképeség növekedést tapasztaltam a békalencse tartalom növekedésével. A tojással készített mintáknál csak kicsivel magasabb a vízfelvevő képesség a tojásmentes mintacsoportéhoz képest, ami azzal magyarázható, hogy a tojás jelenléte javítja a vízfelvevő képességet. Ez annak köszönhető, hogy a tojás fehérjéi és zsírtartalma megkötik a vizet, így a tészta jobban duzzad. A legnagyobb vízfelvevő képességű minta a 20% békalencsével dúsított tojásos tészta, melynek eredménye 181,200%, tehát ez a tészta veszi fel a legtöbb vizet a főzés közben az összes minta közül.

Egytényezős varianciaanalízissel kiértékelve megállapítható, hogy a csoportok átlagai $p = 0,05$ szignifikancia szinten megegyeznek ($F = 0,4774$, $p = 0,5091$). A Levene's test alapján elmondható, hogy a szóráshomogenitások között sincs szignifikáns eltérés ugyanazon a szignifikancia szinten, mert $p = 0,5248$.

5. Következtetések és javaslatok

5.1. Következtetések

- A vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy az általam használt békalencse faj (*Lemna minor*) alkalmas a tézstaipari termékekben való felhasználásra, mint alternatív növényi fehérjeforrás.
- A kontrollhoz képest a békalencsével dúsított minták fehérjetartalom értékei magasabbak lettek, ez a növény magas fehérje- és aminosavtartalmának köszönhető.
- A színkülönbség értékei (ΔE) a békalencse dúsításának növelésével arányosan nőtt, azonban szignifikáns eltérés nem volt, mely arra utal, hogy ezen változások nem zavarók az érzékszervi megítélés szempontjából. A színérték változás a növényi komponensek természetes pigmentjeinek hatásával magyarázható.
- A nedvességtartalom értékek a nyers és a főtt tézstáknál lettek a legmagasabbak. Szinte azonos eredményeket kaptam a nyers- és a főtt állapotban lévő tézstáknál. Legalacsonyabb értékekkel a száraztézták rendelkeztek. Elmondható, hogy egyes esetben a tojásos minták értékei, más esetében a tojásmentes minták értékei lettek a magasabbak.
- Mind az antioxidáns kapacitás, mind az összes polifenoltartalom értéke nőtt a békalencse koncentráció emelésével, amely a növény bioaktív anyagainak (fenolos vegyületek, flavonoidok) jelenlétére utal. Szinte mindenhol magasabb érték jött ki eredményül a tojásos mintáknál a tojásmentesekhez képest.
- A főzési tulajdonságoknál (főzési idő, duzzadókéesség) minél több békalencsével dúsított volt a minta, annál hosszabb főzési időt igényelt és nagyobb vízfelvevő képességet mutattak. A tojásos minták főzési ideje rövidebb volt, mint a tojásmentes mintáké. Ellenben a duzzadókéesség értékei a tojásos mintáknál magasabbak lettek, mint a tojásmenteseké.
- A statisztikai értékelések (egytényezős varianciaanalízis, Levene-teszt) alapján a legtöbb esetben nem volt szignifikáns eltérés a mintacsoportok között, ez arra utalhat, hogy a békalencse jelenléte nem rontja, sőt akár javította a tézsta minőségét.
- Az eredmények összhangban vannak az irodalomban ismertett tényekkel, amely szerint az alternatív növényi fehérjeforrások (békalencs, mikroalgák, hüvelyesek, rovarfehérjék stb.) ígéretes megoldást nyújthatnak a fenntartható élelmiszerfejlesztésben.

5.2. Javaslatok

- A további kutatások során érdemes különböző békalencse-fajokat és származási forrásokat vizsgálni, hiszen a környezeti tényezők (például a vízminőség, a fényviszonyok, a tápanyagtartalom) befolyásolják a fehérje- és polifenol tartalmat.
- Hasznos lehet a különböző szemcseméretű lisztek (pl. durumbúza, teljeskiőrlésű búza, hüvelyesliszt) kombinálását is kipróbálni a békalencse optimális felhasználásához.
- További érzékszervi vizsgálatok (szín, textúra, íz, illat) szükségesek a termék fogyasztói elfogadottságának értékeléséhez.
- Fontos, hogy a fehérjeemészhetőséget és az aminosav-profilt meghatározzuk a pontosabb békalencse tápérték értékek és a funkcionális potenciál miatt.
- Környezeti szempontból javasolt a békalencse termesztés integrálása zárt, vízvisszaforgatásos rendszerekbe (RAS), mely minimalizálja a vízfelhasználást és hozzájárul a fenntartható fehérjeforrás előállításához.
- Érdemes komolyabb kémiai-analitikai módszereket alkalmazni a pontosabb azonosítás érdekében.
- Az alternatív növényi fehérjehelyettesítők, többek között a békalencsével dúsított termékek (például tészta) termékfejlesztése hozzájárulhat a növényi alapú étrendek népszerűsítéséhez és potenciálisan új, fenntartható élelmiszerkategóriát képezhetnek.

