



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés hatása a rehidratált,
állati eredetű élelmiszerfehérjék fizikai, kémiai, biológiai és
táplálkozás-élettani jellemzőire**

DOI: 10.54598/006730

Barkó Annamária

Budapest

2025

A doktori iskola

Megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

Tudományága: Élelmiszertudományok

Vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia
Egyetemi tanár, DSc
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezető(k): Pásztorné Dr. Huszár Klára
Egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék

Dr. Mednyánszky Zsuzsanna
Egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Táplálkozástudományi Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető(k) jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	4
2. CÉLKITŰZÉSEK.....	6
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	7
3.1. Az állati eredetű élelmiszerek szerepe és jelentősége.....	7
3.2. Állati eredetű vér	8
3.2.1. Az állati eredetű vér kémiai összetétele, szerkezete	8
3.2.2. Az állati eredetű vér táplálkozás - élettani jelentősége.....	9
3.2.3. Az állati eredetű vér élelmiszeripari alkalmazása	11
3.2.4. Az állati eredetű vér szerepe a fenntarthatóságban	12
3.3. Tojás	14
3.3.1. A tojás felépítése és összetétele	14
3.3.2. A tojás kémiai összetétele	15
3.3.3. A tojásfehérje kémiai összetétele.....	15
3.3.4. A tojássárgája kémiai összetétele	17
3.3.5. A tojás táplálkozás - élettani jelentősége	17
3.3.6. A tojáspor élelmiszeripari alkalmazása.....	20
3.4. Tejsavó.....	20
3.4.1. A tejsavó fehérjéi	21
3.4.2. A tejsavó táplálkozás-élettani jelentősége.....	24
3.4.3. A tejsavó felhasználása élelmiszerekben	26
3.4.4. A tejsavó szerepe a fenntarthatóságban	28
3.5. Az élelmiszerporok.....	29
3.5.1. Az élelmiszerporok rehidatációs tulajdonságai.....	29
3.6. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (HHP)	31
3.6.1. A nagy hidrosztatikus nyomású technológia: feldolgozás, alapelvei	32
3.6.2. A nagy hidrosztatikus nyomás hatása a fehérjékre.....	32
3.6.3. A nagy hidrosztatikus nyomás hatása a mikrobiális élelmiszerbiztonságra	34
3.6.4. A nagy hidrosztatikus nyomással kezelt élelmiszerek táplálkozási jelentősége és hatása az emészthetőségre	35
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	37
4.1. A kísérletek során felhasznált anyagok	37
4.2. A kísérletek helyszíne és tervezés	37
4.3. A minták előkészítése	38
4.4. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés	38
4.5. Portermékek esetében alkalmazott mérési módszerek.....	39
4.5.1. Folyékonyság meghatározása.....	39
4.5.1.1. Ömlesztett és tömörített térfogatsűrűség mérése	39
4.5.1.2. Folyékonyság meghatározása: Carr-index és Hausner-arány kifejezése.....	39

4.5.2. Rehidratációs tulajdonságok meghatározása	40
4.5.2.1. Nedvesíthetőség.....	40
4.5.2.2. Diszpergálhatóság.....	40
4.5.2.3. Oldhatóság meghatározás	41
4.5.3. Aminosav-összetétel meghatározás	41
4.6. Nagy hidrosztatikus nyomáskezelt minták mérési módszerei.....	42
4.6.1. Szín mérés.....	42
4.6.2. A minták reológiai tulajdonságainak vizsgálata rotációs reométerrel	43
4.6.3. Fehérjék vizsgálata SDS-poliakrilamid gélelektroforézis (SDS-PAGE) módszerével	44
4.6.4. In vitro emésztési modellkísérlet.....	46
4.6.4.1. Emésztőenzim aktivitások és epesav koncentráció meghatározása az emésztési fázisok végtérfogatában	46
4.6.4.2. Kereskedelmi forgalomban kapható emésztőenzimek aktivitásának meghatározása	47
4.6.4.3. Az in vitro emésztés folyamatának lépései	47
4.6.5. A minták mezofil aerob mikroba számának meghatározása lemezöntéssel – tárolási kísérlet.....	48
4.7. Statisztikai értékelés	49
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	50
5.1. Portermékeken végzett mérések eredményei.....	50
5.1.1. Ömlesztett és tömörített térfogatsűrűség vizsgálata	50
5.1.2. Rehidratációs tulajdonságok mérési eredményei	51
5.1.2.1. Nedvesíthetőség, diszpergálhatóság és oldhatóság vizsgálata	51
5.1.3. Aminosav – analízis mérési eredményei.....	53
5.1.3.1. A különböző porminták fehérjetartalma	53
5.2. Nagy hidrosztatikus nyomáskezelt minták vizsgálati eredménye	56
5.2.1. Szín mérés eredményei.....	56
5.2.1.1. Vérplazma szuszpenziók színének vizsgálata	56
5.2.1.2. Hemoglobin szuszpenziók színének vizsgálata.....	57
5.2.1.3. Teljes vér szuszpenziók színének vizsgálata	58
5.2.1.4. Tojásfehérje szuszpenziók színének vizsgálata	59
5.2.1.5. Teljes tojás szuszpenziók színének vizsgálata	60
5.2.1.6. Tejsavó szuszpenziók színének vizsgálata	61
5.2.2. Reológiai tulajdonságok mérési eredményei	62
5.2.2.1. Vérplazma szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata	62
5.2.2.2. Hemoglobin szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata	63
5.2.2.3. Teljes vér szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata	64
5.2.2.4. Tojásfehérje szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata	65
5.2.2.5. Teljes tojás szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata.....	66
5.2.2.6. Tejsavó szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata	67
5.2.3. Poliakrilamid-gélelektroforézis (SDS-PAGE) eredményei	67
5.2.3.1. A vérplazma-, hemoglobin- és a teljes vér szuszpenziók SDS-PAGE eredményei.....	67
5.2.3.2. A tojásfehérje- és a teljes tojás szuszpenziók SDS-PAGE eredményei	69

5.2.3.3. <i>A tejsavó szuszpenziók SDS-PAGE eredményei</i>	71
5.2.4. <i>In vitro emészthetőség eredményei</i>	73
5.2.4.1. <i>A vérplazma szuszpenziók in vitro emészthetőségének vizsgálata</i>	73
5.2.4.2. <i>A hemoglobin szuszpenziók in vitro emészthetőségének vizsgálata</i>	74
5.2.4.3. <i>A teljes vér szuszpenziók in vitro emészthetőségének vizsgálata</i>	74
5.2.4.4. <i>A tojásfehérje szuszpenziók in vitro emészthetőségének vizsgálata</i>	76
5.2.4.5. <i>A teljes tojás szuszpenziók in vitro emészthetőségének vizsgálata</i>	77
5.2.4.6. <i>A tejsavó szuszpenziók in vitro emészthetőségének vizsgálata</i>	78
5.2.5. <i>A kontroll és nyomáskezelt minták mikrobiológiai állapot változásának eredményei a tárolási napok előrehaladtával</i>	80
5.2.5.1. <i>A vérplazma szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata</i>	80
5.2.5.2. <i>A hemoglobin szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata</i>	81
5.2.5.3. <i>A teljes vér szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata</i>	83
5.2.5.4. <i>A tojásfehérje szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata</i>	84
5.2.5.5. <i>A teljes tojás szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata</i>	85
5.2.5.6. <i>A tejsavó szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata</i>	86
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	88
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	90
8. ÖSSZEFOGLALÁS	92
SUMMARY	96
MELLÉKLETEK	100

1. BEVEZETÉS

Az emberek már ősidők óta fogyasztanak állati eredetű élelmiszereket, amelyek mindig is kulcsfontosságú szerepet töltek be a humán táplálkozásban. A mai modern világban is, az állati eredetű fehérjeforrások, mint a hús, vér, tej, tojás és hal továbbra is biztosítják az optimális növekedéshez és fejlődéshez szükséges összes alapvető makro- és mikrotápanyagot. Tanulmányok megerősítették, hogy ezeknek a fehérjeforrásoknak a fogyasztása biztonságos és kielégíti az egyén táplálkozási szükségleteinek nagy részét, ha rendszeres étrend részeként az ajánlott mennyiségben fogyasztják. Kutatásom alapjául szolgáló állati eredetű élelmiszereket a porított vér, tojás és tejsavó adják. Ezen termékeket nyers állapotukban nagy vízaktivitás és tápanyagban gazdag összetétel jellemzi, ami ideális környezetet biztosít a mikrobák növekedéséhez, ezért rendkívül romlandóak. Az állati eredetű élelmiszerek rövid eltarthatósága kihívást jelent az élelmiszeripar számára, ezáltal ezen élelmiszerek víztartalmának jelentős hányadának eltávolítása (porítás) nemcsak gyakorlati előnyöket kínál, mint például a könnyebb kezelés, tárolás és szállítás, hanem megkönnyíti a különféle élelmiszeripari alkalmazásokban való felhasználásukat is.

A tojás számos konyhai étel alapanyagaként sokoldalú és tápláló élelmiszer. A tojástermelés szezonális jellege azonban kihívást jelent az egész éves elérhetőség és hozzáférhetőség biztosítása szempontjából. Ennek megoldására a tojás porítása számos előnnyel járó, életképes tartósítási technikaként nyert teret. A tojás porrá szárításával a termék hosszabb ideig tárolható, csökkentve a kínálat szezonális ingadozásainak hatását. Továbbá a porított tojás csökkentett nedvességtartalma és tömör jellege hatékonyabb tárolást és szállítást tesz lehetővé, optimalizálva a rendelkezésre álló hely kihasználását. A másik két általam vizsgált anyag közül a vér vágóhídi melléktermék, míg a tejsavó a sajt, túró és kazein gyártás mellékterméke. Ezen termékek egyre nagyobb figyelmet kapnak, mint a hagyományos fehérjeforrások fenntartható alternatívái az élelmiszeriparban. A fenntartható fejlődés kulcsfontosságú szempont lett az élelmiszeriparban és olyan feldolgozási technikák feltárását ösztönzi, amelyek javíthatják az élelmiszerek táplálkozási és funkcionális tulajdonságait, miközben minimálisra csökkentik a környezeti hatást. Így a melléktermékek, mint a vér és a tejsavó hasznosítása nemcsak a hulladékgazdálkodás kérdését oldja meg, hanem a környezeti fenntarthatóság és a táplálkozási érték szempontjából is jelentős előnyökkel jár, amely hozzájárulhat a körforgásos gazdasághoz.

Az elmúlt években jelentős átalakulás következett be a fogyasztói trendekben. A múlt század végén a fogyasztói igény a termékek biztonságára és árára összpontosított, melyre az élelmiszeripar túlzott mértékben feldolgozott élelmiszerek gyártásával reagált, mellőzve azok minőségi jellemzőit. Napjainkra azonban a fogyasztói viselkedés jelentősen megváltozott és

egyre nagyobb igény mutatkozik a természetes, adalékanyagtól mentes, friss termékekre. Ezeket a trendeket követve az új, természetes, kíméletesen feldolgozott, mesterséges összetevőket nem tartalmazó termékek előállítása a feltörekvő feldolgozási technikák térhódítását idézte elő. Az egyik ilyen forradalmi, élelmiszer-feldolgozási technológia a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (high hydrostatic pressure=HHP). A HHP egy nem-termikus módszer, amelyet a hagyományos termikus eljárások alternatívájaként alkalmaznak az élelmiszerbiztonság javítása érdekében, mivel képes inaktiválni a káros mikroorganizmusokat, miközben megőrzi az élelmiszer minőségét, tápanyagait és érzékszervi tulajdonságait (Serna-Hernandez et al., 2021). Történelmileg a nagynyomású feldolgozás koncepciója évtizedek óta létezik és a korai kísérletek a 19. század végére nyúlnak vissza, azonban csak a 20. század második felében nyert széles körű elismerést és kereskedelmi alkalmazást (Francisco Purroy Balda et al., 2012). Az érdeklődés növekedésének hajtóereje a kíméletesen feldolgozott élelmiszerek iránti igény növekedése volt. A HHP kezelés eredményesen alkalmazható a rehidratált élelmiszerporoknál is, ugyanis javíthatja a termékek mikrobiológiai biztonságát, a tápanyagok stabilitását és biohasznosulását, ezáltal értékes összetevőivé válhatnak a fenntartható és táplálkozási szempontból kiváló élelmiszereknek. Ez azért is fontos, mert az élelmiszeriparban gyakran alkalmazzák az élelmiszerporok vízben való feloldását és az így kapott szuszpenzió élelmiszerekhez való hozzáadását, mivel ez lehetővé teszi a tápanyagok, adalékanyagok vagy funkcionális összetevők könnyebb beépítését a termékekbe. Ez a módszer biztosítja az egyenletes eloszlást, pontos adagolást és javíthatja a termékek konzisztenciáját, minőségét, például joghurtok, italok, sütőipari termékek, jégkrémek és fagyasztott desszertek dúsítása esetén.

A vizsgálni kívánt alapanyagaim közül a tojás és tejsavó széles körben alkalmazott az élelmiszeriparban, azonban a legtöbb szakirodalom és kutatás, a nyers tojást, tojáslevet, illetve a tejsavót taglalja. A vér esetében is, amely továbbra is egy kihasználatlan lehetőség az élelmiszeripar számára, a nyers vér vizsgálata van fókuszban. Ez azt jelenti, hogy kevesen foglalkoztak még állati eredetű, rehidratált termékek nagy hidrosztatikus nyomáskezelésének vizsgálatával. Így az élelmiszertudomány ezen területe még kiaknázatlan kutatási potenciált hordoz és a rehidratált porkészítmények sokféle alkalmazási lehetőséget kínálnak az élelmiszeripar és a biotechnológia számára.

2. CÉLKITŰZÉSEK

A HHP kezelés élelmiszeripari alkalmazásának megalapozott értékeléséhez elengedhetetlen az alapanyagok kiindulási tulajdonságainak mélyreható vizsgálata. Ennek megfelelően kutatásom elsődleges célja a különböző állati eredetű, porított fehérjeforrások (vérplazma por, hemoglobin por, teljes vérpor, tojásfehérje por, teljes tojáspor, valamint tejsavó izolátum) technológiai és kémiai jellemzőinek feltárása, valamint a rehidratált szuszpenziókban a HHP kezelés hatására bekövetkezett változások komplex vizsgálata volt.

A kutatás első szakaszában a porított fehérjeforrások tulajdonságainak, viselkedésének megértésére irányuló célkitűzéseim a következők voltak:

- Milyen folyási tulajdonságok jellemzik a különböző mintákat az ömlesztett és tömörített térfogatsűrűség mérés alapján?
- Milyen rehidratációs tulajdonságokkal (nedvesíthetőség, diszpergálhatóság és oldhatóság) rendelkeznek a vizsgált minták és ezek hogyan befolyásolják a porok instantizálhatóságát?
- Milyen aminosav-összetétel jellemzi a vizsgált mintákat és ez hogyan befolyásolja a táplálkozás-élettani megítélésüket, különös tekintettel az esszenciális aminosav-tartalomra?

A porokat rehidratálás után HHP kezelésnek vettem alá (300 MPa-tól 600 MPa-ig, 5 perc tartási idő) és a következő kutatási kérdések mentén vizsgáltam a kezelés hatásait:

- Milyen mértékben módosulnak a különböző szuszpenziók (vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás, tejsavó) színparaméterei a nyomáskezelés hatására?
- A HHP kezelés hatására hogyan változnak a vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás és tejsavó szuszpenziók reológiai tulajdonságai?
- Milyen változásokat indukál a vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás és tejsavó szuszpenziók molekulatömeg-eloszlásában a HHP kezelés alkalmazása?
- A HHP kezelés alkalmazása milyen mértékben javítja a vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás és tejsavó szuszpenziók fehérjetartalmának emészthetőségét?
- Milyen hatása van a HHP kezelésnek a vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás és tejsavó szuszpenziók eltarthatóságára a mezofil aerob csíraszám alakulása alapján a 44 napos tárolási kísérlet során?

Ezen vizsgálatok eredményei alapján minden minta esetében meghatározható egy HHP kezelési érték/tartomány, amely a különböző minták élelmiszeripari alkalmazhatóságáról nyújt átfogó információt.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Az állati eredetű élelmiszerek szerepe és jelentősége

Az elmúlt évszázad népességnövekedése az élelmiszer-kereslet jelentős növekedéséhez vezetett. Az ENSZ előrejelzése szerint a világ népessége 2050-re 9,7 milliárd, 2080-ra 10,8 milliárd fő lesz (FAO, 2022). Egyes becslések szerint 2050-re 50-70%-kal kell növelni az élelmiszertermelés hatékonyságát a további kétmilliárd ember ételmezéséhez (Ingram et al., 2010). Ez még produktívabb, felelősségteljesebb és fenntarthatóbb élelmiszeripart igényel, nem csak a fejlődő országok, hanem a fejlett országok számára is. A fejlődő országokban, ahol kiemelkedően nagy az alultápláltak száma - mennyiségi és minőségi éhezés a jellemző. A fejlett országokban a piaci túlkínálat a minőségi élelmiszerek csökkenő tendenciáját idézte elő, amely a minőségi éhezés kialakulásához vezetett. Nem elég azonban több élelmiszert előállítani. A helyes táplálkozás és az éhség megszüntetése egyaránt megköveteli mindenkitől a megfelelő étrend kialakítására való törekvést (Webb et al., 2018). Az étrend jelentősen módosítható kockázati tényező az anyák és a gyermekek egészsége, az alultápláltság és a nem fertőző betegségek szempontjából (FAO and WHO, 2019). Az emberek által elfogyasztott élelmiszer a környezeti fenntarthatóság egyik fő meghatározója, ami hatással van a földekre, édesvizekre, energiafelhasználásra, üvegházhatású gázok kibocsátására, erdőirtásra és a biodiverzitás csökkenésére (Clark and Tilman, 2017; Clune et al., 2017). Az emberiség és a bolygó egészségét egyaránt befolyásoló különböző élelmiszercsoportok közül talán egyik sem relevánsabb, mint az állati eredetű élelmiszerek - hús, hal, tojás és tejtermékek. Ezen élelmiszercsoportok táplálkozási jellemzőit tápanyag-összetételük (fehérjék, lipidek, szénhidrátok, vitaminok, ásványi anyagok) és az emberi táplálkozási szükségletek fedezésére való képességük alapján értékeljük. A hús aminosav közül kilencet az emberi szervezet nem képes szintetizálni, ezért esszenciális aminosavaknak (EAA) nevezzük. Ezek a következők: hisztidin (His), lizin (Lys), izoleucin (Ile), leucin (Leu), metionin (Met), fenilalanin (Phe), treonin (Thr), triptofán (Trp) és valin (Val). Az esszenciális aminosavak (nélkülözhetetlen aminosavak) olyan aminosavak, amelyeket az ember és más gerincesek nem képesek szintetizálni anyagcsere közbenső termékekből, ugyanis nem rendelkezik az aminosavak szintéziséhez szükséges metabolikus útvonalakkal, ezért táplálkozás során kell a szervezetbe juttatni. Az állati eredetű fehérjék az összes esszenciális aminosavat tartalmazzák a megfelelő arányban és minőségben, ezáltal teljes értékű vagy komplett fehérjeforrásoknak tekinthetők. Ha egy vagy több EAA hiányzik, vagy nem megfelelő mennyiségben van jelen egy fehérjeforrásban, az korlátozhatja az emberi szervezet fehérjesszintézisének kapacitását. Egyéb aminosavak, például arginin, glutamin, glicin, ornitin, prolin és a szerin „feltételesen nélkülözhetetlenek” minősülnek, mivel fontosabbak bizonyos

életszakaszokban, például a korai fejlődés során, valamint betegség vagy stressz idején. A többi aminosavat „nem esszenciálisnak” tekintik, mivel azokat a szervezet képes szintetizálni (Day et al., 2022; Lopez és Mohiuddin, 2023). Az állati eredetű élelmiszerek mikroelem és vitamin tartalma sem elhanyagolható, ugyanis olyan esszenciális összetevőket tartalmaznak, mint a B₁₂-vitamin és D vitamin. A vas, cink, kalcium és az A-vitamin, mind a növényi mind az állati eredetű élelmiszerekben megtalálhatóak. A lényegi különbség abban rejlik, hogy az állati eredetű élelmiszerekből származó fentebb felsorolt komponensek az emberi szervezetben könnyebben szívódnak fel és hasznosulnak (Murphy and Allen, 2003; Neumann et al., 2002). Összességében elmondható tehát, hogy az állati eredetű élelmiszerek több tápanyagot is biztosítanak egyidejűleg. Ez különösen fontos lehet a kis és közepes jövedelmű országok étrendjében, ahol nagyobb tápanyag hiány a jellemző. (Varijakshapanicker et al., 2019).

3.2. Állati eredetű vér

3.2.1. Az állati eredetű vér kémiai összetétele, szerkezete

A vért a húsipar egyik fő melléktermékének tekintik a napi szinten termelődő nagy mennyisége miatt, valamint annak köszönhetően, hogy kiváló minőségű fehérjeforrást jelent (Álvarez et al., 2018). A vér az állati élősúly mintegy 4%-át vagy a levágott állat színhústartalmának 6-7%-át teszi ki (Bah et al., 2013; Wismer-Pedersen, 1988). Ez a vörös színű folyékony kötőszövet összetett folyadéknak tekinthető, amely vízből, sejtekből, enzimekből, fehérjékből és más szerves és szervetlen anyagokból áll, amelyek két frakcióra, a sejtfrakcióra és a plazmára oszthatók. A vérszérum az alvadási faktor (fibrinogén) mentes vérplazma (1. táblázat).

1. táblázat: A vágóhídi vér és frakcióinak összetétele (Chiroque et al., 2023)

Összetevő	Teljes vér	Plazma (vér 60%-a)	Vörösvérsejt (vér 40%-a)	Szérum (vér 66%-a)
Víz (%)	80,8	90,8	60,8	91,2
Zsír (%)	0,2	0,1	0,4	0,1
Ásványi sók	0,9	0,8	1,1	0,8
Fehérjék (%)	17,0	7,9	35,1	7,5
Albumin	2,2	3,3	-	3,3
Globulin	2,8	4,2	-	4,2
Fibrinogén	0,3	0,4	-	-
Hemoglobin	10,0	-	30,0	-
Stroma	1,7	-	5,1	-
Egyéb anyagok	1,1	0,4	2,6	0,4

A vérsejtek a teljes vértérfogat 20-40%-a és többnyire vörösvértestekből (eritrociták), valamint kisebb mennyiségű fehérvérsejtekből (leukociták) és vérlemezkékből áll. Ez a frakció van szuszpendálva a folyékony plazmában (60-80%). Az állati vér kb. 17-18%-a fehérjéből, 75-82% vízből áll, a vörösvértestekben található hemoglobin pedig a teljes fehérjetartalom 70 %-át teszi ki (Liu et al., 1996; Raffaella Leoci, 2014; Tarté, 2011). A vörösvértesteknek nincs magjuk,

hanem hemoglobint tartalmaznak. A hemoglobin egy vasat tartalmazó fehérje (hem-vas). Amikor a hemoglobinban lévő vasionok oxigénnel egyesülnek és oxidálódnak, a vörösvértestek vörösnek tűnnek (Lee et al., 2022). Az állati vérplazma (szérum) a legbonyolultabb kolloid rendszernek tekinthető az összes ismert természetes folyadék közül. Mivel a plazmában számos különféle biológiailag aktív vegyület komplexe található, ésszerű a vért „szuperkomplex kolloid rendszernek” tekinteni. A vérplazma a folyékony rész, amely nem tartalmaz vérsejteket. (Dávila et al., 2007). Az emlős plazma általában 6-8 m/v% fehérjét tartalmaz elsősorban albumint (56-60%), globulinokat α_1 -, α_2 -, β - és γ -globulinok (36-40%) és fibrinogént (0,6-4%), melyek alapvető tulajdonságait a 2. táblázat mutatja (Bah et al., 2016; Tarté, 2011). Ezek közül a szérumalbumin a legnagyobb mennyiségben előforduló és kereskedelmi szempontból a legfontosabb. A fibrinogén egy 340 kDa méretű rostos fehérje, amelynek pI (izoelektromos pont) értéke 5,8 körül van és három pár polipeptid egység alkotja, amely kb. 3%-ot tesz ki. Amikor a fibrinogént eltávolítják a plazmából, a megmaradt frakciót szérumnak nevezik (Dávila et al., 2007).

2. táblázat: A főbb plazmafehérjék alapvető tulajdonságai (Tarté, 2009; Wasilewska et al., 2009)

Fehérje	Plazmafehérje %-a	pI	Molekulatömeg (kDa)
Szérum albumin	56	4,8-4,9	69
α_1 - globulin	5,3	2,7-4,4	44-435
α_2 - globulin	8,4	3,6-5,6	41-20000
β - globulin	11,5	3,6-5,9	80-3200
γ - globulin	15	5,8-7,3	100-160
Fibrinogén	0,6	5,8	340

A legtöbb gerincesben a hemoglobin egy tetramer, amelyek mindegyike egy polipeptidláncot és egy hemcsoportot tartalmaz (Marengo-Rowe, 2006). Minden globinban található egy vastartalmú hemcsoport, amely 1 oxigénmolekulát képes megkötni, így egy hemoglobin tetramer molekula összesen 4 oxigénmolekula szállítására képes. Két α -alegységből (α_1 és α_2) és két β -alegységből (β_1 és β_2) áll, amelyek szerkezetileg hasonlóak és körülbelül azonos méretűek (Ahmed et al., 2020). A hemoglobin molekula tömegei a következők: tetramer 64 kDa, trimer 48 kDa, dimer 32 kDa, monomer 16 kDa (Russo et al., 2013).

3.2.2. Az állati eredetű vér táplálkozás - élettani jelentősége

A vér nagy fehérjetartalmának és aminosavprofiljának köszönhetően kiemelkedő tápértékkel rendelkezik. Emiatt szokták „folyékony fehérjének” vagy „folyékony húsnak” is nevezni (Maruf, 2015). A fehérjék biológiai értékének legfontosabb jellemzője az esszenciális aminosav-tartalom és -arány. A 3. táblázatban látható a sertésvér és frakciói aminosav összetétele a FAO/WHO által javasolt referencia értékekkel összehasonlítva (FAO, 2013; Lynch et al., 2017). Megfigyelhető, hogy a hemoglobin kivételével minden vérfehérje teljesértékű, mivel tartalmazza az összes

esszenciális aminosavat. A plazmafehérjék esszenciális aminosavai közül a legnagyobb a leucin tartalom, de gazdagok más esszenciális aminosavakban is, beleértve a valint, hisztidint, fenilalanint, tirozint, treonint és a lizint. A nagy lizin tartalomnak köszönhetően ezen fehérjefrakciók alkalmasak a gabona alapú termékek komplettálására, dúsítására, mivel ezen élelmiszerekben a lizin a limitáló aminosav.

3. táblázat: A teljes sertésvér és frakcióinak aminosav-összetétele (g/100 g fehérje) és a felnőttek referencia aminosav-szükséglete (g/ 100 g fehérje)

Aminosav	Teljes vér	Hemoglobin	Szérum albumin	Szérum globulin	Fibrin	Felnőttek aminosav-szükséglete
Leucin ¹	13,2	14,9	12,3	9,5	7,1	5,9
Lizin ¹	9,7	10,6	12,8	6,3	9,0	4,5
Valin ¹	8,7	11,0	5,9	9,7	3,9	3,9
Hisztidin ¹	8,8	8,5	4,0	2,1	2,3	1,5
Fenilalanin ¹	10,7	9,6	6,6	4,7	4,6	3,8
Tirozin ²	1,4	2,9	5,1	6,7	6,0	
Treonin ¹	4,8	6,0	5,8	7,4	7,9	2,3
Triptofán ¹	1,5	2,0	0,7	2,8	3,5	0,6
Izoleucin ¹	0,9	0,0	2,6	2,0	5,0	3,0
Metionin ¹	2,4	1,2	0,8	1,0	1,2	2,2
Cisztein ²	-	0,9	5,9	2,3	1,5	
Arginin ²	-	3,5	5,9	5,8	6,7	-

1. Esszenciális aminosav 2. Feltételesen esszenciális aminosav

A fehérjetartalom mellett a vér táplálkozási jelentősége az ásványi anyag tartalmában rejlik. A vér vasban gazdag (4.táblázat), melyet a vörösvértestek hemoglobinja tartalmaz. Ez a hem vas nagy biológiai hozzáférhetőséggel rendelkezik, mivel könnyebben felszívódik, mint a növényekből származó nem szerves vas vagy az élelmiszerek dúsításakor általánosan használt vassók (Lynch et al., 2017).

4. táblázat: A sertés vérpor ásványianyag, hem és nem hem vas összetétele (Sorapukdee and Narunatsopanon, 2017)

Ásványianyag megnevezése	Ásványianyag összetétel (mg/kg) száraz tömegre vonatkoztatva	Hem és nem hem vas tartalom (µg/g) száraz tömegre vonatkoztatva	
Vas (Fe)	1490	Hem vas	832
Magnézium (Mg)	310	Nem hem vas	646
Cink (Zn)	33		
Réz (Cu)	37		
Mangán (Mn)	3		
Króm (Cr)	1		

Az Egészségügyi Világszervezet (WHO) becslése szerint mintegy 2 milliárd ember szenved vashiány miatti vérszegénységben, akiknek jelentős kockázatú populációi közé tartoznak a serdülők, menstruáló nők és az idősek (Guardia and Garrigues, 2015), így tehát a vér, mint élelmiszer különösen hasznos a vashiányos vérszegénység leküzdésére tervezett élelmiszer-alapú stratégiákban, amely egy jelentős globális alultápláltsági probléma. Ezen túlmenően a vérben lévő többi bioaktív vegyület is jótékony hatással lehet az egészségre, mint például az antioxidáns, vérnyomáscsökkentő és gyulladáscsökkentő hatással rendelkező bioaktív peptidok (Chiroque et al., 2023). A fentebb leírtak alapján a vér teljes hasznosítására irányuló erőfeszítések a fehérjék és ásványi anyagok visszanyerése révén szükségesek és indokoltak, nemcsak az ebből eredő környezeti előnyök miatt, hanem a potenciális táplálkozási, funkcionális és gazdasági előnyei miatt is (Ofori and Hsieh, 2011).

3.2.3. Az állati eredetű vér élelmiszeripari alkalmazása

A vér jelenleg alulhasznosított és a fő alkalmazási területei az állateledel előállítására, állati takarmányozásra, komposztálásra vagy biogáz előállítására összpontosítanak, amelyek kis hozzáadott értéket képviselnek (Jayathilakan et al., 2012). A vér emberi fogyasztásra vagy nagyobb hozzáadott értékű felhasználásra (pl. bioanyagok, bioaktív vegyületek) irányuló feldolgozás még mindig a teljes vérfelhasználás kis részét teszi ki. Az Európai Unióban az élelmiszer célú vérvételnek meg kell felelnie az állati eredetű élelmiszerekre vonatkozó speciális higiéniai szabályokat megállapító 853/2004/EK rendeletnek. Az összegyűjtött vér a végső tervezett felhasználástól függően többféle módon is feldolgozható. Ha teljes vérre van szükség, akkor általában ipari méretű elpárologtatókban szárítják, hogy vérlisztet kapjanak. Ha a szérum a fő céltermék, a vért hagyják megalvadni, majd a szérumot szűréssel vagy centrifugálással összegyűjtik. Ha a plazma a kérdéses termék, akkor véralvadásgátlót adnak a vérhez és a plazmát centrifugálással választják el, amelynek eredményeként két frakciót kapunk: plazmát és vörösvértesteket (Ockerman and Hense, 1988). Ezen két vérfrakció közül a plazmát és az abból származó termékeket szélesebb körben használják az élelmiszeriparban semleges ízű és a sejtfrakcióra jellemző sötét szín hiánya miatt, ezáltal könnyebben beépíthető az élelmiszerekbe anélkül, hogy a végtermék érzékszervi tulajdonságai megváltoznának (Tarté, 2011). A vérplazma fontos szerepet játszik a húsiparban, mivel hevítés után gél képez. Kötési tulajdonságai jobbak, mint más kötőanyagok, például húsporok, zselatin, búzaglutén, izolált szójafehérje, valamint nátrium-alginát és kalcium-karbonát kombinációja, de rosszabb kötési tulajdonsággal bír, mint a tojásfehérje (Lu and Chen, 1999). A vérplazma másik funkciója, hogy a globinhoz képest jobb emulgeáló képességgel rendelkezik, különösen olyan termékekben, mint a virsli, pástétom és mortadella, mivel a plazma segít a húsfehérjék, zsírok és a víz stabil formában történő

megkötésében (Silva and Silvestre, 2003). Mindezeken felül az élelmiszeripar használja még fehérje-kiegészítőként és zsírpótlóként olyan termékekben, mint a kolbász, valamint endogén proteázok inhibitoraként bizonyos halfajokból készült surimi típusú termékekben. Bár a plazmatermékeket főként a húsiparban használják, az élelmiszeripar más ágazataiban is alkalmazza őket. Például a porlasztva szárított plazma tojáspótlóként használható sütőipari termékekben a vérplazmafehérjék habzó és kelesztő tulajdonságai miatt. A tojástermékek a sütőiparban használt drágább összetevők közé tartoznak, ezáltal a részleges helyettesítés is jelentősen csökkentheti a termék költségét. A tészta egy másik olyan élelmiszer, amelyet a világ számos részén széles körben fogyasztanak. Így a porlasztva szárított vérplazma beépítése például a kekszlisztbe, amely széles körben elérhető és sokkal olcsóbb, lehetővé teszi a gyártók számára, hogy fehérjében gazdag tésztát állítsanak elő (Ofori and Hsieh, 2011). A hemoglobintartalmú vérkészítmények, a teljes vér vagy a hemoglobin élelmiszerösszetevőként történő felhasználása kevésbé népszerű, mint a plazmából származó termékek. Felhasználásának korlátozó tényezője a hemoglobin hem komponense, amely nemkívánatos sötét színt, szagot és fémes ízt kölcsönöz a végterméknek (Lynch et al., 2017). A hemoglobin tartalmú termékek ezért általában a hagyományos, sötét színű termékekre korlátozódnak, mint például a fekete kolbász, fekete puding és a véres sütemény. A vörösvértestek élelmiszer-összetevőként való elfogadhatóbbá és hasznosabbá tétele érdekében a hem pigmentet eltávolítják, hogy olyan törtfehér terméket állítsanak elő, amelyet az élelmiszeripar globinként vagy elszíntelenített vérként ismer. A globint az esszenciális aminosavakban, különösen lizinben való gazdagsága miatt gabonaalapú termékek dúsítására és komplettálására is használják, mivel ezen termékek általában lizinhiányosak (Ofori and Hsieh, 2014).

3.2.4. Az állati eredetű vér szerepe a fenntarthatóságban

Az Európai Unió körforgásos gazdaságra vonatkozó cselekvési terve az élelmiszerhulladék csökkentésére olyan stratégiai megközelítést tartalmaz, amely az anyagok és az energia csökkentésén, újra felhasználásán, hasznosításán és újra feldolgozásán alapul. Ezzel növelve a termékek, anyagok és erőforrások értékét és ennek következtében a hasznos élettartamát a gazdaságban. Az agrár-ipari melléktermékek újra felhasználása megújuló forrást jelenthet néhány már használatban lévő élelmiszer-adalékanyag számára vagy akár új, hozzáadott értékű, funkcionális vegyületekkel és tulajdonságokkal rendelkező összetevőket is létrehozhat, amelyek az egész élelmiszeripar javát szolgálják (European Commission:, 2015). Kovacs és Keresztes (2022) szerint az élelmiszer-fenntarthatósági aggályok egyre inkább előtérbe kerülnek a klímaváltozással kapcsolatos fenntarthatósági célok miatt, amelyek hatásai több egészségügyi és társadalmi dilemmát okoznak. A fogyasztók kulcsszerepet játszanak abban, hogy

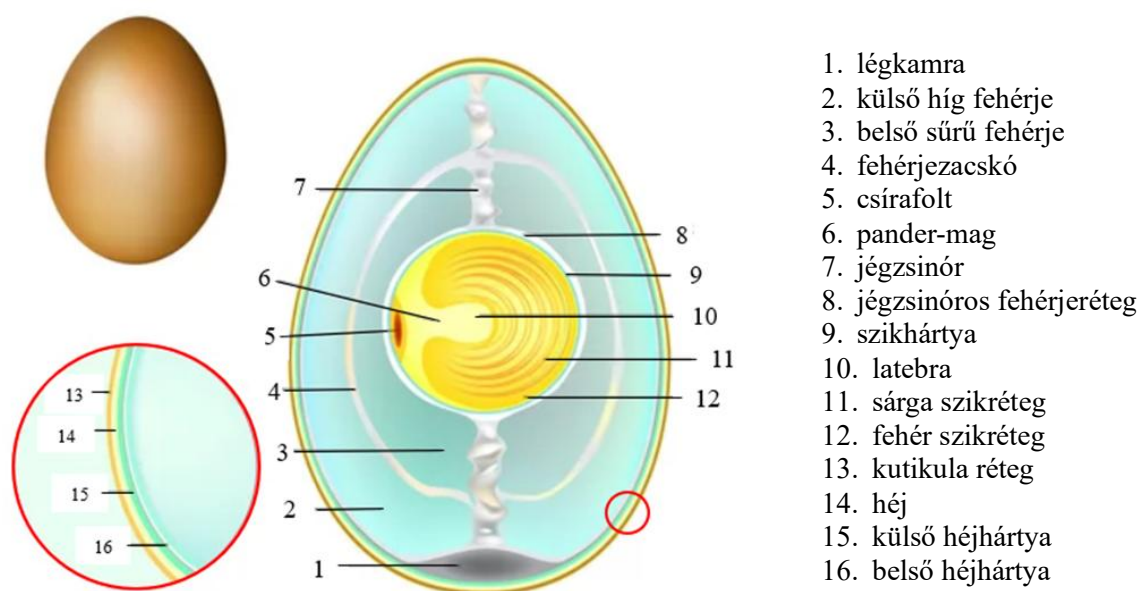
élelmiszerválasztásuk révén csökkentse a környezetre nehezedő terheket, miközben erősítik személyes egészségüket. Valójában a fogyasztói döntéshozatal folyamata nem csupán a szükségletek gazdasági szempontból történő kielégítéséről szól, hanem pszichológiai, szociológiai/személyi vonatkozású és kulturális/környezeti szempontokat is magában foglal (Steenkamp, 1997).

A globális húsfogyasztás 40%-kal nőtt az elmúlt évtizedben és jelentések szerint a 2025-ben várható globális hústermelés eléri a 365 millió tonnát (OECD and FAO, 2024). A hús iránti kereslet nagymértékű növekedése miatt a vágóhidak száma is növekszik és ezáltal nő a biológiailag lebomló szerves hulladék termelése (Ragasri and Sabumon, 2023). A teljes élelmiszertermelés 30–40%-a hulladékként és/vagy melléktermékként vész el, mielőtt piacra kerülne (Álvarez-Castillo et al., 2023). A tudomány és a technológia gyors fejlődése a vágóhidakon gyűjtött vért az emberi fogyasztás hasznos alternatív forrásává alakíthatja, mivel a vér egyedi táplálkozási és funkcionális tulajdonságokkal rendelkezik (Ofori and Hsieh, 2014). Ez a gyakorlat kiváló törekvés a környezeti hatások minimalizálására és az innováció ösztönzésére az erőforrások fenntarthatóságának javítása érdekében (Lynch et al., 2017). Jelentős szárazanyag-tartalma (18%) és nagy kémiai oxigénigénye (KOI) 500.000 mg O₂/L miatt a nagy mennyiségben termelődött vér ártalmatlanítása által okozott környezeti problémák óriásiak (Del Hoyo et al., 2007). A kezeletlen vér mezőgazdasági területekre történő kipermetezése vagy a települések szennyvízrendszerében való elvezetése, ahogyan korábban is történt, mostanra betiltásra került. A vér és egyéb vágóhídi melléktermékek környezetbarát ártalmatlanítása költséges és ezen költségek folyamatosan emelkednek, ami nyilvánvalóan növeli a hústermelés költségeit is. A hasított test eladási ára önmagában nem képes megfelelően kompenzálni az állattenyésztéssel járó nagy tökebefektetést, így a melléktermékek, például a vér felhasználásának módja nemcsak a profitot növeli és tartja fenn a húsipart, hanem csökkenti az ártalmatlanítással kapcsolatos problémákat is (Ofori and Hsieh, 2014). Nagy kár lenne ezen kiaknázatlan erőforrást hulladékként kezelni, mivel a fehérjehiányban szenvedő egyének száma világszerte növekszik. Ez megköveteli, hogy az állati eredetű fehérjeforrások, mint például a vér, nagyobb figyelmet kapjon az élelmiszertudomány és technológia terén egyaránt. A húsipar azzal a feladattal néz szembe, hogy minden vágási terméket, beleértve a vért is, jobban hasznosítsa. A vérkomponensek új alkalmazásainak megtalálása fontos kihívást jelent a tudósok számára (Silva and Silvestre, 2003) és olyan eljárások és alkalmazások kidolgozására van szükség, amelyek lehetővé teszik az állati vér nagyobb léptékű hasznosítását mind a jelentős szennyezési veszély kiküszöbölése, mind a potenciálisan értékes anyag elvesztésének megakadályozása érdekében (Hyun and Shin, 1998).

3.3. Tojás

3.3.1. A tojás felépítése és összetétele

A tojás az állatvilág legnagyobb sejtje, amely egyetlen sejtosztódás eredménye. A tojás összetevőinek sokfélesége és tökéletes egyensúlya az állatok növekedését biztosítva megmagyarázza a tojás kivételes táplálkozási minőségét az ember számára (Nys and Guyot, 2011). A Magyar Élelmiszerkönyv értelmében a tojás kifejezés alatt a tyúktojást értjük. A tojás fő szerkezeti alkotóelemei (1. ábra) a héj és héjhártya/membrán (9-12%), tojásfehérje (57-63 %) és tojássárgája (27-32%) (Kovacs-Nolan et al., 2005) .



1. ábra: A tojás felépítése és részei (Légrády, 2001) nyomán

A tojás kemény védőburkolata a kalciumot és foszfátot tartalmazó tojáshéj, amely három rétegből áll. A tojáshéj porózus szerkezetű (kb. 17 000 apró pórus), amely lehetővé teszi a víz elpárologtatását és a gázcserét. A tojásfehérje a tojáshéj membrán rétegei és a sárgája között található, amely második védőréteggént funkcionál, hogy a bakteriális fertőzések ne juthassanak el a sárgájához. A tojásfehérje négy különböző viszkozitású rétegből áll, amelyeket viszkozitásuk és a sárgájához viszonyított helyzetük alapján neveznek el (Hrabia, 2022). A fehérjében szuszpendált tojássárgája két összekötő szöveten a jégzsinóron keresztül táplálja a fejlődő embriót. A jégzsinór rugószerű szerkezettel rendelkezik, amely a szikhártya egyenlítői régiójából a tojásfehérjébe nyúlik ki és stabil helyzetben tartja a sárgáját (Bellairs and Osmond, 2014). A tojássárgája egy gömb, amelynek középpontja a tojás közepén helyezkedik el. Vékony, nem sejtes szikhártya veszi körül (Starck, 2021). A tojássárgája egy koncentrikus gyűrűben helyezkedik el a latebra körül, ahol változó sávok a sárga- és fehér szikréteg rakódik egymásra (Bellairs and Osmond, 2014).

3.3.2. A tojás kémiai összetétele

A tojástermelés mennyiségét és minőségét több tényező is befolyásolja. Az olyan tényezők, mint a hőmérséklet, páratartalom, szén-dioxid jelenléte, valamint az állat kora, fajtája, takarmányozása, az állatot érő stressz mind befolyásoló paraméterek a tojás minőségének fenntartásában. A tojás minősége függ a fizikai felépítésétől és kémiai összetételétől, nevezetesen a tojáshéjtól, tojásfehérjétől és a tojássárgájától. A kémiai összetétel fontos a tojás-iparban, mivel a folyékony tojás, fagyasztott tojás, tojáspor iránt is növekvő kereslet mutatkozik. A hosszú tárolási időszak következtében azonban jelentős százalékos veszteség és minőségi változás következik be tojásfehérje és a tojássárgája kémiai összetételében is (Lubich et al., 2019; Senbeta et al., 2015).

5. táblázat: A tojás kémiai összetétele (w/w%) (Li-Chan and Kim, 2008)

Összetevő	Víz	Fehérje	Zsír	Szénhidrát	Ásványi anyag
Teljes tojás	66,1	12,8-13,4	10,5-11,8	0,3-1,0	0,8-1,0
Tojásfehérje	87,6	9,7-10,6	0,03	0,4-0,9	0,5-0,6
Tojássárgája	48,7	15,7-16,6	31,8-35,5	0,2-1,0	1,1
Tojáshéj	1,6	6,2-6,4	0,03	-	91-92

A tojás vízből, fehérjéből, lipidekből, valamint csekély mennyiségű szénhidrátból és ásványi anyagokból áll (5. táblázat). A tojásban lévő fehérjék a tojásfehérje és a sárgája között oszlanak meg, míg a lipidek főként a sárgájában koncentrálnak.

3.3.3. A tojásfehérje kémiai összetétele

A tojásfehérje főként vízből (~88%) és fehérjéből (~10%) áll. A fennmaradó részt szénhidrátok, ásványi anyagok és kevés lipid alkotja. Az ovalbumint, ovotranszferrint (konalbumin), ovomukoidot, ovomucint és a lizozimet tekintik a fő fehérjéknek, valamint ovoglobulin G₂ és G₃, ovoinhibitor, ovoglikoprotein, ovoflavoprotein, ovomakroglobulin, cisztatin és avidin, amelyek a tojásfehérjében található kisebb fehérjék (Kovacs-Nolan et al., 2005). Ezen fehérjefrakciók fizikai-kémiai tulajdonságait a 6. táblázat tartalmazza. A fehérjék a tojásfehérje szárazanyagának körülbelül 90%-át teszik ki, amely főleg gömb alakú glikoproteinekből áll. Proteomikai elemzés során összesen 148 fehérjét találtak a tojásfehérjében (D'Ambrosio et al., 2008). Az ovalbumin a tyúk petevezetékében szintetizálódó fő tojásfehérje, amely az összes tojásfehérje 54%-át teszi ki (Stadelman et al., 2017) és jó funkcionalitású, különösen habzó és zselésítő tulajdonságokkal rendelkezik. Az ovalbumin egy 45 kDa molekulatömegű globuláris fehérje, amely 385 aminosavat, 1 diszulfid-kötést és 4 szabad szulfhidril csoportot tartalmaz. Globuláris fehérjeként az ovalbumin különféle kezelésekkel módosítható, például melegítéssel, nagy nyomással, enzimatis reakcióval. Azok a környezeti feltételek, amelyek között a

denaturáció végbemegy az ovalbumin aggregációjához vezethetnek (Abd El-Salam and El-Shibiny, 2016).

6. táblázat: A tojásfehérje fehérje frakcióinak fizikai-kémiai tulajdonságai (Rao et al., 2016)

Fehérje	Az össz. fehérje százaléka (%)	Molekulatömeg (kDa)	Izoelektromos pont (pH)	Denaturációs hőmérséklet (°C)
Ovalbumin	54	45	4,5	84
Ovotranszferrin	12	76	6,1	61
Ovomukoid	11	28	4,1	79
Ovomucin	3,5	5500-5800	4,5-5,0	-
Lizozim	3,5	14,3	10,7	75
Ovoglobulin G ₂	4	30-45	5,5	92,5
Ovoglobulin G ₃	4	-	4,8	-
Ovoinhibitor	1,5	49	5,1	-
Ovoglikoprotein	1,0	24	3,9	-
Ovoflavoprotein	0,8	32	4,0	-
Ovomakroglobulin	0,5	769	4,5	-
Cisztatin	0,05	12,7	5,1	-
Avidin	0,05	68,3	10	85

Az ovotranszferrin egy monomer glikoprotein, amely 686 aminosavból áll és molekulatömege 76 kDa. Aminosav-szekvenciája megegyezik a humán szérum transferrinével és 15 diszulfid-kötést tartalmaz. Korábban konalbumin néven ismerték, de átnevezték ovotranszferrinre, miután megállapították, hogy képes megkötni a vasat. Egy ovotranszferrin molekula 2 vasmolekulát képes megkötni és vasat szállítani a szervezetben (Abeyrathne et al., 2013). Az ovomukoid egy glikoprotein, amely 20-25% szénhidrátot tartalmaz és a tojásfehérjében jelenlévő fő élelmiszer-allergénnek tekintik. Ellenáll a savas oldatokban történő hődenaturációnak és gátló hatással van a tripszinre. Minden ovomukoid molekula egy tripszin molekulát köt és háromdimenziós szerkezetét a benne lévő három diszulfid-kötés biztosítja. A baromfitojásból származó ovomukoid gátolja a szarvasmarha-tripszint, de nem gátolja a humán tripszint (Alleoni, 2006; de Oliveira et al., 2009). Az ovomucin a tojásfehérje 3,5%-át teszi ki és szénhidráttartalma körülbelül 33%. Ezen fehérje gélyszerű szerkezettel rendelkezik, ami a tojásfehérjék nagy viszkozitásához vezet (Razi et al., 2023). Az ovomucin egy glikoprotein, amely egy α -alegységből és egy β -alegységből áll és diszulfid-kötések stabilizálják. Az ovomucin több mint 30%-ban glikolizált és nagy molekulatömeggel rendelkezik. Ezek a tulajdonságok, valamint a lizozimmal és globulinnal való társítása kiváló habzási képességet és habstabilitást biztosít, ezért leggyakrabban habstabilizátorként adják a fehérjékhez. Emellett kimutatták, hogy az ovomucin antibakteriális, vírusellenes, daganatellenes és makrofág stimuláló hatással rendelkezik (Li et al., 2022). A lizozim széles körben elterjedt és nemcsak a tojásfehérjében, hanem számos állati

szövetben és váladékban, egyes növények latexváladékában és egyes gombákban is megtalálható. Ezen fehérje egyik ismert komponense az N-acetil-muramidáz enzim, amely a Gram-pozitív baktériumok sejtfalát hidrolizálja (Anklam, 2005). A tojásban jelenlévő 129 aminosavból álló lizozim egyedülálló, mivel jól oldódik és stabil, összehasonlítva más élelmiszerekben jelenlévő lizozimmal. Bár a tojásban jelenlévő lizozim monomerként létezik, de gyakran megtalálható dimerként is, ami a termikus stabilitásához vezet. Négy egyedi diszulfid-kötés stabilizálja a tojás lizozim harmadlagos szerkezetét. A lizozim hajlamos a tojásfehérjében lévő negatív töltésű fehérjékhez, például az ovalbuminhoz, ovomucinhoz és az ovotranszferrinhez kötődni (Guha et al., 2018). Korábban az ovoglobulin csoportba sorolták és G₁ néven emlegették (Alleoni, 2006).

3.3.4. A tojássárgája kémiai összetétele

A tojássárgája egy természetes olaj a vízben emulzió, amely 52% szárazanyagot tartalmaz. Ennek ~ 65%-a zsír, ~ 31%-a fehérje és a maradék 4% szénhidrát, vitamin és ásványi anyag. Az emulzió belül a lipidek és fehérjék különböző szupramolekuláris struktúrákba szerveződnek, amelyek a tojássárgájának egyedi szerkezeti és funkcionális jellemzőit adják a különböző alkalmazásokban. Az így összekapcsolódott fehérje és lipid rész lipoproteineket képez, amelyeket általában alacsony sűrűségű lipoproteinek (LDL) és nagy sűrűségű lipoproteinek (HDL) osztályába sorolnak. Szerkezetileg a tojássárgája 68% alacsony sűrűségű lipoproteinekből (LDL), 16% nagy sűrűségű lipoproteinekből (HDL), 10% globuláris fehérje (livetin) és 4% foszfoproteinből (foszvitin) áll (Guilmineau et al., 2005; Oladimeji and Gebhardt, 2023). Az LDL a tojássárgájában a legnagyobb mennyiségben előforduló fehérje, amely jó emulgeáló tulajdonságúvá teszi a tojássárgáját. A HDL-ek fehérjékből (75-80%) és lipidekből (20-25%) álló makromolekuláris komplexek (Strixner et al., 2014). A tojássárgája lipidkomponensének megközelítőleg 65%-a triglicerid, míg a foszfolipidek, koleszterin és a karotinoidok 30%, 4%, <1%-át teszik ki (Mine, 2008). A tojássárgája lipidek kizárólag a lipoprotein összetevőkhöz kapcsolódnak, különösen az LDL-ekben. A karotinoidok az összes lipid kevesebb mint 1%-át teszik ki, amelyek a tojássárgája sárga/narancssárga színéért felelősek (Seuss-Baum and Nau, 2011).

3.3.5. A tojás táplálkozás - élettani jelentősége

A tojás azon kevés élelmiszerek egyike, amelyet vallástól, etnikai csoporttól és korosztálytól függetlenül fogyasztanak világszerte. A tojást az egyik legjobb fehérje-, lipid-, vitamin- és ásványianyag-forrásnak tartják (Abeyrathne et al., 2013). Ezen élelmiszer a kis tápanyagbevitel kockázatának kitett személyek étrendjében játszhat különösen fontos szerepet, mint például az idősek, terhes nők és a gyermekek (Miranda et al., 2015). A tojás teljes értékű fehérjeforrás,

ugyanis minden esszenciális aminosavat tartalmaz a megfelelő mennyiségben, minőségben és arányban.

A tojás, hús és a tejtermékek 90% feletti mértékben emészthők meg a szervezetben, szemben a növényi fehérjék 45-80%-os tartományával (Gilani et al., 2012). Az Egészségügyi Világszervezet jelentése szerint a tojás a leginkább emészthető fehérjeforrás (97%), szemben a tejtermékek 95%-ával és a hús 94%-ával (Tome, 2012). A fehérjeforrásban található leucin, mint esszenciális aminosav mennyisége kritikus, mivel ez az izomfehérje szintézis legerősebb stimulátora (Loon and J.c, 2012). Valójában a fehérjeforrás leucintartalma önmagában is előre jelezheti az ételmiszer izomfehérje szintézist serkentő képességét (Norton et al., 2017). A leucin ajánlott mennyisége az izomfehérje szintézis maximális stimulálásához 700-3000 mg. Egy tojás ~500 mg leucint biztosít, így ez kiváló lehetőség a javasolt „leucin-küszöb” teljesítésére (Newman et al., 2006).

7. táblázat: A teljes tojás, tojásfehérje és tojássárgája aminosav-összetétele (mg /100 g fehérje) és a felnőttek ajánlott napi beviteli mennyiségének %-os fedezése (RDI %) (USDA, 2023)

Aminosav	Teljes tojás	RDI %	Tojásfehérje	RDI %	Tojássárgája	RDI %
Hisztidin ¹	309	44	290	41	416	59
Izoleucin ¹	671	48	661	47	866	62
Leucin ¹	1086	40	1016	37	1399	51
Lizin ¹	912	43	806	38	1217	58
Metionin ¹	380	52	399	55	378	52
Fenilalanin ¹	680	78	686	78	681	78
Treonin ¹	556	53	449	43	687	65
Triptofán ¹	167	60	125	45	177	63
Valin ¹	858	47	809	44	949	52
Cisztein ²	272	95	287	100	264	92
Tirozin ²	499	57	457	52	678	77
Arginin ²	820	-	648	-	1099	-
Glicin ²	432	-	413	-	488	-
Prolin ²	512	-	435	-	646	-

1. Esszenciális aminosav 2. Feltételesen esszenciális aminosav

A tojás a fehérje mellett számos aktív lipidkomponenst is tartalmaz, például telítetlen zsírsavakat, foszfolipideket, kolint és karotinoidokat. A tojás összes lipidtartalma viszonylag állandó, 8,7 és 11,2 g között mozog 100 g egész tojásra vonatkoztatva. Ezek a lipidek a tojássárgájában koncentrálnak és egy kis része kapcsolódhat a szikhártáéhoz (Shinn et al., 2016). A lipidek a sárgája lipoproteinek részét képezik, amelyek szerkezete trigliceridek és koleszterin-észterek magjából áll. Ezt foszfolipidek és koleszterin egyrétegű rétege veszi körül, amelybe apoproteinek vannak beágyazódva (Anton and Gandemer, 1997). A foszfolipidek a tojássárgája nedves tömegének megközelítőleg 10%-át teszik ki, amely főleg foszfatidilkolint (lecitin),

foszfatidil-etanol-amint (kefalin), lizofoszfatidilkolint, szfingomielint és néhány semleges lipidet tartalmaz kisebb mennyiségben. Az étrendi foszfolipidek, amelyek a bioaktív lipidek potenciális forrásai, széles körben befolyásolhatják a koleszterin anyagcserét, HDL-funkciókat és a gyulladást (Blesso, 2015). A lecitin összetevőjeként a kolin is nagyobb mennyiségben létezik a tojásban. A kolin különösen hasznos szerepet játszhat a magzat és újszülött agyfejlődésében, mivel a terhesség alatti nem megfelelő kolinbevitel növeli a csecsemő idegcső defektusainak kockázatát (Zazpe et al., 2011). A tojásból származó további funkcionális komponensek a karotinoidok. A tojásban található két fő karotinoid a karotin és a xantofiliek (lutein, kriptoxantin és zeaxantin), amelyek biológiailag nagymértékben hasznosulnak és az életkorral összefüggő makuladegeneráció, szürkehályog, rák, valamint a nyaki artériák atherosclerosis (érelmeszesedés) rizikójának csökkenését hordozzák magukban (Rakonjac et al., 2014; Skřivan and Englmaierová, 2014).

A tojás nem tartalmaz rostot és szénhidrátartalma kicsi (0,7%), amely a tojássárgája és a tojásfehérje között oszlik meg. A glükóz a domináns szabad cukor a tojásban (0,37 g/100 g egész tojás) és alapvetően a tojásfehérjében van jelen (0,34 g/100 g tojásfehérje, 0,18 g/100 g tojássárgája). Nyers tojásfehérje és nyers tojássárgája nyomokban fruktózt, laktózt, maltózt és galaktózt tartalmazhat (Réhault-Godbert et al., 2019). A lipidekhez hasonlóan a vitaminok és ásványi anyagok is a tojássárgájában koncentrálnak.

8. táblázat: A teljes tojás, tojássárgája és tojásfehérje vitamintartalma ($\mu\text{g}/100\text{ g}$ tojás), valamint ásványi anyag és nyomelem tartalma ($\text{mg}/100\text{ g}$ tojás) (Gautron et al., 2022)

(V: vitamintartalom bal oldal, A: ásványi anyag és nyomelem tartalom jobb oldal)

Megnevezés ($\mu\text{g}/100\text{ g}$)	Teljes tojás		Tojássárgája		Tojásfehérje		Megnevezés ($\text{mg}/100\text{ g}$)
	V	A	V	A	V	A	
A-vitamin (retinol)	193	56	624	129	0	7	Kalcium (Ca)
D-vitamin (kalciferol)	1,5	142	4,7	48	0	166	Nátrium (Na)
E-vitamin (tokoferol)	1,3	198	8	390	0	15	Foszfor (P)
K-vitamin (fillokinon)	0,3	138	0,7	109	0	163	Kálium (K)
B ₁ -vitamin (tiamin)	40	12	176	5	4	11	Magnézium (Mg)
B ₂ -vitamin (riboflavin)	450	1,75	430	2,73	640	0,08	Vas (Fe)
B ₃ -vitamin (niacin)	80	1,29	30	2,3	154	0,03	Cink (Zn)
B ₅ -vitamin (pantoténsav)	1710	0,03	2990	0,056	260	0,02	Szelén (Se)
B ₆ -vitamin (piridoxin)	170	0,021	350	0,18	5	2	Jód (I)
B ₉ -vitamin (folsav)	47	0,028	146	0,055	4	0,011	Mangán (Mn)
B ₁₂ -vitamin (kobalamin)	0,89	0,072	1,95	0,077	0,09	0,023	Réz (Cu)

A C-vitamin kivételével az összes vitamin megtalálható a tojásban. A 8. táblázatban látható, hogy a tojássárgája nagy mennyiségben tartalmaz A-, D-, E-, K-, B₁-, B₂-, B₅-, B₆-, B₉- és B₁₂-vitamint, míg a tojásfehérje nagy mennyiségű B₂-, B₃- és B₅-vitamint tartalmaz, és nem elhanyagolható a B₁-vitamin tartalma sem. Napi két tojás elfogyasztása az ember vitaminszükségletének 10-30%-át fedezi (Réhault-Godbert et al., 2019). A tojás gazdag foszforban, kalciumban, káliumban és nátriumban (8. táblázat). Tartalmaz továbbá minden lényeges nyomelemet, többek között rezt, vasat, magnéziumot, mangánt, szelént és cinket. A tojássárgája vas- és cinkellátás szempontjából a legfontosabb. Az ilyen ásványi anyagok és mikrotápanyagok jelenléte a tojásban azért is érdekes, mivel ezek némelyikének (Zn, Mg és Se) hiányát depresszióval és fáradtsággal, valamint kóros betegségek kialakulásával hozták összefüggésbe. Néhány ilyen nyomelem (szelén, jód) koncentrációja a takarmányozástól függően jelentősen megnövekedhet (Réhault-Godbert et al., 2019).

3.3.6. A tojáspor élelmiszeripari alkalmazása

A tojásporokat először közvetlenül a második világháború előtt fejlesztették ki, mivel tápértékük és könnyű tárolhatóságuk gyakorlati előnyöket jelentett a csapatok ellátásában. A dehidratálás sikeres módszer a tojás tartósítására és hosszabb eltarthatóságot eredményez. Napjainkban a tojásporok elsősorban funkcionális összetevők, amelyek a folyékony tojástermékekhez képest jobb technológiai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezen túlmenően a por forma csökkenti a szállítási és tárolási költségeket, könnyen és biztonságosan kezelhetőek, mikrobiológiailag stabilabbak és lehetővé teszik a pontos adagolási módszerek alkalmazását a receptúrákban. A tojásporokat ezért az élelmiszeripar számos szegmensében használják és gyakran kifejezetten a vevők receptúráihoz tervezik őket. A cukrászatban ezen élelmiszerporokat habosító és kristályosodásgátló tulajdonságaik miatt használják. A tojásfehérje porokat a surimi gyártásában alkalmazzák zselésítő tulajdonságaik miatt. A teljes tojáspor emulgeáló és kötő tulajdonságainak köszönhetően a húsipar is jelentősen használja a különböző termékek előállításánál (hamburgerpogácsa-, sonka-, kolbászgyártás). Sütőipariparban a tojássárgáját emulgeáló és színezőanyagként, a tojásfehérjét pedig habosító és zselésítő tulajdonságai miatt használják. Továbbá tojásból készült desszertek, tészták, salátaöntetek és majonéz előállítására is alkalmazzák a különböző porított tojástermékeket (Lechevalier et al., 2013).

3.4. Tejsavó

A tej két fő fehérjecsoportot tartalmaz: kazeint (oldhatatlan) és tejsavófehérjét (oldható). A kazein a tehéntej összes fehérjéjének csaknem 80%-át alkotja és könnyen kinyerhető a sovány tejből izoelektromos kicsapással vagy oltóanyaggal történő alvasztással - mindkettőnél melléktermékként savó szabadul fel. A tejsavófehérjék az összes fehérjének kb. 20%-át teszik ki.

A kazein és a tejsavó egyaránt heterogén fehérjecsoport, amely tartalmazza az összes fehérjeépítő aminosavat és különösen gazdagok az esszenciális aminosavakban (Pal et al., 2010).

3.4.1. A tejsavó fehérjéi

A tejsavófehérjék globuláris fehérjéket tartalmaznak, amelyekben jelentős az α -hélix mintázatok aránya, valamint amelyekben a savas/bázisos és hidrofób/hidrofil aminosavak meglehetősen kiegyensúlyozottan oszlanak el a polipeptid láncok mentén. A tejsavófehérjék közé tartozik (9. táblázat) a béta-laktoglobulin (β -LG), alfa-laktalbumin (α -LA), immunglobulinok (Ig), szarvasmarha-szérumalbumin (BSA), valamint egyéb kisebb fehérje- vagy peptidkomponensek, beleértve a laktoferrint, laktoperoxidázt (Madureira et al., 2007; Qi and Onwulata, 2011). Ezenkívül az oltós tejsavó glikomakropeptidet is tartalmaz. A tejsavófehérje porokban a fehérjék sokkal koncentráltabbak, mint a folyékony tejsavóban, de a fentiekben felsorolt fehérjék relatív mennyisége nem tér el jelentősen (Etzel, 2004).

9. táblázat: A tejsavófehérje összetétele és fizikai tulajdonságai (Guo and Wang, 2016)

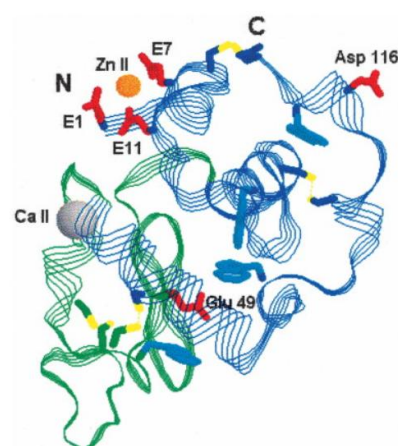
Fehérjék	Tartalom (%)	Molekulatömeg (kDa)	Izoelektromos pont (pH)
Béta-laktoglobulin	48-58	18	5,4
Alfa-laktalbumin	13-19	14	4,4
Szarvasmarha - szérumalbumin	6	66	5,1
Immunglobulin	8-12	150	5-8
Laktoferrin	2	77	7,9
Laktoperoxidáz	0,5	78	9,6
Glikomakropeptid	12-20	8,6	< 3,8

A lipokalinok kisméretű globuláris fehérjék, amelyek veleszületett immunvédelmi és hordozó funkciókat töltenek be az állatokban. A β -LG egy prototípus lipokalin, amely a teljes tejsavófehérje mintegy 50%-át teszi ki. Ez a fehérje frakció az emlőmirigyben termelődik és a tejben választódik ki. Az állatban betöltött védekező funkciója mellett a β -LG allergénként hathat az emberre és a csecsemők 2-3%-ánál tejallergiás tüneteket okoz (Hufnagl and Jensen-Jarolim, 2019). A β -LG egy gömb alakú fehérje, amely rendkívül savstabil, 162 aminosavat, egy szabad tiol csoportot és két diszulfid-hidat tartalmaz. Molekulatömege 18 kDa és izoelektromos pontja 5,4. A fehérje kvaterner szerkezete a pH, hőmérséklet és az ionerősség függvényében változik a monomerek, dimerek vagy oligomerek között. Fiziológias körülmények között a dimer az uralkodó forma. Míg a monomerekre történő disszociációt kis fehérjekoncentráció, kis ionerősség, extrém pH- és hőmérséklet-emelkedés fokozza, addig az oktamer kialakulása pH 4,6 körül, 20 °C alatti hőmérséklet esetén következik be. Ez a változó asszociációs állapot a hidrofób és elektrosztatikus kölcsönhatások, valamint a hidrogénkötési kölcsönhatások közötti érzékeny egyensúly eredménye (Thompson et al., 2009).

A β -LG számos funkcionális és táplálkozási jellemzővel rendelkezik, amelyek sokoldalú alapanyaggá tették több élelmiszeripari és biokémiai alkalmazáshoz. A β -LG kiváló hőre kötött gélesedési tulajdonságokkal rendelkezik és széles körben alkalmazható olyan termékekben, ahol vízmegkötésre és texturálásra van szükség. Bioaktív fehérje, vérnyomáscsökkentő, antimikrobiális, antioxidatív, antikarcinogén, immunmoduláló, opioid, hipokoleszterinémias és egyéb metabolikus hatással rendelkeznek. Ezenkívül a β -LG képes megkötni a hidrofób komponenseket például a retinolt és a hosszú szénláncú zsírsavakat. Szerepet játszhat a zsírsavak felszívódásában és ezt követő metabolizmusában is (Korhonen, 2011).

A β -LG mellett az α -LA a második legnagyobb mennyiségben előforduló tejsavófehérje a tehéntejben. Az α -LA egy gömb alakú, savas, kalcium-metalloprotein és 14,2 kDa molekulatömegű monomer fehérje, szekvenciája 123 aminosavból áll (Nicoleta and Rapeanu, 2010; Spöttel et al., 2021).

A natív α -LA két doménből áll: egy nagy α -helikális doménből és egy kis β -lemez doménből, amelyeket kalciumkötő hurok köt össze (2. ábra). Az α -hélix domén három fő α -hélixből és két rövid α -hélixből áll. A domén egy sor hurokból, egy kis háromszálú antiparallel β -redő és egy rövid α -hélixből áll. A két domént egy mély hasadék választja el egymástól. Ugyanakkor a két domént ciszteinhíd tartja össze, amely a Ca^{2+} -kötő hurkot alkotja. Összességében az α -LA szerkezetét négy diszulfid-híd stabilizálja (Permyakov and Berliner, 2000).



2. ábra: Az α -laktalbumin szerkezete (Permyakov and Berliner, 2000)

A Ca^{2+} -kötőhely biztosítja az α -LA helyes hajtogatódását és nagy molekuláris stabilitását. A natív α -LA másodlagos szerkezete 26%-ban α -hélixből, 14%-ban β -lemezből és 60%-ban rendezetlen struktúrákból áll (Spöttel et al., 2021). A fehérje harmadlagos szerkezete két doménből áll: α -doménből (nagy domén) és β -doménből (kis domén). Az α -domén négy α -hélixet tartalmaz, amelyek közül három pH-stabil és az egyik pH-függő. A β -domén három antiparallel β -redős lapból áll (Lisak Jakopović et al., 2016). Harmadlagos szerkezetében az α -LA tömör és gömb alakú formára gyűrődik, ami létfontosságú a biológiai tevékenységéhez. A fehérjében lévő diszulfid-kötések hozzájárulnak annak szerkezeti stabilitásához. Ezenkívül az α -LA rendelkezik egy kalciumkötő hellyel, amely lehetővé teszi számára, hogy kölcsönhatásba lépjen a kalciumionokkal és konformációs változásokat indítson el, amelyek döntő fontosságúak az emlőmirigyek laktózszintézisében. A fehérje funkcionális helyekkel rendelkezik, amelyek megkönnyítik a kölcsönhatásokat más molekulákkal és a specifikus pH-érzékenységet, így alkalmazkodnak a különböző környezeti feltételekhez. Ezek a szerkezeti jellemzők, beleértve a

hőstabilitást, emulgeáló tulajdonságait és a funkcionális sokoldalúságát, alkalmassá teszik az α -LA értékes komponenseit az élelmiszeripartól a gyógyszeriparig történő alkalmazásokhoz. (Bhutto et al., 2024). Az α -LA nagy arányban tartalmaz esszenciális aminosavakat és viszonylag jelentős mennyiségben tartalmaz triptofánt, lizin, ciszteint, valamint elágazó láncú aminosavakat (BCAA), mint leucin, izoleucin és valin. Egyedülálló aminosavprofilja miatt az α -LA többféle felhasználásra is alkalmas. Alkalmazzák anyatej-helyettesítő tápszerek összetevőjeként, valamint kiegészítésként az emésztőrendszer egészségének elősegítésére vagy neurológiai funkciók modulálására, beleértve az alvást és a depressziót. Terápiás szerként alkalmazzák a humán gyógyászatban olyan állapotok vagy betegségek esetén, mint például a szarkopénia, hangulati rendellenességek, görcsrohamok és rák (Layman et al., 2018).

A tejsavófehérjék 6-8%-át a szarvasmarha szérumalbumin (BSA) teszi ki, ami fiziológiailag, valamint immunológiailag azonos a vérsérumalbuminnal (Eskin and Goff, 2013). A BSA tehát nem az emlőmirigyben szintetizálódik, hanem a véráramból történő passzív szivárgás útján kerül a tejbe (Kilara and Vaghela, 2004). A fehérje 583 aminosavat, 17 diszulfid-kötést és egy szabad szulfhidril csoportot tartalmaz. A BSA felelős az allergiás keresztreakcióért a tehéntej és a marhahús között. Valójában a BSA-val szembeni érzékenység a tehéntej allergia markere a marhahúsallergiás gyermekeknél (De Maria et al., 2016).

Az immunglobulin (Ig) "kolosztrumfehérjének" is nevezhető, mivel a kolosztrumban a tejsavófehérjék körülbelül 10%-át teszi ki. Az immunglobulinoknak három fő típusa található meg a tejsavóban: IgG, IgA és IgM. A savóban az IgG az immunglobulinok domináns típusa (Akal, 2017). Az összes immunglobulin szerkezete hasonló - két könnyű láncból (23 kDa) és két nehéz láncból (53 kDa) áll, amelyeket diszulfid-kötések kötnek össze (El-Loly, 2011). Az IgG-nek különböző funkciói vannak, például a komplement által közvetített bakteriolitikus reakciók aktiválása, valamint a baktériumok felismerésének és fagocitózisának fokozása a leukociták által. Az IgG-k képesek megakadályozni a mikroorganizmusok tapadását a nyálkahártyákhoz, gátolni a bakteriális anyagcserét, agglutinálni a baktériumokat, valamint semlegesíteni a toxinokat és vírusokat (Korhonen et al., 2000).

A laktoferrin, más néven laktotranszferrin, egy monomer, 80 kDa-os molekulatömegű glikoprotein, egyetlen polipeptid láncsal, amely körülbelül 690 aminosavból áll. Izoelektromos pontja ~8-9 pH tartományban van (Baker and Baker, 2005; Wakabayashi et al., 2006). Több tanulmány is részletezte, hogy a laktoferrin fontos biológiai előnyökkel rendelkezik, például vasmegkötő, antibakteriális, vírusellenes, antioxidáns, gyulladásgátló és immunmoduláló (Demmelmaier et al., 2017; Giansanti et al., 2016; Paesano et al., 2010). Újabb kutatások azt bizonyítják, hogy a laktoferrin hatékonyan alkalmazható a COVID-19 (SARS-CoV-2) vírus elleni védekezésben (Bolat et al., 2022; Chang et al., 2020; Salaris et al., 2021).

A laktoperoxidáz (LPO) az emlősök természetes védelmi rendszerének fontos része és számos váladékban megtalálható, mint például a könny és nyál. A tejben körülbelül 30 mg/l koncentrációban van jelen, ami a tejsavófehérjék körülbelül 1 tömegszázalékát teszi ki. A laktoperoxidáz a tejben natív enzim, amely egy hemcsoportot és egyetlen glikoprotein láncot tartalmaz 608 aminosavval. Molekulatömege megközelítőleg 78 kDa és számos szénhidrát csoportot tartalmaz. Az LPO antimikrobiális hatású és mindemellett számos rákkeltő anyag lebontásában is szerepet játszik, megvédve a sejteket a peroxidatív hatásoktól (Sgarbieri, 2017).

3.4.2. A tejsavó táplálkozás-élettani jelentősége

Az egészséges táplálkozás népszerűségének növekedésével világszerte igény mutatkozik a nagy fehérjetartalmú élelmiszerek iránt. Egy mozgásszegény ember napi átlagos fehérjeszükséglete 0,8 g/ttkg/nap (Lemon, 1995). Ez a mennyiségű fehérje szükséges a pozitív nitrogénegyensúly és az egészséges anyagcsere-működés fenntartásához a szervezetben. A kiegészítő fehérjék különféle formái állnak rendelkezésre, mint például a tojás, szója, kazein és a tejsavó. Ezek közül a tejsavó optimális arányban tartalmazza a könnyen hozzáférhető és emészthető aminosavakat, így hatékonyan épül be a test sejtjeibe (Smithers, 2008). A fehérjetartalmán kívül a tejsavó jó elektrolitforrás, beleértve a nátriumot és a káliumot. Az ásványi anyagok, mint a kalcium, magnézium és foszfor jelen vannak az oldatban és részben fehérjékhez kötődnek. A laktóz, amely a tejsavó összes szárazanyagának körülbelül 70%-át teszi ki, elősegíti a magnézium- és cink-ionok felszívódását. Továbbá a gyártási folyamat során a vízben oldódó vitaminok különböző mértékben kerülnek a savóba: a B₁₂-vitamin 40-70%-a; B₆-vitamin és a pantoténsav 55-75%-a; riboflavin és a biotin 70-80%-a; tiamin, nikotinsav, folsav és az aszkorbinsav 80-90%-a (Macwan et al., 2016).

A 10. táblázatban látható, hogy a tejsavófehérjék elágazó láncú aminosavakban (BCAA) gazdagok: leucin, izoleucin és valin. Ezek olyan összetevők, amelyek energiát biztosítanak az intenzív vagy hosszan tartó edzést folytatók számára, segítenek megelőzni a testtömeg- és izomvesztést, valamint fontos szerepet játszanak az anyagcserében és a vércukorszint homeosztázisában. A leucin kulcsfontosságú aminosav a fehérje anyagcserében és 50-75%-kal nagyobb a tejsavófehérjékben más forrásokhoz képest (Chen et al., 2014). A BCAA-k könnyen emészthetők és biológiailag jól hasznosulnak a tejsavófehérjékből (Gupta and Prakash, 2015; Patel, 2015). A tejsavófehérjék kéntartalmú ciszteinben és metioninban is gazdagok, amelyek támogatják az immunrendszer működését. A cisztein a glutation prekursora. A glutation egy nem enzimatis tiol, amely az étkezések során biztosítható és antioxidánsként működik. Az oxidatív stressz csökkentésével és a sejtfolyamatok szabályozásával segít a betegségek kialakulásának megelőzésében (Bell, 2009; Trachootham et al., 2008). Az α -LA viszonylag nagy mennyiségben

tartalmaz triptofánt, amely a niacin-vitamin prekuzora (Gupta and Prakash, 2015). A tejsavóban lévő aminosavak hatékonyabban felszívódnak és hasznosulnak, mint a szabad aminosavak, ami arra utal, hogy az élelmiszerekből történő aminosav-bevitel jobb lehet az emberi egészség szempontjából (Mangano et al., 2019).

10. táblázat: A humán és tehéntej fehérjében, valamint a tejsavófehérje frakcióiban lévő aminosavak százalékos aránya (Heine et al., 1991)

Aminosav	Humán tejfehérje (%)	Tej-fehérje (%)	Tejsavó fehérje (%)	Tejsavófehérje frakciói			
				β -LG (%)	α -LA (%)	Összes globulin (%)	BSA (%)
Triptofán*	1,8	1,3	1,9	2,0	5,9	2,6	0,6
Fenilalanin*	4,4	4,7	3,5	3,1	4,0	3,7	5,9
Leucin*	10,1	9,5	10,1	13,6	10,5	8,9	11,0
Izoleucin*	5,8	5,8	6,2	6,0	6,1	3,2	2,4
Treonin*	4,6	4,6	7,3	4,8	5,0	8,7	5,2
Metionin*	1,8	2,5	2,2	2,8	0,9	1,1	0,7
Lizin*	6,2	7,6	9,0	10,4	10,3	5,7	11,4
Valin*	6,0	6,2	6,2	5,2	4,3	8,4	5,3
Hisztidin*	2,3	2,6	2,0	1,5	2,6	2,5	3,5
Arginin	4,0	3,4	2,7	2,5	1,0	3,6	5,3
Cisztein	1,7	0,8	2,2	2,2	5,3	2,8	4,9
Prolin	8,6	9,2	4,7	4,1	1,4	8,7	4,2
Alanin	4,0	3,2	4,6	6,2	1,9	4,4	5,3
Aszparaginsav	8,3	7,2	10,3	10,0	16,8	8,5	9,9
Szerin	5,1	5,1	4,7	4,0	4,5	6,6	3,7
Glutaminsav	17,8	19,8	17,5	17,1	11,5	11,1	14,6
Glicin	2,6	1,9	2,0	1,2	3,3	4,2	1,6
Tirozin	4,7	4,8	3,2	3,4	4,7	5,3	4,5

* Esszenciális aminosav

A tejsavófehérjék biológiai tulajdonságai széles körben elismertek és egyre inkább kiaknázzák a tudományos kutatási vizsgálatokban és a különböző iparágak élelmiszeripari alkalmazásaiban. A β -LG segít az ásványi anyagok, például a cink és a kalcium megkötésében. Részleges szekvenciahomológiával rendelkezik a retinol-kötő fehérjékkel is. Az α -laktalbumint javasolt az anyatej-helyettesítő tápszerekhez vagy élelmiszerekhez adni a fehérjében gazdag étrendi bevitel kialakítása érdekében (Layman et al., 2018). A szérumalbumin zsírsavakat és immunglobulinokat képes megkötni, ami elősegíti a passzív immunitás kialakulását a fogyasztókban (Ulfman et al., 2018). A laktoferrin növeli a vas felszívódását az emésztőrendszerben, ezzel gátolja a bélben a káros mikroorganizmusokat és elősegíti a kívánt mikroorganizmusok növekedését. A laktoferricin egy laktoferrinből származó peptid, amelyet bélrendszeri kórokozók ellen alkalmaznak. A laktoperoxidáz egy antibakteriális

tulajdonságokkal rendelkező enzim, amelyet természetes tartósítószerként használnak a tej savképződésének szabályozására a hűtött tárolás során (Sousa et al., 2012) .

Összeségében elmondható, hogy a tejsavófehérjék számos és kiemelkedően fontos élettani szereppel rendelkeznek. Ezen tulajdonságok közé tartozik az antioxidáns és gyulladáscsökkentő hatás, antidiabetikus tulajdonság vagy éppen a sérült izmok gyorsabb regenerációja. Hatékonyak lehetnek a magas vérnyomás kezelésében, a bél egészségének helyreállításában és az immunmodulációban. Az elhízás ellen is hatékonyan alkalmazhatók, ugyanis a kis kalóriatartalmú és nagy fehérjetartalmú ételeket tekintik ezen törekvések sarkkövének. A tejsavófehérjék preventív szerepet töltenek be a daganatos sejtek kialakulásában is (Patel, 2015).

3.4.3. A tejsavó felhasználása élelmiszerekben

Napjainkban az élelmiszeripar olyan összetevőket keres, amelyek funkcionális és táplálkozási tulajdonságokat biztosíthatnak különféle hozzáadott értékű élelmiszerek előállításához. Az élelmiszeripar felismerte, hogy a tejfehérjék képesek javítani az élelmiszerek minőségét. A tejsavófehérjék táplálékkiegészítőként történő alkalmazása talán a felhasználásuk legismertebb módja. Az elmúlt évtizedekben a sporttáplálkozásban leggyakrabban használt fehérjeforrás a tej, tojás és a hús volt (Arenas-Jal et al., 2020). Mindegyik jó minőségű fehérjét tartalmazó élelmiszernek számít. Az ovalbumint, a tojásfehérjéből származó fehérjét standardként használták más étrendi fehérjék összehasonlítására, teljes aminosavprofilja és kiváló emészthetősége miatt. Világszerte a tejsavófehérje a legtöbbet fogyasztott fehérje a sporttáplálkozás kiegészítőjeként. Számos tanulmány bizonyítja hatékonyságát a sportteljesítményben, mint például az izom regenerációjában (Burd et al., 2012; Davies et al., 2018), az erőnövekedés vagy a testösszetétel változásában (Taylor et al., 2016).

Táplálkozási és terápiás előnyükön túl a tejsavófehérjék kiváló funkcionális tulajdonságokkal is rendelkeznek, amelyek rendkívül sokoldalúvá teszik őket különféle élelmiszeripari alkalmazásokban. Ezen a funkcionális tulajdonságok közé tartozik a vízmegkötés, emulgeálás, zselésítés, viszkozitás szabályozás, oldhatóság, habzás, valamint az íz- és színfokozó képesség (Minj and Anand, 2020; Morr et al., 2006; Rathour et al., 2004). Ezek a tulajdonságok a tejsavófehérjéket alkalmassá teszik különféle élelmiszertermékek, például kenyérfélék, hús- és halkészítmények, tejtermékek, édességek, italok, valamint gyógyászati célra szánt termékek előállítására.

11. táblázat: A tejsavó összetevőinek főbb ipari felhasználásai és funkcionális jellemzői az élelmiszergyártásban

Élelmiszer kategória	Felhasználás	Funkcionalitás
Italok	Tejalapú ízesített italok Szénsavas italok Gyümölcs alapú italok	Kolloid állapot, stabilitás, krémesség, táplálékkiegészítés
Sport kiegészítők	Italok, fehérjével dúsított szeletek	Táplálékkiegészítés
Csecsemőtápszer	Tápszer koraszülött, csecsemő és kisgyermekeknek	Táplálkozási egyensúly
Diétás ételek	Terápiás diéták, táplálkozás idősebb felnőttek, időskorúak számára	
Tejtermékek	Csökkentett zsírtartalmú sajt Joghurt alternatívák Feldolgozott sajt	Zsírhelyettesítő Fehérjedúsító/zsírpotló Emulgeáló/vízmegkötő tulajdonság
Tejtermékek	Csökkentett zsírtartalmú sajt Feldolgozott sajt Joghurt alternatívák	Zsírhelyettesítők Emulgeáló/vízmegkötő tulajdonság Fehérjedúsító/zsírpotló
Desszert termékek	Fagylalt, fagyasztott desszertbevonatok	Habképző és stabilizáló, emulgeáló
Kényelmi ételek	Tartósított tejszínes levesek és szószok, dehidratált tejszínes termékek, salátaöntetek, kis zsírtartalmú készételek	Ízfokozó, stabilizátor, emulgeálószer, viszkozitás szabályozó, vízmegkötő, tojássárgája helyettesítő
Pékárúk	Péksütemények, kenyerek, muffinok	Ízesítő, stabilizáló, habképző és tojáshelyettesítő
Cukrászati termékek	Sütemények, habcsók alapú termékek, piskóta desszertek	Emulgeáló, zsírmegkötő, habstabilizáló, tojáspótló
Húsipari termékek	Kolbász, hamburger hús, steak, sonka, nuggets	Víz és zsír abszorpció

Kulcsfontosságú szerepet játszanak a speciális étrendi követelményeknek megfelelő termékek összeállításában, beleértve az anyatej-helyettesítő tápszereket és a diétás élelmiszereket, a fehérjével dúsított termékeket és funkcionális italokat (Jyotsna et al., 2007). A 11. táblázat áttekintést ad a tejsavó összetevőinek néhány főbb ipari felhasználásáról és funkcionális jellemzőikről az élelmiszergyártásban (García-Garibay et al., 2008; Kaur et al., 2020; Prazeres et al., 2012; Rabaioli Rama et al., 2019).

Alkalmazható az élelmiszerek ehető bevonataként is jó záróréteget képezve a lipidekkel, aromás anyagokkal és különösen az oxigénnel szemben. Gyümölcsök és zöldségek is sikeresen bevonhatóak tejsavófehérjével (Galus and Kadzińska, 2016; Seydim and Sarikus, 2006).

3.4.4. A tejsavó szerepe a fenntarthatóságban

A tejsavó a sajtgyártás mellékterméke, ahol a sajtgyártás során felhasznált 100 liter tejből általában kb. 80-90 liter savó keletkezik (Božanić et al., 2014). A sajtipar évente mintegy 115 millió tonna tejsavót termel és ennek 47%-a közvetlenül a csatornába kerül, amely komoly környezetszennyezési problémákat okoz. Hagyományosan a tejsavót a mezőgazdasági területeken, folyókba, tengerekbe és szennyvízrendszerbe engedték, a magas szervesanyag tartalom miatt azonban ez a talaj eróziójához és a felszíni vizek eutrofizációjához vezetett (Ayed et al., 2023). Ezért a 20. század közepén világszerte törvényi szabályozások léptek életbe, amelyek megtiltották a kezletlen savó környezetbe ürítését (Božanić et al., 2014). Ez arra kényszeríti a tejipart, hogy újra gondolja a tejsavógazdálkodást. A tejsavót az egyik legszennyezőbb élelmiszer mellékterméknek tekintik a nagy biológiai oxigénigénye (BOI) (40 000-60 000 mg/L) és a nagy kémiai oxigénigénye (KOI) (50 000 és 80 000 mg/L) miatt. A nagy BOI és KOI értékeket okozó fő komponens a laktóz, amely a tejsavó összes szárazanyagtartalmának 70-72%-a (Papademas and Kotsaki, 2020). A sajtsavó a szerves anyagokon kívül szerves nitrogénből ($0,2-1,8 \text{ kg N/m}^3$) és szerves foszforból ($0,12-0,54 \text{ kg P/m}^3$) épül fel, amelyek az algavirágzást okozzák (Giulianetti de Almeida et al., 2023). A nem megfelelő savókezelés befolyásolhatja a talaj fizikai és kémiai összetételét, csökkentheti a mezőgazdasági termelést. Bomlása, erjedése olyan illékony szerves vegyi anyagokat bocsáthat ki, amelyek aztán szennyezhetik a levegőt és súlyos egészségügyi problémákat okozhatnak, beleértve a légzési nehézségeket, fejfájást és szemirritációt (Ayed et al., 2023).

A tejiparban folyamatosan növekszik a megtermelt savó mennyisége, ezért új, fenntartható hasznosítási módszereket kell keresni a savó ártalmatlanításának, környezetterhelésének csökkentése és a savófeldolgozás magas működési költségének csökkentése érdekében. A fenntartható savógazdálkodásnak számos iránya van, amelyek többnyire biotechnológiai és élelmiszeripari alkalmazásokban valósulnak meg, olyan hozzáadott értékű termékek kifejlesztésében, mint a savópor, funkcionális élelmiszerek és italok, tejsav, bioetanol, bioműanyagok, biogáz stb. Nagy mennyiségű savót bioetanollá lehet feldolgozni, míg kisebb mennyiségek esetében az erjesztett vagy erjesztetlen savóalapú italok előállítása a leggazdaságosabb. A savó ártalmatlanítása egyben jelentős potenciális tápanyag- és energiavesztést is jelent. Ezért a savó tápértékének hasznosítása és egyúttal az ártalmatlanítás környezetre gyakorolt káros hatásainak mérséklése érdekében fontos, hogy a savógazdálkodást költséghatékony és fenntartható hasznosítási módok felé tereljük és egyúttal új, értékes termékek előállítására irányítsuk (Zandona et al., 2021).