6. Összefoglalás

Szakdolgozatom fő célja egy olyan száraztészta fejlesztése volt, ami alternatív fehérjeforrással készült és magas fehérjetartalommal rendelkezik, mely jelző akkor alkalmazható egy adott élelmiszerre, amennyiben energiatartalmának legalább 20%-a fehérjéből származik (Európai Bizottság, 2006). Céлом volt a békalencse, mint új élelmiszer alaposabb megismerése és megismertetése azokkal, akik még élelmiszerbiztonsági szempontokból nem fogyaszthatják. Fontos volt számomra, hogy ezen termékfejlesztés során komplex kémiai, illetve fizikai vizsgálatokat vihessek végbe. Szerettem volna mélyebben átlátni az alternatív fehérjeforrások fontosságát, illetve bebizonyítani a hasznosságukat. A termékfejlesztés során a választásom az alapanyagok tekintetében a köleslisztre és az útifűmaghéjlisztre esett. Ezen alapanyagokat dúsítottam békalencsével (*Lemna minor*) 5%, 10%, 15% és 20%-ban. A minták feléhez állati eredetű fehérjét is adtam pluszban a békalencse mellé, tojás formájában.

A mérések megkezdése előtt a receptúra kísérletezésével kezdtem. Különböző mennyiségű útifűmaghéjlisztet adagoltam az állandó mennyiségű (10 gramm) kölesliszthez, majd annyi vizet, amennyit felvett. A megfelelő receptúra kiválasztása után a mintákhoz, amelyekhez kellett, hozzáadtam a tojást, illetve a békalencsét a megfelelő dúsítási százalékban, a kölesliszt csökkentésével. Kíváncsiság, hasonlítási alap miatt megmértem az alapanyagok szín-, vízaktivitás és nedvességtartalom. Elkészítettem ezek után a nyers tojásos és a tojásmentes tésztákat 0%, 5%, 10%, 15% és 20% békalencsével dúsítva. Megmértem a mintáknak a színét, a vízaktivitását, illetve a nedvességtartalmát. A kontrollhoz viszonyítva a legnagyobb színinger különbséget (ΔE^*) a 20% békalencsét tartalmazó minták adták, melynek eredményei a tojásos mintánál 19,7722, a tojásmentesnél 22,2186. A *Lemna minor* növelésével a minták színe egyre sötétebbé váltak, így a gyakorlatban is teljesültek a várt eredmények. A vízaktivitás értékek a dúsítás növelésével csökkentek, azonban a 15%-os minták értékei kiugranak a többihez képest, azok alacsonyabb értékkel rendelkeznek, mint a 20%-os minták, ezért elmondható, hogy a legnagyobb eltérést a kontrollhoz képest a 15%-os tojásos (0,826) és tojásmentes (0,824) minta adta. A megmért nedvességtartalom értékek 48-53% között ingadoztak. Következő lépésként a nyers tésztákat szárítottam, majd megfőztem. Minden egyes mintának megmértem ugyanazon paramétereit. A színinger különbségnél bebizonyosodott, hogy a száraz és a főtt állapotban levő tészták közül is a 20%-os minták érték el a legmagasabb eredményt, kivéve a főtt tojásmentes mintánál. Az eredmények a következők: SZ 20%+T = 23,1213, SZ 20% = 20,413, F 20%+T =

16,706, F 20% = 4,44754. A nedvességtartalom értékeknél fontos volt, hogy a száraz tézsták eredményei legfeljebb 13% legyenek, amely meg is felelt ennek az előírásnak.

Fizikai vizsgálatok, vagyis főzési idő és duzzadóképeség alapján is vizsgáltam a mintákat az MSZ 20500/1-1985 szerint.

A mintákat a receptúra alapján újra elkészítettem, majd azokból kivonatot készítettem. A kivonatokot centrifugáltam, ezek után elvégeztem a kémiai vizsgálatokat. A mérések során vízben oldható antioxidáns kapacitást, összes polifenol tartalmat, valamint fehérjetartalmat vizsgáltam. Az eredmények azt mutatták, hogy az antioxidáns kapacitás a szárítás, a főzés, illetve az emésztés hatására csökkent. Hasonló eredményt értem el a vízben oldható összes polifenol tartalomnál is: ugyanezen hatások következtében alacsonyabb eredményt kaptam. A fehérjetartalom vizsgálatakor kisebb csökkenés volt megfigyelhető az előző kettő paraméterhez képest, azonban általánosságban ez a mérés is hasonló eredményt mutatott, mint az antioxidáns és a polifenol vizsgálatai.

További kísérletezés a szakdolgozatom mérései alapján szükséges lenne, hiszen közel sincsen elég ismert vizsgálat, kísérlet a békalencséről. A méréseim bebizonyították, hogy a jövőben potenciális alternatív fehérjeforrásra alkalmas a békalencse, illetve vannak helyek a világon, ahol már alapvető tagja a békalencse a táplálkozásuknak. Összességében a kísérleti eredményeim megmutatták, hogy a *Lemna minor* használatának nem csak a táplálkozás élettani hatása pozitív, hanem a fenntarthatóság és a környezetvédelem szempontjából is. Az alternatív megoldások számos potenciált rejtenek a jövőre nézve.

7. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni őszinte hálámat, tiszteletemet és köszönetemet a témavezetőimnek, Dr. Szedljak Ildikó Judit Tanárnőnek és Dr. Takács Krisztina Mária Tanárnőnek, akik szakmai tudásukkal, türelmükkel és mérhetetlen odaadásukkal segítették a dolgozatom elkészítését. Köszönöm Blaha Mártának, aki a laboratóriumi mérések során nyújtott támogatást.

Hálás vagyok a családomnak, a barátomnak és a barátaimnak a folyamatos biztatásért, a végtelen türelmükért és a lelki támogatásukért.

Illetve köszönettel tartozom mindenkinek, akik közvetlenül vagy közvetve járultak hozzá a munkám sikeréhez.

Szabó Kamilla Tünde szakdolgozat

8. Felhasznált irodalmak

1. Abdel Nasser, B.S. and Omayma, A.E. (2013) 'Carotenoids,' *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 2(1). https://www.researchgate.net/publication/303126550_Carotenoids.
2. Abrankó, L. (2018) 'Élelmi polifenolok, Egy sokszínű molekulacsoport,' *Magyar Kémikusok Lapja*, 73(11), pp. 345-351. <https://doi.org/10.24364/MKL.2018.11>.
3. Ahammad, M.U. *et al.* (2003) 'Replacement of Sesame Oil Cake by Duckweed (*Lemna minor*) in Broiler Diet,' *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 6(16), pp. 1450–1453.
4. Anson, M.L. (1938) 'THE ESTIMATION OF PEPSIN, TRYPSIN, PAPAIN, AND CATHEPSIN WITH HEMOGLOBIN,' *Journal of General Physiology*, 22(1), pp. 79–89. <https://doi.org/10.1085/jgp.22.1.79>.
5. Al-Snafi, A.E. (2019) 'Lemna minor: Traditional Uses, Chemical Constituents and Pharmacological Effects-A Review,' *IOSR Journal of Pharmacy*, 9(8), pp. 6–11.
6. Alta'ee, A.H. (2013) *Association of Hormonal Changes with Oxidative Stress in Post-traumatic Stress Disorder for Terrorist Attacks Survivors in Babylon Province-Iraq*. PhD Thesis. University of Babylon.
7. Appenroth, K.-J. *et al.* (2017) 'Nutritional value of duckweeds (*Lemnaceae*) as human food,' *Food Chemistry*, 217, pp. 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.116>.
8. Appenroth, K.-J. *et al.* (2018) 'Nutritional Value of the Duckweed Species of the Genus *Wolffia* (*Lemnaceae*) as Human Food,' *Sec. Crop Biology And Sustainability*, 6. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00483>.
9. Appenroth, K.-J., Borisjuk, N. and Lam, E. (2013) 'Telling Duckweed Apart: Genotyping Technologies for the *Lemnaceae*,' *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*, 19(1), pp. 1–10. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1145.2013.00001>.
10. Barna, M. (2000) 'A hús szerepe a gyermekek táplálkozásában', *A Hús*. 1, 13–15.
11. Becker, E.W. (2007) 'Micro-algae as a source of protein,' *Biotechnology Advances*, 25(2), pp. 207–210. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.11.002>.
12. Benzie, I.F. and Strain, J.J. (1996) 'The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of 'antioxidant power': the FRAP assay,' *Anal Biochem.*, 239(1), pp. 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>.
13. Bernfeld, P. (1955) *Amylases, Alpha and Beta*. In: *Methods in Enzymology*. Academic Press, New York. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(55\)01021-5](https://doi.org/10.1016/0076-6879(55)01021-5).
14. Bíró, G. (1994) 'A listeriosis hazai és nemzetközi étel- és ital-higiéniái kérdései humán epidemiológiai szempontból.' *Magyar Állatorvosok Lapja* 50. pp. 282-286