3.5. Az élelmiszerporok

A népességnövekedés, valamint az ebből következő élelmiszer-kereslet és mindenekelőtt az étrenddel összefüggő betegségek számottevő növekedése miatt igény van az egészségesebb és táplálóbb élelmiszerekre. Hasonlóképpen növekvő tendenciát mutat az élelmiszer-pazarlás is, ami elengedhetetlenné teszi az eltarthatóság meghosszabbítására szolgáló módszerek keresését. Erre példaként említhető a természetes vagy szintetikus adalékanyagok használata, hő- és hidegkezelés, bevonatok, valamint a porított élelmiszerek előállítása (Cuq et al., 2011; Sridhar et al., 2021). A porított élelmiszerek könnyen tárolhatóak és szállíthatóak, hosszabb eltarthatóságuk minimalizálja a potenciális hulladékot, ezáltal hozzájárulva a fenntartható fejlődéshez. A porított termékek stabilitását az élelmiszer összetétele döntően befolyásolja. Az élelmiszerporok fontos jellemzője a termékek rehidratációs tulajdonsága, ami alapvető szerepet játszik a porított élelmiszerek feloldásában, befolyásolja a por folyadékokban való diszperzióját és oldódását. A porított termékek 50 és 1000 μm közötti szemcseméretű szilárd részecskékből állnak, amelyek elsődleges (egyedi vagy inherens tulajdonságaik) vagy másodlagos jellemzőik (ömlesztett tulajdonságaik) alapján osztályozhatók. A részecskesűrűség, porozitás, alak, átmérő, keménység és tapadás elsődleges tulajdonságoknak minősülnek, míg a másodlagos jellemzők az ömlesztett sűrűséghez és porozitáshoz, részecskeméret-eloszláshoz és a nedvességtartalomhoz kapcsolódnak. Emellett a porított termékek fizikai (méret, alak, sűrűség és porozitás) vagy kémiai jellemzőik (összetétel, más anyagokkal való kölcsönhatások és pillanatnyi tulajdonságok) alapján is osztályozhatók (Barbosa-Cánovas and Juliano, 2005). A porok különböző eredete miatt részecskeméret- és alakeloszlásuk, valamint fizikai tulajdonságaik igen változóak. Ezért gyakran egynél több elemzési technikára van szükség ahhoz, hogy egy adott tudományos kérdésről teljes körű információt kapjunk (Burgain et al., 2017).

3.5.1. Az élelmiszerporok rehidratációs tulajdonságai

A rehidratáció vagy rekonstitúció az élelmiszerporok fontos funkcionális tulajdonsága. Az ipari felhasználók és a fogyasztók számára is fontos tulajdonság a porok gyors és tökéletes rehidratációja (Fitzpatrick et al., 2017). A porított termékek értékelésénél alapvető szempont az „azonnali” tulajdonságaik, amelyek a termékek folyadékokban való diszpergálódási és oldódási képessége. Ezek a tulajdonságok az agglomerátumok képződésével és viselkedésével kapcsolatosak, jelezve, hogy a por alakú termék mennyire könnyen rekonstruálható folyadékban (Barbosa-Cánovas and Juliano, 2005). A porok oldódási/rehidratációs folyamatát általában öt fázisra bontják: nedvesítés, duzzadás, süllyedés, diszpergálás és oldódás/teljes rehidratáció. A feloldás során két vagy több szakasz egyidejűleg is előfordulhat, például nedvesítés és duzzadás (ezt gyakran egy szakasznak veszik), valamint diszpergálás és oldódás. Bizonyos porok esetében

előfordulhat, hogy egyes szakaszok nem következnek be vagy hosszabb ideig tartanak. (Felix da Silva et al., 2020). A lépéseket nehéz elkülöníteni. Valójában több rekonstitúciós lépés átfedésben van (3. ábra) és a teljes mechanizmust bonyolult megállapítani (Fournaise et al., 2021).



3. ábra: A porok oldódási idővonalának vázlata, amely a különböző fázisok közötti átfedéseket mutatja az idő függvényében (Fang et al., 2007) nyomán

A nedvesíthetőség egy por azon képességének mérőszáma, hogy képes-e a felszínen vizet felszívni, nedvesedni és behatolni a nyugodt víz felszínére, tehát keverés nélkül elmerülni. Az érintkezési szögek a nedvesedés mértékét jelzik, amikor egy szilárd anyag és egy folyadék kölcsönhatásba lép egymással. Minél kisebb az érintkezési szög, annál nagyobb a nedvesedés. Meghatározza, hogy egy por adott hőmérsékleten mennyire képes nedvesedni és vizet felszívni. A nedvesedés során a porban lévő üregeket víz tölti ki. Általában függ a porszemcsék méretétől, sűrűségétől, porozitásától, felületi töltésétől, felületétől, amfipatikus anyagok jelenlététől és a részecskék felületi aktivitásától (Sharma et al., 2012). A por nedvesíthetőségét a kémiai összetétel is befolyásolhatja. Például a magas lipid- vagy fehérjetartalom a por felületét hidrofóbbá teszi, ami rossz nedvesíthetőséghez vezet. Ellenkezőleg, a por felületén elhelyezkedő hidrofil komponensek, mint a szénhidrátok vagy felületaktív anyagok, fokozzák annak nedvesíthetőségét (Ji et al., 2015; Wu et al., 2020).

A süllyedőképeség vagy áteresztő képesség lehetővé teszi, hogy a por legyőzze a víz felületi feszültségét és a felületen való áthaladás után a vízbe süllyedjen. A pornak ezt a tulajdonságát azok az erők befolyásolják, amelyek a részecskét a felszínen elmerítik. Függ a részecskék sűrűségétől, azaz a részecskék tömegétől és az elzárt levegő mennyiségétől. A nagyobb részecske-sűrűség és a kisebb mennyiségű elzárt levegő hatására a részecskék egyre inkább elsüllyednek (Carić and Milanović, 2002; Kinsella and Morr, 1984).

A diszpergálhatóságot a por vízben való diszpergálódási képessége határozza meg. A por diszpergálása két egyidejű mechanizmusból áll: a csomók és agglomerátumok egyes részecskékre bomlása és az egyes részecskék fragmentálódása. Mind a kettő méretcsökkenéshez és a fajlagos felület növekedéséhez vezet, ami tovább könnyíti a szilárd mátrix kölcsönhatásait a vízzel. Diszperzió akkor következik be, amikor az oldószer által a részecskék szétválasztására kifejtett erők legyőzik a részecskék kohézióját. A diszperzió sebessége a nagy porozitású, kis sűrűségű vagy kevésbé összetartó részecskék esetében fokozódik (Fournaise et al., 2021).

Az oldhatóságot gyakran determináns rekonstrukciós lépésnek tekintik, mivel ez az utolsó lépés. Az oldható szemcsés szerkezetek teljes eltűnését és az összes oldható komponens (pl. fehérjék,

ásványi anyagok stb.) felszabadulását eredményezi. A por teljes oldódása oldhatatlan részecskék nélküli homogén oldathoz vezet, ami fontos kritérium a fogyasztó számára. Ez főként a por kémiai összetételétől és fizikai állapotától függ (Fournaise et al., 2021).

3.6. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (HHP)

A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (HHP) az élelmiszerek minimális minőségromlással járó, nem termikus tartósítási módszere. Ez a technológia képes kielégíteni a 21. századi fogyasztói igényeket a kiváló minőségű, kíméletesen feldolgozott, adalékanyag-mentes és mikrobiológiailag biztonságos élelmiszerek iránt. Először Bert Homes Hite mutatta be ezt a technológiát 1899-ben (Hite et al., 1914), aki mikroorganizmusok inaktiválásával demonstrálta a HHP tartósító hatását. Beszámolt a tej tartósításáról, amely „hosszabb ideig édes maradt”, amikor 650 MPa nyomáson 10 percig szobahőmérsékleten kezelték (Hite, 1899). A HHP érdekes kutatási terület volt a 80-as évek közepén Japánban, ami a nagy nyomással kezelt termékek kereskedelmi forgalomba hozatalához vezetett. A technológia felkeltette az európai és amerikai kutatók figyelmét is, akik számos élelmiszer nyomáskezelését vizsgálták. Az első nagynyomással feldolgozott kereskedelmi termék a lekvár volt, ami 1991-ben került a japán piacra (Yaldagard et al., 2008). Az 1990-es években több nyomáskezelt termék is kereskedelmi forgalomba került, például a guacamole az Egyesült Államokban és a szeletelt főtt sonka Spanyolországban (Balasubramaniam et al., 2015).

A HHP a termikus kezelésekhez képest kevesebb energiát használ fel, mivel folyamatában nincs szükség további energiabevitelre a kiválasztott nyomás elérése után, ezáltal kisebb környezetterhelést jelent (Huang et al., 2017). A hagyományos eljárásokkal összehasonlítva (pl. hőkezelés) a HHP technológia nem függ a termékek és berendezések méretétől és alakjától, mivel a nyomásátvitel nem függ a minőségtől és az időtől, ezáltal csökkentve a kezelési időt és kiszélesítve kereskedelmi alkalmazását (Campus, 2010). Az eljárást hatékonyan alkalmazták/alkalmazzák az élelmiszeripar különböző szegmenseiben, mint például hús- és húskészítmények, tojás, zöldségek, gyümölcsök, tenger gyümölcsei, italok, teljes kiőrlésű gabonák és hüvelyesek minőségének és frissességének megőrzése/javítása érdekében (Garcia-Mora et al., 2015; Lee et al., 2018). A hőkezeléshez képest a HHP-nek nincs jelentős hatása a hőérzékeny és kis molekulákra, beleértve az ízvegyületeket, aminosavakat és vitaminokat (Gharibzahedi and Smith, 2021; Peñas et al., 2006; Xi and He, 2018). Hatékonyabban megőrzi az élelmiszerek minőségét és az érzékszervi jellemzőket (állomány, alak, íz, szín) (Ahmed et al., 2005; R.-J. Zhao et al., 2017).

3.6.1. A nagy hidrosztatikus nyomású technológia: feldolgozás, alapelvei

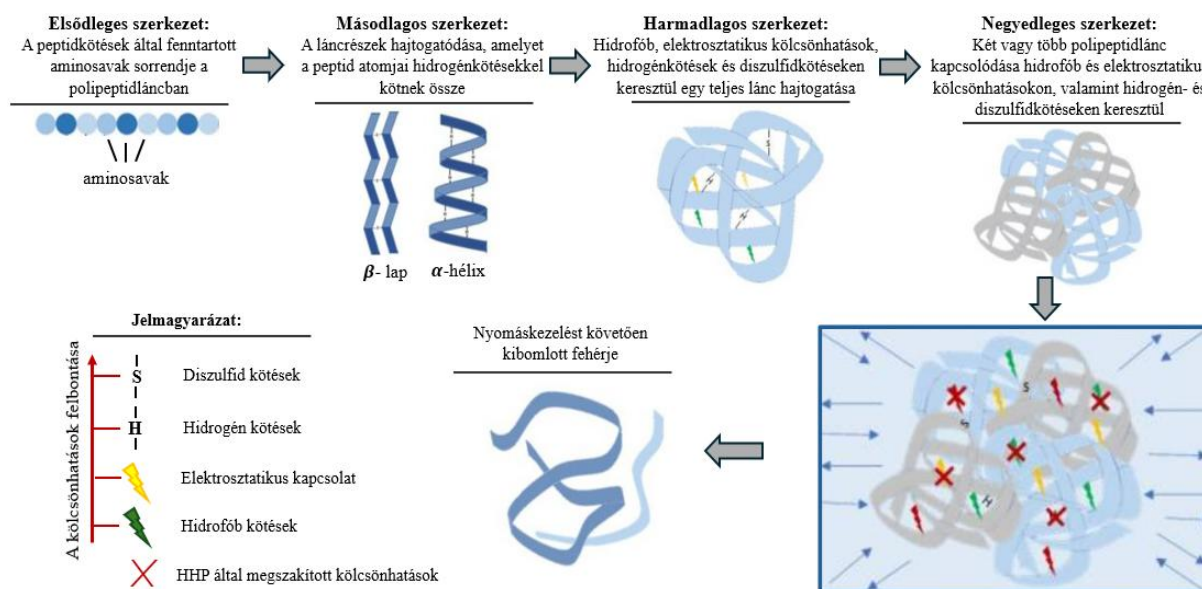
Az ipari HHP kezelési folyamat általában úgy történik, hogy a kezelendő élelmiszert hermetikusan lezárt és rugalmas edénybe/vákuumsomagolásba helyezik, majd a nyomáskamrába vezetik. A nyomásszint és a tartási idő feldolgozási körülményeinek megállapítása után a nyomást egy szivattyú és nyomásfokozó segítségével felépítik, majd egy folyékony hordozó közegen, általában vízen keresztül továbbítják az élelmiszerekhez. Bár nem termikus kezelésnek számít, az adiabatikus melegedéssel számolni kell (Knoerzer et al., 2010a), amely víz esetében körülbelül $3\text{ °C}/100\text{ MPa}$ (Patazca et al., 2007). Ezenkívül kombinált nyomás- és hőmérsékletkezelések végezhetők hőmérséklet-szabályozó eszközök és szigetelt edények segítségével (Knoerzer et al., 2010b; Queirós et al., 2023). A HHP során az élelmiszert 100 és 1000 MPa közötti nyomásnak teszik ki (San Martín et al., 2002), de az élelmiszeriparban a leggyakrabban 200–600 MPa nyomástartományt alkalmazzák. Az ipari alkalmazások célja az 5 percnél rövidebb ciklusidő, hogy maximalizálják az átvitelt, csökkentsék a költségeket és növeljék a kereskedelmi versenyképességet. Ez jellemzően öt-hat ciklust tesz lehetővé egy órán belül (Elamin et al., 2015), a nyomásfelfutási időtől, valamint a termék be- és kirakodásához szükséges időtől függően.

Ezen technológia a Le Chatelier, izosztatikus nyomás és a mikroszkópikus rendezés elveit foglalja magában. Le Chatelier elve leírja, hogy az egyensúlyi rendszerben a kémiai reakciók, konformációs változások vagy fázisátalakulások nyomás alkalmazásakor térfogatcsökkenést okozó oldalra tolódnak el, míg azok, amelyek térfogattömegnövekedéshez vezetnek, gátolva vannak. Az izosztatikus nyomás elve (Pascal elv) kimondja, hogy a nyomás azonnal és egyenletesen továbbítódik a minta minden irányába, függetlenül a minta méretétől és geometriájától. A mikroszkópikus rendeződési elv azt jelenti, hogy az anyag molekuláris rendezettségének fokozódik, ha a nyomás állandó hőmérsékleten növekszik (Elamin et al., 2015; Jaeger et al., 2012).

3.6.2. A nagy hidrosztatikus nyomás hatása a fehérjékre

A fehérjék olyan makromolekulák, amelyek szerkezeti felépítése elsődleges, másodlagos, harmadlagos és negyedleges szintekre osztható (4. ábra). Ezeknek a struktúráknak az egyensúlyát a fehérjeláncon belüli stabilizáló kölcsönhatások tartják fenn. Minden olyan változás, amely felboríthatja ezeknek a kölcsönhatásoknak az intramolekuláris és intermolekuláris egyensúlyát, a fehérjék denaturációjához vezethet (Landim et al., 2023). Az intramolekuláris és intermolekuláris kölcsönhatásokban reverzibilis és irreverzibilis változások lépnek fel. A reverzibilis változások, mint például a polimer szerkezetek alegységekre történő disszociációja általában 100-200 MPa alatt figyelhetők meg. A 200 MPa-t meghaladó nyomások

irreverzibilis változásokat idéznek elő, például az enzimek teljes inaktíválódása és a fehérjék denaturálódása (Balny and Masson, 1993).



4. ábra: A fehérjék eltérő szerkezeti szintjei és a nagy hidrosztatikus nyomás hatása a fehérjék szerkezetére és konformációjára (Landim et al., 2023) nyomán

Ismeretes, hogy a nagy hidrosztatikus nyomás (HHP) fehérjedenaturációt indukál azáltal, hogy megváltoztatja a natív fehérjék konformációját stabilizáló kölcsönhatások közötti érzékeny egyensúlyt (Balny and Masson, 1993). A HHP kezelés a fehérjék nem kovalens kapcsolatait (ionos, hidrofób és hidrogénkötéseket) érintik. Ez azt jelenti, hogy a másodlagos, harmadlagos és a negyedleges struktúrák kibontakozhatnak és disszociálódhatnak, miközben az elsődleges szerkezet stabil marad (Dzwolak et al., 2002), mivel ezt a szerkezeti szintet kovalens kötések alkotják (Landim et al., 2023). Az élelmiszerfehérjék denaturálódásának vagy módosulásának mértékét az adott fehérje hajtogatódása és diszulfid-kötése határozza meg leginkább. A diszulfid-kötések erős hatása egy natív fehérjében nagy ellenállást mutat a nagy nyomás alatti denaturációval szemben. Arra is van bizonyíték, hogy a nagy nyomás új diszulfid-kötések kialakulását indukálja, amelyek segítenek a denaturált fehérjék stabilizálásában vagy fehérje aggregációt okoznak. A többi kötéstípus sokkal inkább érintett a diszulfid kötésekhez képest. A hidrofób kölcsönhatások, a nem kovalens kötések - elektrosztatikus kölcsönhatások és a hidrogénkötések károsodása vagy létrejötte a nyomásértékek emelkedésének elsődleges következménye (Baldelli et al., 2024). Messens és társai (1997) arról számoltak be, hogy a negyedleges szerkezet változásainak megfigyeléséhez 150 MPa körüli nyomást, míg a másodlagos és harmadlagos szerkezetek jelentős módosításához pedig 200 MPa-nál nagyobb nyomást kell alkalmazni. A 100-200 MPa nyomás elegendő az oligomer fehérjék és a multiprotein komplexek disszociációjához (Silva and Weber, 1993), míg a kis monomer fehérjék általában 400 és 800 MPa között denaturálódnak (Heremans, 1982). Ezek a nagy nyomással

előidézett fehérjeszerkezet módosítások a fehérjék funkcionális tulajdonságaiban is változásokhoz vezetnek, ami nagymértékben javíthatja vagy hátrányosan befolyásolhatja az érzékszervi és táplálkozási tulajdonságokat (Baldelli et al., 2024). A változások közvetlenül függenek a felhasznált fehérje típusától (diszulfid hidak, hidrofób kölcsönhatások, izoelektromos pontok) és a HHP kezeléstől (nyomás, idő és hőmérséklet) (Huppertz et al., 2006; Trujillo et al., 2002).

3.6.3. A nagy hidrosztatikus nyomás hatása a mikrobiális élelmiszerbiztonságra

A hidrosztatikus nyomás kulcsfontosságú fizikai paraméter a bioszférában. A tengerszinten mért 0,1 MPa-tól (légköri nyomás) az óceán mélyén mért 110 MPa-ig terjed. A nyomásváltozásokhoz való alkalmazkodás képessége az élet egyik jellemzője, amely befolyásolta mind a mikroorganizmusok, mind a makroorganizmusok evolúcióját és elterjedését (Mota et al., 2013). A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés élelmiszer-tartósító szerepe a mikrobapopuláció által elszenvedett pusztulásnak tulajdonítható, ami ezáltal lehetővé teszi az élelmiszer eltarthatóságának jelentős növelését, fokozva ezzel az élelmiszerbiztonságot. A kezelés hatékonysága elsősorban az alkalmazott nyomástól és a tartási időtől függ. A mikroorganizmusok rezisztenciája nagymértékben változó, amelyet főként a szervezet típusa és a táplálékmátrix befolyásol (Rendueles et al., 2011). A nagy nyomás közvetlenül befolyásolja a mikroorganizmusok sejtfiziológiáját és néhány száz MPa-os nyomás csökkentheti a baktériumsejtek életképességét, néhány tíz MPa nyomás pedig csökkentheti a szaporodási sebességet.

A prokarióta sejtek általában nyomásállóbbak, mint az eukarióta sejtek. A protozoonok és a paraziták elpusztítása viszonylag kis nyomással történik (Rendueles et al., 2011). Az endospórák általában rendkívül HHP-rezisztensek a vegetatív sejtekhez képest és ellenállnak az 1000 MPa-nál nagyobb kezeléseknak is (Smelt, 1998). A HHP a baktériumspórák csírázását indukálhatja, amelynek mértéke a táptalajtól és a szervezettől függően változik (Black et al., 2005; Smelt, 1998). A *Clostridium spp.* spórái általában nyomásállóbbak, mint a *Bacillus spp.* (Rendueles et al., 2011). Általában a Gram-pozitív baktériumok jobban ellenállnak a hőnek és a nyomásnak, mint a Gram-negatív baktériumok, és a coccusok pedig ellenállóbbak, mint a pálcika alakú baktériumok (Smelt, 1998). A túlélésre alkalmatlan környezetben egyes mikroorganizmusok endospórákat képeznek, hogy ellenálljanak a stressznek vagy a viszontagságoknak. Ilyen körülmények között az endospóra morfológiájának nyomástűrése lényegesen meghaladja a mikroorganizmus eredeti vegetatív állapotát (Huang et al., 2014). Az élesztők és penészgombák viszonylag HHP-érzékenyek, azonban a hőálló penészgombák aszkospórái (pl. *Byssoschlamys*, *Neosartorya*, *Talaromyces*) általában rendkívül HHP-rezisztensek számítanak (Chapman et al.,

2007; Smelt, 1998). A vírusok nyomásállósága jelentősen eltér. A HHP károsíthatja a vírusburkot, megakadályozva a vírusrészecskék sejtekhez való kötődését vagy akár a vírusrészecskék teljes disszociációját is, ami lehet teljesen reverzibilis vagy irreverzibilis (Hogan et al., 2005).

A baktériumok szaporodási fázisa is szerepet játszik nyomásérzékenységük/rezisztenciájuk meghatározásában. A növekedés stacioner fázisában lévő sejtek általában nyomásállóbbak, mint az exponenciális fázisban lévők (Hayman et al., 2007). Ez valószínűleg olyan fehérjék szintézisének köszönhető, amelyek számos kedvezőtlen körülmény ellen védenek, mint például a nagy sókoncentráció, emelkedett hőmérséklet és az oxidatív stressz (Hill et al., 2002).

A szubsztrátum típusa és az élelmiszer összetétele drámai hatással lehet a mikroorganizmusok reakciójára a nyomás alatti kezelés során. A szénhidrátok, fehérjék, lipidek és más élelmiszer-összetevők védőhatást biztosíthatnak (García-Graells et al., 1999). Ez valószínűleg annak tudható be, hogy a HHP nem denaturálja a kovalens kötések, ezáltal a fehérje elsődleges szerkezete érintetlen marad (Murchie et al., 2005). Általában a kis vízaktivitás védi a sejteket a HHP ellen, de a HHP által sérült mikroorganizmusok érzékenyebbek a vízaktivitásra. Az oldott anyag természete (pl. cukor vagy só) jelentős hatással lehet a sejtek túlélésére a nyomáskezelés után és különösen a spórák nyomásállóságára (Smelt, 1998).

3.6.4. A nagy hidrosztatikus nyomással kezelt élelmiszerek táplálkozási jelentősége és hatása az emészthetőségre

A HHP-termékek fejlesztése az elmúlt években sokrétűvé vált és ezen technológia alkalmazása elsősorban a fogyasztók számára nyújtott egészségügyi előnyök fokozására összpontosított. A HHP-t például az élelmiszerek funkcionális összetevőinek gyarapítására, nyomástűrő *Bacillus* probiotikumokat tartalmazó italok kifejlesztésére és az élelmiszerek adalékanyag-tartalmának csökkentésére használták, ami növeli a terméktípusok sokféleségét és a termékek hozzáadott értékét. Pottier és munkatársai (2017) kiemelték a nagynyomású technológia alkalmazását az élelmiszer-adalékanyagok és a só csökkentésére, valamint az emészthetőség javítására és az allergén hatás csökkentésére. Ez azt jelzi, hogy a nagy nyomás nem csupán pasztörözési technológiaként szolgál, hanem potenciálisan felhasználható egészségesebb élelmiszerek kifejlesztésére is. Az élelmiszerek tápértéke növelhető a HHP folyamat során, ami lehetővé teszi a fogyasztók számára, hogy az étkezési szokásaik drasztikus megváltoztatása nélkül növeljék tápanyagbevitelüket.

Az emésztőenzimek és a gyomor-bélrendszeri (GI) perisztaltika zavartalanul, megszakítás nélkül, összehangoltan működnek együtt, hogy az elfogyasztott táplálékot biomolekulákra vagy kisebb részecskékre bontsák, amelyek elősegítik az emberi test növekedését és fejlődését

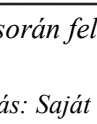
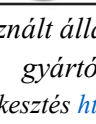
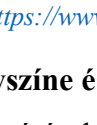
(Minekus et al., 2014). Az *in vitro* szimulált emésztési modelleket sok kutató alkalmazta, tekintettel ezeknek a kísérleti modelleknek az egyszerűségére, kényelmére és ma már az élelmiszerek különböző funkcionális összetevőinek, például szénhidrátok, lipidek és fehérjék elemzésére használják őket (Hasjim et al., 2010; Lorrain et al., 2012; Maldonado-Valderrama et al., 2010). Figyelembe véve a farmakológia, táplálkozás és az általános egészségügyi ellátás globális kihívásait, bizonyos populációk (pl. csecsemők, felnőttek és idősek) számára egyre nagyobb szükség van a gasztrointesztinális (GI) traktusuk egyedi emésztési mintázatainak megértésére (Lee et al., 2023).

A nagynyomású kezelés változásokat idéz elő az alkotóelemek konformációjában, de az emészthetőségre gyakorolt pontos hatásait még tanulmányozzák. A legtöbb vizsgálat az emészthetőség *in vitro* szimulációját alkalmazza enzimek segítségével. Ezek a vizsgálatok a tápanyagok biológiailag hozzáférhető frakciójáról adnak információt. Az enzimatis emésztést megelőzően a HHP-kezelés felhasználható a fehérjék szerkezetének módosítására a denaturáció révén, az enzimatis helyek érzékenysége növelésére a proteázokkal szemben, valamint a fehérjék emészthetőségének elősegítésére, ami nagyszámú, alapvető funkciójú bioaktív peptidet eredményez (L. Zhao et al., 2017). A HHP kezelt élelmiszerek fehérje minőségének és emészthetőségének változásai főként a fehérje szerkezeti változásainak tulajdoníthatók. Mint ahogy a 3.6.2. fejezetben részletezésre került, a nagy hidrosztatikus nyomású kezelések hatással lehetnek a fehérjék másodlagos, harmadlagos és negyedleges szerkezetére. A HHP feldolgozási kezelés az elektrosztatikus kapcsolatok felbomlását okozza és serkenti a szulfhidril-diszulfid kötőcsere reakciókat, amely a fehérje disszociációját és szerkezetének kibontakozását okozza (De Maria et al., 2016). A HHP kezelések után az intermolekuláris és intramolekuláris kölcsönhatások újrarahajtogathatók, hogy megőrizték a fehérje szerkezetét (Larrea-Wachtendorff et al., 2015). Több tanulmányban is beszámoltak a fehérjék javult emészthetőségéről, amikor azokat HHP-kezelésnek vetették alá (Chicón et al., 2008; Hu et al., 2017; Li et al., 2011). Hu és társai (2017) azt tapasztalták, hogy az α -kazein tejfehérje 200 MPa-on 5 percig tartó HHP-kezelése már jobb fehérje emészthetőséget eredményez. A HHP-kezelések megváltoztatják a fehérje konformációját, így a rejtett peptid fragmentumok proteolitikus hatásoknak vannak kitéve (López-Fandiño, 2006). Ez javítja a hidrolizátumok emészthetőségét és bioaktivitását. A tejsavófehérjék 550 MPa nyomáson és 20 °C-on végzett HHP-kezelése javította *in vitro* enzimatis emészthetőségüket és *in vitro* vas redukáló antioxidáns hatásukat (Iskandar et al., 2015). Összességében elmondható, hogy a HHP-kezelések által okozott fehérjeszerkezeti módosulások pozitívan befolyásolhatják az emésztési viselkedést és a fehérje emészthetőségének előre jelzőjeként is használhatók.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A kísérletek során felhasznált anyagok

A kutatási munkám során különböző állati eredetű, porlasztva szárított termékeket vizsgáltam. Az alapanyagok kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy egyik minta se tartalmazzon adalék-, járulékos- és segédanyagot annak érdekében, hogy a mérések kimenetelét ne befolyásolják ezen anyagok. A kísérleti alapanyagaim a következő portermékek voltak: 1.) vérplazma por 70 B (Sonac Burgum, Hollandia), 2.) hemoglobin por 92 B (Sonac Burgum, Hollandia), 3.) teljes vérpor Vepro 95 (Solvent Kereskedőház, Magyarország) 4.) tojásfehérje por (Capriovus Kft., Magyarország) 5.) teljes tojáspor (Capriovus Kft., Magyarország) 6.) WPI 90 natúr tejsavófehérje izolátum (Buda Family Kft., Magyarország) (5. ábra).

Alapanyag			Átlagos tápérték 100 g termékben				
Név (jelölés)	Nyers alapanyag	Portermék	Energia	Fehérje	Szénhidrát • cukor	Zsír • telített zsírsavak	Só
Vérplazma VP			1264 kJ 298 kcal	70	0	2 • 0,5	15
Hemoglobin HG			1571 kJ 370 kcal	92	0	0,2 • 0,02	2,5
Teljes vér TV			1577 kJ 372 kcal	87	0,4 • 0,4	0,2 • 0,05	4,6
Tojásfehérje TF			2050 kJ 480 kcal	83	6 • 4	0	3,8
Teljes tojás TT			2510 kJ 600 kcal	45	3 • 1,6	38 • 11,6	1,27
Tejsavó TS			1596 kJ 381 kcal	92	1 • 1	1,16 • 0,54	0

5. ábra: A kutatás során felhasznált állati eredetű termékek és a portermékek tápanyagtartalma gyártói specifikációk alapján

(Forrás: Saját szerkesztés <https://www.freepik.com>; www.istockphoto.com;
<https://www.vitalitaswebaruhaz.hu/>; <https://www.wheyprotein.hu/>)

4.2. A kísérletek helyszíne és tervezés

Az általam elvégzett mérések a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszertudományi és Technológiai Intézetének az Állatitermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszékén, valamint a Táplálkozástudományi Tanszékén valósultak meg.

Kutatásom megtervezése során két részre osztottam a méréseket. Az első esetben a por állagú alapanyagokat vizsgáltam, ugyanis fontosnak tartottam feltérképezni, hogy milyen anyagokból indulok ki, milyen az általam választott portermékek viselkedése, kezelhetősége. Ezek az információk az ipari felhasználhatóság szempontjából is lényegesek. Ezt követően elkészítettem a szuszpenziókat, melyeket HHP kezelésnek vettem alá. Ezt azért tartottam fontosnak megvizsgálni, mert az élelmiszeriparban gyakori eljárás, hogy az élelmiszerporokat vízben

oldják fel, majd a kapott szuszpenziót adják az adott élelmiszerekhez. Ez lehetővé teszi a hozzáadott anyagok (pl: fehérje, ízesítő anyagok) egyszerű és egyenletes eloszlását, ezáltal javítva a késztermék minőségét.

4.3. A minták előkészítése

Minden mintából 3 x 350 ml 12 m/v% -os szuszpenziót készítettem. Ennek oka, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható táplálékkiegészítő fehérje italok felhasználási javaslata is ezt írja elő. Sokszor a fehérjetartalom szabja meg, hogy milyen arányú legyen a portermék beoldása. Ez változik 10-15 m/v% között. Az általam felhasznált termékek fehérjetartalmáról elmondható, hogy minden esetben magasak, de összességében különbözőek. Ezzel szerettem volna elkerülni, hogy a különböző receptúrák, oldási különbségek torzítsák a mérési eredményeimet.

A színméréshez, reológiai tulajdonságok vizsgálatához, SDS-PAGE gélelektroforézishez, valamint az emésztési modellkísérlethez 200 ml-es PA-PE (poliamid-polietilén) tasakokba (90 µm: 20 µm PA + 70µm PE; AMCO Kft, Budapest, Magyarország) csomagoltam a mintákat, melyeket fóliahegesztővel zártam le, ügyelve arra, hogy minél kevesebb levegő maradjon a csomagolásban. A mikrobiológiai vizsgálatra szánt mintáim esetében is hasonlóképpen jártam el, azzal a kivétellel, hogy a csomagoló tasakokba 20 ml mintát tettem. A mintákat a felhasználásig hűtőszekrényben tároltam 4 °C-on.

4.4. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés

A kísérletem során a nagy hidrosztatikus nyomáskezelést Lengyeltótiiban az SKC-Consulting Kft., telephelyén végeztem. A mintáim nyomáskezelése a Hiperbaric 135 (Hiperbaric, Burgos, Spanyolország) típusú nyomáskezelő berendezés használatával valósult meg.



6. ábra: Hiperbaric 135 típusú nyomáskezelő berendezés

(Forrás: <https://www.hiperbaric.com>)

Minden szuszpenziót 5 perces nyomáskezelésnek vetettem alá. A nyomás elengedése kevesebb, mint 3 mp alatt történt meg. Az alkalmazott nyomásértékek minden minta esetében: 0 MPa (kontroll), 300 MPa, 400 MPa, 450 MPa, 500 MPa, 550 MPa, 600 MPa.

4.5. Portermékek esetében alkalmazott mérési módszerek

A nyersanyag tulajdonságainak megértése azért fontos, mert közvetlenül befolyásolhatják a gyártási folyamat sikerességét, a végtermék tulajdonságait és minőségét (Moravkar et al., 2022). Ezért is tartottam fontosnak a méréseim során a kiindulási porok vizsgálatát, ugyanis felhasználói és ipari oldalról sem mindegy, hogy az általam választott anyagok milyen áramlási és rehidratációs tulajdonságokkal rendelkeznek, illetve milyen a porok aminosav összetétele.

4.5.1. Folyékonyság meghatározása

4.5.1.1. Ömlesztett és tömörített térfogatsűrűség mérése

Első lépésben a portermékeken ömlesztett és tömörített sűrűségmérést végeztem. Az ömlesztett sűrűségméréséhez 100 ml-es mérőhengert használtam, melyet tele töltöttem a porral (Pugliese et al., 2017). A térfogatsűrűség kiszámításához használt térfogatot közvetlenül a hengerről olvastam le. Három ismétlést készítettem és az átlagsűrűséget vettem a térfogatsűrűség meghatározásához. Az ömlesztett térfogatsűrűséget az alábbi kifejezéssel határoztam meg:

$$\text{ömlesztett sűrűség} = \frac{\text{por tömege (g)}}{\text{por térfogata (cm}^3\text{)}} \quad [1. \text{ egyenlet}]$$

Ugyanezeket a mintákat használtam a tömörített térfogatsűrűség méréséhez is.

A mintákat kézzel, többszöri emeléssel és leejtéssel vertikális irányban ütöttem az asztalhoz 5 percen keresztül 15 ± 2 mm magasságban. A csapolás után kapott új térfogatot leolvastam a mérőhengerről és a sűrűséget a 2. egyenlet alapján fejeztem ki. A mérést minden minta esetében háromszor végeztem el és a kapott adatok átlagértékével számoltam (Lebrun et al., 2012).

$$\text{tömörített sűrűség} = \frac{\text{por tömege (g)}}{\text{tömörített por térfogata (cm}^3\text{)}} \quad [2. \text{ egyenlet}]$$

4.5.1.2. Folyékonyság meghatározása: Carr-index és Hausner-arány kifejezése

A folyékonyság és a kohézió kifejezhető Carr-indexszel (CI), más néven tömöríthetőségi indexszel, illetve Hausner-aránnyal (HR) a következő kifejezésekkel (3. és 4. egyenlet) (Lebrun et al., 2012; Reddy et al., 2014).

$$\text{Carr index (CI)} = 100 \times \frac{\text{tömörített sűrűség} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) - \text{laza sűrűség} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)}{\text{tömörített sűrűség} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)} \quad [3. \text{ egyenlet}]$$

$$\text{Hausner - arány (HR)} = \frac{\text{tömörített sűrűség} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)}{\text{laza sűrűség} \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)} \quad [4. \text{ egyenlet}]$$

Az ömlesztett és tömörített térfogatsűrűségből kiszámított Carr-index és Hausner-arány referencia értékeit a 12. táblázat tartalmazza (Reddy et al., 2014; Venkateswara Rao et al., 2021).

12. táblázat: Carr-index és Hausner-arány referencia értékei

Áramlás leírása	Carr index (%)	Hausner arány
Kiváló	0–10	1,00–1,11
Jó	11–15	1,12–1,18
Megfelelő	16–20	1,19–1,25
Tűrhető	21–25	1,26–1,34
Rossz	26–31	1,35–1,45
Nagyon rossz	32–37	1,46–1,59
Rendkívül rossz	> 38	> 1,60

A por folyóképességét az összenyomhatóság vagy a Hausner-arány alapján lehet jellemezni. Egy anyag kisebb összenyomhatósága vagy kisebb Hausner-aránya jobb folyási tulajdonságokat jelez. A 10-nél kisebb összenyomhatóság vagy az 1,11-nél kisebb Hausner-arány „kiváló” áramlásnak minősül, míg a 38-nál nagyobb összenyomhatóság vagy az 1,60-nál nagyobb Hausner-arány „rendkívül rossz” áramlásnak minősül.

4.5.2. Rehidratációs tulajdonságok meghatározása

4.5.2.1. Nedvesíthetőség

A porminták nedvesíthetőségi tulajdonságát Fitzpatrick és társai (2017) , valamint Szulc és Lenart (2016) kutatása alapján határoztam meg. A nedvesedési időt vizuálisan értékeltem és az órát akkor állítottam meg, amikor az összes porrészeccske áthatolt a víz felszínén. Az 1 percnél rövidebb nedvesedési idővel rendelkező porokat könnyen nedvesedő poroknak, az 5 percnél hosszabb nedvesedési idővel rendelkező porokat pedig gyengén nedvesedő poroknak tekintjük. Az utóbbi esetben sokáig tarthat vagy akár be sem következik a por teljes nedvesedése. Ennek az időkorlátnak a kiküszöbölésére a %-os nedvesíthetőséget az 5. egyenletben meghatározottak szerint értékeltem. Ez abból állt, hogy megmértem a víz felszínéről 60 perc után eltűnt por mennyiségét Fitzpatrick és munkatársai (2016) kísérlete alapján.

$$\text{Nedvesíthetőség \%} = \frac{\text{lesüllyedt minta tömege (g)}}{\text{kiindulási minta tömege (g)}} \times 100 \quad [5. \text{ egyenlet}]$$

4.5.2.2. Diszpergálhatóság

A diszperziós mérést Jinapong és társai (2008) által leírt eljárás szerint végeztem. 10 ml 25 ± 1 °C-os desztillált vizet 50 ml-es főzőpohárba öntöttem, melyhez 1 g port adagoltam 3 ismétléssel. A mintákat 15 másodpercig erőteljesen diszpergáltam laboratóriumi kanál segítségével. Ez kb. 25-30 teljes mozdulatot jelentett a főzőpohár teljes átmérőjén. A feloldott pormintákat 250 mikronos finom szűrőre öntöttem és az átszűrt mintákat előre lemerít, kiszárított Petri-csészébe helyeztem, majd 4 órán keresztül forró levegős kemencében 105 ± 2 °C-on szárítottam. A

porminták diszpergálhatóságát a következő képlet felhasználásával határoztam meg (Schuck et al., 2012):

$$\text{Diszpergálhatóság \%} = \frac{(100 + w) * X_{dm}}{w * \frac{100 - X_{rw}}{100}} \quad [6. \text{ egyenlet}]$$

Ahol a w = felhasznált por tömege (g), X_{rw} = por nedvességtartalma (w/w%) és X_{dm} = szitán való átszűrés utáni rekonstituált por szárazanyag tartalma (w/w%).

4.5.2.3. Oldhatóság meghatározás

A porok oldhatóságát szobahőmérsékleten (24 ± 2 °C) standard módszerekkel (GEA Niro, 2006; IDF, 1988) határoztam meg, kisebb módosításokkal. Minden mintából 6 g-ot mértem be 250 ml-es főzőpohárba, majd 50 ml desztillált vizet és két csepp szilikon habzsgátlót adtam hozzá (Sigma-Aldrich). Ezt követően mágneses keverőre helyeztem (500 fordulat/perc, keverőrúd: 40 mm x 8 mm) 45 percig és a teljes rehidratáció érdekében keverés után 15 percig állni hagytam. Az oldatokat átöntöttem 50 ml-es kúpos aljú centrifugacsövekbe (PP; 28 x 114 mm) és a standard módszerben leírt adatok alapján interpolálással meghatároztam a szükséges fordulatszámot. Ez alapján az oldatokat 5 percig 1026 fordulat/perc centrifugáltam (Beckman J2-21, USA). Az üledékmentes folyadékot 5 ml-rel az üledékréteg felett eltávolítottam és a centrifugacsöveket 50 ml-re jelre töltöttem desztillált vízzel, majd laboratóriumi kanállal diszpergáltam. Ezt újabb 5 perces centrifugálás követt 900 fordulat/perc sebességgel majd az üledéket Petri-csészébe helyezve 103 °C-on egy éjszakán át szárítottam, az oldhatatlan üledék tömegének meghatározásához. A kapott eredményeket oldhatóság százalékos formájában fejeztem ki a 7. egyenlet (Fournaise et al., 2020) felhasználásával.

$$\text{Oldhatóság \%} = \frac{(S - M)}{S} * 100 \quad [7. \text{ egyenlet}]$$

ahol, S: minta tömege (g) és az M: fel nem oldott üledék tömege (g) szárítás után.

4.5.3. Aminosav-összetétel meghatározás

Az aminosav-analízist folyadék kromatográfiás módszerrel végeztem el, melyhez egy AAA 400 típusú (Ignos Kft., Csehország) automatikus aminosav analizátort használtam. Az elválasztás során gradiens elúciót alkalmaztam, melyhez a gyártó által megadott összetételű lítium-citrát alapú puffereket használtam. A mintát homogenizáltam, majd 0,3-0,4 g fehérjének megfelelő mennyiséget bemértem a mintákból analitikai pontosságú mérlegen egy 12 cm³-es hidrolizáló csőbe. 10 cm³ mennyiségű, 6 M HCl oldatot adagoltam hozzá, nitrogénnel történő átbuborékoltság után lezártam a hidrolizáló csöveket egy teflonbetétes kupakkal. Ezt követően 24 órán keresztül, 110 °C-on hidrolizáltattam a mintáimat egy száraz blokktermosztátban. A termosztálási idő letelte után megvártam, míg a mintáim szobahőmérsékletűre hűlnek, majd semlegesítettem az oldatokat 10 cm³ 4 M NaOH-val. Ezt követően egy 25 cm³-es normál

lombikba maradéktalanul átmostam desztillált víz alkalmazásával a mintáimat, amit jelre töltöttem. Ez alatt fokozott figyelemmel kellett kezelni az eszközöket a hőtermelődés miatt. A minta alapos homogenizálását követően redős szűrőn keresztül átszűrtem az oldatokat és ezt követően egy 0,22 μm -es fecskendőszűrővel egy második szűrést is elvégeztem a megfelelő tisztaság elérése érdekében. A mintákat további 10-szeres hígításban mértem. A savas hidrolízis következtében a triptofán ezzel a módszerrel nem volt meghatározható, mivel annak indolcsoportja savas közegben elbomlik. A fent meghatározott módszerrel előkészített mintákat a felhasználásig fagyasztoóban tároltam. A mérés eredményeképpen kapott kromatogramok kiértékelését a CHROMULAN V 0.82 (PIKRON, Csehország) nevű program alkalmazásával végeztem el.

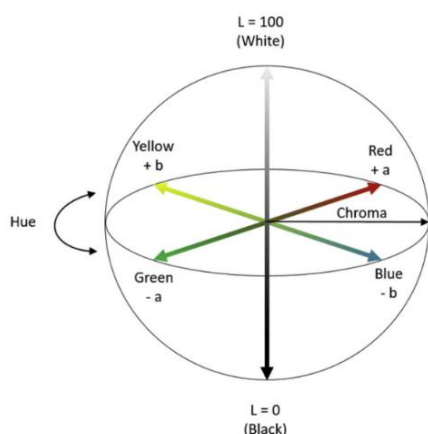
4.6. Nagy hidrosztatikus nyomáskezelt minták mérési módszerei

4.6.1. Színmérés



7. **ábra:** Minolta CR-400 színmérő készülék
(Forrás: <https://primet.hu/termek/cr-400-cr-410/>)

A színmérések elvégzéséhez a Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japán) típusú három stimulusos kolorimétert használtam. Ezen kromaméter egy olyan érzékelővel működik, amely a színek észlelésében utánozza az emberi szem működését, majd a színek három alapvető összetevőjének (piros, zöld és kék) mérésével számszerűsíti a színt (Pathare et al., 2013).



8. **ábra:** CIELAB színtér diagramja
(Ly et al., 2020)

A használt színjelölési rendszer a Commission International de l'Éclairage (CIE) alapján készült (Huda et al., 2023). A minták színének alakulását a készülék kijelzőjén megjelenő a^* , b^* és L^* segítségével lehet követni. A CIELAB vagy CIE L^* a^* b^* színrendszer a színek mennyiségi kapcsolatát reprezentálja három tengelyen: L^* érték a világosságot, az a^* és b^* pedig a színelőfordulást jelöli.

A színtér diagramon (8. ábra) az L^* egy függőleges tengelyen van ábrázolva mely a fényerő változását jelzi 0 (fekete) és 100 (fehér) közötti értéktartományban. Az a^* értéke a piros-zöld kevert kromatikus színt jelöli, ahol pozitív előjel ($+a^*$) a piros színt jellemzi, míg a negatív előjel ($-a^*$) zöld színt. A b^* érték a kék-sárga keverék kromatikus színét jelöli. Pozitív előjellel ($+b^*$) a sárga szín, míg ezzel ellentétesen a negatív előjellel ($-b^*$) a kék szín jelenik meg. A sík közepe semleges vagy akromatikus (Pathare et al., 2013; Yusuf Hidayat and Attahmid, 2020).

A színínger-különbség a színváltozások, kezdeti színértékek és a tényleges színkoordináták közötti távolságvektor modulusaként mérhető (Pathare et al., 2013).

$$\Delta E_{ab}^* = \sqrt{(L_A^* - L_R^*)^2 + (a_A^* - a_R^*)^2 + (b_A^* - b_R^*)^2} \quad [8. \text{ egyenlet}]$$

A színínger különbség vizsgálatánál arra a kérdésre keressük a választ, hogy milyen kapcsolat van a vizuális érzékelés és a ΔE_{ab}^* értéke között. A 13. táblázatba foglalt tolerancia határokat alkalmazzák a leggyakrabban a vizuális érzékelés és a színkülönbség kapcsolatának felállítására (Lukács és Cser, 1982).

13. táblázat: Az emberi szemmel érzékelhető színkülönbségek

ΔE_{ab}^*	Szemmel érzékelhető eltérés
$\Delta E_{ab}^* \leq 0,5$	Nem érzékelhető
$0,5 < \Delta E_{ab}^* \leq 1,5$	Alig észrevehető.
$1,5 < \Delta E_{ab}^* \leq 3,0$	Észrevehető.
$3,0 < \Delta E_{ab}^* \leq 6,0$	Jól látható
$6,0 < \Delta E_{ab}^*$	Nagy.

A CIELAB króma (C^*) a telítettség jellemzője (8. ábra), a színpontnak az L^* tengelytől való távolsága (Hunt and Pointer, 2011), valamint színezettség mennyiségi jellemzője. Számolása az 9. egyenlet alapján kivitelezhető.

$$C_{ab}^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad [9. \text{ egyenlet}]$$

A műszert a mérések megkezdése előtt a műszerhez tartozó fehér etalon segítségével kalibráltam, majd a minták színét Petri-csészébe öntve mértem. Minden minta esetében 3 párhuzamos mérést végeztem.

4.6.2. A minták reológiai tulajdonságainak vizsgálata rotációs reométerrel

A HHP kezelt minták reológiai viselkedésének feltérképezésére az MCR 92 (Anton-Paar, France) típusú reométert (9. ábra) használtam rotációs módban. A minták változó sebességű nyírófeszültség mellett mutatott tulajdonságainak meghatározása koncentrikus cylinder (CC27-SN16145) mérőrendszerrel történt, amelynek paramétereit a 14. táblázat mutatja. A műszer vezérlésére ezáltal a görbék felvételére az Anton Paar RheoCompass szoftvert használtam. A méréseket minden minta esetében háromszor végeztem el 20 °C-on.



9. ábra: MCR 92 típusú reométer
(Forrás: <https://www.anton-paar.com/>)

14. táblázat: MÉRŐRENDSZER PARAMÉTEREI

Edény átmérő	28,92 mm
Belső henger átmérő	26,651 mm
Henger magassága	40,003 mm
Aktív magasság	120,2 mm
Pozicionálási magasság	72,5 mm

A nyírófeszültség elemzését 1000 és 1 s⁻¹ között csökkenő nyírási sebesség mellett végeztem, ahol 31 adatot rögzítettem. A mért eredmények felhasználásával a nyírási sebesség függvényében ábrázoltam a nyírófeszültséget. A minták reológiai tulajdonságainak leírására a Herschel-Bulkley modellt (10. egyenlet)(Magnon and Cayeux, 2021; Penna et al., 2001) alkalmaztam.

$$\tau = \tau_0 + K\gamma^n \quad [10. \text{ egyenlet}]$$

τ : nyírófeszültség (Pa)

τ_0 : folyáshatár (Pa)

K: konzisztencia koefficiens (Pa·sⁿ)

γ : nyírási sebesség (s⁻¹)

n: folyásindex (dimenzió nélküli)

A modell illesztéséhez a mért és számolt nyírási sebességek különbségének a négyzetösszegét minimalizáltam majd közelítettem egymáshoz a Microsoft Excel 365 Solver bővítmény segítségével. A változtatható értékek a τ_0 , K és az n. A modell illesztés megfelelőségét a determináció együttható (R²) értékének a figyelembevételével adtam meg.

4.6.3. Fehérjék vizsgálata SDS-poliakrilamid gélelektroforézis (SDS-PAGE) módszerével

A nátrium-dodecil-szulfát–poliakrilamid gélelektroforézis módszer, amely Laemmli U.K. (1970) nevéhez köthető, lehetővé teszi a molekulák méret szerinti elválasztását. Ezen szeparáció végrehajtását a Bio-Rad készüléken (Bio-Rad mini Protein Tetra System, Bio-Rad, USA) végeztem. A gélöntést két lépésben hajtottam végre. Először a 15 %-os akrilamid (15. táblázat) főgél készítem el, melyet etil-alkohollal fedtem le a buborékok képződésének megakadályozása érdekében és 50 percig hagytam szilárdulni. Az alkohol eltávolítását követően pipetta segítségével vittem fel a 6%-os akrilamid gyűjtőgél (16. táblázat), melybe a zsebeket belehelyezve 20 percig vártam a gél megszilárdulását. A géleket felhasználásig hűtőszekrényben 4 °C-on tároltam. A gél elkészítéséhez használt vegyszereket a Bio-Rad Magyarország Kft.-től szereztem be.

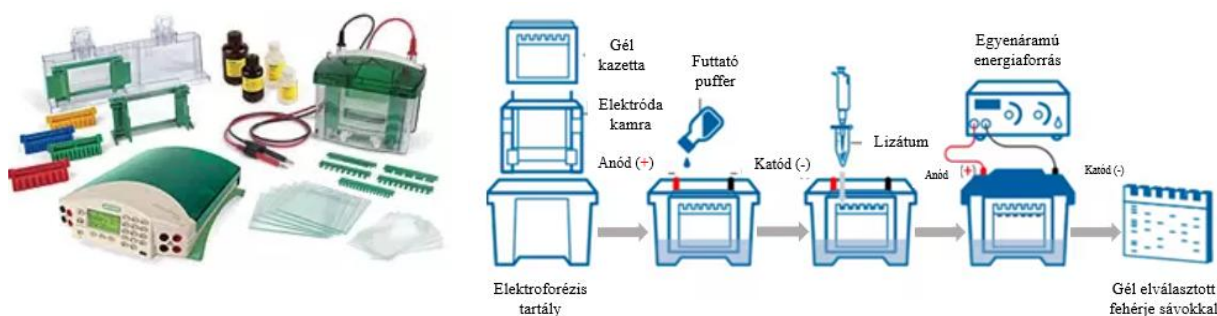
15. táblázat: A főgél összetétele

15 %-os főgél	
30%-os akrilamid oldat (29:1)	6 ml
2 M-os Tris-HCl puffer, pH: 8,8	2,7 ml
10 %-os SDS oldat	75 µl
Desztillált víz	3,09 ml
TEMED	9 µl
10 %-os APS oldat	75 µl

16. táblázat: A gyűjtőgél összetétele

6%-os gyűjtőgél	
30%-os akrilamid oldat (29:1)	0,75 ml
0,5 M-os Tris-HCl puffer, pH: 6,8	495 µl
10 %-os SDS oldat	42 µl
Desztillált víz	2,4 ml
TEMED	5 µl
10 %-os APS oldat	38 µl

A mintákat (5 µl) 150 µl Laemmli mintaoldóval (2×Laemmli sample buffer and 2-mercaptoethanol, Bio-Rad, USA) hígítottam és vortex kémcsőrázó készülék segítségével elegyítettem. Ezt követően 2 percig forraltam a hígított mintákat, majd hagytam kihűlni.

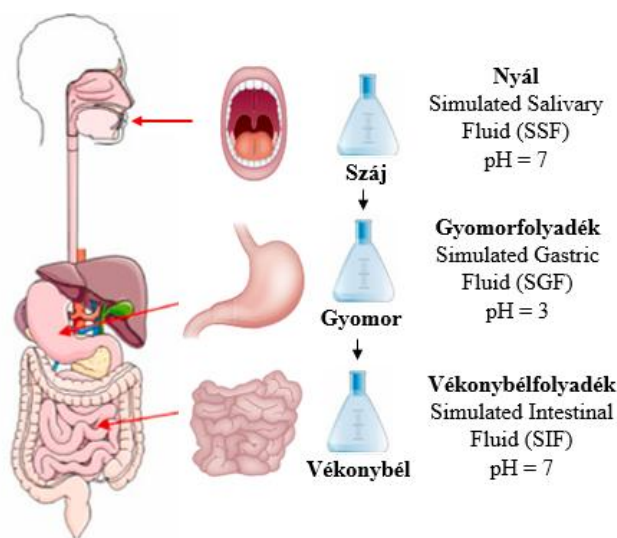


10. ábra: Bio-Rad Mini-PROTEAN Tetra vertikális elektroforézis rendszer és a gélelektroforézis sematikus ábrája (Forrás: <https://www.bio-rad.com/>; <https://www.novusbio.com/>)

A gél futtatáshoz előkészítettem a szükséges oldatokat. A géleket belehelyeztem a futtató kádba, a zsebeket eltávolítottam és jelölő festékkel (futtató puffer és brómfenolkék keveréke) töltöttem fel a zsebek helyeit. Az alkalmazott molekulatömeg standard a Precision Plus Protein Standards All Blue (Bio-Rad, USA), melynek molekulatartomány 250-10 kDa közötti. Az első zsebbe 7 µl molekulatömeg standard-et vittem fel a gélre, míg a mintákból 4 µl-t. A futtató puffer összetétele 1000 ml-ben a következő volt – 3,03 g tris, 14,4 g glicin és 1 g SDS. Az elektroforetikus elválasztást 200 V-on, 45 mA-, 12 W-on végeztem 45 percig. Következő lépésben a gélek fixálása történt 20 percen keresztül 20 %-os TCA felhasználásával. A gélek mosása 30 percet vett igénybe a PAGE mosóval, melynek összetétele 850 ml desztillált víz, 50 ml ecetsav, 100 ml etanol. Ezt követte a 15 perces gélfestés 0,2 %-os Coomassie Brilliant Blue (R250, Bio-Rad) alkalmazásával. A felesleges festéket 10%-os ecetsavval távolítottam úgy, hogy a géleken 10 perc után háromszor cseréltem le az ecetsavat és egy éjszakán keresztül laboratóriumi rázógépen hagytam, majd reggel desztillált vizet öntöttem rá a gél kiszáradásának megakadályozása érdekében. A futtatott gélek beolvasása a Gel Doc XR+ System (Bio-Rad, USA) berendezés és a Quantity One program segítségével valósult meg, míg a gélképek kiértékelésére az Image Lab 6.1 programot használtam.

4.6.4. *In vitro* emésztési modellkísérlet

Az *in vitro* emésztési kísérletet Minekus és munkatársai (2014) által kidolgozott módszer szerint végeztem. Szimulált emésztőnedveket használtam az emésztés során, melyek a következők voltak: nyál (SSF, Simulated Salivary Fluid), gyomorfoliadék (SGF, Simulated Gastric Fluid) és vékonybélfoliadék (SIF, Simulated Intestinal Fluid) (11. ábra).



11. ábra: Az emberi gyomor-bélrendszert reprezentáló szimulált száj-, gyomor- és vékonybél-fázisok.

Forrás: Saját szerkesztés (Tan et al., 2022; Zhou et al., 2023) nyomán

Az emésztőnedvek a tápcsatorna ezen szakaszaira jellemző megfelelő mennyiségű és arányú elektrolit oldatot (M3 melléklet), emésztő enzimeket, 0,3 M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -t és vizet tartalmaztak (M4 melléklet).

4.6.4.1. Emésztőenzim aktivitások és epesav koncentráció meghatározása az emésztési fázisok végtérfogatában

A harmonizált emésztési protokollal összhangban az enzimek aktivitását az emberi szervezetben feltételezett fiziológiás körülményeknek megfelelően állítottam be. Minekus és társai (2014) protokollja szerint a nyálban lévő alfa-amiláz enzim elhagyható, ha a vizsgálat célja kizárólag a fehérjék emésztése. Mivel a mintáim esetében is a fehérje-bontáson volt a fókusz (a szájban történő szénhidrátbontásnak pedig nem volt nagy jelentősége), így a szájfoliadékot (SSF) enzimmentesen (helyette desztillált víz) alkalmaztam. A gyomor fázisban pepszint (Sigma-Aldrich, Germany, P7012) használtam, melynek aktivitását a szimulált gyomorfoliadék végső térfogatában 2000 U/ml-re állítottam be. A vékonybél fázisban pankreatint (Sigma-Aldrich, Germany, P7545) használtam, melynek aktivitását a pankreatin enzimmészletében lévő tripszin enzim aktivitása szerint 100 TAME U/ml -re számoltam a szimulált vékonybélfoliadék végső térfogatában. A vékonybélfoliadék epe kivonatot (Sigma-Aldrich, Germany, B8631) is tartalmazott: 10 mM koncentrációban.

4.6.4.2. 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 megmérni. A felhasznált pepszin és pankreatin aktivitása Anson (1938) és (Hummel (1959) módszere alapján került meghatározásra. A pepszin esetében 1124,7 U/mg, a pankreatin esetében 5,08 U/mg aktivitást mértem. Az epesav koncentrációját a Bile Acids Enzymatic Cycling Kittel mértem le (Dialab, 903120), mely 2.05 mM/mg volt.

4.6.4.3. Az *in vitro* emésztés folyamatának lépései

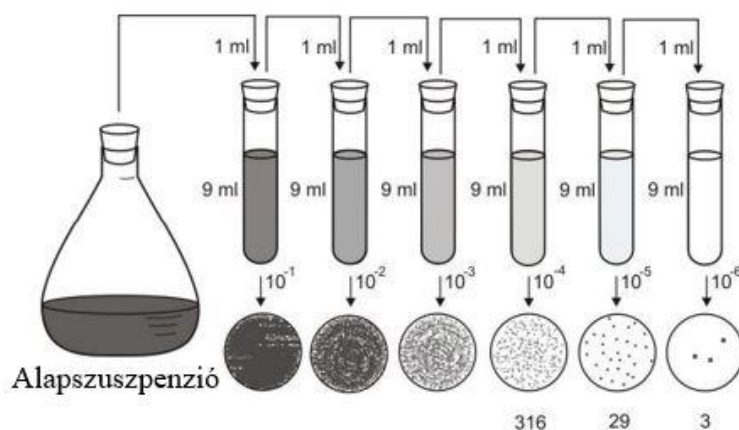
Az emésztetni kívánt minták kiindulási mennyisége 1 g volt. Az adott vizsgálati mintáknak megfelelő fázis pH értékeket minden esetben pH tesztmérésekkel állítottam be (3 párhuzamos méréssel). A pH beállítása (5M HCl / 5M NaOH-víz mennyiségének meghatározása) az enzimek jelenléte nélkül (helyette desztillált víz) történt, hogy az *in vitro* emésztésnél már azonnal hozzáadható legyen (előre ismert legyen) a szükséges mennyiség. Ezt nevezem pH tesztmérésnek. Emésztési fázisonként haladva az emésztmény és a mesterséges emésztőnedv aránya mindig 50:50 w/v% volt. Ennek megfelelően az emésztetni kívánt 1 g mintához 1 ml mesterséges nyálat adtam, ami így együtt 2 ml szájfázis térfogatnak felelt meg (2 perc, 37°C, kevertetés). A szimulált gyomorfázis előállítása esetében a szájfázis ismételésre került, majd ezt követően ehhez 2 ml gyomorfolyadékot adtam, kialakítva így a 4 ml gyomorfázis végtérfogatot. A gyomorfázisban történő emésztést 37°C-on 2 órán keresztül végeztem, kevertetés mellett. A szimulált vékonybélfázis előállítása esetében a gyomorfázis előállítása ismételésre került, majd ehhez 4 ml szimulált vékonybélfolyadékot adtam, így kialakítva a 8 ml végső térfogat. A gyomor fázishoz hasonlóan a vékonybélben történő emésztést is 2 órán keresztül 37°C-on végeztem rázótermosztátban. Az enzimes reakciót minden esetben azonnali -70°C-ra való hűtéssel állítottam le. Az emésztett minták esetében az emésztés hatékonyságát SDS-PAGE gélelektroforézissel a 4.6.3. fejezetben leírt módszer szerint értékeltem.

Itt szeretném azonban megjegyezni, hogy a módszer összetettsége, valamint a minták nehezen kezelhetősége (liofilizálásnál nagyon felhaboztak) miatt nem minden nyomásértéken kezelt mintán tudtam elvégezni az emészthetőségi vizsgálatot. Kiválasztottam a kontroll, 450 MPa és a 600 MPa-on nyomáskezelt mintákat, így a mintamátrix elejéről, közepéről, végéről is információhoz jutottam a változás mértékével kapcsolatban, valamint, a nyomáskezelés hatása is nyomon követhető volt.

4.6.5. A minták mezofil aerob mikroba számának meghatározása lemezöntéssel – tárolási kísérlet

Az összes csíraszám meghatározásához a HHP kezelést követően 44 napos (~1,5 hónap) tárolási kísérletnek vettem alá a mintákat és a mérésig 4-6 °C-on tároltam azokat. A mintavételi időpontok az alábbiak voltak: 0., 7., 14., 24., 34. és 44. nap. Ennek oka, hogy a szakirodalmi adatok alapján a kisebb nyomásértékeken a friss italok (pl. gyümölcslevek) eltarthatósági ideje 2-4 héttel növelhető, míg a nagyobb nyomásértékeken (600 MPa felett) 2 - 4 hónapra is tehető ez az idő.

A vizsgálandó mintákból alapszuszpenziót, illetve tizedelő (decimális) hígítási sort készítettem (12. ábra). Steril pipettával a legnagyobb hígítás felől indulva 1 ml mennyiségeket mértem a Petri-csészékbe három párhuzamban ismételve. Ezt követően a sterilizált, 45 °C-ra visszahűtött TGE általános telepszámláló agarból 15 ml-t töltöttem minden Petri-csészébe, majd óvatos körkörös mozdattal kevertem el az inokulumot a táptalajban és hagytam megszilárdulni. A mikrobák kitenyésztéséhez a szilárd táptalaj és inokulum keveréket felfordított állapotban 24 óráig 37 °C-on inkubáltam, majd telepszámláló segítségével megszámoltam a kinőtt telepeket.



12. ábra: Lemezöntéses hígítási eljárás sematikus ábrázolása
Kohwzan és társai (2011) nyomán

A mikrobiológiai eredmények kiértékelése során 10-es alapú logaritmizált formában jelenítettem meg a mikrobaszámokat az idő függvényében. A tárolási kísérlet során a mikrobapopulációk növekedése egy lineáris regressziós egyenlet segítségével modellezhetőek. A megfigyelt adatok felhasználhatóak egy $y = mx + b$ formájú regressziós modell illesztésére, ahol a meredekség (m) a mikroorganizmusok növekedési ütemének felel meg, míg a b állandó az y tengely metszetét adja meg. A kapott R^2 érték az illesztett regressziós modell megfelelőségéről nyújt tanúbizonyságot (Badpa and Ahmad, 2015; Deák Tibor et al., 2006; Maćkiw et al., 2024).

4.7. Statisztikai értékelés

A statisztikai analízist egytényezős variancianalízis (ANOVA) alkalmazásával végeztem el, a térfogatsűrűség, rehidratációs tulajdonságok, szín, reológia és mikrobiológia mérési sorozataiban IBM Statistics 22 szoftverrel 5%-os szignifikancia szinten ($p < 0,05$). A hibatagok normalitását Kolmogorov-Smirnov tesztel, a szóráshomogenitást pedig Levene's tesztel ellenőriztem. Szignifikáns ANOVA esetén a különböző csoportok elkülönítésére a szóráshomogenitás feltételének teljesülésekor Tukey HSD tesztet alkalmaztam. Amennyiben a szóráshomogenitás nem teljesült, Games-Howell tesztet hajtottam végre. A statisztikai analízisnek alávetett adatsorok közlésénél a különböző kisbetűk (a, b, c, d, e, f, g) szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$).

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Portermékeken végzett mérések eredményei

5.1.1. Ömlesztett és tömörített térfogatsűrűség vizsgálata

A porminták kedvező áramlási tulajdonságai kulcsfontosságúak az ipari alkalmazásokban a pontos adagoláshoz és zökkenőmentes feldolgozáshoz, javítva ezzel a termékminőséget és csökkentve az állásidőt. A folyási képesség az egyik alapvető tulajdonság, amely meghatározza a porlasztva szárított por áramlási képességét, melyet a szemcseméret, szemcseméret-eloszlás, nedvességtartalom, a higroszkópos jelleg és a feldolgozási hőmérséklet változásai befolyásolhatnak (Seth et al., 2017; Wang et al., 2015). A minták áramlási tulajdonságait a Hausner-arány és a Carr-index kiszámításával értékeltem az ömlesztett és tömörített térfogatsűrűség alapján (17. táblázat). Széles körben elismert tény, hogy minél kisebb az alkotórész összenyomhatósága, annál nagyobb a folyóképessége és fordítva. Általában az ideális értékek 15% vagy az alattiak. A 25%-os vagy afeletti tömöríthetőségi index értékek a rossz áramlást tükrözik (Moravkar et al., 2022).

17. táblázat: A minták ömlesztett és tömörített térfogatsűrűsége, valamint folyási képességét meghatározó mutatói. Az adatok átlag $\pm$ szórás formájában kerültek bemutatásra ($n=3$).

Minta	Ömlesztett térfogatsűrűség (g/cm ³)	Tömörített térfogatsűrűség (g/cm ³)	Hausner-arány	Carr-index (%)	Áramlási karakter
VP	0,334 $\pm$ 0,001 _a	0,424 $\pm$ 0,002 _a	1,27 $\pm$ 0,011 _a	21 $\pm$ 0,704 _a	Tűrhető
HG	0,544 $\pm$ 0,006 _b	0,629 $\pm$ 0,006 _b	1,16 $\pm$ 0,011 _b	14 $\pm$ 0,828 _b	Jó
TV	0,520 $\pm$ 0,002 _c	0,655 $\pm$ 0,003 _c	1,26 $\pm$ 0,009 _a	21 $\pm$ 0,547 _a	Tűrhető
TF	0,307 $\pm$ 0,006 _d	0,421 $\pm$ 0,004 _a	1,37 $\pm$ 0,016 _c	27 $\pm$ 0,852 _c	Rossz
TT	0,237 $\pm$ 0,003 _e	0,402 $\pm$ 0,002 _d	1,69 $\pm$ 0,014 _d	41 $\pm$ 0,477 _d	Rendkívül rossz
TS	0,287 $\pm$ 0,005 _f	0,382 $\pm$ 0,004 _e	1,33 $\pm$ 0,015 _e	25 $\pm$ 0,858 _e	Tűrhető

a, b, c, d, e, f A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül ($p < 0,05$)

A 17. táblázat alapján elmondható, hogy az általam vizsgált minden minta esetében szignifikáns különbség figyelhető meg az ömlesztett térfogatsűrűség tekintetében, míg a tömörített térfogatsűrűséget illetően a vérplazma és a tojásfehérjapor nem különbözik szignifikánsan egymástól. A megnövekedett térfogatsűrűség csökkenti a tároláshoz szükséges konténerek méretét, ami költséghatékonyabb és könnyebben szállítható terméket eredményez. Továbbá a nagyobb térfogatsűrűség csökkenti a pórusokban rekedt oxigén mennyiségét is, ami bizonyos mértékig megakadályozhatja az oxidációt a tárolás során (Koç et al., 2011). A tömöríthetőségi index értelmében, mely az erő és a stabilitás mértéke, elmondható, hogy a vérporok bizonyultak a legstabilabbnak, vagyis ezek folyékonysága jobb volt a többi mintához képest. A Hausner-arány esetében is a tojásporok mutatják a legnagyobb értékeket. Vélhetően ezen mintákban volt

a legnagyobb kohéziós erő a részecskék között, valamint ezen minták rendelkeztek a legnagyobb nedvesség tartalommal is, melyek egyaránt befolyásolták a folyékonyságot. Adewale és Aanuoluwa (2024) szárított tojásporokat vizsgáltak, ahol a tojásfehérjére számított Carr-index értékére hasonló mérési eredményeket kaptak (24%), azonban a teljes tojás összenyomhatósági indexe (7%) különbözött az általam mért eredménytől. Az áramlási tulajdonságokat megfigyelve a vérporok bizonyultak a legjobbaknak, folyékonyabbak voltak a többi mintával szemben. Ennek magyarázata lehet, hogy hem vasat tartalmaznak így a molekulák között felléphetett egy olyan mágneses taszító erő, amely nem az összetapadást, hanem a szabad áramlást segítette elő. A tejsavófehérje-izolátum esetében a Hausner- arány alapján közép kategóriába (túrhető) volt besorolható. Ezen eredmény megerősíti, hogy a nagy fehérjetartalom és a kis laktóztartalom a tejporokban hozzájárul az erős intermolekuláris kölcsönhatásokhoz és fokozza a folyóképességet meghatározó kohéziós erőket (Moravkar et al., 2020).

5.1.2. Rehidratációs tulajdonságok mérési eredményei

5.1.2.1. Nedvesíthetőség, diszpergálhatóság és oldhatóság vizsgálata

A 18. táblázatban láthatóak a portermékek rehidratációs tulajdonságait meghatározó paramétereinek mérési eredményei.

18. táblázat: A minták nedvesíthetősége 60 percet követően, valamint diszpergálhatóságának és oldhatóságának eredményei. Az adatok átlag $\pm$ szórás formájában kerültek bemutatásra ($n=3$)

Minta	0. perc	60. perc	Nedvesíthetőség (%)	Diszpergálhatóság (%)	Oldhatóság (%)
VP			$45 \pm 0,503_a$	$80 \pm 0,964_a$	$81 \pm 0,333_a$
HG			$53 \pm 0,115_b$	$83 \pm 1,406_a$	$86 \pm 0,323_b$
TV			$55 \pm 0,902_c$	$89 \pm 1,589_b$	$89 \pm 0,361_b$
TF			$71 \pm 0,702_d$	$73 \pm 2,316_c$	$96 \pm 0,323_c$
TT			$78 \pm 0,400_e$	$77 \pm 2,179_d$	$74 \pm 0,292_d$
TS			$100 \pm 0,000_f$	$94 \pm 1,666_e$	$98 \pm 0,418_e$

a, b, c, d, e, f A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül ($p < 0,05$)

Az ömlesztett pornak azt a képességét, hogy a kapilláris erők hatására a folyadék behatol az ömlesztett porba, nedvesíthetőségnek nevezzük (Hogekamp and Schubert, 2003). A 18. táblázatban látható, hogy a tejsavófehérje-izolátum rendelkezett a legjobb rehidratációs

tulajdonságokkal és minden paraméter tekintetében szignifikánsan különbözött a többi mintától. Ezen minta teljes átnedvesedéséhez 160 másodperc volt szükséges. A többi minta esetében a porrészecskék a víz felszínén lebegtek és 60 perc elteltével sem süllyedtek teljesen a felszín alá. Ezen minták esetében a hidrofób részek aránya nagyobb lehetett és a por/víz határfelületen egy át nem eresztő réteg képződött. Nascimento és társai (2021) szerint a finom részecskék behatolhatnak a nagy részecskék közötti terekbe és tömörebb porokat eredményeznek. Ezek a kompakt részecskék nem engedik, hogy a víz behatoljon a részecskék belsejébe, amelyek csomókat képezhetnek és lebeghetnek a víz felszínén.

A diszpergálhatóság azt jelenti, hogy a por milyen könnyen oszlik el egyetlen részecskeként egy folyékony fázisban (Eliasson et al., 2019). Miután az agglomerált részecskék megnedvesedtek és lesüllyedtek, azonnal el kell kezdeni az egyes részecskék egyenletes diszpergálását, ezáltal elősegítve az agglomerátumok megszűnését. Ezen paraméter tekintetében is a tejsavófehérjeizolátum mutatta a legnagyobb értéket, míg a tojásporok (fehérje, teljes tojás) pedig a legkisebbet. A vérplazma por és a hemoglobin por között a diszpergálhatóság tekintetében nincs szignifikáns különbség. Liu és társai (2022) szerint a diszpergálhatóság összhangban van a nedvesíthetőség trendjével. Az én mintáim esetében ez a megállapítás nem volt igaz, ugyanis kisebb nedvesíthetőséget mutattak a vérporok, szemben a tojásporokkal, azonban a diszpergálhatóságnál már nagyobb értékeket mértem a vérporok esetében a tojásporokhoz viszonyítva. Mivel a fehérjepor diszpergálhatóságát általában a fehérjemolekulák konformációs változásai és elektrosztatikus kölcsönhatásai befolyásolják (Wang et al., 2023) így elképzelhető, hogy a vérporokban elektrosztatikus taszítás léphetett fel a molekulák között, ezzel akadályozva aggregációjukat, melyek elősegítették azok vízben való jobb diszpergálhatóságát. Seth és társai (2017) porlasztva szárított édesített joghurtpor rehidratációs tulajdonságait vizsgálták 20 különböző szárítási körülmény között. A minták nedvesíthetőségi, diszpergálhatósági és oldhatósági tulajdonságait vizsgálták. Ezen minták esetében például a diszpergálhatósági mutatók 70 és 88% között változtak. Ez arra enged következtetni, hogy a porlasztva szárítás körülményei jelentősen befolyásolják az adott minta rekonstitúciós tulajdonságait.

A portermékek fontos funkcionális tulajdonsága az oldhatóság. Közvetlenül befolyásolja a termelési költségeket és a késztermék minőségét (Felfoul et al., 2021). A legtöbb esetben az élelmiszerpornak jó oldhatóságot kell biztosítania ahhoz, hogy hatékonyan felhasználható legyen (Morr et al., 1985). A fehérje oldhatóságának mértéke vizes közegben a fehérjemolekulák közötti elektrosztatikus és hidrofób kölcsönhatások eredménye. Az oldhatóság akkor növekszik, ha a molekulák közötti elektrosztatikus taszítás nagyobb, mint a hidrofób kölcsönhatások. A fehérjék oldhatóságát a taszító és a vonzó intermolekuláris erők közötti érzékeny egyensúly befolyásolja és a fehérjék akkor oldódnak, ha a fehérjék közötti elektrosztatikus taszítás nagyobb, mint a

hidrofób kölcsönhatások (Zayas, 1997). Látható a 18. táblázatban, hogy a tejsavófehérje-izolátum és a tojásfehérje minták rendelkeztek a legjobb oldhatósággal, azonban a vérpor minták is 80 % feletti oldhatóságot mutattak. A legkisebb oldhatósági értéket a teljes tojáspor esetében kaptam. Ennek oka az lehet, hogy ezen mintának a legnagyobb a zsírtartalma, így nagyobb a minta vízzel nem elegyedő része, azonban emulgeálószer hozzáadásával elősegíthető a hatékonyabb oldódás. Az oldhatóság esetében is szignifikáns különbség figyelhető meg a különböző minták között, kivéve a hemoglobin port és a teljes vérport, ugyanis ezen minták közötti különbség nem szignifikáns.

5.1.3. Aminosav – analízis mérési eredményei

5.1.3.1. A különböző porminták fehérjetartalma

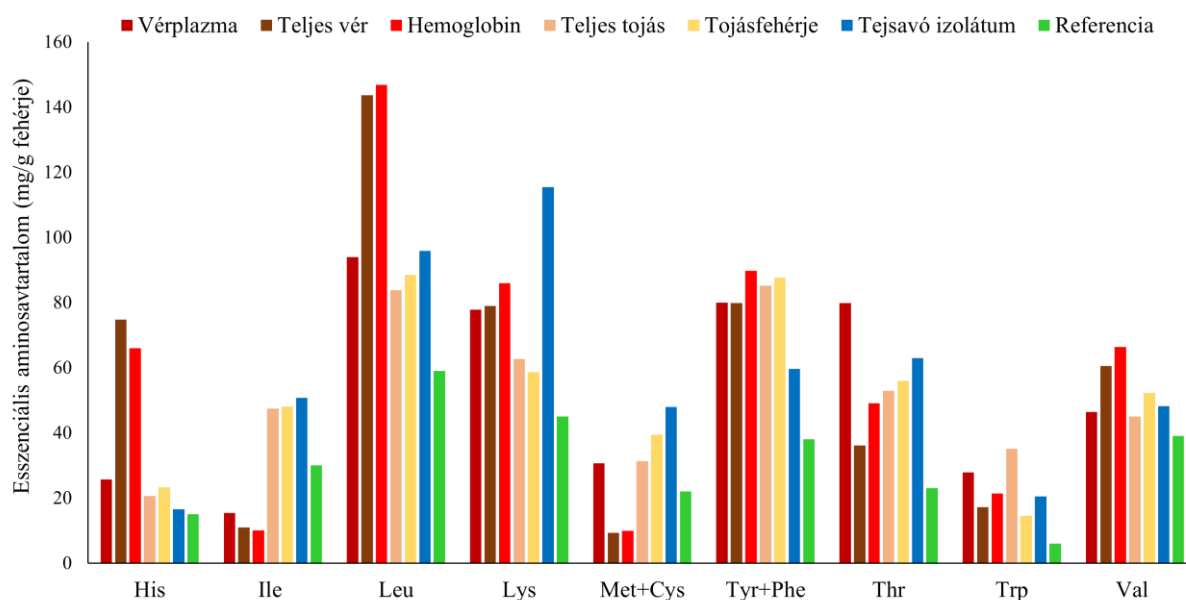
A 19. táblázatban látható a különböző állati eredetű porminták fehérjetartalma. A mérési eredmények közül a triptofánra megadott érték szakirodalmi forrásokból származik (Heine et al., 1991; Kremenevskaya et al., 2019; Lynch et al., 2017; USDA, 2023), ugyanis a savas hidrolízis során a triptofán indolcsoportja elbomlott és nem kaptam eredményt ezen aminosavra.

A 19. táblázatban látható, hogy az összes minta nagy fehérjetartalommal rendelkezik és a minták aminosav mintázata is figyelemre méltó. Legkisebb fehérjetartalommal a teljes tojáspor rendelkezik. A legnagyobb esszenciális aminosav tartalma a hemoglobinnak van, ugyanis ezen fehérje kiemelkedő leucin tartalmat mutat, amely egyike a három elágazó láncú aminosavnak. Ez azért is fontos, mert a leucin egy erős antikatabolikus vegyület és a fehérje anyagcsere szabályozója. A leucin eredményesen alkalmazható az izomsorvadás megelőzésére, amely béta-hidroxi-béta-metil-vajsavvá (HMB) való átalakulásával érhető el. Ez azt jelenti, hogy az atrofias állapotok izomvesztése visszafordítható leucin pótlással (Yoshinari and Moriyama, 2019), így akár nagy hemoglobin tartalmú étellel vagy itallal. Látható továbbá, hogy az esszenciális és nem esszenciális aminosavak aránya a teljes vérpornál, hemoglobinnál és a tejsavófehérje-izolátumnál 1 feletti értéket mutat, ami azt jelenti, hogy ezen mintákban nagyobb számban fordulnak elő a különböző esszenciális aminosavak a nem esszenciális aminosavakhoz képest. Azonban fontosnak tartom megjegyezni, hogy az esszenciális és nem esszenciális aminosavak optimális aránya az egyénenként eltérő fiziológiai szükségletektől függő egyensúlyt igényel. Az aminosavak optimális arányának megtalálása a teljes parenterális táplálásban máj- vagy vesebetegség esetén kiváló példa arra, hogy a különböző fiziológiai állapotok eltérő tápanyagbevitelt igényelnek. Ezért az esszenciális és nem esszenciális aminosav arány kifejezés félrevezető lehet, mivel az optimális egészség biztosításához minden aminosavra szükség lehet (Lopez and Mohiuddin, 2023).

19. táblázat: A különböző állati eredetű porminták aminosav összetétele és fehérjetartalma

EAA (mg/g minta)	VP	TV	HG	TT	TF	TS
His	17,66	65,56	61,59	9,78	20,08	15,38
Ile	10,56	9,57	9,37	22,58	41,41	47,12
Leu	64,53	126,07	137,11	39,87	76,29	89,12
Lys	53,41	69,24	80,28	29,86	50,49	107,37
Thr	54,84	31,66	45,82	25,19	48,24	58,51
Trp	19,10	15,00	20,00	16,70	12,50	19,00
Val	31,87	53,12	62,01	21,45	45,03	44,78
Cys	5,13	3,28	1,78	3,06	3,14	23,91
Met	15,95	4,82	7,51	11,84	30,80	20,65
Tyr	25,14	17,03	21,25	16,40	32,61	26,08
Phe	29,77	53,02	62,61	24,16	42,89	29,34
Összes EAA (mg/g minta)	327,96	448,37	509,34	220,89	403,48	481,25
NEAA (mg/g minta)	VP	TV	HG	TT	TF	TS
Asp	64,24	105,26	94,57	45,78	82,68	92,16
Ser	44,89	41,31	50,12	31,15	58,88	42,64
Glu	113,03	92,01	86,61	71,27	132,03	173,44
Pro	32,35	21,20	26,39	8,85	19,26	46,95
Gly	25,59	51,24	50,17	20,97	40,82	18,34
Ala	29,10	67,41	76,90	29,66	49,59	46,73
Cysta	12,87	14,12	5,09	20,10	26,67	2,17
Arg	36,81	36,46	35,03	27,40	48,48	26,09
Összes NEAA (mg/g minta)	358,88	429,01	424,88	255,18	458,40	448,52
EAA/NEAA	0,91	1,05	1,20	0,87	0,88	1,07
Összes fehérje (mg/g minta)	686,84	877,38	934,22	476,07	861,88	929,77
Összes fehérje (%)	69	88	93	48	86	93
Gyártói összes fehérje (%)	70	87	92	45	83	92

A 13. ábrán megfigyelhető, hogy az általam vizsgált minták mindegyike tartalmazza az összes esszenciális aminosavat. A legtöbb esetben az aminosavak mennyisége meghaladja a referencia értéket (FAO, 2013). Ez alól kivétel a vérplazma, hemoglobín és a teljes vérpor izoleucin tartalma, valamint a teljes vérpor és a hemoglobín metionin és cisztein tartalma, melyek együttesen kerülnek meghatározásra, mivel egymásba átalakulhatnak. Ezen aminosavak kiegészítésére tehát célszerű a vérfehérjét gabona alapú termékekkel, zabbal, rizzzel együtt fogyasztani, hiszen ezen élelmiszercsoportok nagy mennyiségben tartalmaznak metionint és izoleucint. Látható, hogy a vérporok, valamint a tejsavófehérje-izolátum is nagy lizin tartalommal rendelkezik, így ezen fehérjék alkalmasak lehetnek a gabona alapú élelmiszerek komplettálására, amelyekben a lizin a limitáló aminosav. Ugyanígy a hüvelyesek hiányos kéntartalmú aminosav komponenseit (metionint és ciszteint) kiegészíthetjük a vérplazma, teljes tojás, tojásfehérje, tejsavó izolátum hozzáadásával, illetve fogyasztásával.



13. ábra: A különböző állati eredetű fehérjeporok esszenciális aminosav tartalma a referencia fehérjéhez viszonyítva (mg/g fehérje)

A minták esszenciális aminosav tartalmának és a referencia fehérje azonos aminosav mennyiségének hányadosából kiszámoltam a különböző minták aminosav értékeit (AAS). Az eredmények a 20. táblázatban láthatók.

20. táblázat: A különböző állati eredetű fehérjeporok aminosav értékei

Esszenciális aminosav	VP	TV	HG	TT	TF	TS
His	1,71	4,98	4,40	1,37	1,55	1,10
Ile	0,51	0,36	0,33	1,58	1,60	1,69
Leu	1,59	2,44	2,49	1,42	1,50	1,62
Lys	1,73	1,75	1,91	1,39	1,30	2,57
Met+Cys	1,39	0,42	0,45	1,42	1,79	2,18
Tyr+Phe	2,10	2,10	2,36	2,24	2,31	1,57
Thr	3,47	1,57	2,13	2,30	2,43	2,74
Trp	4,63	2,85	3,57	5,85	2,42	3,41
Val	1,19	1,55	1,70	1,16	1,34	1,23

Az egynél kisebb érték jelzi (pirossal jelölve), hogy az adott aminosav kisebb mennyiségben van jelen, mint a referencia érték, tehát az adott fehérje nem tekinthető teljes értékű fehérjeforrásnak. Az én mintáim esetében ez azt jelenti, hogy a vérporok nem teljes értékű fehérjék, függetlenül attól, hogy pl. hisztidint négyszer annyi mennyiségben tartalmaz a teljes vérpor, valamint a hemoglobin, mint az szükséges lenne. Az AAS hányadosok nagy értéke egyben mutatja, hogy a termékek nem csak önmagukban fogyasztva biztosítják a szükséges fehérje és esszenciális aminosav bevitelt az emberi szervezet számára, de hozzáadva más élelmiszerekhez- mint ahogy az fentebb említésre is került- kiváló komplettáló hatást érhetünk el velük.

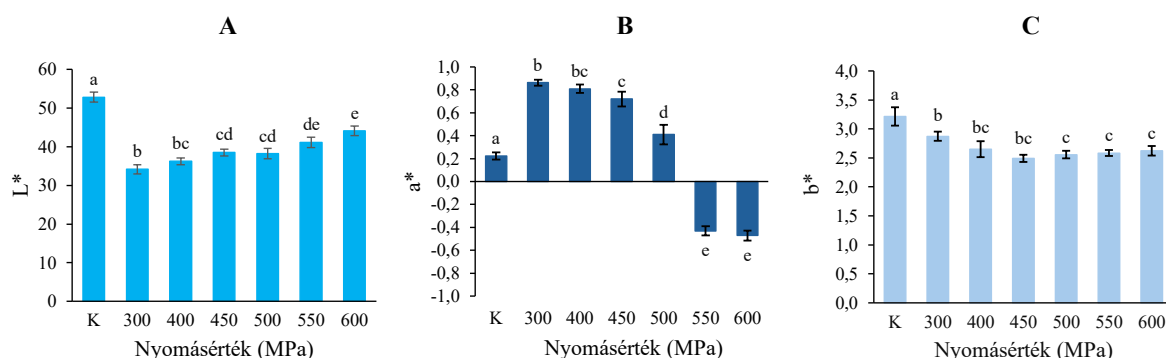
5.2. Nagy hidrosztatikus nyomáskezelte minták vizsgálati eredménye

5.2.1. Színmérés eredményei

5.2.1.1. Vérplazma szuszpenziók színének vizsgálata

Az élelmiszerek megjelenése, amelyet főként a felület színe határoz meg az első minőségi paraméter, amely befolyásolja a fogyasztót az élelmiszer elfogadásában vagy elutasításában (Pathare et al., 2013). Ezen ismert okok miatt tartottam fontosnak a HHP kezelt minták színében bekövetkező változásoknak a vizsgálatát.

A 14. ábra mutatja be, hogy milyen változások következtek be a vérplazma szuszpenziók színtényezőiben a HHP kezelés hatására.