15. Brodkorb, A. *et al.* (2019) 'INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion,' *Nat Protoc.*, 14(4). <https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1>.
16. Cordis, Cordis.Europa.E. (2017) Transfer of INNOvative techniques for sustainable WAter use in FERtigated crops. <https://cordis.europa.eu/project/id/689687>.
17. Damry, H. *et al.* (2001) 'Duckweed as a Protein Source for Fine-Wool Merino Sheep: Its Edibility and Effects on Wool Yield and Characteristics,' *Asian-Australas J Anim Sci*, 14(4), pp. 507–514. <https://doi.org/10.5713/ajas.2001.507>.
18. Deák, T. (2006) *Élelmiszer-mikrobiológia. Mezőgazda kiadó*
19. De Beukelaar, M.F.A. *et al.* (2019) 'Duckweed as human food. The influence of meal context and information on duckweed acceptability of Dutch consumers,' *Food Quality and Preference*, p. 71. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.06.005>.
20. Devi, R. *et al.* (2022) 'In Vitro Digestibility Study: Evaluating Plant Proteins Digestibility in *Anabas testudineus* and *Channa punctata*,' *JOURNAL OF TROPICAL LIFE SCIENCE*, 12(3), pp. 307–315. <https://doi.org/10.11594/jtls.12.03.03>.
21. Dewanji, A. (1993) 'Amino acid composition of leaf proteins extracted from some aquatic weeds,' *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(8), pp. 1232–1236. <https://doi.org/10.1021/jf00032a013>.
22. Dung, N.N.X. *et al.* (2006) 'The effect of substituting a basal diet for growing pigs with fresh forages on apparent digestibility and nitrogen retention,' *Workshop on Forages for Pigs and Rabbits*, pp. 22–24.
23. Espinosa-Pardo, F.A. *et al.* (2020) 'Oil and protein recovery from corn germ: Extraction yield, composition and protein functionality,' *Food and Bioproducts Processing*, 120, pp. 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.01.002>.
24. Európai Bizottság (2006) Az Európai Parlament és a Tanács 1924/2006/EK rendelete az élelmiszerekkel kapcsolatos, tápanyag-összetételre és egészségre vonatkozó állításokról. Európai Unió. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:02006R1924-20141213>.
25. Fritz, P. *et al.* (2017) 'Kalauz a fehérjetartalmú étrend-kiegészítők világában,' *Recreationalcentral*.
26. Gostyń, J. *et al.* (2022) 'Overview of Allelopathic Potential of *Lemna minor* L. Obtained from a Shallow Eutrophic Lake,' *Molecules*, 27(11), p. 3428. <https://doi.org/10.3390/molecules27113428>.

27. Goswami, R.K. *et al.* (2022) 'Effect of Lemna minor supplemented diets on growth, digestive physiology and expression of fatty acids biosynthesis genes of *Cyprinus carpio*,' *Scientific Reports*, 12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07743-x>.
28. Gubicskóne Kisbenedek, A. and Szabó, Z. (2015) *Élelmiszertudományi Ismeretek*. Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest.
29. Hadi, J. and Brightwell, G. (2021) 'Safety of Alternative Proteins: Technological, Environmental and Regulatory Aspects of Cultured Meat, Plant-Based Meat, Insect Protein and Single-Cell Protein,' *Foods*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061226>.
30. Hall, A.E. and Moraru, C.I. (2021) 'Structure and function of pea, lentil and faba bean proteins treated by high pressure processing and heat treatment,' *LWT*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112349>.
31. Halloran, A. *et al.* (2017) 'Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand,' *Journal of Cleaner Production*, 156, pp. 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.017>.
32. Hegelmaier, C.F. (1868) *Die Lemnaceen. Eine monographische Untersuchung*. Leipzig, W. Engelmann.
33. Hernandez-Jover, T. (1997) 'Effect of starter cultures on biogenic amine formation during fermented sausage production,' *J. Food Prot.*, 60, pp. 825–830.
34. Hummel, B.C. (1959) 'A modified spectrophotometric determination of chymotrypsin, trypsin, and thrombin,' *Can J Biochem Physiol*, pp. 1393–1399.
35. Ihsan, A. *et al.* (2024) 'New trends in functionalities and extraction of plant proteins in designing plant-based meat analogues: A critical review,' *Food Bioscience*, 57. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103476>.
36. Irabor, A.E. *et al.* (2022) 'Duckweed (*Lemna minor*) meal as partial replacement for fish meal in catfish (*Clarias gariepinus*) juvenile diets,' *Livestock Research for Rural Development*, 34(1).
37. Ismail, B.P. *et al.* (2020) 'Protein demand: review of plant and animal proteins used in alternative protein product development and production,' *Animal Frontiers*, 10(4), pp. 53–63. <https://doi.org/10.1093/af/vfaa040>.
38. Jimenez-Munoz, L.M. *et al.* (2021) 'Design future foods using plant protein blends for best nutritional and technological functionality,' *Trends in Food Science & Technology*, 113, pp. 139–150. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.049>.
39. Khang, N.T.K. and Ogle, B. (2004) 'Effects of dietary protein level and a duckweed supplement on the growth rate of local breed chicks,' *Livestock Research for Rural Development*, 16(8).