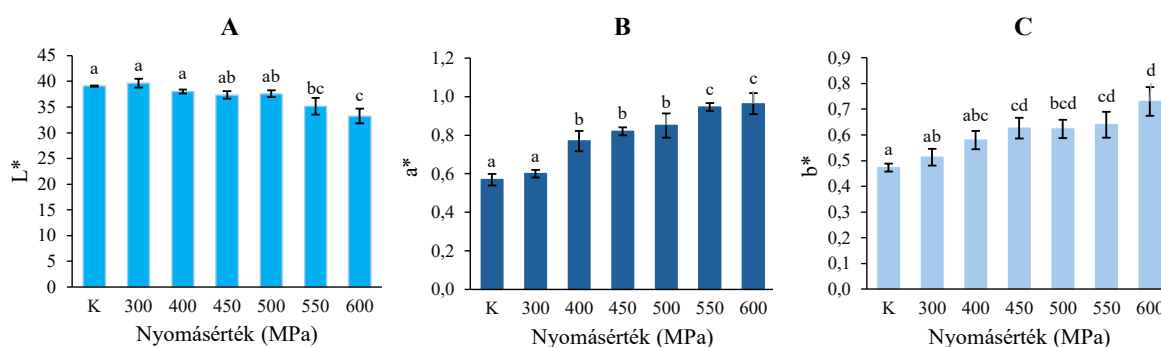
14. ábra: A vérplazma szuszpenzió színtényezői ((A) - L*: világossági tényező; (B) - a*: vörös-zöld színtényező; (C) - b*: sárga-kék színtényező) átlagértékeinek a változása az alkalmazott nyomás függvényében. ^{a, b, c, d, e} A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

Megfigyelhető, hogy a nyomáskezelés alkalmazása szignifikáns változásokat indukált a vérplazma összes színtényezőjének tekintetében. A világossági tényezőt illetően látható (14. ábra (A)), hogy a nyomáskezelés hatására a minták sötétedtek a kontroll mintához képest, azonban a nyomásértékek növelésével enyhén világosodás tapasztalható. Az a* esetében az látható, hogy 300 MPa-on történő kezelés hatására vörösebb szín jellemezte a mintát, amely a növekvő nyomásértékek mellett csökkenő értéket vesznek fel olyannyira, hogy 550 és 600 MPa-on már negatív értéket mutat az a*, vagyis a zöld tónus felé tolódik. A sárga-kék színtényezőt vizsgálva azt tapasztaltam, hogy a kezdetleges sárgásabb szín csökken és a minták színe a nyomásértékek növelésével a kék irányba tolódik, azonban a 450 MPa feletti kezelések között a változás nem szignifikáns. A kontroll minta mind a három színtényező esetében szignifikánsan különbözik az összes többi nyomáskezelte mintától. A minták színtényezőiben bekövetkező változások vélhetően annak tulajdoníthatóak, hogy a szérumalbumin, amely a plazmafehérjék fő összetevője, a nyomáskezelés hatására denaturálódik és aggregálódik, az alkalmazott nyomás nagyságától függően elveszíti másodlagos szerkezetét. Ennek következtében nem csak a funkcionális tulajdonságainak megváltozására (Parés and Ledward, 2001), hanem a színében

bekövetkező változásokra is lehet számítani. A vérplazma esetében a telítettséget meghatározó jellemző (króma) és a ΔEab^* értelmében megállapítható, hogy a nyomás növelésével az értékek csökkennek, azonban minden esetben a vizuálisan érzékelhető különbség a "nagy" tartományba esik (4.6.1 fejezet 13. táblázat). Az összes minta esetében a HHP kezelés hatására bekövetkező színváltozás képi dokumentálását az M6. melléklet tartalmazza, míg a színínger-különbség (ΔEab^*) és króma/telítettség (Cab^*) eredményei az M5. mellékletben találhatóak.

5.2.1.2. Hemoglobin szuszpenziók színének vizsgálata

A 15. ábrán látható a hemoglobin szuszpenziók színtényezőinek alakulása a HHP kezelés során.



15. ábra: A hemoglobin szuszpenzió színtényezői ((A) - L^* : világossági tényező; (B) - a^* : vörös-zöld színtényező; (C) - b^* : sárga-kék színtényező) átlagértékeinek a változása az alkalmazott nyomás függvényében. ^{a, b, c, d} A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

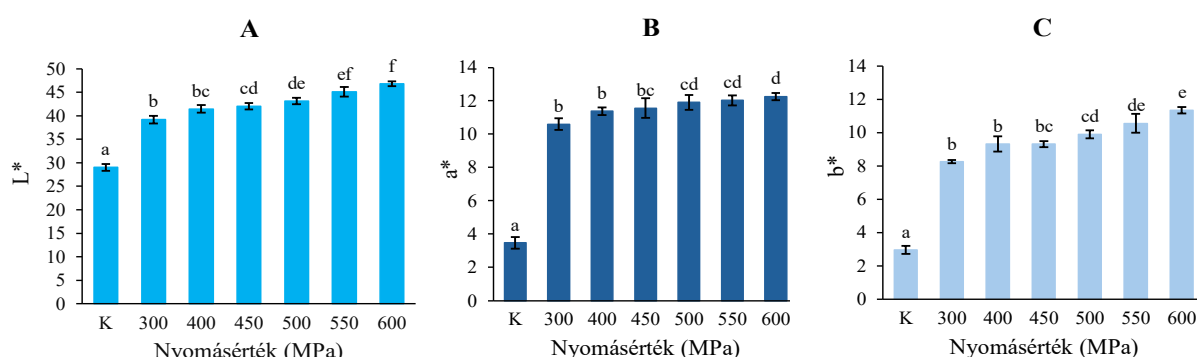
A hemoglobin L^* értékeit (15. ábra (A)) vizsgálva kis mértékű sötétedés figyelhető meg a HHP kezelés hatására. Ez azt jelent, hogy 500 MPa-ig nem történt szignifikáns változás a kontroll mintához képest, ugyanakkor az 550 és 600 MPa-on kezelt minták már szignifikánsan eltérnek a kiindulási kezeletlen mintától. A vörös színtényező (a^*) esetében is szignifikáns változások figyelhetőek meg, az a^* értékei növekedtek, vagyis a vörös színtartomány felé mozdultak. Ez az eredmény ellentmond a Csehi és kollégái (2021) által kapott eredményeknek, akik friss marhavért HHP kezeltek különböző nyomásértékeken (0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 MPa) és az a^* 300 MPa feletti intenzív csökkenését figyelték meg.

A HHP hatása a hemoglobin b^* színparaméterére pozitív irányba történő változást idézett elő, azaz a sárga tónus irányába mozdultak az értékek. Bár nem széles tartományon belül változtak az értékek, a változás mértéke a kontroll mintához képest így is szignifikánsnak mondható a 450 MPa és afeletti nyomásértékeken kezelt minták esetében. Az a^* és b^* színtényező tekintetében kapott eredmények összhangban vannak Toldrà és munkatársai (2002) által kapott eredményekkel. Ők vörösvértestest frakciót (RBC) vizsgáltak (RBC 90%-a hemoglobin) 400, 450, 500 MPa-on és azt tapasztalták, hogy a vörösvértest frakció a kontroll mintához képest vörösebb és sárgább lett a nyomásértékek növelésével. A színtelítettség mértéke is növekedés mutat a különböző nyomásszintek mellett. A színínger különbség eredményei értelmében

elmondható, hogy a 300 és 400 MPa-on kezelt minták az "alig észrevehető", a 450 és 500 MPa-on kezelt minták az "észrevehető", míg az 550 és 600 MPa-on kezelt minták a "jól látható" tartományba esnek.

5.2.1.3. Teljes vér szuszpenziók színének vizsgálata

A teljes vérminták színének vizsgálata során kapott eredményeket a 16. ábra szemlélteti. Látható, hogy jelentősebb különbség figyelhető meg a kontroll és nyomáskezelt minták között.



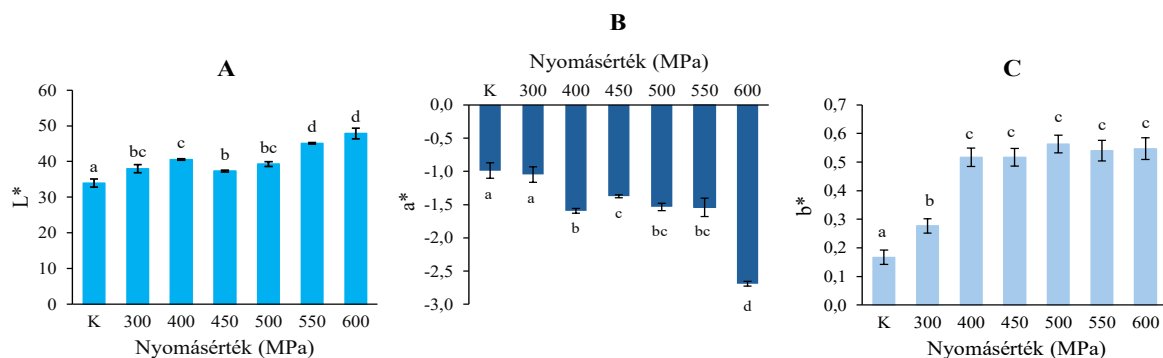
16. ábra: A teljes vér szuszpenzió színtényezői ((A) - L*: világossági tényező; (B) - a*: vörös-zöld színtényező; (C) - b*: sárga-kék színtényező) átlagértékeinek a változása az alkalmazott nyomás függvényében. a, b, c, d, e, f A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

Itt is megállapítható, hogy a HHP kezelés szignifikáns változást idézett elő az L*, a* és b* tekintetében is. A nyomás hatására a minták világosodtak, melynek mértéke a nyomásértékek növelésével fokozatosan emelkedik, vagyis a 600 MPa-on kezelt minta bizonyult a legvilágosabbnak, azonban szignifikánsan nem különbözik az 550 MPa-on kezelt mintától. A vörös színtényező (a*) esetében látható (16. ábra (B)), hogy már a legkisebb nyomásérték is jelentős mértékű, szignifikáns változást okozott. A nyomásértékek növelése azonban kisebb mértékű változást idézett elő a 300 MPa-on kezelt mintához képest. A sárga színtényezőt (b*) illetően is hasonló megállapításra jutottam, mint a vörös színtényező esetében, ugyanis látható, hogy már 300 MPa-on bekövetkezett egy jelentős mértékű változás és ezt követően már kisebb mértékben változtak a teljesvér b* színparaméterei. Összeségében elmondható, hogy 300 MPa-on és ennél nagyobb nyomásértékek hatására már szabad szemmel is érzékelhető színváltozás történt és fehérje agglomerátumok megjelenése tapasztalható.

A króma értelmében megállapítható, hogy a nyomás növelése hatására a minták színe egyre telítettebbé vált, ami nem meglepő, ha megfigyeljük az a* és b* eredményeit, ugyanis a színtelítettség az a*-tól és b*-tól függő változó. A ΔE_{ab^*} esetében minden nyomásértéken a szemmel érzékelhető eltérés a "nagy" kategóriába sorolható.

5.2.1.4. Tojásfehérje szuszpenziók színének vizsgálata

A HHP kezelt tojásfehérje szuszpenziók színtényezőiben jelentkező változásokat a 17. ábra mutatja be. A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés felelős a tojásfehérje denaturációjáért és aggregációjáért (Monfort et al., 2012), amelyek viszont változást okoznak a tojás komponenseinek szerkezetében és színében. A tojásfehérje nyomás alá helyezése során folyékony szerkezetből részleges géllé, majd teljesen denaturált és aggregált terméké vált. Következésképpen változás történik a tojásfehérje színtényezőiben is.



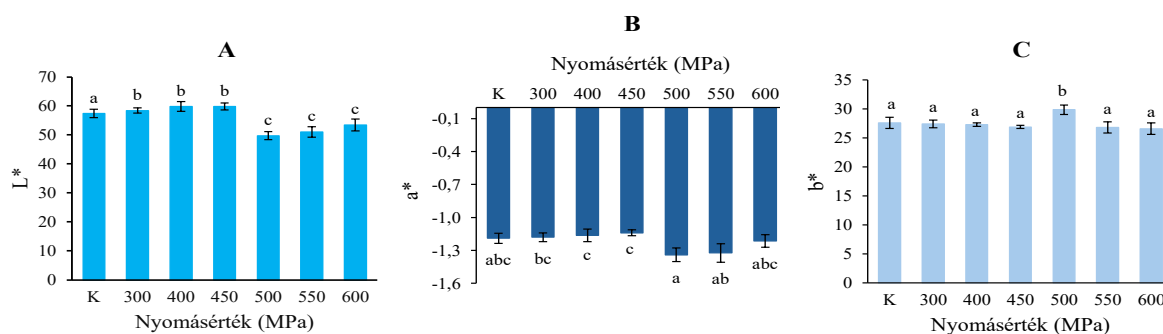
17. ábra: A tojásfehérje szuszpenzió színtényezői ((A) - L*: világossági tényező; (B) - a*: vörös-zöld színtényező; (C) - b*: sárga-kék színtényező) átlagértékeinek a változása az alkalmazott nyomás függvényében. a, b, c, d A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

A világossági tényező (17. ábrán (A)) esetében látható, hogy a tojásfehérje L* értékeiben szignifikáns növekedés tapasztalható, ami a fényerő növekedését jelzi a nyomáskezelés intenzitásának növekedésével. 450 MPa-on enyhe csökkenés tapasztalható az L* értékében. Ennek oka az lehet, hogy a nyomáskezelés hatására ezen a nyomásértéken a fehérje részleges koagulációja következtében a minta gélesedni kezdett, a nagyobb nyomásértékeken pedig kialakult a fehérje gélhálózata, ami a tojásfehérje színének megváltozásához vezetett. Az a* érték csökkenő tendenciát követ a növekvő nyomás nyomásértékeken, ami a zöld árnyalat növekedését jelenti. Ennek ellenére a sárga-kék színparaméter a nyomás intenzitásának emelésével nő, ami a sárga színárnyalat mélyülését jelzi, azonban a 400 MPa feletti nyomásértékeken bekövetkező változás nem szignifikáns. A nagy nyomás befolyásolhatja a szerkezeti integritást és ez befolyásolja a szórt fény természetét és mértékét, valamint a felületi reflexió eloszlását, ami színváltozáshoz vezet (Macdougall, 2010). Singh és Ramaswamy (2015) friss tojásfehérjét kezeltek 350, 450, 550 MPa-on és vizsgálták a nyomáskezelés hatását a minták színtényezőire. A b* és L* esetében hasonló növekvő tendenciát figyeltek meg a HHP intenzitás növelésével, azonban az a* esetében az általam kapott eredményektől eltérően csökkenés volt tapasztalható a frissen kezelt mintájuk esetében. A számolt ΔE_{ab}^* eredményei során arra a megállapításra jutottam, hogy a szemmel érzékelhető eltérés a 300 és 400 MPa-on történt kezelés esetében a "jól látható", míg az összes többi nyomásértéken a "nagy" kategóriába voltak besorolhatók a

minták. Továbbá a króma értékek a minták színtelítettségének fokozódását mutatták a nyomás növelésével.

5.2.1.5. Teljes tojás szuszpenziók színének vizsgálata

A HHP kezelt teljes tojás minták színtényezőiben bekövetkező változások a 18. ábrán láthatóak. A teljes tojás a tojásfehérje és a sárgája kombinációja, így más módon viselkedett, mint a tojásfehérje. A teljes tojás színének megváltozása összefüggésbe hozható mind a tojássárgája, mind az albumin fehérjék denaturálódásával és kibontakozásával a nyomás alatti folyamat során.

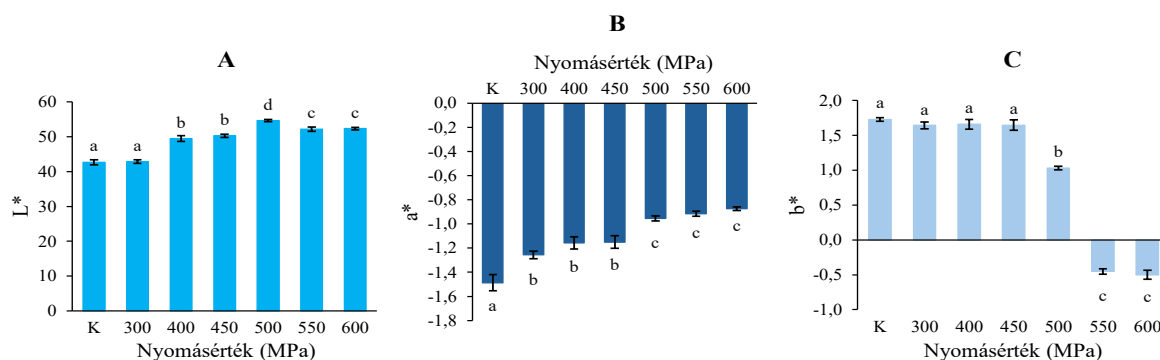


18. ábra: A teljes tojás szuszpenzió színtényezői ((A) - L*: világossági tényező; (B) - a*: vörös-zöld színtényező; (C) - b*: sárga-kék színtényező) átlagértékeinek a változása az alkalmazott nyomás függvényében. ^{a, b, c} A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

Az L* tekintetében az látható (18. ábra (A)), hogy 450 MPa-ig a minták világosodtak, azonban az 500 MPa-on történő kezelés már a termék sötét irányba történő elmozdulását idézte elő, azonban az 550 és 600 MPa-on ismét enyhén világosodtak a minták. Hasonló eredményt állapított meg Tóth (2020) is, aki homogenizált teljes tojáslevet vizsgált. A másik két színtényező esetében is ez a tendencia mutatkozik (18. ábra (B), (C)), hogy 500 MPa-on az addigi a* csökkenés zöld színárnyalat irányba felé mozdul. A b* esetében 500 MPa-on a kontroll mintánál is sárgább szín tapasztalható, amely szignifikánsan eltér a csoport többi tagjától. Ez azzal magyarázható, hogy 500 MPa-on a minta elkezdett gélesedni és 550 MPa-on már kisebb méretű agglomerátumok, míg 600 MPa-on nagyobb méretű agglomerátumok keletkeztek. Ennek köszönhetően a minták fényszórása megváltozott. Továbbá a tojás komponensei változásának oka lehet a vízmolekulák nyomáskezelés utáni átrendeződése, amely hajlamos módosítani a gélhálózatot, fényesebb és átlátszóbb megjelenést mutatva (Macdougall, 2010; Singh and Ramaswamy, 2015). Csehi (2020) eltérő eredményeket kapott a nyers teljes tojáslé minden színtényezőjének tekintetében. A kapott eredmények alapján nem meglepő, hogy a színtelítettsége az 500 MPa-on kezelt mintának a legnagyobb. A ΔE_{ab}^* eredményei azt mutatták, hogy 300 MPa-on "alig észrevehető", 400 és 450 MPa-on "észrevehető", 600 MPa-on "jól látható", míg 500 és 550 MPa-on a "nagy" vizuálisan érzékelhető eltérés kategóriájába voltak besorolhatók a minták.

5.2.1.6. Tejsavó szuszpenziók színének vizsgálata

A HHP kezelésnek alávetett tejsavó szuszpenziók színtényezőiben bekövetkező változásokat a 19. ábra mutatja be. Látható (19. ábra (A)), hogy világosodás tapasztalható a nyomásértékek növelésével és 400 MPa-tól a post hoc teszt alapján szignifikáns a változás mértéke.



19. ábra: A tejsavó szuszpenzió színtényezői ((A) - L^* : világossági tényező; (B) - a^* : vörös-zöld színtényező; (C) - b^* : sárga-kék színtényező) átlagértékeinek a változása az alkalmazott nyomás függvényében. ^{a, b, c} A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$)

Az a^* esetében a kezdetleges zöld színárnyalat a nyomásértékek növelésével egyre inkább a vörös tónus irányába tolódik és látható, hogy a statisztikai értékelés alapján 3 csoportra oszthatóak. Ennek értelmében a kontroll minta szignifikánsan különbözik az összes nyomáskezelt mintától, míg a 300 MPa, 400 MPa, 450 MPa egymástól nem különbözik szignifikánsan csakúgy, mint ahogy az 500 MPa, 550 MPa, és 600 MPa-on kezelt minták sem. A b^* értelmében 450 MPa-ig nem történ szignifikáns változás a kontroll és a nyomáskezelt minták között és sárgásabb színárnyalat jellemzi a szuszpenziókat. 500 MPa-on azonban a részleges koagulációnak köszönhetően a b^* értékében csökkenés mutatkozik és a kék színtényező felé mozdul az addig jellemző sárga szín helyett. 550 és 600 MPa-on már negatív értéket vesz fel a tejsavó tehát a kék szín a dominánsabb a mintában, azonban a két minta között nem volt szignifikáns különbség. A nyomásértékek növelésével arányosan megfigyelhető tendencia a telítettség (króma) eredményeiben is, amely szerint a kontroll minta színtelítettsége bizonyult a legnagyobbnak és a nyomásértékek növelésével arányosan csökkent. Ahhoz, hogy feltérképezhessem, hogy a műszeres színparaméterekben megfigyelt eltérések emberi szemmel is érzékelhetők-e, az előzőekben hasonlóan ΔE_{ab^*} paramétert számítottam. Ezek alapján azt az eredményt állapítottam meg, hogy 300 MPa-on a kontroll mintához képest "szemmel nem érzékelhető" a különbség, míg a többi minta esetében már a "nagy" kategóriába voltak besorolhatóak a kapott mérési eredmények.

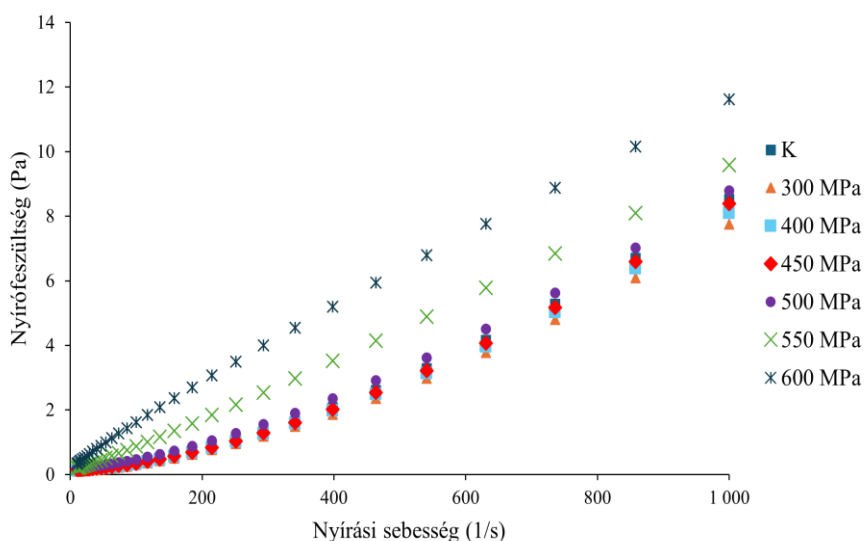
5.2.2. Reológiai tulajdonságok mérési eredményei

Az általam vizsgált kontroll és nyomáskezelt minták rotációs reométerrel felvett folyásgörbéi a 20. ábrától a 25. ábráig láthatóak. Minden minta esetében Herschel-Bulkley modellt illesztettem a folyásgörbékre, amelynek segítségével folyáshatár (τ_0), konzisztencia koefficiens (K) és folyásindex (n) értékeket számoltam. A mintákat illetően a modell illesztése 0,95-nél nagyobb korrelációs együttható (R^2) értéket mutatott, amely a modell illesztésének megfelelőségéről ad visszaigazolást. A Herschel-Bulkley modell illesztése során kapott folyáshatár, konzisztencia koefficiens és folyásindex átlagos értékei az M7. mellékletben kerültek elhelyezésre.

A reológiai értékelést általában a fizikai és molekuláris szerkezet változásainak és így a funkcionális tulajdonságok végfelhasználói teljesítményének mutatójaként használják (Marin and Montfort, 1996). A reológiai tulajdonságok használhatók a folyékony vagy félszilárd élelmiszerek szállítási feltételeinek megteremtésére vagy optimalizálására a feldolgozószalon keresztül. A konzisztencia, a folyékonyság mértéke és egyéb mechanikai tulajdonságok fontosak annak megértésében, hogy mennyi ideig tárolható és mennyire marad stabil az élelmiszer. Az élelmiszeripari termékek reológiai tulajdonságainak ismerete elengedhetetlen a termékfejlesztéshez, minőségellenőrzéshez, érzékszervi tulajdonságok meghatározásához, valamint a technológiai berendezések tervezéséhez és értékeléséhez (Singh et al., 2015).

5.2.2.1. Vérplazma szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A 20. ábrán megjelenő HHP kezelt vérplazma szuszpenziók folyásgörbéinek alakjából, már első szemrevételezésre is megállapítható, hogy a HHP kezelés változásokat idézett elő a vérplazma reológiai tulajdonságaiban.



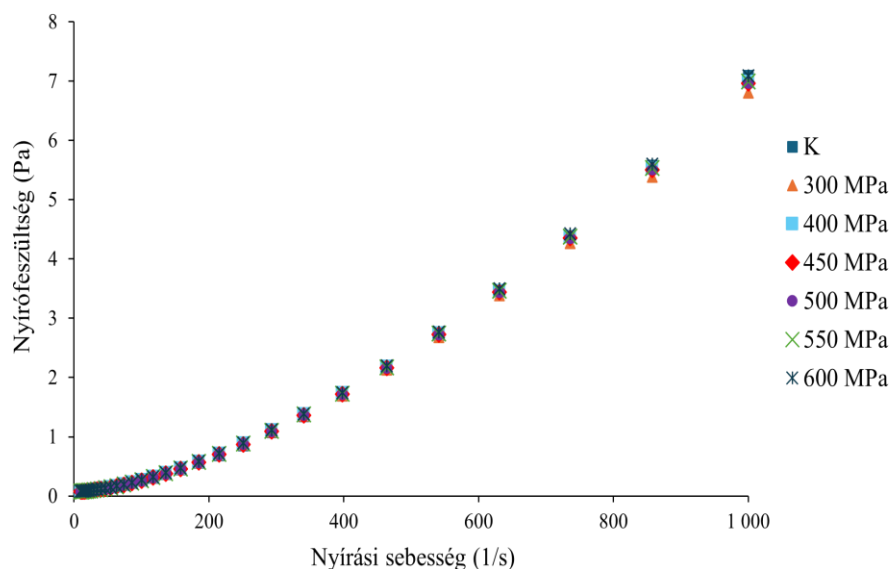
20. ábra: A vérplazma szuszpenziók folyásgörbéiben bekövetkező változások a kontroll és nyomáskezelt mintákban

Az M7. mellékletben található folyásindex (n) értékekről egyértelműen kijelenthető az a tény, hogy a kontroll, valamint a 300, 400, 450 és 500 MPa-on kezelt minták dilatációs reológiai viselkedést mutatnak. Az 500 MPa-on kezelt minta folyásindex értékében azonban már tapasztalható csökkenés, melynek mértéke nem szignifikáns. Az 550 MPa-on kezelt minta is dilatációs tulajdonságokkal rendelkezik, viszont ezen minta már jobban hasonlít a newtoni folyadékokhoz és szignifikánsan különbözik a többi dilatációs reológiai tulajdonságot mutató mintáktól, valamint a 600 MPa-on kezelt mintától is. A legnagyobb nyomásértéken kezelt minta szignifikánsan különbözik a többi mintától és már pseudoplasztikus reológiai viselkedéssel rendelkezik. Ezt a tényt az M6. mellékletben szereplő kép is bizonyítja, ugyanis látható, hogy itt már nagyobb aggregátumok jellemzik a minta állományát. A folyásgörbe y tengely metszete a folyáshatár (τ_0) adja meg és arról nyújt információt, hogy szükséges-e egy minimális nyírófeszültség érték ahhoz, hogy elkezdjen folyni az anyag (Sun and Gunasekaran, 2009). A folyáshatár értékeket megfigyelve látható, hogy 300 MPa-on kezelt minta esetében enyhe csökkenés volt tapasztalható, majd ezt követően ismét nagyobb értékek jellemzik a különböző nyomásértékeken kezelt mintákat. A különbség a statisztikai értékelés alapján ugyan szignifikáns, de megfigyelhető az is, hogy ugyanabban a tartományban ($1,6E-01$ -től $1,7E-01$ -ig) mozognak. A konzisztencia koefficiens (K) értékeiben is egy jól követhető tendencia látható, ugyanis az 550-és 600 MPa-on kezelt minták szignifikánsan különböznek a többi mintától és egymástól is, nagyobb konzisztencia koefficiens érték jellemzi őket. Ebből következtethetünk arra, hogy a látszólagos viszkozitás értékek is ezekben a mintákban nagyobbak, mint a kontroll és az 550 MPa-nál kisebb nyomásértékeken kezelt minták esetében.

5.2.2.2. Hemoglobin szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A 21. ábra mutatja a HHP kezelés hatására bekövetkező változásokat a hemoglobin minták folyásgörbéiben. A 21. ábra alapján a folyásgörbék alakjából és a folyásindex értékekből megállapítható az a tény, hogy a kontroll minta, valamint a különböző nyomásértékeken kezelt minták dilatációs folyadéknak tekinthetők. A folyáshatár értékek alapján látható, hogy minden minta esetében nagyon kicsi τ_0 értékeket kaptam ($8,1E-02$ -től $7,7E-02$ -ig), tehát minimális nyírófeszültség hatására folyni kezdenek a minták. Statisztikai elemzés azt mutatja, hogy a kontroll minta τ_0 értéke alapján szignifikánsan különbözik a többi mintától, tehát a HHP kezelt minták esetében kicsivel ugyan, de kevesebb minimális nyírófeszültség értékre van szükség, ahhoz, hogy folyni kezdjenek a minták. Az egész mérési sorozatban kis konzisztencia koefficiens (K) értékeket kaptam ($1,1E-04$ -től $1,4E-04$ -ig). Szembetűnő azonban, hogy a kontroll mintához képest a nyomáskezelt mintáknak kis mértékben megnőtt a konzisztencia koefficiens értéke,

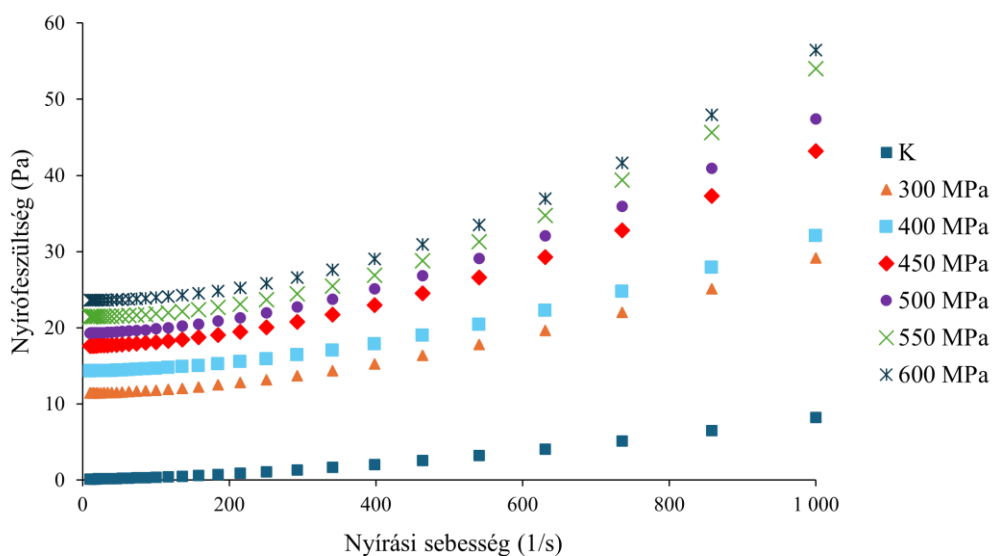
tehát csekély mértékű viszkozitás változást okozott a HHP kezelés alkalmazása. A változás mértéke szignifikáns és a legkevésbé viszkózus anyagi tulajdonságot a kontroll minta mutatja.



21. ábra: A hemoglobin szuszpenziók folyásgörbéiben bekövetkező változások a kontroll és nyomáskezelt mintákban

5.2.2.3. Teljes vér szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A 22. ábrán láthatóak a kontroll, valamint a HHP kezelt teljes vérminták rotációs reométerrel felvett folyásgörbéi. A Herschel-Bulkley modell paraméterei az M7. melléklet C ábráján kerültek bemutatásra.



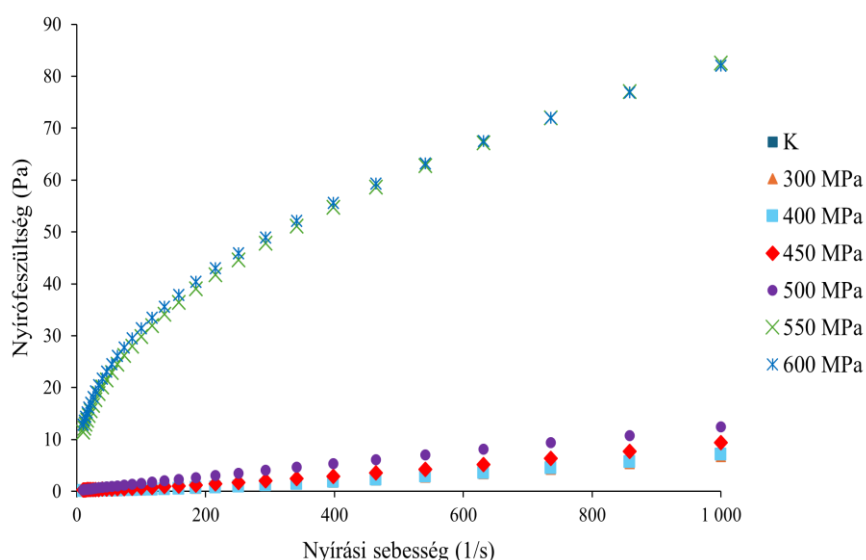
22. ábra: A teljes vér szuszpenziók folyásgörbéiben bekövetkező változások a kontroll és nyomáskezelt mintákban

A 22. ábrán kirajzolódó folyásgörbék között különbség figyelhető meg a nyomásértékek növelésével. A folyásgörbék alakjából látható, hogy minden minta dilatációs reológiai viselkedéssel rendelkezett, melyet az M7. mellékletben elhelyezett folyásindex (n) értékek is

bizonyítanak. A minták folyáshatárának vizsgálata során megállapítható, hogy a nyomásértékek növelésével arányosan megfigyelhető a τ_0 értékekben is egy növekvő ($1,4E-01$ -től $2,4E+01$ -ig) tendencia. Ez azt jelenti, hogy minél nagyobb a nyomásérték, annál nagyobb nyíróerő szükséges ahhoz, hogy a minta folyni kezdjen. A kontroll és a különböző nyomásértékeken kezelt minták folyáshatár értékeiben megjelenő különbség minden esetben szignifikáns. A konzisztencia koefficiens tekintetében elmondható, hogy ezen minta esetében is nagyon kicsi ($1,7E-04$ -tól $4,6E-05$ -ig) értékeket kaptam. Megfigyelhető azonban, hogy a kontroll, 300, 400, 450, 500 MPa-on kezelt minták K értékeiben nem tapasztalható szignifikáns különbség, azonban ezen mintáktól szignifikánsan különbözik az 550- és 600 MPa-on kezelt minták K értékei. Ezen paraméterre kapott eredmények alapján arra következtethetünk, hogy a kis és közepes nyomásértékek alkalmazása nem okoz szignifikáns viszkozitás változást a teljes vérmintákban.

5.2.2.4. Tojásfehérje szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A 23. ábrán figyelhető meg a HHP kezelés okozta változások a tojásfehérje minták folyásgörbéiben. Ezen ábrán kirajzolódik, hogy a HHP kezelés szembetűnő változást okozott a tojásfehérje reológiai tulajdonságaiban.



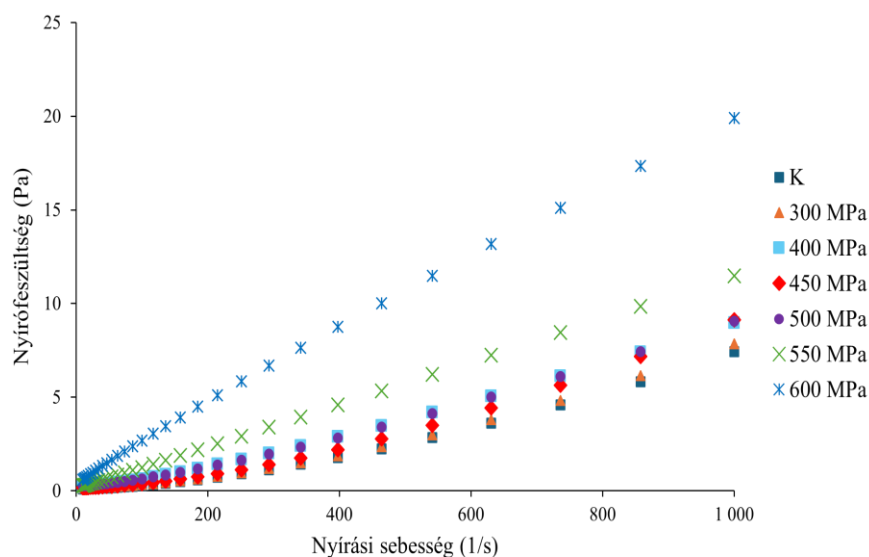
23. ábra: A tojásfehérje szuszpenziók folyásgörbéiben bekövetkező változások a kontroll és nyomáskezelt mintákban

A 23. ábrán megjelenő görbék alakjából egyértelműen látszik, hogy az 550 MPa-on és 600 MPa-on kezelt minták pszeudoplasztikus folyadéknak tekinthetőek. A többi minta folyásindex értékét vizsgálva elmondható, hogy a K, 300, 400 és 450 MPa-on kezelt minták n értékei mind 1 feletti, ami azt jelenti, hogy ezen minták dilatációs reológiai viselkedéssel rendelkeznek. Az 500 MPa-on kezelt minta ugyan elég közel van a newtoni folyadék jellemzőihez, azonban az n értéke alapján az 550 és 600 MPa-on kezelt mintákhoz hasonlóan már ez is pszeudoplasztikus folyadéknak tekinthető. Ezen minták gélesedtek (M6. melléklet) és egyértelműen megváltozott

a reológiai viselkedésük. A peszudoplasztikus reológiai viselkedést mutató mintáknak sokkal nagyobb nyírófeszültség értékre van szükségük ahhoz, hogy egyáltalán folyni kezdjenek. Ez megfigyelhető a 23. ábrán is, ahol az 550 és 600 MPa-on kezelt minták esetében a folyásgörbe kezdeti nyírófeszültség értéke egy nagyságrenddel nagyobb, mint a többi mintáé. Az M7. mellékletben megfigyelhető, hogy a két legnagyobb nyomás értéken kezelt minta τ_0 értéke szignifikánsan különbözik a kisebb nyomás értékeken kezelt, illetve a kontroll mintától. Az 550 és 600 MPa-on koagulált tojásfehérje minták reológiai tulajdonságai a többi mintától eltérően viselkedtek, mivel a szerkezetükben már nagymértékű változás következett be. Ezen minták esetében vélhetően a koagulált fehérje növelte a konzisztencia koefficiens értékeit (Ahmed et al., 2003), amely arra enged következtetni, hogy a látszólagos viszkozitásuk is nőtt a többi mintához képest.

5.2.2.5. Teljes tojás szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A 24. ábrán láthatóak a teljes tojás szuszpenziók folyásgörbéiben bekövetkező változások a HHP kezelés hatására.



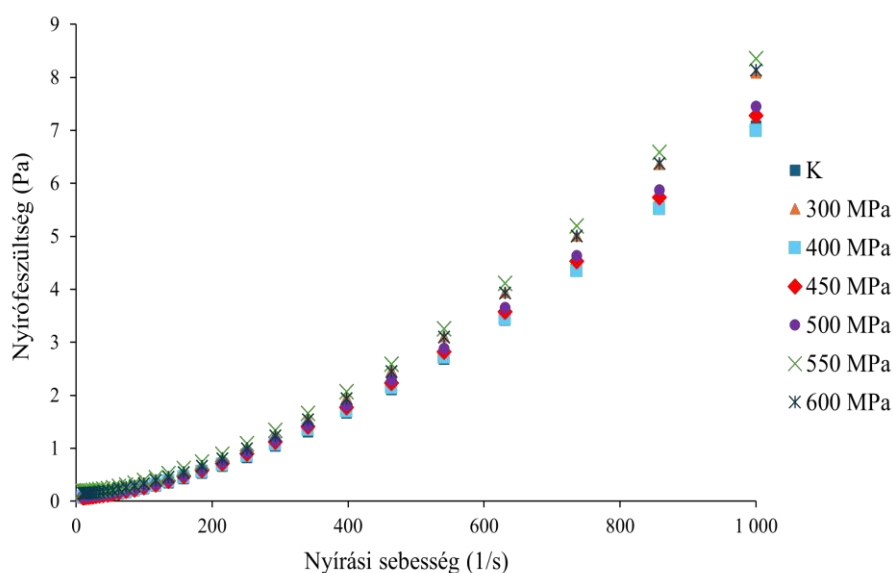
24. ábra: A teljes tojás szuszpenziók folyásgörbéiben bekövetkező változások a kontroll és nyomáskezelt mintákban

Megfigyelhető (24. ábra), hogy a K, 300, 400, 450 és 500 MPa-on kezelt minták dilatációs reológiai viselkedéssel rendelkeznek. Ezekről eltérően az 550 MPa-on kezelt minta folyásindex értéke 1,02, tehát newtoni folyadékhoz ($n=1$) hasonló viselkedést mutat, míg a 600 MPa-os nyomáskezelésnek alávetett minta esetében az $n < 1$, ami azt jelenti, hogy nyírásra vékonyodó tulajdonságot mutat, tehát pszeudoplasztikus reológiai viselkedés tapasztalható. Ez valószínűleg a nagyobb aggregátumok magasabb nyírási sebességnél történő felbomlásának köszönhető. A 24. ábrán és az M7. mellékletben szereplő ábrán is megfigyelhető, hogy a nyomásértékek növelésével a τ_0 értéke is növekvő (1,0E-01-től 2,9E-01-ig) tendenciát mutat. A kontroll minta,

valamint az 550 és 600 MPa-on kezelt minták szignifikánsan különböznek a többi mintától, illetve egymástól is. A konzisztencia koefficiens esetében 450 MPa-nál már történik változás, ami a nyomásértékek növelésével folyamatosan emelkedik, azonban szignifikáns változás csak az 550 és 600 MPa-on kezelt minták esetében mutatkozik. Ez a nagyobb konzisztenciát tükrözi, amely a HHP-kezelés szintjétől függően viszkózusabb, gélsezerűbb anyagként érzékelhető.

5.2.2.6. Tejsavó szuszpenziók reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A HHP kezelt tejsavó szuszpenziók folyásgörbéiben megjelenő változásokat a 25. ábra szemlélteti.



25. ábra: A tejsavó szuszpenziók folyásgörbéiben bekövetkező változások a kontroll és nyomáskezelt mintákban

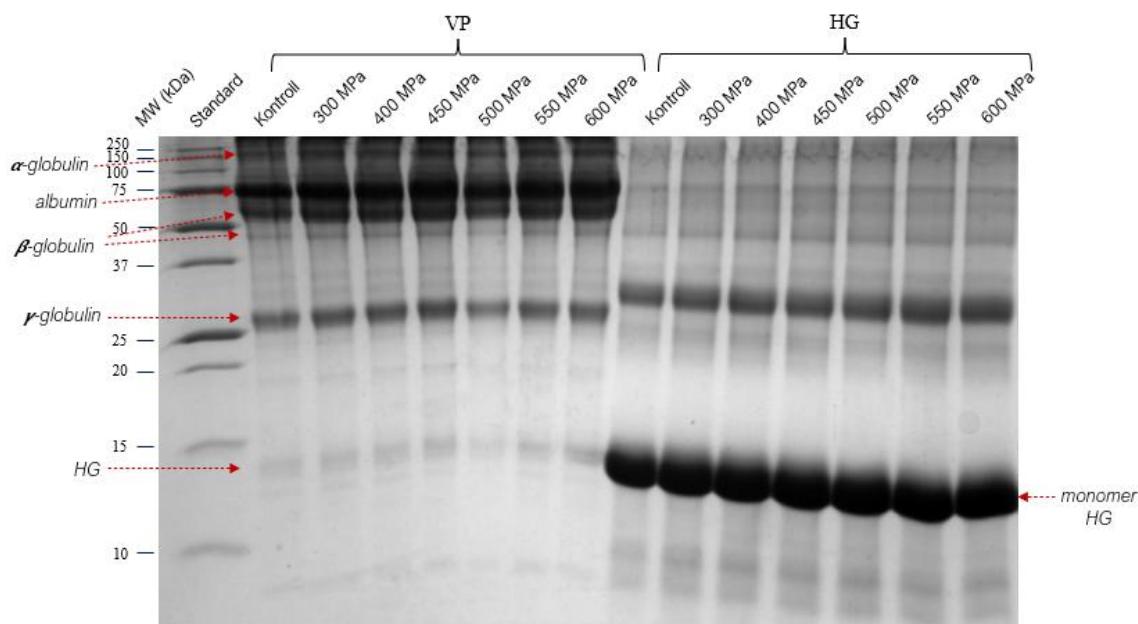
A 25. ábrát megfigyelve minden minta esetében megállapítható, hogy dilatációs reológiai viselkedéssel rendelkeznek. A folyáshatár (τ_0) tekintetében figyelhető meg különbség a különböző minták között. Látható, hogy a 300, 550 és 600 MPa-on kezelt minták τ_0 értékei kicsit nagyobbak a többi mintáénál, amely a modell illesztés sajátosságaiból adódik, ugyanis az értékek nagyon kicsik ($6,2E-02$ -tól $1,8E-01$ -ig). Összességében a reológiai tulajdonságok alapján, illetve az M6. mellékletben található ábra alapján is elmondható, hogy a tejsavó minta állománya nem változott nagymértékben a HHP kezelés hatására.

5.2.3. Poliakrilamid-gélelektroforézis (SDS-PAGE) eredményei

5.2.3.1. A vérplazma-, hemoglobin- és a teljes vér szuszpenziók SDS-PAGE eredményei

A vérplazma és hemoglobin minták kontroll csoportjai, valamint a 300 MPa és 600 MPa közötti nyomáskezelés elektroforetikus sávjait a 26. ábra mutatja. A vérplazma fehérje sávjait Howell és Lawrie (1983), valamint Tarté (2009) által bemutatott osztályozás szerint azonosítottam. A 69 kDa körüli fő sáv az albuminnak felel meg. Az α -globulin 150 kDa-nál, a β -globulin 48 és 52

kDa-nál, míg a γ -globulin 33 kDa-nál került beazonosításra. A vérplazma elektroforetogramját megfigyelve látható, hogy a kontroll mintához képest a 300-600 MPa nyomáskezelés alkalmazása nem okozott különbséget a vérplazma fehérjéinek mennyiségében.

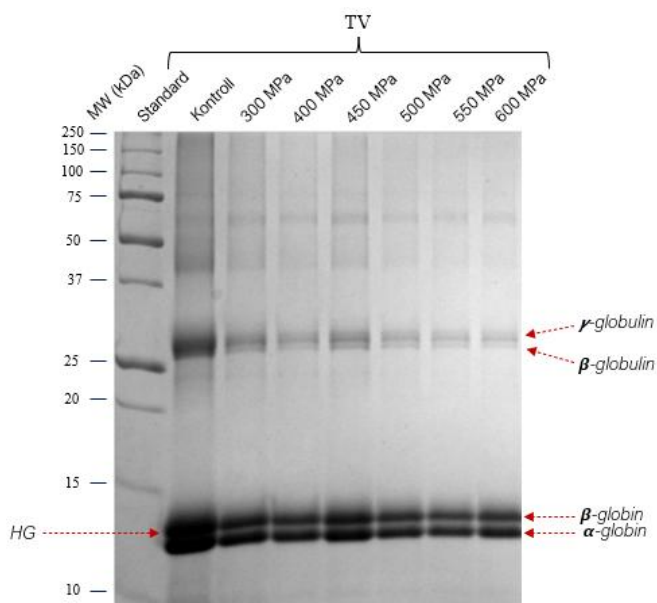


26. ábra: A HHP kezelés hatásának (300-600 MPa, 5 perc) nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val a vérplazma (VP) és hemoglobin (HG) mintákon

A hemoglobin szuszpenzió esetében (HG) a hemoglobin monomer formája 14 kDa-nál volt beazonosítható, amely megegyezik a Sun és Luo (2011) által publikált eredménnyel. A fehérje elválasztási képén több 16 kDa feletti, 20 és 70 kDa közötti molekulatömegű fehérjesáv figyelhető meg, amelyek valószínűleg a hemoglobin oldatban maradt egyéb vérfehérjéknek, például a vörösvértestek membránjaihoz kapcsolódó fehérjéknek (~30-240 kDa) vagy plazmafehérjéknek (~ 30-150 kDa) felelnek meg (Toldrà et al., 2011). A hemoglobin egy tetramer szerkezetű fehérje, ezért várhatóan különösen érzékeny a nyomásra, mivel a fehérjék kvaterner szerkezetét főként gyenge hidrofób kölcsönhatások tartják fenn (Bou et al., 2019). A gélképet nézve azonban azt láthatjuk, hogy szembetűnő változás nem történt a hemoglobin tekintetében.

Összességében elmondható, hogy a vérplazma és hemoglobin ezen formája erős nyomástűrő képességgel rendelkezik. Ennek vélhetően az az oka, hogy a szárított hemoglobin és vérplazma fehérjék konformációja már nem annyira „szabad” formában van, mint friss állapotban, hanem egy merevebb vagy aggregáltabb szerkezetet vesz fel. Ennek köszönhetően a részben denaturálódott fehérjék gyakran ellenállóbbá válnak a külső hatásokkal szemben (Siddiqui et al., 2024; Yang et al., 2022), így kevésbé intenzíven reagálnak a nagy hidrosztatikus nyomáskezelésre.

A kontroll és HHP kezelt teljes vér elektroforetikus fehérje mintázatát a 27. ábra szemlélteti. A kontroll, valamint a 300 MPa és 600 MPa közötti nyomáskezelés hatására a teljes vér szuszpenziók fehérje mintázatában bekövetkező változásokat a 27. ábra szemléltetni. A teljes vér kontroll mintájában ~15 kDa-nál beazonosítható sávok a hemoglobin 2 alegységének, az alfa- és béta globinnak felelnek meg (Bah et al., 2016). A másik két azonosításra került sáv Howell és Lawrie (1983) munkássága alapján a β -globulin (27 kDa) és a γ -globulin (33 kDa).



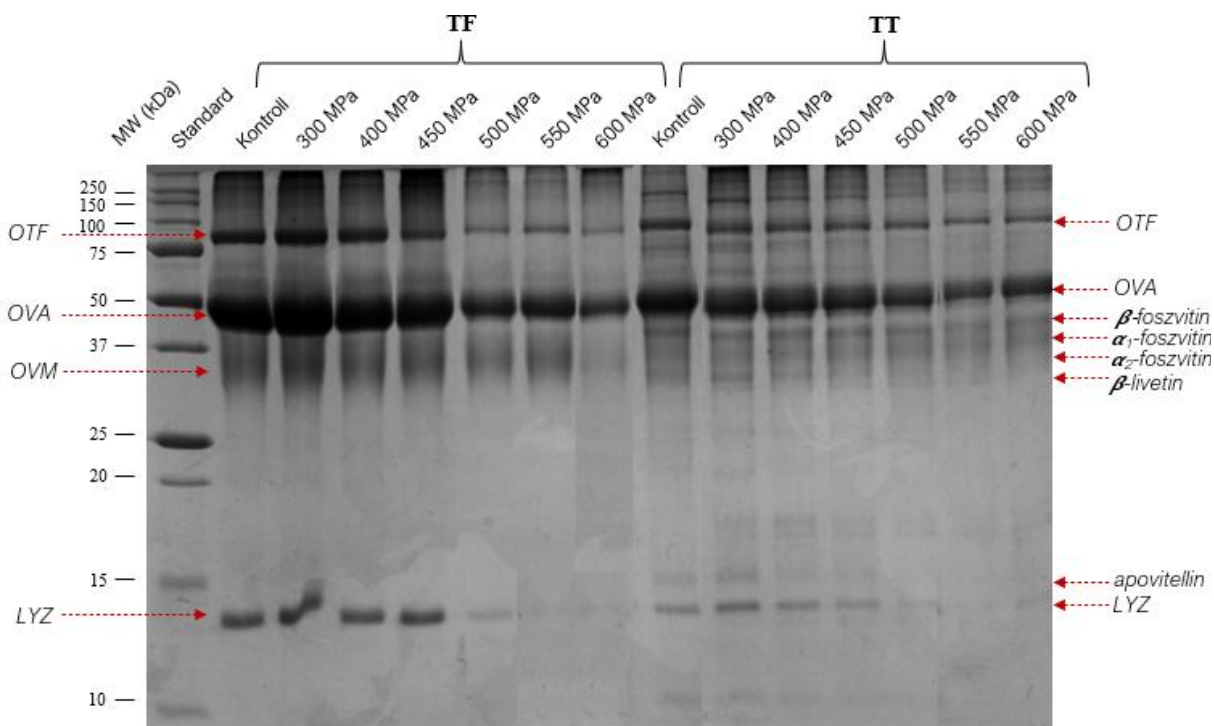
27. ábra: A HHP kezelés hatásának (300-600 MPa, 5 perc) nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val a teljes vér (TV) mintán

Szemmel láthatóan az α - és β globin, valamint a β - és γ -globulin a kontroll mintában nehezen elkülöníthető sávot alkot, azonban a 300 MPa és a nagyobb nyomásértékeken a sávok már külön-külön is jól beazonosíthatóak. Látható továbbá, hogy a 300 MPa-os nyomáskezelés hatására a sávok színintenzitásában csökkenés figyelhető meg, melynek mértéke a nyomásértékek növelésével nem változott.

5.2.3.2. A tojásfehérje- és a teljes tojás szuszpenziók SDS-PAGE eredményei

A tojásfehérje és a teljes tojás SDS-PAGE elválasztási képén (28. ábra) láthatóak a tojás fehérjéinek molekulatömeg szerinti megoszlása. A 28. ábrán látható, hogy a teljes tojás (TT) fehérjemintázata összetettebb, ugyanis ebben az esetben a tojásfehérje fehérjéi mellett a tojássárgája fehérjéi is beazonosíthatóak. A tojásfehérjét alkotó globuláris fehérjék esetében négy fő fehérjesávot azonosítottam. A tojásfehérjét legnagyobb mennyiségben alkotó ovalbumin (54%) 45 kDa-nál, az ovotranszferin/konalbumin (12%) 76 kDa-nál, az ovomukoid (11%) 28 kDa-nál, valamint a lizozim (3,4%) 14,3 kDa-nál azonosítható (Farjami et al., 2021; Guha et al., 2018). A teljes tojás esetében ezen fehérjék mellett beazonosításra kerültek a tojássárgája fehérjéi is. Az LDL apoproteinek 120 kDa-nál (apovitellenin Va) (Naderi et al., 2014), 60 és 70 kDa

között (Freschi et al., 2011), 50 és 60 kDa között (apovitellenin III) valamint 20 kDa-nál (apovitellenin II) (Naderi et al., 2014; Strixner and Kulozik, 2013) voltak azonosíthatóak. Ezzel szemben a HDL apoproteineket 79 kDa és 30 kDa (Le Denmat et al., 2000; Strixner and Kulozik, 2013) értékeknél azonosítottam. A nagy sűrűségű lipoproteinek közül (melyek intenzívebben jelennek meg a gélképen) beazonosításra került a β -livetin (36 kDa), valamint a foszfoproteinek. A β -foszvitin (45 kDa), α_1 -foszvitin (40 kDa) és az α_2 -foszvitin (37 kDa) mellett voltak azonosíthatóak (Giarratano et al., 2020).



28. ábra: A HHP kezelés hatásának (300-600 MPa, 5 perc) nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val a tojásfehérje (TF) és teljes tojás (TV) mintákon

Látható, hogy a HHP kezelés a nyomásértékek növelésével mindkét minta esetében változásokat indukált a fehérjék mintázatában. Ezt okozhatja a fehérje denaturációja és aggregációja, amely oldhatatlan anyagokat képez. A lizozim esetében mindkét mintánál hasonlóan tapasztaltam. A lizozim kis és közepes nyomáson stabil maradt, azonban 500 MPa-nál már egy jelentős mértékű csökkenést tapasztaltam a sávok intenzitását illetően. A lizozim 550 és 600 MPa-nál már nem volt beazonosítható.

A tojásfehérje gélképe alapján megállapítható, hogy az ovalbumin sávjának színintenzitásában 400 MPa-on kisebb mértékű csökkenés volt tapasztalható, melynek mértéke 450 MPa-os nyomáskezelés hatására sem változott. Az 500-, 550- és 600 MPa nyomásértékeken az ovalbumin jelentős mértékű csökkenésére, a szabad szemmel is látható kis színintenzitás, valamint a megjelenő keskenyebb sáv mutat rá. A teljes tojás ovalbumin frakcióját illetően az látható, hogy 300 MPa-tól 450 MPa-ig történő nyomáskezelés nem volt hatással ezen fehérjére.

Ezzel ellentétben az 500 MPa-os nyomás alkalmazása az ovalbumin sávjának színintenzitásában csökkentés eredményezett, melynek mértéke a növekvő nyomásértékek mellett sem változott. Elmondható tehát, hogy az ovalbumin sávintenzitásának csökkenése nagyobb nyomásértéken következik be a teljes tojás esetében a tojásfehérjéhez viszonyítva. Ennek oka vélhetően a teljes tojást alkotó tojássárgája zsírtartalmának köszönhető, amely egy ún. védőburokként funkcionál a nyomáskezelés során. A tojásfehérje ovotranszferrin frakciójának sávintenzitása nagyobb nyomásértékek (500-, 550-, 600 MPa) alkalmazása mellett csökkent. Ettől eltérően a teljes tojásban lévő ovotranszferrin stabilabb maradt a növekvő nyomásértékeken is.

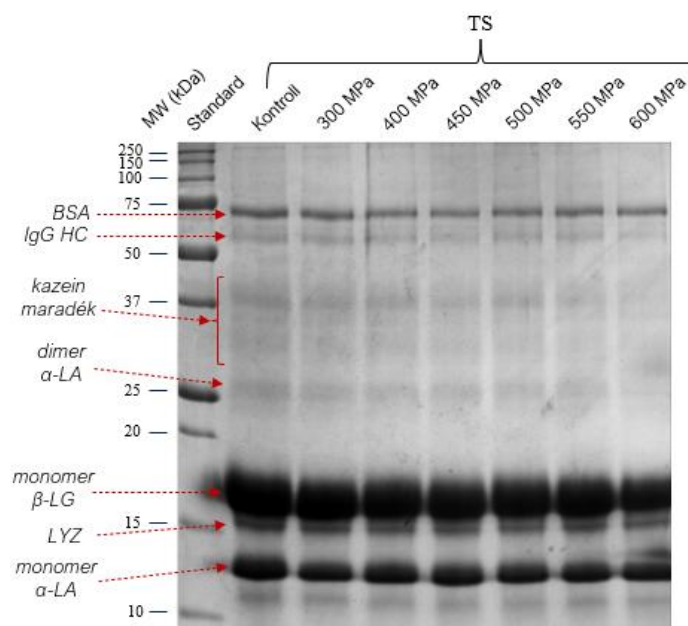
Látható továbbá, hogy a tojássárgája fehérjéinek is a sávintenzitásai csökkentek a nyomásértékek növelésével, olyannyira, hogy a kisebb molekulatömegű α_2 -foszvitin és β -livetin 550 MPa-nál már nem voltak beazonosíthatóak. A nagyobb molekulatömegű tartományban megjelenő apovitellin sávok is halványodtak a nyomásértékek növelésével, de beazonosíthatóak maradtak a nagyobb nyomásértékek mellett is.

Egyes kutatások szerint a HHP-kezelés a tojások mindkét folyékony összetevőjének részleges koagulációjával járó fehérje denaturációt idéz elő, ami a nyomáskezelés mértékével függ össze (Andrássy et al., 2006). Andrássy és társai (2006) bizonyítékot szolgáltatott arra, hogy 250 MPa nyomáson a tojásfehérjében oldhatatlan aggregátumok képződtek a nyomástól függően és az aggregáció a nyomás érték növelésével fokozódott. A fehérjeaggregátumok képződése vagy az élelmiszerfehérjék nyomás alatti denaturálódása nem mindig hátrányos, ugyanis az allergiát okozó vegyületeket a tojássárgájában és a tojásfehérjében is felismerték - a tojásfehérje azonban nagyobb allergén potenciállal rendelkezik. A tojásfehérjében található ovomukoid, ovalbumin, lizozim és ovotranszferrin allergiát okozó fehérjék (Benedé et al., 2015), míg a tojássárgájában főként az α -livetin és apovitellen I- és VI (Mine and Yang, 2008). Az olyan feldolgozási technikák, mint a HHP hatása ezeknek a fehérjéknek és a tojásban lévő egyéb allergéneknek a szerkezeti módosítására megoldást jelenthet.

5.2.3.3. *A tejsavó szuszpenziók SDS-PAGE eredményei*

A 29. ábrán látható a tejsavó minta kontroll csoportjának, valamint a 300 MPa és 600 MPa közötti nyomáskezeléseknek az elektroforetikus profilja. A tejsavó köztudottan két fő fehérjefrakciót tartalmaz. Az egyik a β -LG (~ 18 kDa), melynél látható, hogy a kontroll mintában ezen sáv szélessége a legvastagabb, ami a fehérje mennyiségi arányára utal. A másik fehérjefrakció az α -LA, amely ~14 kDa-os molekulatömegnél volt azonosítható és a β -LG után a második legdominánsabb sáv, azaz a második legnagyobb koncentrációban tartalmazza a tejsavó. Továbbá a szakirodalmi adatok alapján beazonosítható volt a mintáimban a

szarvasmarha szérumalbumin (BSA) ~ 69 kDa-on, az immunglobulin nehézlánca (IgG HC) ~ 53 kDa-on, lizozim (LYZ) ~ 15 kDa-on és az α -LA dimerje (Liu et al., 2005; Quinn et al., 2020; Wang and Guo, 2019).



29. ábra: A HHP kezelés hatásának (300-600 MPa, 5 perc) nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val a tejsavó (TS) mintán

Első pillantásra nehezen észrevehető különbség látszódik a kontroll és a különböző nyomásértékeken kezelt minták között, de jobban megfigyelve a képet az látható, hogy a fő fehérjesávok intenzitása és szélessége a nyomásértékek növelésével változik. A β -LG esetében 300 MPa-nál már enyhe mértékű csökkenés volt tapasztalható a sávok intenzitását és szélességét illetően. Az ezt követő nyomásértékeken 550 MPa-ig nem történt számottevő változás, azonban 600 MPa-on már egy jelentősebb mértékű csökkenést tapasztaltam a sávok intenzitásában és szélességében.

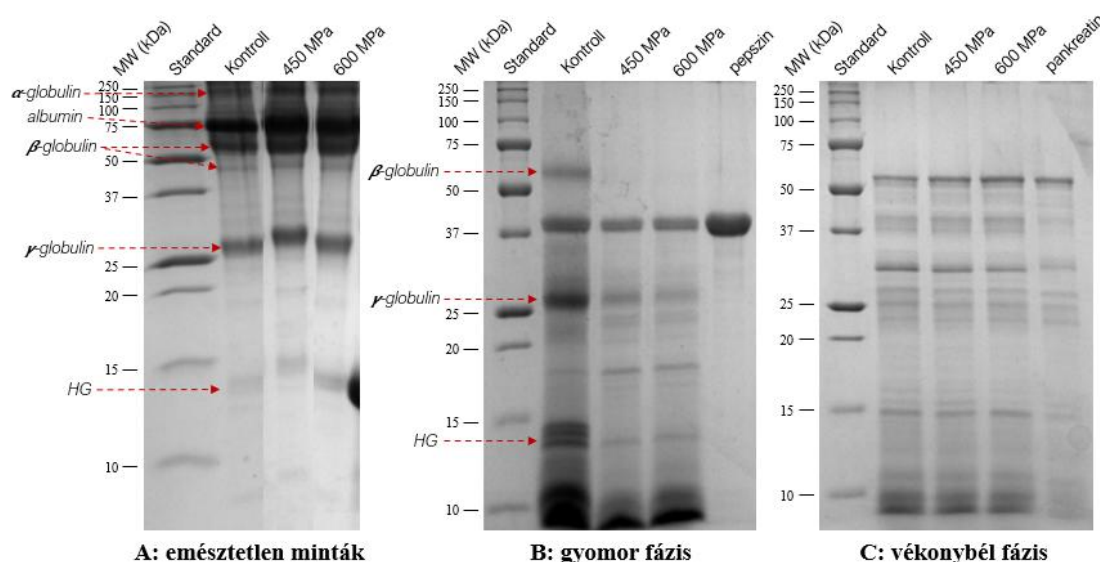
Az α -LA esetében is már 300 MPa-on tapasztalható egy kisebb mértékű csökkenés a sávok intenzitásában és szélességében, amely a további nyomásértékeken nem változott. Elmondható tehát, hogy az α -LA barostabilabb, mint a β -LG, amely összefüggésbe hozható az előbbi merevebb molekulaszervezetével, ami a molekulán belüli diszulfidkötések nagyobb számának (4, szemben a 2-vel) köszönhető, valamint azzal, hogy a β -LG tartalmaz egy szabad szulfhidril-csoportot, amely részt vehet a szulfhidril-oxidációs vagy szulfhidril-diszulfid-csere reakciókban (Hinrichs et al., 1996; Lopez-Fandiño et al., 1996).

A szérumalbumin sávjait vizsgálva azt tapasztaltam, hogy a HHP kezelés csak kis mértékű csökkenést eredményezett a sávintenzitás tekintetében. A BSA 17 diszulfid-híddal és egy szabad tiol-csoporttal rendelkezik (Lopez-Fandiño et al., 1996), mely magyarázatul szolgálhat ezen fehérje barostabilitására.

5.2.4. *In vitro* emészthetőség eredményei

5.2.4.1. A vérplazma szuszpenziók *in vitro* emészthetőségének vizsgálata

A HHP kezelt (450-, 600 MPa) vérplazma szuszpenziók emészthetőségét az *in vitro* emésztésszimuláció során pepszin (gyomorban) és pankreatin (vékonybélben) enzimek alkalmazásával vizsgáltam. Az emésztés hatását a vérplazma fehérjéire vonatkozóan SDS-PAGE-val követtem nyomon (30. ábra).



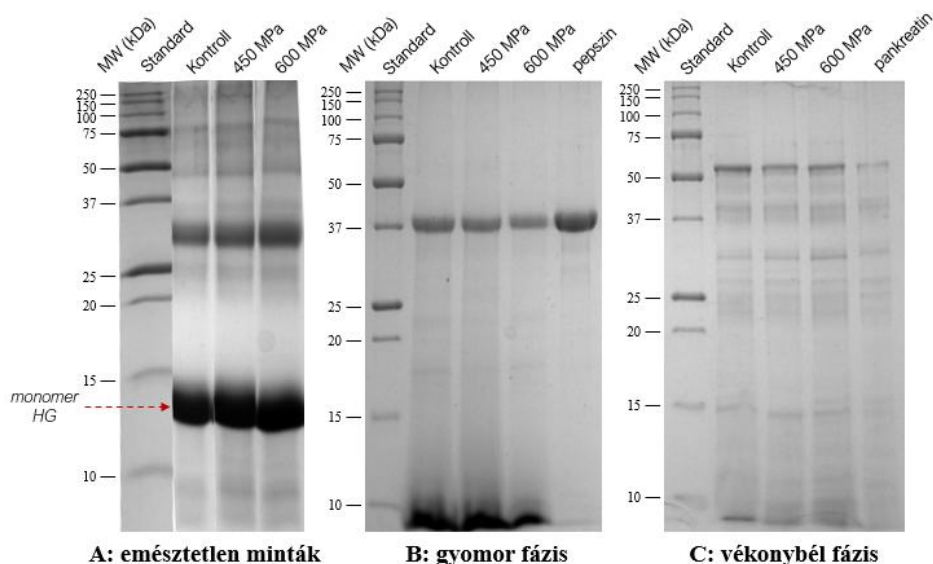
30. ábra: A HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt vérplazma (VP) emésztetlen mintáinak (A) fehérje mintázata, valamint a HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt vérplazma fehérjéinek *in vitro* gyomor (B)- és vékonybél emésztés (C) után bekövetkező változásainak nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val

A vérplazma gyomoremésztés elválasztási képén (30. ábra (B)) látható, hogy a kiindulási, azaz még emésztésnek alá nem vetett mintához (30. ábra (A)) képest a gyomor fázisban már történt fehérjebontás. Ez azt jelenti, hogy a nagyobb molekulatömegű (70 kDa feletti albumin, α -globulin) fehérjék már a kontroll mintában is teljesen lebomlottak. A kontroll mintánál beazonosított β -globulin, γ -globulin, hemoglobin (maradék) fehérjefrakciók sávjai nagy színintenzitást mutatnak. A β -globulin már 450 MPa-on nem volt beazonosítható, teljesen lebomlott. Látható, hogy a többi fehérjefrakció sávintenzitása csökkent a nyomáskezelés hatására a kontroll mintához képest, ami azt jelent, hogy a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés alkalmazása javította a fehérje emészthetőségét. A 450 MPa-on és 600 MPa-on kezelt minták esetében azonban nincs különbség a gyomorfázisban, tehát megállapítható, hogy a nyomásértékek növelése nem befolyásolta jobban a vérplazma emészthetőségét. A vérplazma vékonybélben történő emésztés elválasztási képén (30. ábra (C)) az látható, hogy vérplazma fehérjei teljesen lebomlottak. A gélképen megjelenő sávok az emésztéshez használt pankreatin enzim fehérje sávjai. A legtöbb folyamat, amely a táplálékot a szervezet számára hasznosítható formává alakítja, a vékonybélben történik (Sensoy, 2021). Így tehát az általam kapott

eredmények alapján elmondható, hogy a vérplazma könnyen emészthető fehérjeforrásnak tekinthető, melynek emészthetőségét a HHP kezelés tovább javítja.

5.2.4.2. A hemoglobin szuszpenziók *in vitro* emészthetőségének vizsgálata

A HHP kezelt (450 MPa, 600 MPa) hemoglobin szuszpenziókat (HG) *in vitro* emésztésnek tettem ki, ahol az emésztés hatását a minta fehérjéire vonatkozóan SDS-PAGE-vel követtem nyomon (31. ábra).

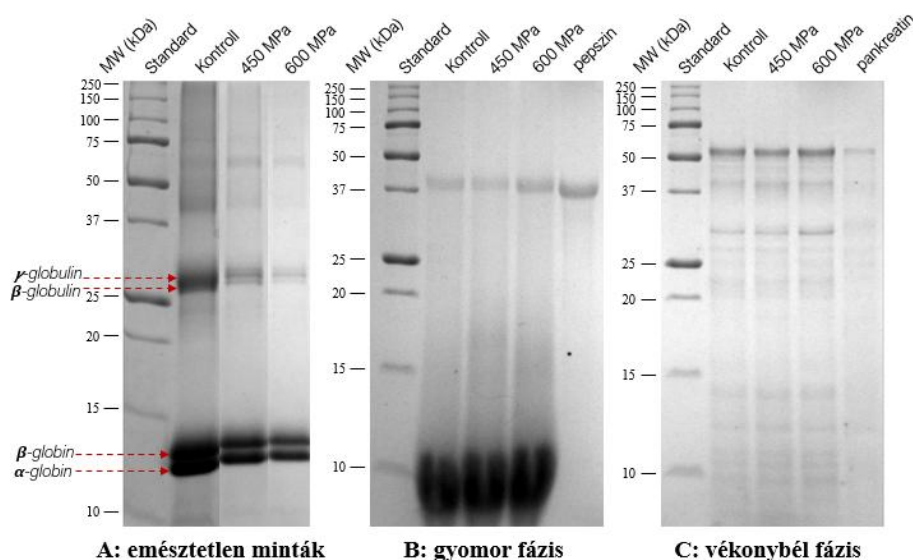


31. ábra: A HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt hemoglobin (HG) emésztetlen mintáinak (A) fehérje mintázata, valamint a HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt hemoglobin fehérjéinek *in vitro* gyomor (B)- és vékonybél emésztés (C) után bekövetkező változásainak nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val

A hemoglobin gyomor fázisát ábrázoló elválasztási képen (31. ábra (B)) különbség figyelhető meg az emésztetlen, kiindulási elválasztási képhez képest (31. ábra (A)). A hemoglobin esetében a 31. ábrán (A) beazonosított monomer hemoglobin, valamint a nagyobb molekulatartományban megjelenő globulin (α -, β , γ – globulin) sávok egyike sem jelenik meg a gyomoremésztés gélképén. Egy erős intenzív sáv látható, amely az emésztőenzim (pepszin) sávja. Továbbá látható, hogy a kis molekulatömegű tartományban (< 10 kDa) egy erősebb diffúz sáv jelenik meg, amely a hemoglobin hidrolíziséből származó peptidfragmenseknek felel meg. A vékonybél fázisban hemoglobinnal származó fehérjefrakció nem volt beazonosítható, csak a pankreatin fehérje sávjai láthatóak. Ezen eredmények értelmében a vérplazmához hasonlóan ezen minta is könnyen emészthető fehérjeforrásnak minősül.

5.2.4.3. A teljes vér szuszpenziók *in vitro* emészthetőségének vizsgálata

A 32. ábrán kerül bemutatásra az SDS-PAGE-val nyomon követett *in vitro* gyomor- és vékonybél emésztés hatásának vizsgálata a HHP kezelt (450 MPa, 600 MPa) teljes vér szuszpenziók (TV) fehérjéire vonatkozóan.



32. ábra: A HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt teljes vér (TV) emésztetlen mintáinak (A) fehérje mintázata, valamint a HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt teljes vér fehérjéinek *in vitro* gyomor (B)- és vékonybél emésztés (C) után bekövetkező változásainak nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val

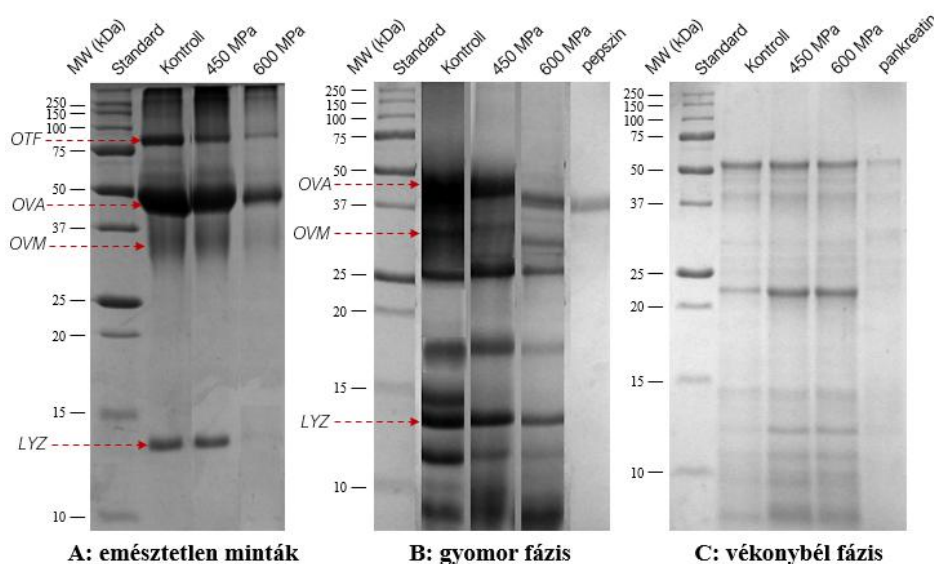
A teljes vér *in vitro* gyomorfázisát ábrázoló gélképet (32. ábra (B)) összehasonlítva az emésztetlen mintákat szemléltető gélképpel (32. ábra (A)) az látható, hogy a kis és közepes molekulatartományban jelenlévő β -, γ – globulin, valamint az α -, β – globin már a kontroll mintában teljesen lebomlott. A gélkép alján megjelenő diffúz sáv ezen fehérjék hidrolíziseiből származó peptidfragmentumok. Mivel a fehérje emésztési folyamat a gyomorban már be is fejeződött, így a vékonybél fázist ábrázoló gélképen csak a pankreatin enzim fehérje sávjai láthatóak. Ha megnézzük a vérplazma, hemoglobin és teljes vér gyomor fázisát ábrázoló gélképet látható, hogy a vérplazmában a globulinok és a hemoglobin csak részben emésztődött meg a 600 MPa-on nyomáskezelt mintában is, azonban a másik két vérminta esetében már a kontroll mintánál sem voltak beazonosíthatók ezen fehérjefrakciók. Ennek vélhetően az az oka, hogy a vizsgált vérplazma nagyobb zsírtartalma elvonhatja a pankreatin lipáz aktivitását, így az enzimek kapacitása megoszlik a zsírok és fehérjék között. Másrészt a zsírok fizikai akadályt is képezhetnek, ami gátolja a pankreatin proteázok hozzáférését a fehérjékhez.

A HHP befolyásolhatja a természetes táplálékmátrix szerkezetét, mivel a fehérjék részben denaturálódnak és a konformációk módosulnak, ami befolyásolja az emészthetőséget (Mills et al., 2009). Ezenkívül a HHP fokozhatja a fehérjék kölcsönhatását az élelmiszer-mátrix más komponenseivel, például lipidekkel és cukrokkal, és befolyásolhatja a fehérjék emésztését (Thomas et al., 2007). Mivel a táplálékmátrix nemcsak az élelmiszer emésztés előtti összetételét határozza meg, hanem a tápanyagok hozzáférhetőségét, felszabadulási hatékonyságát is az emésztés során, így az emésztőenzimek és a gyomor-bélrendszeri perisztaltika dekonstruálhatják és új táplálékstruktúrákat alakíthatnak ki (Ding et al., 2022).

Összességében elmondható, hogy az általam vizsgált vérpor minták könnyen emészthető élelmi forrásnak tekinthetők az emberi szervezet számára. Ugyanakkor ezen minták esetében (különösen a hemoglobin és teljes vérpor) a HHP technológia alkalmazása, mint az élelmiszerek emészthetőségének javítása és hatékonyabbá tétele szempontjából indokolatlan, ugyanis már a kontroll minták esetében is egy teljes mértékű emésztettségi állapot figyelhető meg.

5.2.4.4. A tojásfehérje szuszpenziók *in vitro* emészthetőségének vizsgálata

A HHP kezelt (450 MPa, 600 MPa) tojásfehérje szuszpenziókat (TF) *in vitro* emésztésnek vettem alá, ahol az emésztés hatását a minta fehérjéire vonatkozóan SDS-PAGE-vel követtem nyomon (33. ábra).



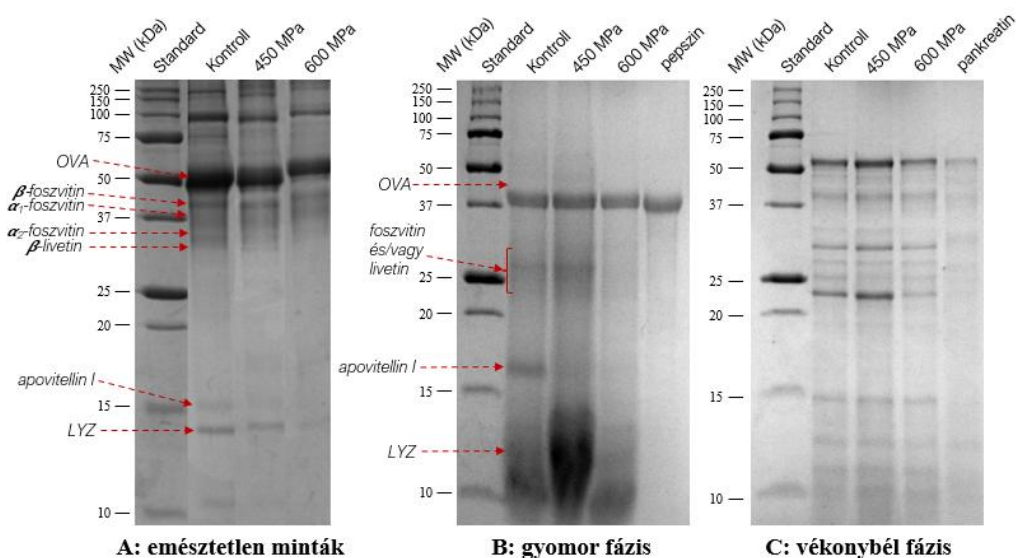
33. ábra: A HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt tojásfehérje (TF) emésztetlen mintáinak (A) fehérje mintázata, valamint a HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt tojásfehérje fehérjéinek *in vitro* gyomor (B)- és vékonybél emésztés (C) után bekövetkező változásainak nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val

A tojásfehérje gasztrointesztinális emésztés során bekövetkező proteolízise a 33. ábrán követhető nyomon. Az emésztőenzim hatásának ki nem tett, eredeti gélképhez viszonyítva (33. ábra (A)) látható, hogy a gyomorfázist ábrázoló gélkép több fehérjesávot mutat, amely a pepszin által okozott kiterjedt hidrolízis eredménye. A nagy és közepes molekulatömegű fehérjékből számos peptid szabadult fel, melyek a kisebb molekulatömegű tartományba vándoroltak. Az 33. (A) ábrán beazonosított fő tojásfehérje frakciók közül az ovotranszferrin sávja teljesen eltűnt, így a pepszin ezen fehérje teljes hidrolízisét okozta. Az ovalbumin, ovomukoid és a lizozim sávjai beazonosíthatóak maradtak a pepszines emésztést követően, a különbség a sávok intenzitásában mutatkozik, amely a fehérjebomlásra utal. Látható továbbá, hogy a kontroll mintában 25 és 37 kDa-on között egy összefüggő diffúz sáv jelenik meg, amely vélhetően az ovalbumin/ovotranszferrin lebomlott fehérjéiből származik és ez nehezíti az ovomukoid differenciálását. Azonban az megállapítható, hogy ezen fehérjefrakciónak is javította az

emészthetőségét a HHP kezelés, ugyanis a 450 MPa-on kezelt minta intenzívebb sávot mutat, mint a 600 MPa-on kezelt minta. Az általam kapott megfigyelések összhangban vannak Liu és kutatócsoportja (2018) által közölt eredményekkel, akik az ovotranszferrin pepszinnel történő teljes hidrolíziséről, valamint az ovalbumin és a lizozim részleges hidrolíziséről számoltak be hő- és PEF kezelt friss tojásfehérje mintákból. Az általam kapott eredményektől eltérő megállapításra jutottak Hoppe és társai (2013), akik tojásfehérjén alkalmaztak HHP kezelést 400, 600 és 800 MPa-on 5 percig. Az találták, hogy a fő tojásfehérje frakciók (OTF, OVA, OVM, LYZ) kevesebb, mint 2 perc alatt lebomlanak a pepszin hatására. A vékonybél emésztési fázis tekintetében az látható, hogy nem volt beazonosítható tojásfehérjéből származó fehérjesáv és csak a pankreatin emésztőenzim fehérje sávjai láthatóak.

5.2.4.5. A teljes tojás szuszpenziók in vitro emészthetőségének vizsgálata

Az emésztés alá vetett HHP kezelt (450 MPa, 600 MPa) teljes tojás szuszpenziók esetében az emésztés hatásának mértékét a minta fehérjéire vonatkozóan SDS-PAGE módszerével követtem nyomon (34. ábra).



34. ábra: A HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt teljes tojás (TT) emésztetlen mintáinak (A) fehérje mintázata, valamint a HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt teljes tojás fehérjéinek in vitro gyomor (B)- és vékonybél emésztés (C) után bekövetkező változásainak nyomonkövetése 6/15% SDS-PAGE-val

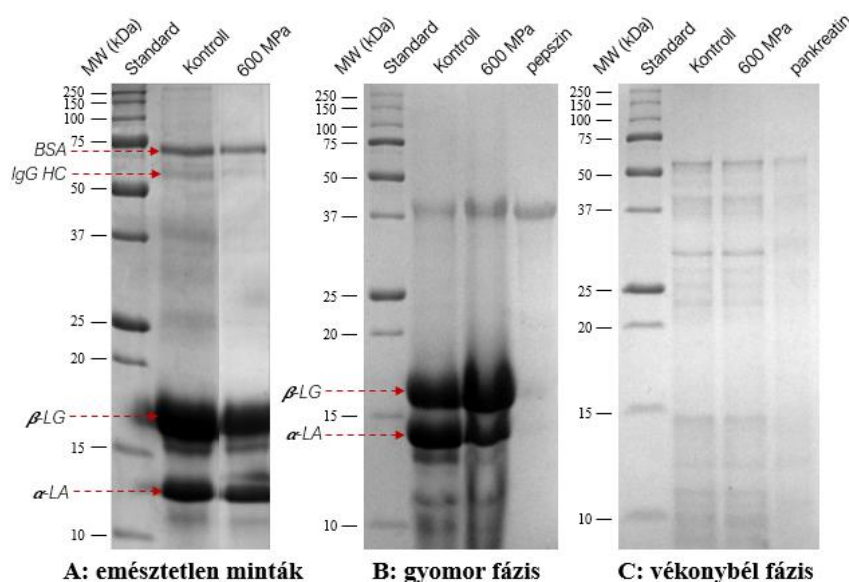
A teljes tojás gyomorfázisának elektroforetikus képén (34. ábra (B)) látható, hogy kevésbé összetett fehérjesávok látszódnak a még emésztés alá nem vetett mintákat ábrázoló gélképhez (34. ábra (A)) képest. Az OVA rendkívül keskeny és kis színintenzitású sávot mutat a kontroll és 450 MPa-on kezelt minta esetében, valamint 600 MPa-on már nem volt beazonosítható. A lizozim esetében is hasonlókat tapasztaltam, ugyanis ezen fehérje is kisebb színintenzitást mutat, mint a tojásfehérjében, azonban a lizozim 600 MPa-on történő kezelése után is beazonosítható maradt. Az OVA és LYZ kisebb színintenzitású sávjainak vélhetően, az az oka, hogy kevesebb mennyiségű OVA-t és LYZ-et tartalmaz a teljes tojás, mint a tojásfehérje és ezen mennyiségű

fehérjefrakciók könnyebben hidrolizálhatóak pepszinnel. Továbbá az emésztett kontroll mintában beazonosítható volt a tojássárgája fehérjéi közül a foszvitin és/vagy livetin, valamint az apovitellin I. Azonban látható, hogy a nyomásértékek növelésével ezen sávok színintenzitása is csökken az emésztett mintákban, sőt az apovitellin 600 MPa-on már nem is beazonosítható. Elmondható, hogy a teljes tojás esetében a fehérjék kevésbé rezisztensek a pepszinnel szemben, tehát jó emészthetőséggel rendelkeznek. A vékonybél fázisban nem volt beazonosítható tojásból származó fehérjesáv, tehát a pankreatin a teljes tojás fehérjéit teljes mértékben hidrolizálta, így csak a pankreatin sávjai láthatóak.

A tojást az egyik leginkább allergén élelmiszerként tartják számon, melyek bemutatásra kerültek az 5.2.3.2. fejezetben. Az élelmiszerfehérjék érzékenyítő és/vagy allergiás reakciókat kiváltó képessége a gyomor-bélrendszeri emésztéssel szembeni ellenálló képességükhöz kapcsolódik, ami végül lehetővé teszi, hogy kölcsönhatásba lépjenek a bélnyálkahártyával, ahol a felszívódás megtörténik (Jiménez-Saiz et al., 2012). Általánosan elfogadott, hogy a gyomor-bél traktusban teljesen megemésztett fehérje nem szívódik fel ép és funkcionálisan aktív molekulaként és nem valószínű, hogy allergizál (Organisms (GMO) et al., 2021). A tojásfehérje és a teljes tojás esetében is megállapítható, hogy a HHP kezelés alkalmazása csökkentette ezen minták allergizáló hatását, ugyanis a gyomorfázisban minden fehérje megemésztődött. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy az emésztés és a felszívódás összetett, erősen integrált és szabályozott élettani folyamatokat foglal magába, amely minden ember esetében más (pl. bélhámsejtek állapota, bélhám gát integritása).

5.2.4.6. A tejsavó szuszpenziók *in vitro* emészthetőségének vizsgálata

A HHP kezelt (600 MPa) tejsavó szuszpenziókat *in vitro* emésztés alá vetettem, és az emésztés hatását a fehérjéire vonatkozóan SDS-PAGE-val követtem nyomon (35. ábra). A tejsavó esetében a 450 MPa-on kezelt minta a mintaelőkészítés során tönkrement, így ezen mintánál csak a kontroll és 600 MPa-on történt kezelés eredményeit tudtam értékelni. A tejsavó gasztrointesztinális emésztését ábrázoló elektroforetikus profilján (35. ábra (B)) látható, hogy a gyomorfázisnál két fő fehérjesáv jelenik meg, ami megfelel a β -LG-nak és az α -LA-nak. Az emésztetlen, HHP kezelt mintákat ábrázoló gélképhez (35. ábra (A)) képest az látható, hogy több kisebb molekulatömegű sáv jelenik meg. Ez azt jelenti, hogy a pepszin képes a nagy molekulatömegű (BSA, IgG-HC) fehérjéket kis molekulatömegű polipeptidekké hidrolizálni és a HHP feltárhatja a fehérjék enzimhasadási helyeit, ezáltal javítva az enzimatisz hidrolízis hatékonyságát.