40. Központi Statisztikai Hivatal (n.d.) *Egy főre jutó fehérje napi mennyisége [gramm]*.
https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0063.html.
41. Kővári-Szamák, D. (2024) *BÉKALENCSE TÁPLÁLKOZÁSBIOLÓGIAI VIZSGÁLATA*. Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem.
42. Laczay, P. (2008) *Élelmiszer-higiéna – Élelmiszerlánc-biztonság*. Mezőgazda kiadó
43. Lafarga, T. *et al.* (2020) 'Potential of pulse-derived proteins for developing novel vegan edible foams and emulsions,' *International Journal of Food Science and Technology*, 55, pp. 475–481. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14286>.
44. Layne, E. (1957) 'Spectrophotometric and Turbidimetric Methods for Measuring Proteins,' *Methods in Enzymology*, pp. 447–454. [https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(57\)03413-8](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(57)03413-8).
45. Lu, Z.X. *et al.* (2020) 'Composition, physicochemical properties of pea protein and its application in functional foods,' *Crit Rev Food Sci Nutr.*, 60(15), pp. 2593–2605. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1651248>.
46. Mednyánszky, Zs. *et al.* (2023) 'Alternatív növényi eredetű fehérjeforrások vizsgálata,' *Élelmiszervizsgálati Közlemények*. <https://doi.org/10.52091/EVIK-2023/3-3-HUN>.
47. Minekus, M. *et al.* (2014) 'A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus,' *Food Funct.*, 5(6), pp. 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>.
48. Munteanu, I.G. and Apetrei, C. (2021) 'Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review,' *Int J Mol Sci.*, 22(7), p. 3380. <https://doi.org/10.3390/ijms22073380>.
49. Nagy, G.Zs. (n.d.) 'Alternatív növények az egészséges táplálkozásban,' *EGERFOOD Regionális Tudásközpont*.
50. NÉBIH. (n.d.). *Új élelmiszerek*. <https://portal.nebih.gov.hu/uj-elelmiszer>
51. Pagliuso, D. *et al.* (2022) 'Duckweeds as Promising Food Feedstocks Globally,' *Agronomy*, 12(4), p. 796. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040796>.
52. Payne, K. and Lundberg, K. (2014) 'The Affect Misattribution Procedure: Ten Years of Evidence on Reliability, Validity, and Mechanisms,' *Social and Personality Psychology Compass*, 8, pp. 672–686. <https://doi.org/10.1111/spc3.12148>.
53. Pliner, P. and Hobden, K. (1992) 'Development of a scale to measure the trait of food neophobia in humans,' *Appetite*, 19(2), pp. 105–120. [https://doi.org/10.1016/0195-6663\(92\)90014-w](https://doi.org/10.1016/0195-6663(92)90014-w).

54. Polutchko, S.K. *et al.* (2022) 'Lemna as a Sustainable, Highly Nutritious Crop: Nutrient Production in Different Light Environments,' *Nutraceuticals*, 2(4), pp. 350–364. <https://doi.org/10.3390/nutraceuticals2040027>.
55. Poore, J. and Nemecek, T. (2018) 'Reducing food's environmental impacts through producers and consumers,' *Science*, 360, pp. 987–992.
56. Rajkó, R. *et al.* (1997) 'Designed experiments for reducing antinutritive agents in soybean by microwave energy,' *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
57. Reid, W.S. (2004) 'Exploring Duckweed (*Lemna gibba*) as a Protein Supplement for Ruminants Using the Boer Goat (*Capra hircus*) as a Model,' *NC State Theses and Dissertations*.
58. Ren, Y. *et al.* (2021) 'A current review of structure, functional properties, and industrial applications of pulse starches for value-added utilization,' *COMPREHENSIVE REVIEWS IN FOOD SCIENCE AND FOOD SAFETY*, 20(3), pp. 3061–3092. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12735>.
59. Rodler, I. (2005). *Új Tápanyagtáblázat*. Medicina Könykiadó Rt.
60. Rojas, O.J., Liu, Y. and Stein, H.H. (2014) 'Concentration of metabolizable energy and digestibility of energy, phosphorus, and amino acids in lemna protein concentrate fed to growing pigs,' *Department of Animal Sciences, University of Illinois*.
61. Rónay, T.P. (2023) 'Eutrofizáció: jelentése, kialakulása, következményei,' *XForest*. <https://xforest.hu/eutrofizacio/>.
62. *Rutgers Duckweed Stock Cooperative*. (no date) *The Duckweed Family*. <http://www.ruduckweed.org/>.
63. Sá, A.G.A. *et al.* (2022) 'Influence of Emerging Technologies on the Utilization of Plant Proteins,' *Sec. Nutrition And Food Science Technology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.809058>.
64. Sándor, E. and Peles, F. Á. (2015) *Élelmiszer minőség és biztonság mikrobiológiai vonatkozásai*. Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Élelmiszertudományi Intézet.
65. Silla Santos, M.H. (1996) 'Biogenic amines: their importance in foods,' *International Journal of Food Microbiology*, 29, pp. 213–231.
66. Sim, S.Y.J. *et al.* (2021) 'Plant Proteins for Future Foods: A Roadmap,' *Foods*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/foods10081967>.
67. Singleton, V.L. and Rossi, J.A. (1965) 'Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents,' *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, pp. 144–158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>.