35. ábra: A HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt tejsavó (TS) emésztetlen mintáinak (A) fehérje mintázata, valamint a HHP (450 MPa, 600 MPa) kezelt tejsavó fehérjéinek *in vitro* gyomor (B)- és vékonybél emésztés (C) után bekövetkező változásainak nyomkövetése 6/15% SDS-PAGE-val

Látható továbbá, hogy a β -LG és az α -LA sávjainak intenzitása csökkent 600 MPa-on. Hasonló eredményeket figyeltek meg Jiang és társai (2023), akik *in vitro* szimulált csecsemőemésztés hatását vizsgálták a tejsavófehérje koncentrátum antigenitására. Továbbá Knudsen és munkatársai (2002) is hasonló véleményt fogalmaztak meg, akik a HHP kezelt β -LG enzim hidrolízisét peptidprofilozták. A β -LG esetében kisebb mértékű emészthetőség figyelhető meg 600 MPa-on, mint az α -LA esetében, melyből a sávok szélességéből következtethetünk. A β -LG elsődleges szekvenciája olyan peptidkötéseket tartalmaz, amelyek tripszinnel vagy pepszinnel hasíthatók, de a fehérje hidrofób magjában helyezkednek el, ezért az enzim számára hozzáférhetetlenek (Iskandar et al., 2015), azonban a 600 MPa-os HHP kezelés elősegítette a β -LG pepszin általi proteolízisét. Ennek az a magyarázata, hogy a HHP kezelés olyan konformációs változásokat indukált a β -LG-ben, ami a peptikus hasítási helyek fokozott expozícióját eredményezte és ezáltal a fehérje fokozott érzékenységét a pepszinnel szemben (Singh et al., 2014).

Az intestinális fázist illetően hasonlóan, mint a többi mintám esetében is csak a pankreatin fehérje sávjai jelentek meg. Melchior és társai (2023) felnőttek és idősek emésztési képességét vizsgálták *in vitro* statikus emésztési módszerrel. Különböző fehérjeforrásokat vizsgáltak, többek között a tejsavót is. A felnőtt ember vékonybél emésztése során kapott eredmény összhangban van az általam kapott eredménnyel, ami szerint nem volt már beazonosítható tejsavó eredetű fehérje, vagyis a pankreatin teljes hidrolízist eredményezett.

A fő tejsavó fehérjék a β -LG, α -LA, BSA jelentős allergizáló hatással bírnak. A tojásfehérjéhez hasonlóan a tejsavófehérjék esetében is elmondható, hogy a HHP kezelés hatására bekövetkező

aggregáció, fragmentáció, denaturáció pozitív irányba változtathatják meg a fehérjék allergén reaktivitását (Rahaman et al., 2016). Érdemes lenne immunanalitikai vizsgálatokat végezni az allergén jelleg csökkentésének tanulmányozására.

5.2.5. A kontroll és nyomáskezelt minták mikrobiológiai állapot változásának eredményei a tárolási napok előrehaladtával

A vér - és tojásmintákra kapott mikrobiológiai eredmények értékelése az élelmiszerekben előforduló mikrobiológiai szennyeződések megengedhető mértékéről szóló 4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet alapján történt. A mikrobák számának értékelésénél általában két határértéket kell figyelembe venni, melyek az általam kapott diagramokon is jelölésre kerültek. Az „m” érték a megfelelőségi - , míg az „M” érték a visszautasítási határértéket jelöli. E rendelet értelmében megfelelőnek minősül az adott minta, ha a megfelelőségi szintet (m) nem éri el. Tűrhető kategóriába sorolható, ha eléri vagy meghaladja ezt az értéket, de a visszautasítási határértéket (M) nem éri el. Továbbá nem megfelelő a minta és elutasításra kerül, ha az „M” értéket eléri vagy meghaladja (4/1998. (XI. 11.) rendelet, 1998). Az általam vizsgált minták közül a tejsavóra sem a 4/1998 (XI. 11.) EüM rendelet, sem pedig a 2073/2005/EK rendelet nem határoz meg összes mikroba számot, így ezen minta esetében a GSO/FDS (2014) alapján került értékelésre a megfelelőségi - és visszautasítási határérték.

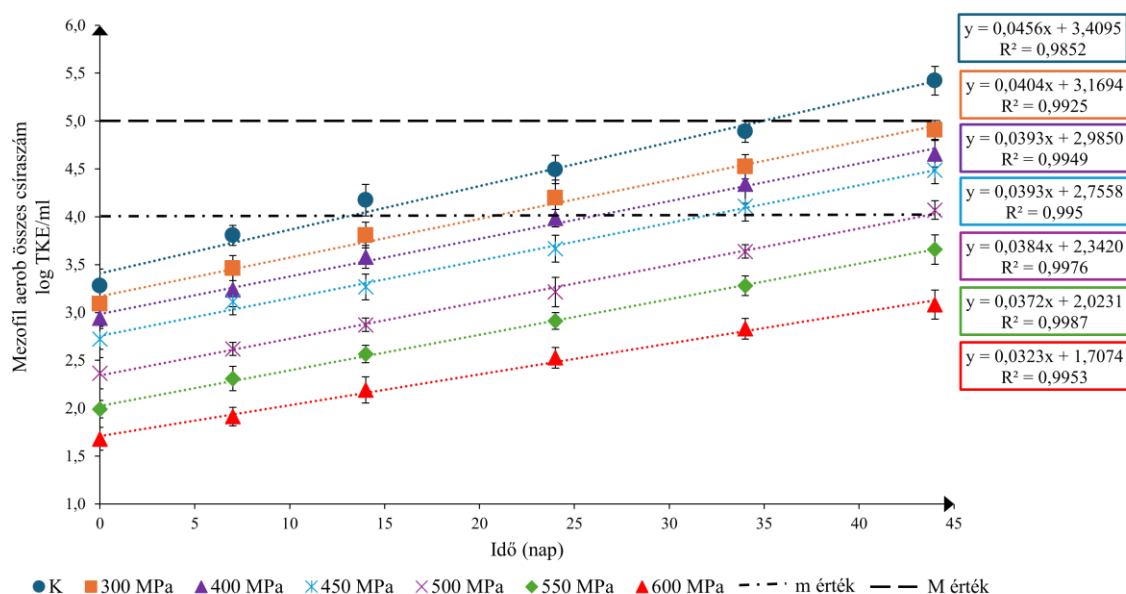
A 44 napos (~1,5 hónap) tárolási kísérlettel célom volt, hogy hosszabb távon figyelemmel tudjam kísérni a HHP-vel kezelt vér, tojás és tejsavó szuszpenziók mikrobiológiai stabilitását. Ez az időtartam lehetőséget biztosít a mikrobapopulációk esetleges újra növekedésének vagy stabilizálódásának nyomon követésére, valamint a termékek hosszabb távú eltarthatóságának és minőségének átfogóbb értékelésére.

Az élelmiszerporok szárítása során csökkentett vízaktivitású környezet alakul ki, így a mikrobák aktivitása minimálisra csökken, azonban a vízben történő visszaoldással a vízaktivitás ismét nő, amely kedvező feltételeket biztosít a mikroorganizmusok szaporodásához. Azt, hogy a dehidratálás milyen mértékben befolyásolja az összes mikroba számot, különböző tényezők befolyásolják. Többek között ide tartozik például az élelmiszer összetétele, pH-ja és a tárolás körülményei (Hebishy et al., 2023).

5.2.5.1. A vérplazma szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata

A 36. ábrán látható a kontroll és nyomáskezelt vérplazma minták mezofil összes csíraszámának alakulása a 44 napos tárolási idő alatt. A vérplazma 0. napon mért mezofil összes csíraszámában csökkenés tapasztalható a HHP kezelés hatására. Ez azt jelenti, hogy a kontroll mintához képest (3,28 log TKE/ml) a 600 MPa-on kezelt minta mikroba száma a felére csökkent (1,68 log TKE/ml). Az M8. mellékletben meghatározottak alapján elmondható, hogy a kontroll mintától a

450 MPa-on és afeletti nyomásértékeken kezelt minták mikroba száma szignifikánsan különbözik, míg az 550- és 600 MPa-on kezelt minták szignifikánsan nem különböznek egymástól.



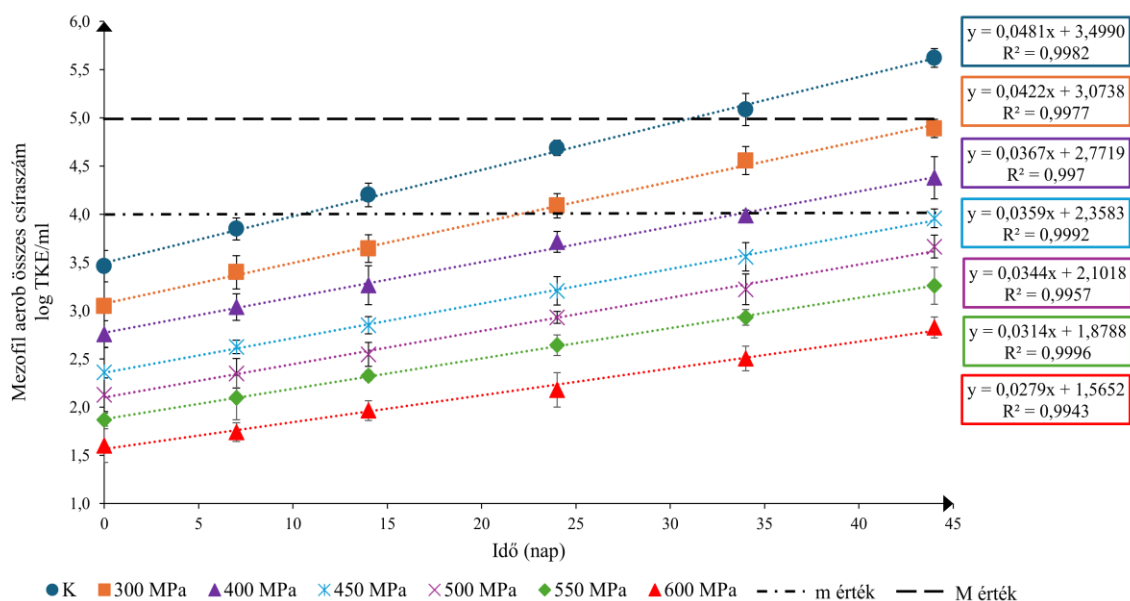
36. ábra: A kontroll és nyomáskezelt vérplazma szuszpenziók mezofil összes csíraszámának változása a tárolási idő előrehaladtával

A 36. ábrán látható, hogy a kontroll minta az utolsó tárolási napra már átlépte a visszautasítási határértéket. A HHP kezelt minták mindegyike ezen határérték alatt maradt, azonban a megfelelőségi szintet csak a két legnagyobb nyomásértéken kezelt minta nem éri el és haladja meg. Az egyenesek egyenletéből kapott meredekségi mutatók alapján az látszik, hogy már a legkisebb nyomásértéken (300 MPa) kezelt mintában is csökkenés tapasztalható a túlélő mikrobák szaporodásának tekintetében. A 400 és 450 MPa-on kezelt minták esetében nincs különbség az iránytangenst illetően, tehát ebben az esetben az 50 MPa nyomásnövelés nem volt hatással a mikrobák szaporodására. A 600 MPa-on kezelt minta esetében a kontroll mintához képest a mikrobák szaporodási sebességében 29 %-os csökkenés volt tapasztalható. Az általam kapott eredményektől eltérő megállapításra jutottak Pares és társai (2001), akik friss sertés vérplazmát 15 percig 450 MPa-on kezeltek különböző hőmérsékleteken (5 °C, 25 °C, 40 °C). Azt találták, hogy az 5 °C-on végzett kezelések mintegy 90%-kal csökkentették a mikrobaszámot és 20-50%-kal csökkentették a túlélő mikroorganizmusok szaporodási képességét.

5.2.5.2. A hemoglobin szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata

A kontroll és HHP kezelt hemoglobin szuszpenziók mezofil összes csíraszámának változását a tárolási napok előrehaladtával a 37. ábra mutatja be. A 0. napon mért hemoglobin szuszpenziók tekintetében az látható (37. ábra), hogy a kontroll mintához képest a 450 MPa-on nyomáskezelt mintánál már 1 logaritmusos egységnyi csökkenés volt tapasztalható, de 2 logaritmusos

egységnyi csökkenés a 600 MPa-on kezelt minta esetében sem volt tapasztalható. Megállapítható továbbá, hogy szignifikáns változás a kontroll mintához képest a 400 MPa-on és ennél nagyobb nyomásértékeken következett be. Ebben az esetben sem történt szignifikáns változás az 550 és 600 MPa-on kezelt minták mezofil összes csíraszámának változásában.

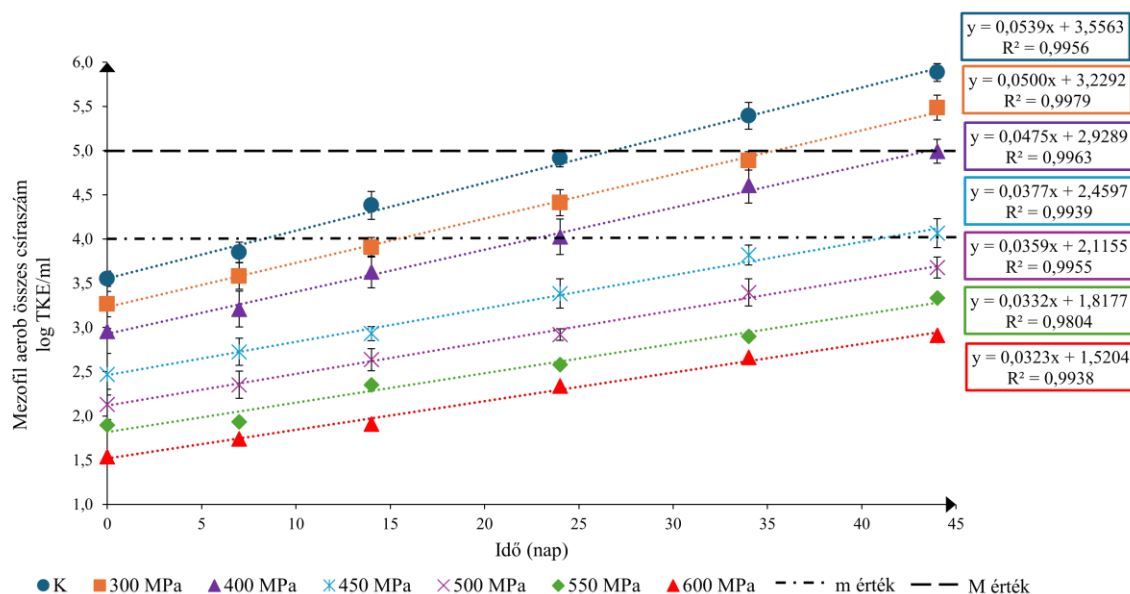


37. ábra: A kontroll és nyomáskezelt hemoglobin szuszpenziók mezofil összes csíraszámának változása a tárolási idő előrehaladtával

A 37. ábrán látható, hogy kontroll minta mikroba száma már a 34. napon meghaladja a visszautasítási határértéket, azonban a HHP kezelt minták közül egyik sem haladja meg ezt a kritikus határt. A 450, 500, 550 és a 600 MPa-on kezelt minták mindegyike a megfelelőségi szint alatt maradt a tárolási kísérlet utolsó napjáig. Ebből arra lehet következtetni, hogy a hemoglobin szuszpenziókra hatékonyabban fejtette ki mikroba pusztító hatását a HHP kezelés, mint a vérplazma szuszpenziókra. Az általam kapott eredményektől kissé eltérő megállapításra jutottak Toldrà és kollégái (2004). Ők friss, hemolizált, sertés vörösvérsejt frakciót vizsgáltak 400 MPa nyomáson, 20 °C-on 15 percig és ezt követően porlasztva szárították. Azt tapasztalták, hogy a HHP kezelés alkalmazása és azt követő dehidratálása 3,2 logaritmusos egységgel csökkentette az aerob mezofil mikroorganizmusok számát. A pontokra illesztett egyenes meredekségéből megállapítható, hogy a kisebb nyomásértékeken is (300, 400 MPa) már egy drasztikus csökkenés figyelhető meg a kezelést túlélő mikroorganizmusok szaporodásának tekintetében. Ez a csökkenő tendencia végig megfigyelhető a nyomásértékek növelésével. A 450 MPa-on kezelt minta esetében (az első minta, ami már belül van a megfelelőségi határértéken) a kontroll mintához viszonyítva 25 %-ban csökkent a mikrobák szaporodásának sebessége, míg a legnagyobb nyomásértéken kezelt mintánál a mikroba szaporodási sebességének mutatója értelmében már egy 42%-ban lassuló tendencia volt a jellemző.

5.2.5.3. A teljes vér szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata

A 38. ábra szemlélteti a teljes vér szuszpenziók összes mezofil csíraszámának alakulását a 44 napos tárolási kísérlet során.

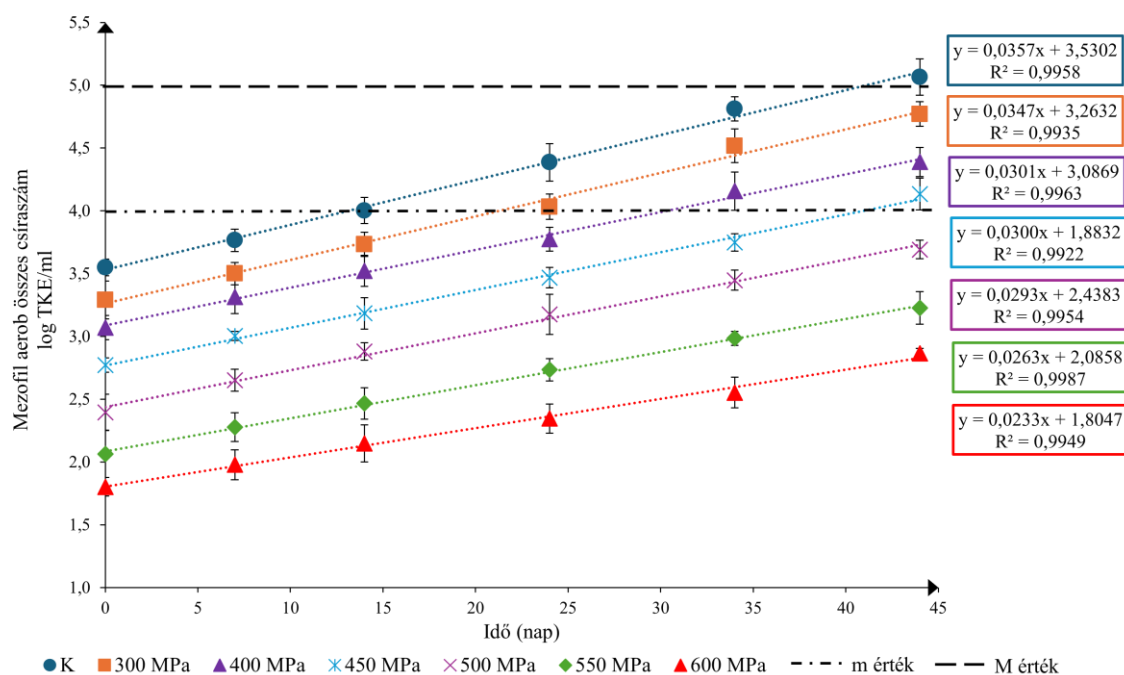


38. ábra: A kontroll és nyomáskezelt teljes vér szuszpenziók mezofil összes csíraszámának változása a tárolási idő előrehaladtával

A 38. ábra alapján elmondható, hogy a teljes vérminta tartalmazott a legnagyobb kezdeti mennyiségű szennyező mikroorganizmusokat a másik két vérmintához képest. Ezen szuszpenzió esetében a kezdeti csíraszám 3,55 log TKE/ml volt és ehhez képest a 450 MPa nyomáskezelés alkalmazása 1 logaritmus egységgel, míg a 600 MPa-os HHP kezelés 2 logaritmus egységgel csökkentette a minták mezofil összes csíraszámának alakulását. Ez azt is jelenti, hogy az általam vizsgált vérminták közül a teljes vér szuszpenzió esetében volt a leghatékonyabb a HHP kezelés csírapusztító hatása (0. nap). Látható továbbá, hogy a kontroll minta 34. és 44. napján, valamint a 300 MPa-on HHP kezelt szuszpenzió 44. napján történő mintavételezésből származó minták meghaladják a visszautasítási határértéket. A 400 MPa-on nyomáskezelt minta közel van ugyan a kritikus határértékhez (4,99 log TKE/ml), de még éppen belül marad ezen a határon és a tűrhető kategóriába sorolható. A megfelelő kategóriába az 500, 550 és a 600 MPa-on HHP kezelt minták voltak besorolhatóak a tárolási kísérlet végeztével. A mikroorganizmusok sejtszámának csökkenésében a 450 MPa-on kezelt minta esetében volt tapasztalható egy jelentősebb lassulási fázis, melynek mértéke 30 % a kontroll mintához képest. Ugyanezen paraméter tekintetében a 600 MPa-on HHP kezelt szuszpenzió esetében már egy 40%-os csökkenés volt elkönnyvelhető, mely közel azonos arányú, mint a hemoglobin 600 MPa-on nyomáskezelt mintája esetében.

5.2.5.4. A tojásfehérje szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata

A kontroll és HHP kezelt tojásfehérje szuszpenziók mezofil összes csíraszámában bekövetkező változásokat a tárolási napok előrehaladtával a 39. ábrán figyelhetjük meg. A tojásfehérje minták esetében is az látható, hogy a nyomásértékek növelésével a mezofil összes csíraszám tekintetében csökkenés érhető el.



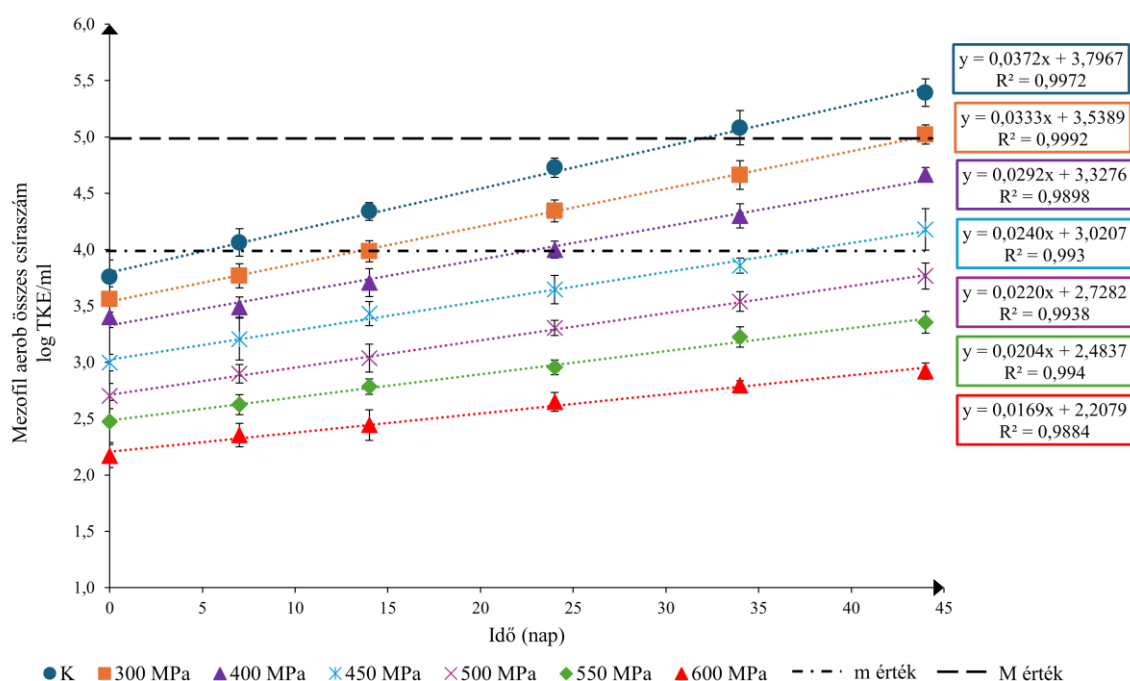
39. ábra: A kontroll és nyomáskezelt tojásfehérje szuszpenziók mezofil összes csíraszámának változása a tárolási idő előrehaladtával

A 39. ábrán megfigyelhető, hogy a kontroll minta kezdeti csíraszám 3,55 log TKE/ml, amely a 600 MPa-os nyomáskezelés végére 1,80 log TKE/ml mennyiségre redukálódik. Ez kb.1,75 logaritmusos egységnyi csökkenés jelent. Ezen eredményektől eltérő megállapításra jutottak Tóth és munkatársai (2017), akik tojásfehérje levet 300 MPa-on, 5 percig nyomáskezelték. Azt találták, hogy a HHP mikrobiológiai inaktíváló hatása 3 logaritmusos egységnyi volt. A 39. ábrán látható továbbá, hogy a visszautasítási határértéket egyedül a kontroll minta utolsó mintavételezési napján haladta meg a mezofil összes csíraszám mennyisége. A megfelelőségi szintet jelölő 4 log TKE/ml határérték alatt az 500, 550 és 600 MPa-on kezelt minták maradtak a 44 napos tárolási kísérlet során. Az egyenes egyenleteinek meredekségei alapján megállapítható, hogy hasonlóan a vérplazmánál kapott eredményekhez itt is minimális a különbség a 400 és 450 MPa-on kezelt minták sejtszámának növekedési ütemében. A mikroorganizmusok szaporodási sebességére vonatkozóan elmondható továbbá, hogy a legnagyobb mértékű csökkenő tendencia a 300 MPa és az azt követő 400 MPa-on történő kezelések között mutatkozik. Számokban kifejezve ez azt jelenti, hogy a 400 MPa-os nyomáskezelés alkalmazása a 300 MPa-hoz képest 13%-ban idézett elő lassulást a mikrobák

szaporodásában. A kontroll mintához képest a legnagyobb nyomásérték alkalmazása 35%-ban csökkenő sejtszám növekedést indukált.

5.2.5.5. A teljes tojás szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata

A kontroll és HHP kezelt teljes tojás szuszpenziók mezofil aerob mikroba számának vizsgálata során a 40. ábrán megjelenő eredményeket kaptam. A 0. napon mért értékek alapján megállapítható, hogy a HHP kezelés kevésbé volt hatékony ezen mintáknál, mint a tojásfehérje szuszpenziók esetében. Itt ugyanis a 600 MPa-os (2,17 log TKE/ml) nyomás a kontroll mintához (3,76 log TKE/ml) képest csupán 1,59 logaritmusos egységnyi csökkenést eredményezett.

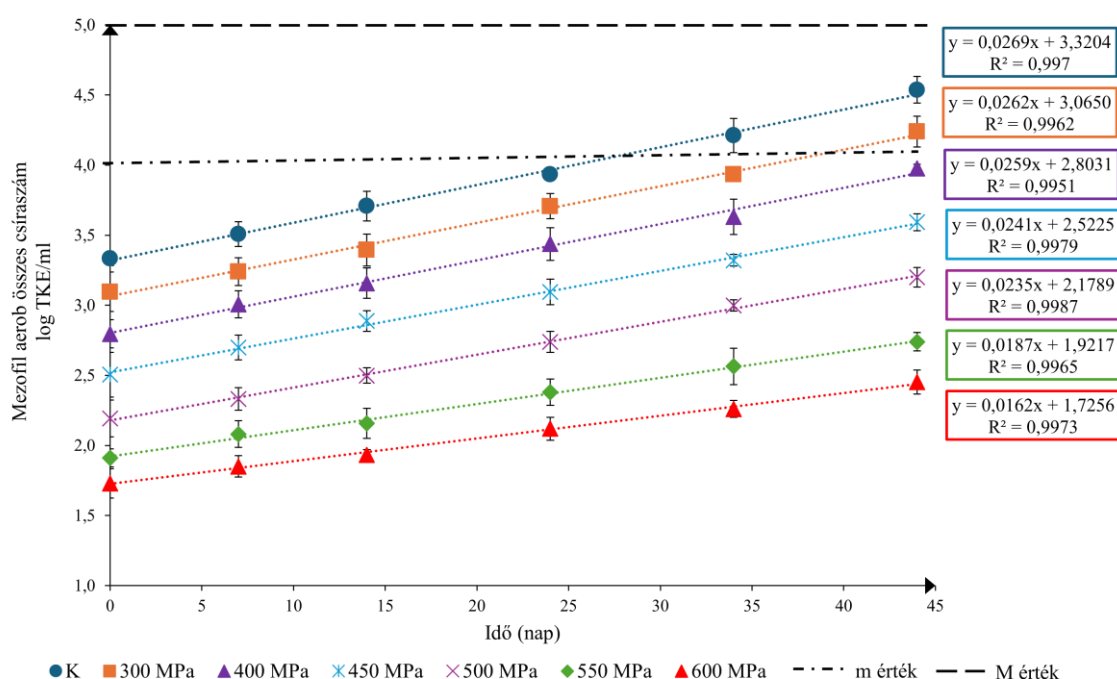


40. ábra: A kontroll és nyomáskezelt teljes tojás szuszpenziók mezofil összes csíraszámának változása a tárolási idő előrehaladtával

Látható, hogy a visszautasítási határértéket meghaladta, ezáltal élelmiszer mikrobiológiai szempontból elutasításra került a kontroll minta 34. és 44., valamint a 300 MPa-on HHP kezelt szuszpenzió 44. napjából származó minták. Hasonlóan a tojásfehérjéhez és a teljes vér szuszpenziókhoz ezen vizsgálati sorozatban is az 500, 550 és a 600 MPa-os nyomás alkalmazása biztosította a megfelelősegi határérték meg nem haladását. Az egyenletek meredekségi mutatóiból következtetve ezen mintákat illetően is megállapítható, hogy a nyomásértékek növelése lelassította a túlélő sejtek növekedésének mértékét. A kontroll mintához képest a 600 MPa-os nyomás igénybevételével egy 54%-os lassulási mérték volt tapasztalható. Ez az érték nagyobb, mint a tojásfehérje minták esetében, tehát a HHP kezelt teljes tojás egy kedvezőtlenebb környezetnek bizonyult a túlélő mikroorganizmusok szaporodásának tekintetében.

5.2.5.6. A tejsavó szuszpenziók mezofil aerob összes csíraszámának vizsgálata

A 41. ábra szemlélteti a kontroll és nyomáskezelt tejsavó szuszpenziók mezofil összes csíraszámának alakulását a 44 napos tárolási idő alatt. A tejsavó szuszpenzió 0. napon mért mikrobiológiai vizsgálata során azt tapasztaltam, hogy a kiindulási mezofil aerob összes csíraszám (3,33 log TKE/ml) 1,6 logaritmikus nagyságrenddel csökkenthető 600 MPa-os nyomáskezelés (1,73 log TKE/ml) alkalmazásával. Liu és társai (2020) arról számolt be, hogy a 600 MPa-on (5 perc, 45 °C) végzett HHP-kezelés 3,00 log TKE/ml-rel csökkentette a tejben lévő összes mikroba számot, ami az ő esetükben is megerősítette, hogy a HHP kiemelkedő inaktíváló hatást fejtett ki.



41. ábra: A kontroll és nyomáskezelt tejsavó szuszpenziók mezofil összes csíraszámának változása a tárolási idő előrehaladtával

A 41. ábra alapján megállapítható, hogy élelmiszerbiztonsági szempontból ezen minta esetében kaptam a legígéretesebb eredményeket a tárolási kísérlet során. Megfigyelhető, hogy a visszautasítási határértéket egyetlen minta sem haladja meg, továbbá a tűrhető kategóriába is csak 3 minta (K-34. nap, K-44. nap, 300 MPa-44. nap) sorolható be. A legtöbb minta a 4 log TKE/ml megfelelőségi határérték alatt maradt. Hasonlóképpen Stratakos és munkatársai (2019) azt találták, hogy az összes csíraszám a tejben 4 log TKE/ml alatt maradt 600 MPa, 3 perces HHP kezelés után 14 napos 4 °C-on történő tárolás során. Az egyenletek iránytangenseit megfigyelve egyértelműen kijelenthető, hogy az összes többi vizsgált mintához képest a tejsavó biztosította a legkevésbé optimális szaporodási környezetet a mikrobák számára. Itt a legkisebb a kontroll minta meredekségi mutatója, ami a HHP értékek növelésével folyamatosan csökken. Az 500 és 550 MPa-on történő nyomáskezelés egy jelentősebb mértékű csökkenést vont maga

után a mikroorganizmusok szaporodási sebességének értelmében. Ez az 50 MPa-lal nagyobb nyomás alkalmazása egy 20% lassulást okozott a mikróbák szaporodásában bekövetkező változás során, míg a kontroll mintához képest a 600 MPa-os HHP kezelés 39%-os csökkenést jelent ugyanezen paramétert illetően. Yu és kollégái (2022) a tej HHP (600 MPa/15 min) kezelésének hatását vizsgálták a mikroorganizmusokra és a minőségre 30 napos 4 °C-os tárolás során. Azt tapasztalták a 30 napos hűtőtárolás során, hogy az összes csíraszám log 1,46 TKE/ml-ről 2,22 log TKE/ml-re nőtt, melynek mértéke 0,76 log TKE/ml. Ez az eredmény összhangban van általam kapott eredményekkel, ugyanis a kiindulási csíraszám 2,79 log TKE/ml a 34. tárolási napra 3,63 log TKE/ml-re emelkedett. Ez 0,83 logaritmikus egységnyi növekedést jelent.

Összességében elmondható, hogy a HHP kezelés alkalmazása a vártaknak megfelelően kedvezően befolyásolta minden minta tekintetében a mezofil összes csíraszámának alakulását. Továbbá megállapítható az összes vizsgált szuszpenzió esetében, hogy a kontroll mintához képest a 300 MPa-os nyomáskezelés nem okozott szignifikáns változást a mikróbák mezofil összes csíraszámának értelmében csakúgy, mint a 600 MPa-os nyomáskezelés sem okozott szignifikáns csökkenést az 550 MPa-on kezelt mintához képest. A HHP teljes vagy részleges csírapusztító hatása többek között a mikroorganizmusok sejtmembrán sérülésének tulajdonítható (Lado and Yousef, 2002). Az általam vizsgált minták esetében vélhetően egy részleges sejtmembrán károsodás történt, mely a nyomásértékek növelésével súlyosbodhatott. Ez a konklúzió arra vezethető vissza, hogy a tárolási kísérlet során összes minta esetében mikroorganizmus felszaporodás volt tapasztalható a tárolási idő előrehaladtával. Azonban a HHP kezelést túlélő mikróbák szaporodásának sebességi mutatójában ígéretes eredményekre jutottam, ugyanis az általam vizsgált szuszpenziók mindegyikében a 44 napos tárolási kísérlet során egy csökkenő tendencia mutatkozott a nyomásértékek növelésével arányosan.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A globális népességnövekedés következtében az élelmiszeriparnak egyre nagyobb kihívást jelent a megfelelő mennyiségű és minőségű fehérje biztosítása. A jelenlegi mezőgazdasági rendszerek nem tudják kielégíteni az állati eredetű fehérjék iránti növekvő igényt, ezért fenntartható alternatívákra és korszerű feldolgozási technológiákra van szükség. A HHP technológia ígéretes megoldást kínál, mivel képes a kórokozók inaktiválására és az eltarthatóság növelésére anélkül, hogy rontaná az élelmiszerek tápértékét vagy érzékszervi tulajdonságait. Ez a megközelítés egyre fontosabb szerepet játszik a jövő fenntartható fehérjeellátásában.

Dolgozatomban különböző állati eredetű fehérjeporok rehidratált szuszpenzióit vizsgáltam HHP kezelést követően, ugyanis ezen anyagok ilyen formában történő viselkedéséről eddig kevés adat állt rendelkezésre. Kutatásom több nyitott kérdésre adott választ, hozzájárulva a HHP technológia élelmiszeripari alkalmazásának mélyebb megértéséhez.

Az elvégzett mérések eredményei alapján minden mintát illetően egy optimális nyomásérték/nyomástartomány állapítható meg, amely a kívánt élelmiszeripari célkitűzésekhez illeszkedik. Ennek megfelelően a vizsgált szuszpenziók *folyadékként, folyékony anyagként* történő felhasználásához a következő maximális nyomásértékeket javaslom: teljes vér 400 MPa, tojásfehérje 450 MPa, vérplazma és teljes tojás 550 MPa, hemoglobin és tejsavó 600 MPa. Ezen nyomásértékek felett a szuszpenziók *gél állapotba* kerülnek, lehetővé téve strukturáltabb termékek, például pudingok vagy zselék előállítását. Az 550 és 600 MPa-on történő HHP kezelés minden szuszpenzió esetében biztosítja a megfelelő *mikrobiológiai tisztaságot* a kezelést követő 44 napon keresztül. A HHP kezelés javítja a szuszpenziók fehérjefrakcióinak *emészthetőségét*, ami a fehérjeporok élelmiszeripari alkalmazása szempontjából fontos tényező lehet tápszerek, funkcionális élelmiszerek, speciális célra szánt készítmények vagy dúsított joghurtok, italok, sütőipari termékek fejlesztése terén. Az emésztési vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a vérminták mindegyike könnyen emészthető fehérjeforrásnak tekinthető az emberi szervezet számára, így a HHP technológia alkalmazása az emészthetőség javítása és hatékonyabbá tétele szempontjából a teljes vér és hemoglobin minták esetében nem indokolt. A vérplazma és a teljes tojás esetében azonban a 450 MPa, míg a tojásfehérje és tejsavó esetében pedig 600 MPa vagy e feletti nyomás alkalmazását javaslom a szuszpenziókban található fehérjék biológiai hasznosulásának javítására.

Következésképpen az eredmények arra utalnak, hogy a rehidratált fehérjeszuszenziók HHP kezelése új lehetőségeket kínál az élelmiszeripar számára, különösen a funkcionális és speciális táplálkozási célú termékek fejlesztésében. Ezen termékek piaci bevezetése ugyanakkor megfelelő tudományos megalapozottságot, valamint hatékony fogyasztói tájékoztatást igényel,

hogy a bennük rejlő technológiai és táplálkozási előnyök széles körben elfogadottá váljanak. A HHP technológia tehát nemcsak az eltarthatóság növelésében és az élelmiszerbiztonság javításában játszhat szerepet, hanem hozzájárulhat a modern, egészségtudatos táplálkozási trendekhez igazodó termékportfólió kialakításához is.

További vizsgálatok szükségesek a hosszú távú tárolhatóság, funkcionális tulajdonságok stabilitása, valamint az érzékszervi jellemzők megértése érdekében. Emellett kiemelt figyelmet kell fordítani az egyes fehérjeforrások allergén tulajdonságaira és azok HHP kezelés során bekövetkező változásaira is. A technológia ipari léptékű bevezetése során gazdaságossági szempontokat is figyelembe kell venni, különösen az energiafelhasználás és a berendezések költségei tekintetében. Mindezek alapján a HHP technológia komplex megközelítést igényel, amely ötvözi a mikrobiológiai biztonságot, a táplálkozás-élettani előnyöket, a gazdasági hatékonyságot és a fogyasztói elvárásokat. A jelen disszertációban bemutatott eredmények ehhez a komplex szemlélethez kívánnak hozzájárulni és irányt mutatni a jövőbeli kutatások és innovációs fejlesztések számára. Az állati eredetű fehérjék HHP technológiával történő feldolgozása így nemcsak új termékek fejlesztését teszi lehetővé, hanem hozzájárulhat egy fenntarthatóbb, biztonságosabb és egészségtudatosabb élelmiszerrendszer kialakításához is.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a vérplazma, a tojásfehérje és a teljes tojás szuszpenziók reológiai viselkedése szignifikánsan ($p < 0,05$) megváltozott a HHP kezelés hatására. A kisebb nyomásértékek (300–500 MPa) mellett dilatációs viselkedést mutattak, míg a nagyobb nyomásokon (550–600 MPa) pszeudoplasztikus tulajdonságaik jelentkeztek. Eredményeim újdonságot jelentenek a vérplazma, a tojásfehérje és a teljes tojás HHP kezelése kapcsán, mivel korábban ezen minták ilyen jellegű reológiai vizsgálata nem történt meg.
2. Kimutattam, hogy a hemoglobin szuszpenzió reológiai paraméterei a 300–600 MPa nyomástartományban nem változtak szignifikánsan ($p > 0,05$), így ezek a minták reológiaiilag stabilnak tekinthetők, függetlenül a HHP kezelés intenzitásától.
3. SDS-PAGE vizsgálataim eredményei alapján megállapítottam, hogy a teljes vér szuszpenziókban a 300 MPa nyomás alkalmazása a β - és γ -globulin, valamint α - és β globin frakciók színintenzitásában és szélességében csökkenést eredményeztek. E változások mértéke a további nyomásnövelés hatására nem fokozódott, vagyis a HHP kezelés hatása ezen frakciók esetén nyomásfüggetlen módon jelentkezett.
4. A tojásfehérje és teljes tojás szuszpenziók SDS-PAGE elválasztási képe alapján megállapítottam, hogy az ovalbumin sáv intenzitásának csökkenése a tojásfehérje esetében 400 MPa, míg a teljes tojás esetében 500 MPa nyomás alkalmazása mellett kezdődött. Továbbá mindkét minta esetében megállapítottam, hogy a lizozim 450 MPa nyomásig stabil maradt és ellenállt a nyomásnak, azonban az 550 és 600 MPa nyomás alkalmazása már a lizozim sáv intenzitásának teljes mértékű csökkenését idézte elő.
5. A tejsavó szuszpenzió SDS-PAGE elválasztási képe alapján megállapítottam, hogy a béta-laktoglobulin (β -LG) és az alfa-laktalbumin (α -LA) sávok intenzitásának csökkenése 300 MPa-on kezdődött, melynek mértéke az α -LA esetében 600 MPa-ig, a β -LG esetében pedig 550 MPa-ig nem fokozódott tovább és ezen a tartományon belül változatlanok maradtak a HHP kezeléssel szemben.
6. A gyomorfázisban végzett *in vitro* emésztési vizsgálatok eredményei alapján megállapítottam, hogy a HHP kezelés 450–600 MPa között javította a vérplazma, a tojásfehérje, a teljes tojás és a tejsavó szuszpenziók fehérjéinek emészthetőségét. Ugyanakkor a hemoglobin és a teljes vér esetében a fehérjék már kezelés nélkül is teljes mértékben lebomlottak, így ezen minták esetében a HHP alkalmazása nem szükséges az emészthetőség javításához.

7. A mezofil aerob mikroorganizmus-szám 44 napos hűtve tárolás során végzett vizsgálatok alapján megállapítottam, hogy a 600 MPa-os HHP kezelés minden minta esetében jelentős (1,5 logaritmikus egységet meghaladó) mértékű mikrobaszám-csökkenést eredményezett. A tejsavó, a tojásfehérje, a hemoglobin és a vérplazma szuszpenziók mikrobiológiai állapota a tárolási idő végén kifogástalan volt, így a HHP kezelés a mikrobiológiai eltarthatóság szempontjából hatékony beavatkozásnak bizonyult.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az állati eredetű élelmiszerek fogyasztása hosszú múltra tekint vissza az emberi táplálkozásban betöltött kulcsfontosságú szerepüknek köszönhetően. A kiemelkedő tápértékük mellett az ilyen típusú élelmiszerek nagy vízaktivitással és tápanyagban gazdag összetétellel rendelkeznek, ezáltal a gyorsan romló élelmiszerek közé tartoznak. Az eltarthatósági idő növelése érdekében víztartalmuk csökkentése (porítás) előnyös a könnyebb tárolás és szállítás szempontjából. Ennek okán a dolgozatom kutatási alapanyagaiként a vér-, tojás- és a tejsavópor szolgálnak. A tojás porítása tartósítási módszerként csökkentheti a szezonális ingadozást és egész évben elérhető terméké alakítható. A vér és a tejsavó, mint vágóhídi és sajtgyártási melléktermékek, egyre inkább fenntartható fehérjeforrásként kerülnek előtérbe az élelmiszeriparban. Ezen melléktermékek feldolgozása nemcsak a hulladékgazdálkodást javítja, hanem hozzájárul a környezeti fenntarthatósághoz is.

Az elmúlt években jelentős átalakulás következett be a fogyasztói trendekben és egyre nagyobb igény mutatkozik a természetes, adalékanyagmentes élelmiszerek iránt. Ezen változásokat követve, a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (HHP), mint nem termikus feldolgozási módszer kiemelkedő szerepet kapott. A HHP képes inaktiválni a káros mikroorganizmusokat, miközben megőrzi az élelmiszer minőségét, tápanyagait és érzékszervi tulajdonságait. Ezen technológia alkalmazása a vér, tojás és tejsavó alapanyagok kutatása során elsősorban a nyers formájukra összpontosít, míg a rehidratált, HHP kezelésnek kitett állati eredetű termékek vizsgálata még nem kapott kellő figyelmet. Így ezen tématerület jelentős kutatási potenciált és alkalmazási lehetőségeket rejt az élelmiszeripar számára.