68. Sonta, M., Rekiel, A. and Batorska, M. (2019) 'Use of Duckweed (*Lemna L.*) in Sustainable Livestock Production and Aquaculture – A Review,' *Annals of Animal Science*, 19(2).
69. Sosa, D. *et al.* (2024) 'Lemna minor: Unlocking the Value of This Duckweed for the Food and Feed Industry,' *Plant Foods*, 13(10). <https://doi.org/10.3390/foods13101435>.
70. Szabó, A. (2008) Bevezetés a mezőgazdasági mikrobiológiába. Center-Print Nyomda, Debrecen.
71. Szerdahelyi, E. (2000) Húsok és hústermékek fehérjéinek és biogén aminosavainak változásai. PhD értekezés. Központi Élelmiszeripari Kutató Intézet.
72. Tuomisto, H.L. and Teixeira De Mattos, M.J. (2011) 'Environmental Impacts of Cultured Meat Production,' *Environmental Science & Technology*, 45(14), pp. 6117–6123. <https://doi.org/10.1021/es200130u>.
73. United Nations (2019) *Growing at a slower pace, world population is expected to reach 9.7 billion in 2050 and could peak at nearly 11 billion around 2100: UN Report*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2019/06/growing-at-a-slower-pace-world-population-is-expected-to-reach-9-7-billion-in-2050-and-could-peak-at-nearly-11-billion-around-2100-un-report/>.
74. Újvári, G. *et al.* (2020) 'A HAZAI HÚS- ÉS FEHÉRJEFOGYASZTÁS FELTÉRKÉPEZÉSE,' *Mez Gazdasági És Vidékfejlesztési Kutatások a Jöv Szolgálatában. MTA SZAB Mez Gazdasági Szakbizottság*, pp. 63–73.
75. USDA FoodData Central (no date.) <https://fdc.nal.usda.gov/>.
76. Vogelsang-O'Dwyer, M. *et al.* (2021) 'Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives,' *Trends in Food Science & Technology*, 110, pp. 364–374. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.090>.
77. Wen, L. *et al.* (2021) 'Optimisation and characterisation of protein extraction from coffee silverskin assisted by ultrasound or microwave techniques,' *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11, pp. 1575–1585. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00712-2>.
78. Wood, P. and Tavan, M. (2022) 'A review of the alternative protein industry,' *Current Opinion in Food Science*, 47. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100869>.
79. Xu, J. *et al.* (2021) 'Duckweed (*Lemnaceae*) for potentially nutritious human food: A review,' *Food Reviews International*, 39(7), p. 3620. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2012800>.
80. Zhou, Y. (2023) 'Duckweeds for Phytoremediation of Polluted Water,' *Plants*, 12(3), p. 589. <https://doi.org/10.3390/plants12030589>.

9. Ábrák és táblázatok jegyzéke

9.1. Ábrák jegyzéke:

1. ábra: A minták aminosav-összetétele (mg/g)	6
2. ábra: Élelmiszer fehérjék biológiai értéke	8
3. ábra: A békalencse alcsaládjai	9
4. ábra: A Lemnaceae öt nemzetsége (A: Spirodela (Spirodela polyrhiza öt szálas kolóniája), B: Landolita (három szálas kolóniája), C: Lemna (Lemna minor három (négy) szálas kolóniája), D: Wolffia (Wolffia arrhiza anya-és leányhajtásai) és Wolffia (E1: egy hajtása, E2: kolónia)	10
5. ábra: A Lemnaceae család eredete és felépítése	11
6. ábra: A Lemna minor aminosav összetétele	13
7. ábra: A békalencse hozzávetőleges tápanyag-összetétele szárazanyagra vonatkoztatva	13
8. ábra: Emészthetőségi együtthatók (D%)	17
9. ábra: A békalencse szárított változata	20
10. ábra: A növényi fehérje alapú húsanalogok feldolgozásának folyamata	22
11. ábra: A négy központi hipotézis	25
12. ábra: A négy kínai írásjel az automatikus kiértékeléshez (balról jobbra: kék, sárkány, reggel és tigris)	26
13. ábra: Az étkezési ingerek (4) a 4 feltétel függvényében, holland nyelvről fordított szöveggel	27
14. ábra: A kölesliszt tápérték adatai 100g termékben	28
15. ábra: A kölesliszt	28
16. ábra: Az útifűmaghéj liszt tápérték adatai 100 gramm termékben	28
17. ábra: Az útifűmaghéj liszt	28
18. ábra: A békalencsepor	29
19. ábra: Satorius MA 50 típusú gyorsnedvességmérő készülék	35
20. ábra: Vízáktivitatásmérő készülék	35
21. ábra: Minolta CR-310 színmérő készülék	36
22. ábra: Hettich Zentrifugen gép	37
23. ábra: FRAP módszer elvi ábrája	38
24. ábra: Rayleigh UV-1800 spektrofotométer	40
25. ábra: A redox reakció és a színváltozás a Folin-Ciocalteu tesztben, valamint a Munteanu által azonosított fémkomplexek	40
26. ábra: Komplexképzés egyenlete	42
27. ábra: Szárzészta modellek	44
28. ábra: A főtt tészta tápanyag tartalma	45
29. ábra: A nedvességtartalom értékek %-ban kifejezve	33
30. ábra: Mikroorganizmusok szaporodásának vízáktivitatás-igénye	34

31. ábra: A mikroorganizmusok minimális vízaktivitás igénye	34
32. ábra: A minták vízaktivitás értékei.....	36
33. ábra: A nyers, a száraz és a főtt minták színínger különbség értékei	37
34. ábra: A tészta minták főzési ideje.....	Hiba! A könyvjelző nem létezik.
35. ábra: A tésztaminták vízfelvevő képessége	42

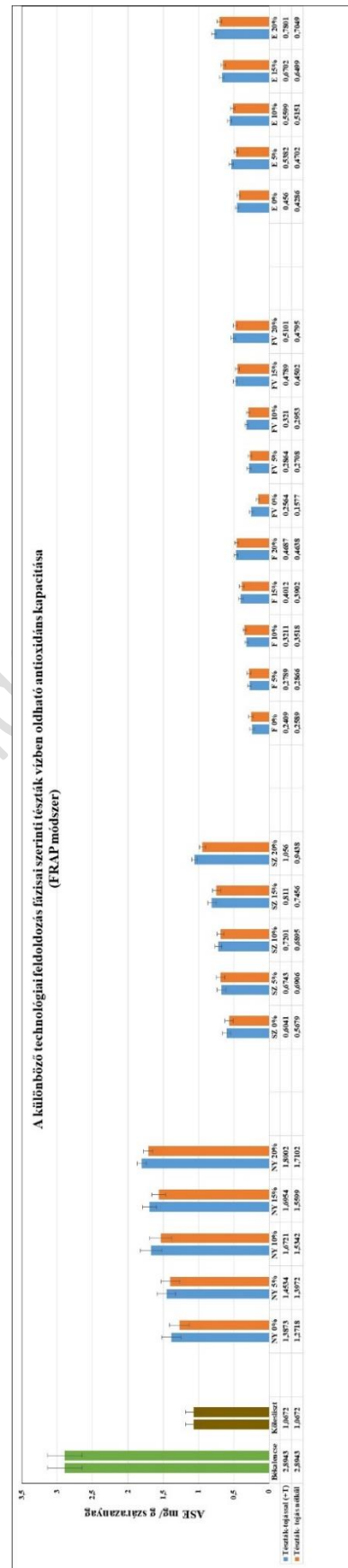
9.2. Táblázatok jegyzéke:

1. táblázat: Napi fehérjebevitel, grammban kifejezve	5
2. táblázat: A rendelkezésemre bocsátott Lemna minor békalencsefaj beltartalmi adatai	29
3. táblázat: Tésztaminták összetétele és jelölése	30
4. táblázat: Emésztőnedvek összetétele (1 g kiindulási mintára vonatkoztatva).....	32
5. táblázat: 1,25x koncentrátumú szimulált emésztőnedvek elektrolit törzsadatainak összetétele	33
6. táblázat: A vízben oldható antioxidáns kapacitás meghatározásához szükséges kalibrációs sor oldatai és azok mennyiségei	39
7. táblázat: A vízben oldható összes polifenol tartalom meghatározásához szükséges kalibrációs sor oldatai és azok mennyiségei	41
8. táblázat: A fehérjetartalom meghatározásához szükséges kalibrációs sor oldatai és azok mennyiségei	42

10. Melléklet
1. számú melléklet

A különböző technológiai
feldolgozás fázisai szerinti tészták
vízben oldható antioxidáns
kapacitása

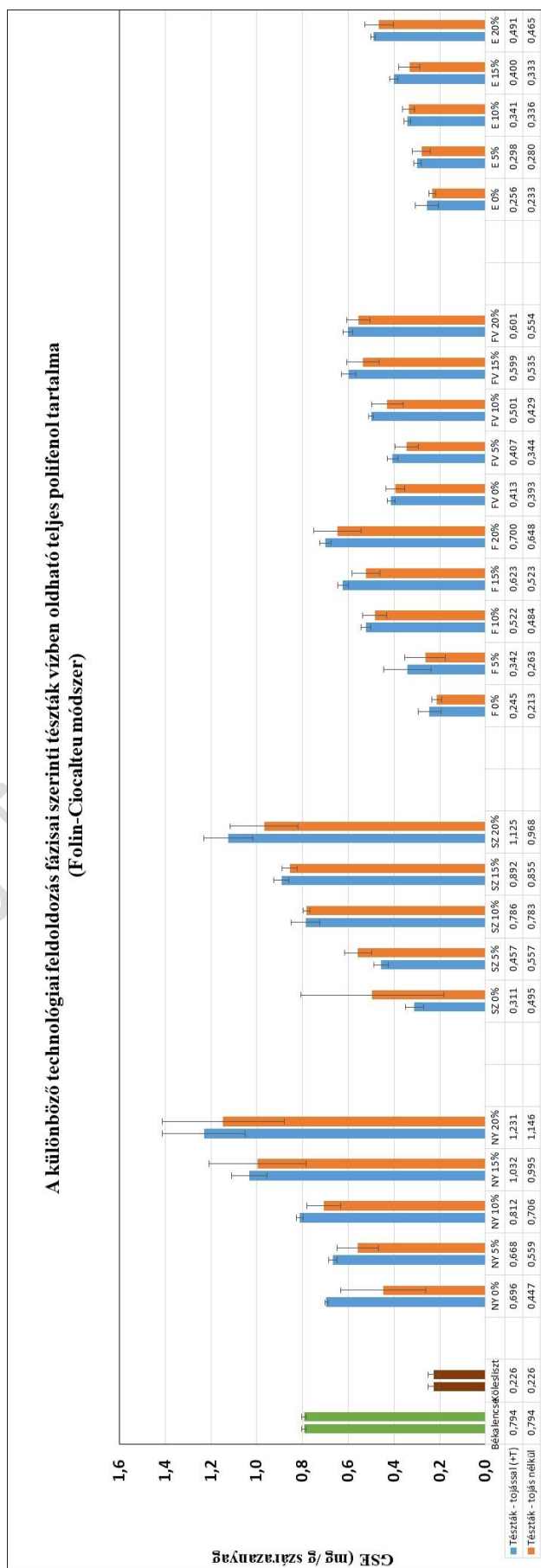
(Forrás: saját ábra)



2. számú melléklet

A különböző technológiai
feldolgozás fázisai szerinti tézták
vízben oldható összes polifenol
tartalma

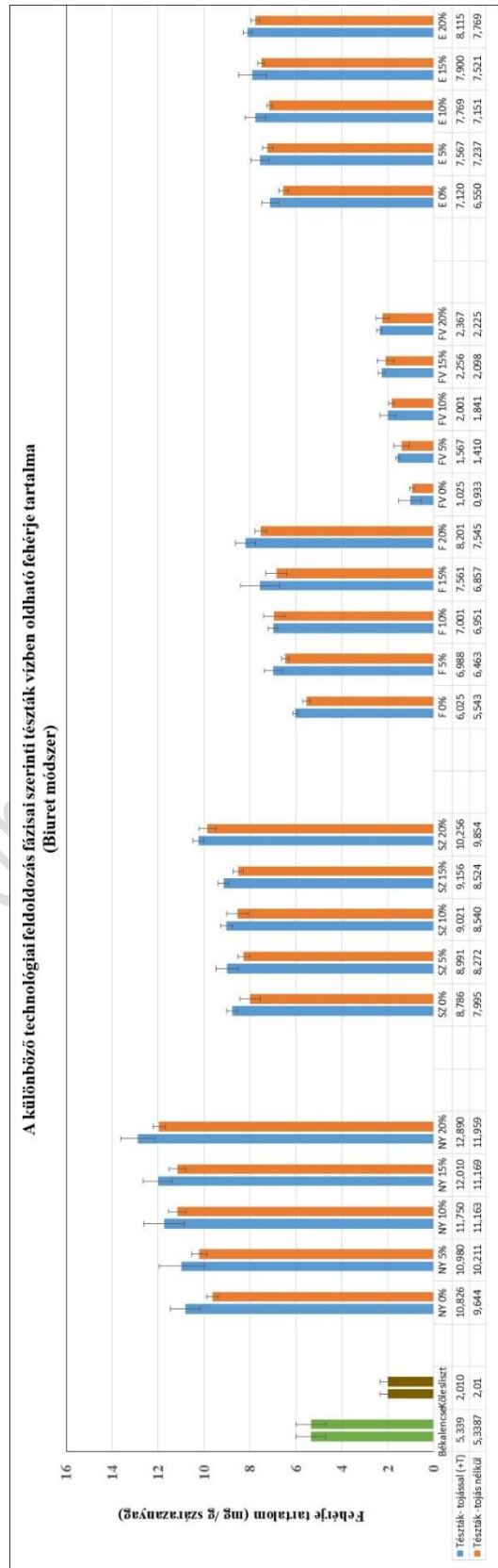
(Forrás: saját ábra)



3. számú melléklet

A különböző technológiai
feldolgozás fázisai szerinti tészták
vízben oldható fehérje tartalma

(Forrás: saját ábra)



11. Hallgatói nyilatkozat

NYILATKOZAT

A szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Szabó Kamilla Tünde
A Hallgató Neptun kódja: RNJ68K
A dolgozat címe: **Békalencsével mint alternatív fehérjeforrással dúsított száraztészta fejlesztése**
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: **Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet**
A konzulens tanszékének a neve: **Gabona és Iparnövény Technológia Tanszék, Táplálkozástudományi Tanszék**

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat 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 repozitóri 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 repozitóri rendszerében.

Kelt: 2025. 10. 31.

Szabó Kamilla Tünde

Hallgató aláírása

12. Konzulensi nyilatkozat

Szabó Kamilla Tünde szakdolgozat

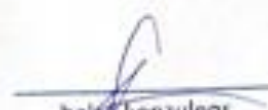
NYILATKOZAT

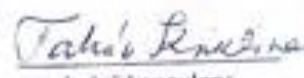
Szabó Kamilla Tünde (Neptun azonosítója: RN168K) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

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

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Budapest, 2025. november 3.


belső konzulens
Dr. Szedlák Ildikó


belső konzulens
Dr. Takács Krisztina

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölendő

² A megfelelő aláhúzandó

³ A megfelelő aláhúzandó

13. MI nyilatkozat

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Szabó Kamilla Tünde
Neptun-kódja:	RNJ68K
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:.....
Tantárgy neve/kódja*:	Szakedolgozat
A munka címe:	Békalencsével mint alternatív fehérjeforrással dúsított száraztészta fejlesztése

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

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

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

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

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

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

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

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

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

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

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

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

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

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

Kelt: Budapest, 2025. október 30.

Szabó Kamilla Turck

Hallgató aláírása

Pukli's Katalin

Konzulens/Témavezető aláírása