E tények ismeretében a doktori dolgozatom célkitűzései között szerepelt a különböző porminták (vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás és a tejsavó por) folyékonysági mutatóinak vizsgálata, rehidratációs tulajdonságainak elemzése, valamint a portermékek aminosav összetételének meghatározása. Az ezt követő célkitűzéseim a rehidratált, nagy hidrosztatikus nyomáskezelésnek alávetett minták tulajdonságainak átfogó megértésére irányultak. Ebből kifolyólag célként fogalmaztam meg a HHP kezelés (300 MPa-tól 600 MPa-ig, 5 perc) hatásainak feltérképezését a minták (vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás és a tejsavó szuszpenzió) színére, reológiai tulajdonságaira, fehérjék molekulatömeg szerinti eloszlására, valamint az emészthetőségére. Ezeken kívül vizsgáltam, hogy a HHP kezelés miként befolyásolja a minták mikrobiológiai paramétereit, különös tekintettel a mezofil összes csíraszám alakulására a 44 napos tárolási idő alatt.

A portermékeken végzett mérések eredményei:

A porminták ömlesztett és tömörített térfogatsűrűségének vizsgálata során megállapítottam, hogy egyik minta sem volt teljesen szabadon folyó. A folyékonyságot meghatározó mutatók alapján (Carr-index, Hausner-arány) a tojásporok (tojásfehérje, teljes tojás) rendelkeztek a leggyengébb áramlási karakterrel. Ezen attribútum értelmében a vérporokat, azok közül is a hemoglobint jellemezte a legkedvezőbb áramlási tulajdonság.

A rehidratációs tulajdonságok tanulmányozása kapcsán arra a megállapításra jutottam, hogy minden vizsgált paraméter (nedvesíthetőség, diszpergálhatóság, oldhatóság) tekintetében a tejsavóport jellemezte a legkedvezőbb rehidratációs viselkedés és ezen tulajdonság mindegyikében szignifikánsan különbözött a többi mintától.

Az általam vizsgált állati eredetű portermékek összes fehérjetartalmára (%) a következő eredményeket kaptam csökkenő sorrendben: hemoglobin por (93%), tejsavó por (93%), teljes vérpor (88%), tojásfehérje por (86%), vérplazma por (69%) és teljes tojáspor (48%). A legnagyobb esszenciális aminosav tartalommal a hemoglobin rendelkezett, melyet kiemelkedően nagy leucin tartalom jellemezett. Az általam vizsgált minták mindegyike tartalmazta az összes esszenciális aminosavat és a legtöbb esetben az aminosavak mennyisége (mg/g fehérje) meghaladta a referencia értéket. Ez alól kivétel volt az összes vérpor izoleucin tartalma, valamint a teljes vérpor és a hemoglobin metionin és cisztein tartalma, melyet a kalkulált aminosav értékek is mutattak. A vérpor minták közül tehát egyik sem tekinthető teljes értékű fehérjeforrásnak.

A HHP kezelt szuszpenziók vizsgálatának mérési eredményei:

Színmérics eredményei:

Az általam vizsgált minták mindegyikére igaz az a megállapítás, hogy a HHP kezelés alkalmazása a növekvő nyomásértékek mellett szignifikáns változásokat okozott a minták színparamétereiben (L^* , a^* , b^*). A HHP kezelés hatására vérplazma szuszpenziók világosodtak és a kék tónus irányába tolódtak. A hemoglobin szuszpenziók a nyomásértékek növelésével sötétedtek és a vörös színtartomány felé mozdultak. A teljes vér szuszpenziók esetében azt tapasztaltam, hogy az emelkedő nyomásértékek mellett a minták világosodtak, valamint egyre jobban elmozdultak a vörös, illetve sárga színtartomány felé. A HHP kezelés intenzitásának növelésével a tojásfehérje szuszpenziók világosodtak, valamint egyre inkább a zöld és sárga színtónus jellemezte a mintákat. A teljes tojás szuszpenziók színparamétereiben az 500 MPa-os nyomás alkalmazása idézett elő szignifikáns változásokat. Ezen a paraméteren a mintát sötétebb, zöldebb és sárgásabb szín jellemezte a kontroll és kisebb nyomásértékeken kezelt mintákhoz képest. A teljes tojás szuszpenziók színparamétereire a nyomásértékek növelésével világosodás, a zöld színárnyalat csökkenése, valamint a kék színtónus felé történő elmozdulás volt a jellemző.

Reológiai tulajdonságok mérési eredményei:

A HHP kezelt szuszpenziók reológiai tulajdonságának vizsgálata során megállapítottam, hogy a HHP kezelés alkalmazása nem befolyásolta jelentős mértékben a tejsavó szuszpenziók reológiai viselkedését. A vérplazma, tojásfehérje és a teljes tojás szuszpenziók esetében azt tapasztaltam, hogy a kisebb nyomásértékeken dilatáló reológiai viselkedéssel jellemezhető minták a nagyobb nyomás alkalmazása (500, 550, 600 MPa) mellett már pszeudoplasztikus reológiai tulajdonságokat mutatnak. A teljes vér és hemoglobin szuszpenziókat illetően megállapítható volt, hogy a HHP kezelés alkalmazása nem változtatta meg a minták áramlási tulajdonságát és minden minta dilatációs reológiai tulajdonsággal rendelkezett. A teljes vér esetében a folyáshatárt illetően jelentkezett különbség a HHP kezelés hatására, ugyanis a nyomásértékek növelésével nagyobb nyírófeszültség értékekre volt szükség a teljes vér folyásának megindításához.

Poliakrilamid-gélelektroforézis (SDS-PAGE) eredményei:

A vérplazma és hemoglobin szuszpenzió elektroforetikus elválasztási képei alapján nem volt különbség a kontroll és 300-600 MPa-on HHP kezelt minták között, tehát a rehidratált hemoglobin és vérplazma fehérjék intenzíven ellenálltak a nagy nyomásnak is. A tojásfehérje SDS-PAGE analízise során azt tapasztaltam, hogy a lizozim sávjai 550 és 600 MPa-on eltűntek. Az 500 MPa és afeletti HHP kezelés az ovalbumin sávintenzitásának nagy mértékű csökkenését idézte elő. Ugyanezen nyomások alkalmazása az ovotranszferrin sávintenzitásában is csökkenést eredményeztek. A teljes tojás SDS-PAGE elektroforetikus mintázata alapján elmondható volt, hogy az 550 és 600 MPa-os nyomás a lizozim sávintenzitásának teljes mértékű csökkenését eredményezte csakúgy, mint a tojásfehérjében. Az ovalbumin frakciót illetően megállapítható, hogy 450 MPa-ig történő nyomás alkalmazása nem volt hatással ezen fehérjére, míg az 500 MPa-os nyomás alkalmazása már a sáv színintenzitásában kisebb mértékű csökkenést okozott, melynek mértéke a növekvő nyomásértékek mellett nem változott. A tojássárgája fehérjéi közül a kisebb molekulatömegű α_2 -foszvitin és β -livetin sávintenzitása teljes egészében lecsökkent 550 MPa-on. A tejsavó szuszpenziók SDS-PAGE vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a β -LG sávintenzitása már 300 MPa nyomáson kis mértékben csökkent, azonban az ezt követő nyomásértékeken 550 MPa-ig nem volt tapasztalható jelentős változás a sávok intenzitásában. Az α -LA esetében is már 300 MPa nyomáson kisebb mértékű csökkenés figyelhető meg a sávintenzitásban, amely a további nyomásértékeken nem változott.

In vitro emészthetőség eredményei:

Az *in vitro* emésztés gyomor fázisában bekövetkező változások alapján megállapítható, hogy a HHP alkalmazása javította a vérplazma fehérjék emészthetőségét, azonban a nyomásérték növelése (450 MPa-ról 600 MPa-ra) nem javította jobban a vérplazma emészthetőségi állapotát. A hemoglobin és a teljes vér szuszpenzió esetében is már a gyomor fázisban minden fehérje lebomlott a kontroll mintában is. Ebből arra következtethetünk, hogy ezen minták könnyen emészthető fehérjeforrások és nem indokolt a HHP kezelés alkalmazása az emészthetőség javítása céljából. A tojásfehérje *in vitro* emésztése során azt tapasztaltam, hogy az ovalbumin, ovomukoid és a lizozim sávjai beazonosíthatóak maradtak a pepszines emésztést követően, azonban a sávok intenzitásai csökkentek, ami a fehérjék bomlását jelezte. Ennek mértéke a nyomás növelésével arányosan változott, tehát a HHP alkalmazása hozzájárult a tojásfehérje emészthetőségének javításához. A teljes tojás és tejsavó *in vitro* gyomorfázisa alapján is megállapítható volt, hogy a HHP kezelés alkalmazásával és a nyomásértékek növelésével javítható ezen minták emészthetőségi tulajdonságai.

A mezofil aerob összes csíraszám vizsgálatának eredményei:

A minták mikrobiológiai állapotának vizsgálata során egyértelműen megállapítható volt a HHP kezelés csírapusztító hatása. A teljes tojás szuszpenzió kivételével minden minta esetében igaz volt, hogy a kontroll mintához képest a 600 MPa-os nyomás alkalmazása minimum a felére csökkentette a kezdeti csíraszámot. A HHP kezelt vérplazma, hemoglobin, tojásfehérje és tejsavó minták egyike sem haladta meg a tárolási kísérlet 44. napján sem a visszautasítási határtértéket. Ezzel ellentétben a 300 MPa-on nyomáskezelt teljes vér- és teljes tojás szuszpenziók 44. napján történő mintavételezésből származó minták már meghaladják ezt az élelmiszerbiztonsági szempontból kritikus határértéket. Továbbá a tárolási kísérlet során minden minta tekintetében megállapítható volt, hogy a HHP kezelést túlélő mikrobák sejtszámának növekedési ütemében a nyomásértékek növelésével egy folyamatos mértékű lassulás érhető el.

SUMMARY

The consumption of foods of animal origin has a long history due to their key role in human nutrition. In addition to their high nutritional value, these types of foods have a high water activity and nutrient-rich composition, making them highly perishable. Reducing their water content (pulverisation) to increase their shelf life is beneficial for easier storage and transport. For this reason, blood, egg and whey powders are used as research materials in my thesis. Powdering of eggs as a preservation method can reduce seasonal fluctuations and make them a year-round product. Blood and whey, as by-products of slaughterhouses and cheese production, are increasingly prominent as a sustainable source of protein in the food industry. Processing these by-products not only improves waste management but also contributes to environmental sustainability. In addition, there has been a significant transformation in consumer trends in recent years with a growing demand for natural, additive-free foods. In line with these changes, high hydrostatic pressure treatment (HHP) has become prominent as a non-thermal processing method. HHP is able to inactivate harmful microorganisms while preserving the quality, nutrients and organoleptic properties of the food. The application of this technology in research on blood, egg and whey raw materials focuses primarily on their raw form, while the study of rehydrated products of animal origin subjected to HHP treatment has not yet received sufficient attention. Thus, this subject area offers significant research potential and application opportunities for the food industry.

In the light of these facts, the objectives of my PhD thesis were to investigate the flowability of different powder samples (such as plasma, haemoglobin, whole blood, egg white, whole egg and whey powder), to analyse their rehydration properties and to determine their amino acid composition. My subsequent objectives were to gain a comprehensive understanding of the properties of rehydrated samples subjected to high hydrostatic pressure treatment. Consequently, I aimed to investigate the effects of HHP treatment (300 MPa to 600 MPa for 5 minutes) on the colour, rheological properties, protein structure and molecular weight distribution, as well as digestibility of the samples (plasma, haemoglobin, whole blood, egg white, whole egg and whey suspension). In addition, I investigated how the HHP treatment affects the microbiological parameters of the samples, in particular the evolution of the total mesophilic bacterial count during the 44-day storage period.

Results of measurements on powder products:

During the examination of the bulk and tapped density of the powder samples, I found that none of the samples were completely free flowing. Based on the flowability indicators (Carr-index, Hausner-ratio), the egg powders (egg white, whole egg) exhibited the weakest flow characteristics. In terms of this attribute, the blood powders, especially the haemoglobin powder, showed the most favourable flow properties.

In the study of rehydration properties, I concluded that whey powder exhibited the most favourable rehydration behaviour in all examined parameters (wettability, dispersibility, solubility), and it differed significantly from the other samples in each of these properties.

For the total protein content (%) of the tested animal protein powder products, the following results were obtained in decreasing order: whey powder (93%), haemoglobin powder (93%), whole blood powder (88%), egg white powder (86%), plasma powder (69%) and whole egg powder (48%). Haemoglobin had the highest content of essential amino acids, which was characterized by an exceptionally high leucine content. All the samples I examined contained all the essential amino acids and, in most cases, the amino acid content exceeded the reference value. Exceptions to this were the isoleucine content of all blood powder and the methionine and cysteine content of whole blood powder and haemoglobin powder, as indicated by the amino acid values obtained. It can therefore be concluded that none of the blood powder samples can be considered a complete protein source.

Measurement results of HHP treated suspensions:

Results of colour measurements:

For all tested samples, it was found that the application of HHP treatment caused significant changes in the colour parameters (L^* , a^* , b^*) of the samples in addition to increasing pressure values. As a result of HHP treatment, blood plasma suspensions became lighter and shifted towards a blue tone. Haemoglobin suspensions darkened and shifted towards a red colour range with increasing pressure values. In the case of whole blood suspensions, I found that with increasing pressure values, the samples became lighter and increasingly shifted towards the red or yellow colour range. By increasing the intensity of the HHP treatment, the egg white suspensions became lighter, and the samples were increasingly characterized by green and yellow tones. The application of 500 MPa pressure induced significant changes in the colour parameters of whole egg suspensions. On this parameter, the sample was characterized by a darker, greener and more yellowish colour compared to the control and samples treated at lower pressures. The colour parameters of whole egg suspensions were characterized by a lightening, a decrease in the green hue, and a shift towards a blue hue with increasing pressure values.

Measurement results of rheological properties:

During the investigation of the rheological properties of HHP treated suspensions, I found that the application of HHP treatment did not significantly affect the rheological behaviour of whey suspensions. In the case of blood plasma, egg white and whole egg suspensions, I found that samples characterized by dilatant rheological behaviour at lower pressures already show pseudoplastic rheological properties when higher pressures are applied (500, 550, 600 MPa). Regarding whole blood and haemoglobin suspensions, it could be established that the application of HHP treatment did not change the flow properties of the samples and all samples had dilatant rheological properties. In the case of whole blood suspension, there was a difference in yield point due to the effect of HHP treatment, as higher shear stress values were required to initiate the flow of whole blood by increasing the pressure values.

Results of polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE):

Based on the electrophoretic separation images of the blood plasma and haemoglobin suspension, there was no difference between the control and the samples treated with HHP at 300-600 MPa, so the rehydrated haemoglobin and blood plasma resisted the high pressure intensely. In the electrophoretic pattern of whole blood, even the lowest pressure (300 MPa) induced a decrease in the colour intensity of the β - and γ -globulin and α - and β -globin protein bands, which did not change with increasing pressure. During the SDS-PAGE analysis of egg white, I found that the lysozyme bands disappeared at 550 and 600 MPa. HHP treatment at 500 MPa and above caused a large reduction in band intensity of ovalbumin. Application of the same pressures also resulted in a decrease in the band intensity of ovotransferrin. Based on the SDS-PAGE electrophoretic pattern of whole egg, the 550 and 600 MPa pressure resulted in a complete decrease in the lysozyme band intensity, as well as in egg whites. Regarding the ovalbumin fraction, it was found that the application of pressure up to 450 MPa did not affect on this protein, while the application of 500 MPa pressure has already caused a lower reduction in the colour intensity of the band, which has not changed at increasing pressure. Among the proteins of the egg yolk, the band intensity of the lower molecular weight α_2 -phosvitin and β -livetin was completely reduced at 550 MPa. Based on the SDS-PAGE study of whey suspensions, I found that the β -LG band intensity was slightly reduced at 300 MPa, but there was no significant change in the band intensity at the subsequent pressure values up to 550 MPa. In the case of α -LA, a slight decrease in band intensity can be observed at 300 MPa pressures, which did not change with further pressure values.

Results of in vitro digestibility:

Based on the changes in the gastric phase of *in vitro* digestion, it can be concluded that the application of HHP improved the digestibility of blood plasma proteins, however, increasing the pressure value (from 450 MPa to 600 MPa) did not further improve the digestibility of blood plasma. In the case of haemoglobin and whole blood suspensions, all proteins were degraded in the gastric phase, even in the control sample. It can be concluded that these samples are easily digestible protein sources and that the use of HHP treatment to enhance digestibility is not justified. During the *in vitro* digestion of egg white, I found that the bands of ovalbumin, ovomucoid and lysozyme remained identifiable after pepsin digestion, however, the intensities of the bands decreased, indicating the degradation of the proteins. The extent of this change was proportional to the increase in pressure, thus the use of HHP contributed to the improvement of egg white digestibility. The *in vitro* gastric phase of whole eggs and whey also showed that the digestibility properties of these samples could be improved by applying HHP treatment and increasing the pressure values.

Results of the mesophilic aerobic total plate count test:

During the examination of the microbiological condition of the samples, the germicidal effect of the HHP treatment was clearly determined. For all samples except the whole egg suspension, it was true that the application of 600 MPa pressure reduced the initial germ count by at least half compared to the control sample. None of the HHP treated samples of plasma, haemoglobin, egg white and whey exceeded the rejection limit on day 44 of the storage experiment. In contrast, samples from whole blood and whole egg suspensions pressure-treated at 300 MPa on day 44 already exceeded this critical limit from a food safety perspective. Furthermore, during the storage experiment, it was determined for each sample that the growth rate of the microorganisms surviving the HHP treatment showed a continuous slowing down as the pressure values increased.

MELLÉKLETEK

M1 – Irodalomjegyzék

- 4/1998. (XI. 11.) rendelet, E., 1998. 4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet az élelmiszerekben előforduló mikrobiológiai szennyeződések megengedhető mértékéről - Hatályos Jogszabályok Gyűjteménye [WWW Document]. URL <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99800004.eum> (accessed 12.9.24).
- Abd El-Salam, M.H., El-Shibiny, S., 2016. 19 - Natural biopolymers as nanocarriers for bioactive ingredients used in food industries, in: Grumezescu, A.M. (Ed.), *Encapsulations, Nanotechnology in the Agri-Food Industry*. Academic Press, pp. 793–829. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804307-3.00019-3>
- Abeyrathne, E.D.N.S., Lee, H.Y., Ahn, D.U., 2013. Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents—A review. *Poultry Science* 92, 3292–3299. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03391>
- Adewale, A., Aanuoluwa, O., 2024. Studies on some engineering properties of dried egg powder reference to its bulk handling. *Annals of Science and Technology* 8, 46–55. <https://doi.org/10.2478/ast-2023-0014>
- Ahmed, J., Ramaswamy, H.S., Alli, I., Ngadi, M., 2003. Effect of high pressure on rheological characteristics of liquid egg. *LWT - Food Science and Technology* 36, 517–524. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00050-1](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00050-1)
- Ahmed, J., Ramaswamy, H.S., Hiremath, N., 2005. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *International Journal of Food Science & Technology* 40, 885–895. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01026.x>
- Ahmed, M.H., Ghatge, M.S., Safo, M.K., 2020. Hemoglobin: Structure, Function and Allostery. *Subcell Biochem* 94, 345–382. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41769-7_14
- Akal, C., 2017. Chapter 28 - Benefits of Whey Proteins on Human Health, in: Watson, R.R., Collier, R.J., Preedy, V.R. (Eds.), *Dairy in Human Health and Disease Across the Lifespan*. Academic Press, pp. 363–372. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809868-4.00028-5>
- Alleoni, A.C.C., 2006. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. *Scientia Agricola* 63, 291–298. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162006000300013>
- Álvarez, C., Drummond, L., Mullen, A.M., 2018. Expanding the industrial applications of a meat co-product: Generation of low-haemoglobin content plasma by means of red cells crenation. *Journal of Cleaner Production* 185, 805–813. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.077>
- Álvarez-Castillo, E., Guerrero, P., de la Caba, K., Bengoechea, C., Guerrero, A., 2023. Biorefinery concept in the meat industry: From slaughterhouse biowastes to superabsorbent materials. *Chemical Engineering Journal* 471, 144564. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.144564>
- Andrássy, É., Farkas, J., Seregély, Z., Dalmadi, I., Tuboly, E., Lebovics, V., 2006. Changes of hen eggs and their components caused by non-thermal pasteurizing treatments II. Some non-microbiological effects of gamma irradiation or hydrostatic pressure processing on liquid egg white and egg yolk. <https://doi.org/10.1556/aalim.35.2006.3.8>
- Anklam, E., 2005. H.-D. Belitz, W. Grosch, P. Schieberle: *Food Chemistry*, Third Edition. *Anal Bioanal Chem* 382, 10–11. <https://doi.org/10.1007/s00216-004-3036-9>
- Anson, M.L., 1938. The estimation of pepsin, trypsin, papain, and cathepsin with hemoglobin. *Journal of General Physiology* 22, 79–89. <https://doi.org/10.1085/jgp.22.1.79>
- Anton, M., Gandemer, G., 1997. Composition, Solubility and Emulsifying Properties of Granules and Plasma of Egg Yolk. *Journal of Food Science* 62, 484–487. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04411.x>
- Arenas-Jal, M., Suñé-Negre, J.M., Pérez-Lozano, P., García-Montoya, E., 2020. Trends in the food and sports nutrition industry: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60, 2405–2421. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1643287>
- Ayed, L., M'hir, S., Asses, N., 2023. Sustainable whey processing techniques: Innovations in derivative and beverage production. *Food Bioscience* 53, 102642. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102642>

- Badpa, A., Ahmad, S., 2015. Effect of whey protein products on microbiological characteristics of buffalo meat emulsion. *Iranian Food Science and Technology Research Journal* 11, 260–272. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1394i11.44328>
- Bah, C.S.F., Bekhit, A.E.-D.A., Carne, A., McConnell, M.A., 2016. Composition and biological activities of slaughterhouse blood from red deer, sheep, pig and cattle. *J Sci Food Agric* 96, 79–89. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7062>
- Bah, C.S.F., Bekhit, A.E.-D.A., Carne, A., McConnell, M.A., 2013. Slaughterhouse Blood: An Emerging Source of Bioactive Compounds. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 12, 314–331. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12013>
- Baker, E.N., Baker, H.M., 2005. Molecular structure, binding properties and dynamics of lactoferrin. *Cell Mol Life Sci* 62, 2531–2539. <https://doi.org/10.1007/s00018-005-5368-9>
- Balasubramaniam, V.M. (Bala), Martínez-Monteagudo, S.I., Gupta, R., 2015. Principles and Application of High Pressure–Based Technologies in the Food Industry. *Annual Review of Food Science and Technology* 6, 435–462. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-022814-015539>
- Baldelli, A., Shi, J., Singh, A., Guo, Y., Fathordoobady, F., Amiri, A., Pratap-Singh, A., 2024. Effect of high-pressure on protein structure, refolding, and crystallization. *Food Chemistry Advances* 5, 100741. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100741>
- Balny, C., Masson, P., 1993. Effects of high pressure on proteins. *Food Reviews International* 9, 611–628. <https://doi.org/10.1080/87559129309540980>
- Barbosa-Cánovas, G.V., Juliano, P., 2005. Physical and Chemical Properties of Food Powders, in: *Encapsulated and Powdered Foods*. CRC Press, p. 36. <https://doi.org/10.1201/9781420028300>
- Bell, S.J., 2009. Whey Protein Concentrates With and Without Immunoglobulins: A Review [WWW Document]. <https://home.liebertpub.com/jmf>. <https://doi.org/10.1089/jmf.2000.3.1>
- Bellairs, R., Osmond, M., 2014. Chapter 1 - The Hen's Egg and its Formation, in: Bellairs, R., Osmond, M. (Eds.), *Atlas of Chick Development (Third Edition)*. Academic Press, Boston, pp. 1–6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384951-9.00001-0>
- Benedé, S., López-Expósito, I., Molina, E., López-Fandiño, R., 2015. Egg proteins as allergens and the effects of the food matrix and processing. *Food Funct* 6, 694–713. <https://doi.org/10.1039/c4fo01104j>
- Bhutto, R.A., Bhutto, N. ul ain H., Fan, Y., Kang, L., Wang, M., Iqbal, S., Yi, J., 2024. Bovine α -lactalbumin: Source, extraction, techno-functional properties, and applications as a (nano-) delivery system for nutraceuticals. *Trends in Food Science & Technology* 146, 104381. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104381>
- Black, E.P., Koziol-Dube, K., Guan, D., Wei, J., Setlow, B., Cortezzo, D.E., Hoover, D.G., Setlow, P., 2005. Factors Influencing Germination of *Bacillus subtilis* Spores via Activation of Nutrient Receptors by High Pressure. *Applied and Environmental Microbiology* 71, 5879–5887. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.10.5879-5887.2005>
- Blesso, C.N., 2015. Egg Phospholipids and Cardiovascular Health. *Nutrients* 7, 2731–2747. <https://doi.org/10.3390/nu7042731>
- Bolat, E., Eker, F., Kaplan, M., Duman, H., Arslan, A., Saritaş, S., Şahutoğlu, A.S., Karav, S., 2022. Lactoferrin for COVID-19 prevention, treatment, and recovery. *Front Nutr* 9, 992733. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.992733>
- Bou, R., Llauger, M., Joosse, R., García-Regueiro, J.A., 2019. Effect of high hydrostatic pressure on the oxidation of washed muscle with added chicken hemoglobin. *Food Chemistry* 292, 227–236. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.067>
- Božanić, R., Barukčić Jurina, I., Lisak Jakopović, K., Tratnik, L., 2014. Possibilities of Whey Utilisation. *Austin Journal of Nutrition and Food Science* 2.
- Burd, N.A., Yang, Y., Moore, D.R., Tang, J.E., Tarnopolsky, M.A., Phillips, S.M., 2012. Greater stimulation of myofibrillar protein synthesis with ingestion of whey protein isolate v. micellar casein at rest and after resistance exercise in elderly men. *British Journal of Nutrition* 108, 958–962. <https://doi.org/10.1017/S0007114511006271>
- Burgain, J., Petit, J., Scher, J., Rasch, R., Bhandari, B., Gaiani, C., 2017. Surface chemistry and microscopy of food powders. *Progress in Surface Science* 92, 409–429. <https://doi.org/10.1016/j.progsurf.2017.07.002>
- Campus, M., 2010. High Pressure Processing of Meat, Meat Products and Seafood. *Food Eng. Rev.* 2, 256–273. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9028-y>

- Carić, M., Milanović, S., 2002. MILK POWDERS | Physical and Functional Properties of Milk Powders, in: *Encyclopedia of Dairy Sciences*. pp. 1874–1880. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227235-8/00316-3>
- Chang, R., Ng, T.B., Sun, W.-Z., 2020. Lactoferrin as potential preventative and adjunct treatment for COVID-19. *International Journal of Antimicrobial Agents* 56, 106118. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.106118>
- Chapman, B., Winley, E., Fong, A.S.W., Hocking, A.D., Stewart, C.M., Buckle, K.A., 2007. Ascospore inactivation and germination by high pressure processing is affected by ascospore age. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, High Pressure Processing Special Issue Section 8*, 531–534. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.04.011>
- Chen, W.-C., Huang, W.-C., Chiu, C.-C., Chang, Y.-K., Huang, C.-C., 2014. Whey protein improves exercise performance and biochemical profiles in trained mice. *Med Sci Sports Exerc* 46, 1517–1524. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000272>
- Chicón, R., Belloque, J., Alonso, E., López-Fandiño, R., 2008. Immunoreactivity and digestibility of high-pressure-treated whey proteins. *International Dairy Journal* 18, 367–376. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2007.11.010>
- Chiroque, R., Cornelio-Santiago, H., Espinoza Espinoza, L., Quispe, L., Tirado, L., Villegas, L., Villegas, M., 2023. A Review of Slaughterhouse Blood and its Compounds, Processing and Application in the Formulation of Novel Non-Meat Products. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal* 11, 549–559. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.2.06>
- Clark, M., Tilman, D., 2017. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environ. Res. Lett.* 12, 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>
- Clune, S., Crossin, E., Verghese, K., 2017. Systematic review of greenhouse gas emissions for different fresh food categories. *Journal of Cleaner Production, Towards eco-efficient agriculture and food systems: selected papers addressing the global challenges for food systems, including those presented at the Conference “LCA for Feeding the planet and energy for life” (6-8 October 2015, Stresa & Milan Expo, Italy)* 140, 766–783. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.082>
- Csehi B., 2020. Nagy hidrosztatikus nyomáskezelés hatása állati eredetű termékek fehérjeszerkezeti és fiziko-kémiai tulajdonságaira 92–93. <https://doi.org/10.14751/SZIE.2019.061>
- Csehi B., Salamon B., Csurka T., Szerdahelyi E., Friedrich L., Pásztor-Huszár K., 2021. Physicochemical and microbiological changes of bovine blood due to high hydrostatic pressure treatment. <https://doi.org/10.1556/066.2020.00325>
- Cuq, B., Rondet, E., Abecassis, J., 2011. Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. *Powder Technology, Special Issue: Papers presented to the Symposium STPMF 2009, Science and Technology of Powders and Sintered Materials* 208, 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.08.012>
- D'Ambrosio, C., Arena, S., Scaloni, A., Guerrier, L., Boschetti, E., Mendieta, M.E., Citterio, A., Righetti, P.G., 2008. Exploring the Chicken Egg White Proteome with Combinatorial Peptide Ligand Libraries. *J. Proteome Res.* 7, 3461–3474. <https://doi.org/10.1021/pr800193y>
- Davies, R.W., Carson, B.P., Jakeman, P.M., 2018. The Effect of Whey Protein Supplementation on the Temporal Recovery of Muscle Function Following Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients* 10, 221. <https://doi.org/10.3390/nu10020221>
- Dávila, E., Saguer, E., Toldrà, M., Carretero, C., Parés, D., 2007. Surface functional properties of blood plasma protein fractions. *European Food Research and Technology* 226, 207–214. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0527-2>
- Day, L., Cakebread, J.A., Loveday, S.M., 2022. Food proteins from animals and plants: Differences in the nutritional and functional properties. *Trends in Food Science & Technology* 119, 428–442. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.020>
- De Maria, S., Ferrari, G., Maresca, P., 2016. Effects of high hydrostatic pressure on the conformational structure and the functional properties of bovine serum albumin. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 33, 67–75. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.11.025>
- de Oliveira, F.C., dos Reis Coimbra, J.S., da Silva, L.H.M., Rojas, E.E.G., do Carmo Hespagnol da Silva, M., 2009. Ovomucoid partitioning in aqueous two-phase systems. *Biochemical Engineering Journal* 47, 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.07.002>

- Deák Tibor, Kiskó Gabriella, Maráz Anna, Mohácsiné Farkas Csilla (Eds.), 2006. Élelmiszer-mikrobiológia. Mezőgazda, Budapest.
- Del Hoyo, P., Moure, F., Rendueles, M., Díaz, M., 2007. Demineralization of animal blood plasma by ion exchange and ultrafiltration. *Meat Science* 76, 402–410. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.06.014>
- Demmelmair, H., Prell, C., Timby, N., Lönnerdal, B., 2017. Benefits of Lactoferrin, Osteopontin and Milk Fat Globule Membranes for Infants. *Nutrients* 9, 817. <https://doi.org/10.3390/nu9080817>
- Ding, M., Huang, Z., Jin, Z., Zhou, C., Wu, J., Zhao, D., Shan, K., Ke, W., Zhang, M., Nian, Y., Li, C., 2022. The effect of fat content in food matrix on the structure, rheological properties and digestive properties of protein. *Food Hydrocolloids* 126, 107464. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107464>
- Dzwolak, W., Kato, M., Taniguchi, Y., 2002. Fourier transform infrared spectroscopy in high-pressure studies on proteins. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Protein Structure and Molecular Enzymology* 1595, 131–144. [https://doi.org/10.1016/S0167-4838\(01\)00340-5](https://doi.org/10.1016/S0167-4838(01)00340-5)
- Elamin, W., Endan, J., Yosuf, Y., Shamsudin, R., Akhmedov, A., 2015. High Pressure Processing Technology and Equipment Evolution: A Review. *Journal of Engineering Science and Technology Review* 8, 75–83. <https://doi.org/10.25103/jestr.085.11>
- Eliasson, L., Oliveira, G., Ehrnell, M., Höglund, E., Alminger, M., 2019. Tailoring bilberry powder functionality through preprocessing and drying. *Food Science & Nutrition* 7, 1379–1386. <https://doi.org/10.1002/fsn3.972>
- El-Loly, M.M., 2011. Bovine Milk Immunoglobulins in Relation to Human Health. *International Journal of Dairy Science* 2, 183–195. <https://doi.org/10.3923/ijds.2007.183.195>
- Eskin, N.A.M., Goff, H.D., 2013. Milk, in: *Biochemistry of Foods*. Elsevier, pp. 187–214. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091809-9.00004-2>
- Etzel, M.R., 2004. Manufacture and Use of Dairy Protein Fractions. *The Journal of Nutrition* 134, 996S–1002S. <https://doi.org/10.1093/jn/134.4.996S>
- European Commission:, 2015. “Closing the loop—An EU action plan for the circular economy.” Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions [WWW Document]. URL https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0012.02/DOC_1&format=PDF (accessed 1.10.24).
- Fang, Y., Selomulya, C., Chen, X.D., 2007. On Measurement of Food Powder Reconstitution Properties. *Drying Technology* 26, 3–14. <https://doi.org/10.1080/07373930701780928>
- FAO, 2022. The future of food and agriculture – Drivers and triggers for transformation. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0959en>
- FAO (Ed.), 2013. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO expert consultation, 31 March–2 April, 2011, Auckland, New Zealand, FAO food and nutrition paper. Presented at the FAO Expert Consultation on Protein Quality Evaluation in Human Nutrition, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO, WHO, 2019. Sustainable healthy diets: guiding principles [WWW Document]. URL <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789241516648> (accessed 12.14.23).
- Farjami, T., Babaei, J., Nau, F., Dupont, D., Madadlou, A., 2021. Effects of thermal, non-thermal and emulsification processes on the gastrointestinal digestibility of egg white proteins. *Trends in Food Science & Technology* 107, 45–56. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.029>
- Felfoul, I., Burgain, J., Perroud, C., Gaiani, C., Scher, J., Attia, H., Petit, J., 2021. Impact of spray-drying conditions on flow properties of skim dromedary and cow’s milk powders using the FT4 powder rheometer. *Journal of Food Processing and Preservation* 45, e15566. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15566>
- Felix da Silva, D., Tziouri, D., Ahrné, L., Bovet, N., Larsen, F.H., Ipsen, R., Hougaard, A.B., 2020. Reconstitution behavior of cheese powders: Effects of cheese age and dairy ingredients on wettability, dispersibility and total rehydration. *Journal of Food Engineering* 270, 109763. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109763>
- Fitzpatrick, J.J., Salmon, J., Ji, J., Miao, S., 2017. Characterisation of the Wetting Behaviour of Poor Wetting Food Powders and the Influence of Temperature and Film Formation. *KONA* 34, 282–289. <https://doi.org/10.14356/kona.2017019>

- Fitzpatrick, J.J., van Lauwe, A., Coursol, M., O'Brien, A., Fitzpatrick, K.L., Ji, J., Miao, S., 2016. Investigation of the rehydration behaviour of food powders by comparing the behaviour of twelve powders with different properties. *Powder Technology* 297, 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2016.04.036>
- Fournaise, T., Burgain, J., Perroud, C., Scher, J., Gaiani, C., Petit, J., 2020. Impact of formulation on reconstitution and flowability of spray-dried milk powders. *Powder Technology* 372, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.05.085>
- Fournaise, T., Petit, J., Gaiani, C., 2021. Main powder physicochemical characteristics influencing their reconstitution behavior. *Powder Technology* 383, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.01.056>
- Francisco Purroy Balda, Beatriz Val Aparicio, Carole Tonello Samson, 2012. Industrial High Pressure Processing of Foods: Review of Evolution and Emerging Trends. *JFSE* 2. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2012.10.001>
- Free Vector | Diagram showing composition of blood [WWW Document], n.d. . Freepik. URL https://www.freepik.com/free-vector/diagram-showing-composition-blood_19013924.htm (accessed 9.22.23).
- Freschi, J., Razafindralambo, H., Danthine, S., Blecker, C., 2011. Effect of ageing on different egg yolk fractions on surface properties at the air–water interface. *International Journal of Food Science & Technology* 46, 1716–1723. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02666.x>
- Galus, S., Kadzińska, J., 2016. Whey protein edible films modified with almond and walnut oils. *Food Hydrocolloids* 52, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.06.013>
- García-Garibay, M., Jiménez-Guzmán, J., Hernández-Sánchez, H., 2008. Whey Proteins: Bioengineering and Health, in: Gutiérrez-López, G.F., Barbosa-Cánovas, G.V., Welti-Chanes, J., Parada-Arias, E. (Eds.), *Food Engineering: Integrated Approaches*. Springer, New York, NY, pp. 415–430. https://doi.org/10.1007/978-0-387-75430-7_31
- García-Graells, C., Masschalck, B., Michiels, C.W., 1999. Inactivation of *Escherichia coli* in Milk by High-Hydrostatic-Pressure Treatment in Combination with Antimicrobial Peptides. *Journal of Food Protection* 62, 1248–1254. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-62.11.1248>
- Garcia-Mora, P., Peñas, E., Frias, J., Gomez, R., Martinez-Villaluenga, C., 2015. High-pressure improves enzymatic proteolysis and the release of peptides with angiotensin I converting enzyme inhibitory and antioxidant activities from lentil proteins. *Food Chemistry* 171, 224–232. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.116>
- Gautron, J., Dombre, C., Nau, F., Feidt, C., Guillier, L., 2022. Review: Production factors affecting the quality of chicken table eggs and egg products in Europe. *Animal, Quality of animal-source foods* 16, 100425. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100425>
- GEA Niro, 2006. Analytical Methods for Dry Milk Products. GEA Niro Method No. A 3 a.
- Gharibzahedi, S.M.T., Smith, B., 2021. Effects of high hydrostatic pressure on the quality and functionality of protein isolates, concentrates, and hydrolysates derived from pulse legumes: A review. *Trends in Food Science & Technology* 107, 466–479. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.11.016>
- Giansanti, F., Panella, G., Leboffe, L., Antonini, G., 2016. Lactoferrin from Milk: Nutraceutical and Pharmacological Properties. *Pharmaceuticals* 9, 61. <https://doi.org/10.3390/ph9040061>
- Giarratano, M., Duffuler, P., Chamberland, J., Brisson, G., House, J.D., Pouliot, Y., Doyen, A., 2020. Combination of High Hydrostatic Pressure and Ultrafiltration to Generate a New Emulsifying Ingredient from Egg Yolk. *Molecules* 25, 1184. <https://doi.org/10.3390/molecules25051184>
- Gilani, S., Tomé, D., Moughan, P., Burlingame, B., 2012. The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collation of published ileal amino acid digestibility data for human foods.
- Giulianetti de Almeida, M.P., Mockaitis, G., Weissbrodt, D.G., 2023. Got Whey? Sustainability Endpoints for the Dairy Industry through Resource Biorecovery. *Fermentation* 9, 897. <https://doi.org/10.3390/fermentation9100897>
- GSO/FDS, 2014. Standardization Organization for G.C.C (GSO), Microbiological criteria for foodstuffs.
- Guardia, M. de la, Garrigues, S., 2015. Handbook of Mineral Elements in Food. John Wiley & Sons.
- Guha, S., Majumder, K., Mine, Y., 2018. Egg Proteins. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21603-X>

- Guilmineau, F., Krause, I., Kulozik, U., 2005. Efficient Analysis of Egg Yolk Proteins and Their Thermal Sensitivity Using Sodium Dodecyl Sulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis under Reducing and Nonreducing Conditions. *J. Agric. Food Chem.* 53, 9329–9336. <https://doi.org/10.1021/jf050475f>
- Guo, M., Wang, G., 2016. Whey protein polymerisation and its applications in environmentally safe adhesives. *International Journal of Dairy Technology* 69, 481–488. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12303>
- Gupta, C., Prakash, D., 2015. Nutraceuticals for geriatrics. *Journal of Traditional and Complementary Medicine* 5, 5–14. <https://doi.org/10.1016/j.jtcme.2014.10.004>
- Hasjim, J., Lavau, G.C., Gidley, M.J., Gilbert, R.G., 2010. In Vivo and In Vitro Starch Digestion: Are Current in Vitro Techniques Adequate? *Biomacromolecules* 11, 3600–3608. <https://doi.org/10.1021/bm101053y>
- Hayman, M.M., Anantheswaran, R.C., Knabel, S.J., 2007. The effects of growth temperature and growth phase on the inactivation of *Listeria monocytogenes* in whole milk subject to high pressure processing. *International Journal of Food Microbiology* 115, 220–226. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.10.019>
- Hebishy, E., Yerlikaya, O., Mahony, J., Akpinar, A., Saygili, D., 2023. Microbiological aspects and challenges of whey powders – I thermotolerant, thermophilic and spore-forming bacteria. *International Journal of Dairy Technology* 76, 779–800. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.13006>
- Heine, W.E., Klein, P.D., Reeds, P.J., 1991. The Importance of α -Lactalbumin in Infant Nutrition. *The Journal of Nutrition* 121, 277–283. <https://doi.org/10.1093/jn/121.3.277>
- Heremans, K., 1982. High Pressure Effects on Proteins and other Biomolecules. *Annual Review of Biophysics* 11, 1–21. <https://doi.org/10.1146/annurev.bb.11.060182.000245>
- Hill, C., Cotter, P.D., Sleator, R.D., Gahan, C.G.M., 2002. Bacterial stress response in *Listeria monocytogenes*: jumping the hurdles imposed by minimal processing. *International Dairy Journal, NIZO Dairy Conference on Food Microbes 2001* 12, 273–283. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00125-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00125-X)
- Hinrichs, J., Rademacher, B., Kessler, H.G., 1996. Reaction kinetics of pressure-induced denaturation of whey proteins. *Milchwissenschaft* 51, 504–508.
- Hite, B.H. (Bert H.), 1899. The effect of pressure in the preservation of milk. West Virginia University. Agricultural Experiment Station.
- Hite, B.H., Giddings, N.J., Weakley, C.E., 1914. The Effect of Pressure on Certain Micro-Organisms Encountered in the Preservation of Fruits and Vegetables. West Virginia University Agricultural Experiment Station. <https://doi.org/10.33915/agnic.146>
- Hogan, E., Kelly, A.L., Sun, D.-W., 2005. 1 - High Pressure Processing of Foods: An Overview, in: Sun, D.-W. (Ed.), *Emerging Technologies for Food Processing*. Academic Press, London, pp. 3–32. <https://doi.org/10.1016/B978-012676757-5/50003-7>
- Hogekamp, S., Schubert, H., 2003. Rehydration of Food Powders. *Food Science and Technology International - FOOD SCI TECHNOL INT* 9, 223–235. <https://doi.org/10.1177/1082013203034938>
- Hoppe, A., Jung, S., Patnaik, A., Zeece, M.G., 2013. Effect of high pressure treatment on egg white protein digestibility and peptide products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 17, 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.003>
- Howell, N.K., Lawrie, R.A., 1983. Functional aspects of blood plasma proteins. *International Journal of Food Science & Technology* 18, 747–762. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb00313.x>
- HPP Equipment for Medium & High Food Production Environments, n.d. . Hiperbaric. URL <https://www.hiperbaric.com/en/hpp-technology/equipment/hpp-in-pack/hiperbaric-135/> (accessed 10.2.23).
- Hrabia, A., 2022. Chapter 35 - Reproduction in the female, in: Scanes, C.G., Dridi, S. (Eds.), *Sturkie's Avian Physiology (Seventh Edition)*. Academic Press, San Diego, pp. 941–986. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819770-7.00002-5>
- Hu, G., Zheng, Y., Liu, Z., Xiao, Y., Deng, Y., Zhao, Y., 2017. Effects of high hydrostatic pressure, ultraviolet light-C, and far-infrared treatments on the digestibility, antioxidant and antihypertensive activity of α -casein. *Food Chemistry* 221, 1860–1866. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.088>

- Huang, H.-W., Lung, H.-M., Yang, B.B., Wang, C.-Y., 2014. Responses of microorganisms to high hydrostatic pressure processing. *Food Control* 40, 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.007>
- Huang, H.-W., Wu, S.-J., Lu, J.-K., Shyu, Y.-T., Wang, C.-Y., 2017. Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control* 72, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.019>
- Huda, N., Jaswir, I., Romdhonah, Y., Alimuddin, A., Ahamed, T., Nasser, N., 2023. Proceedings of the 2nd International Conference for Smart Agriculture, Food, and Environment (ICSAFE 2021). Springer Nature.
- Hufnagl, K., Jensen-Jarolim, E., 2019. Does a carrot a day keep the allergy away? *Immunology Letters* 206, 54–58. <https://doi.org/10.1016/j.imlet.2018.10.009>
- Hummel, B.C.W., 1959. A modified spectrophotometric determination of chymotrypsin, trypsin, and thrombin. *Can. J. Biochem. Physiol.* 37, 1393–1399. <https://doi.org/10.1139/o59-157>
- Hunt, R.W.G., Pointer, M., 2011. Measuring colour, 4th ed. ed, The Wiley-IS & T series in imaging science and technology. Wiley, Hoboken, NJ.
- Huppertz, T., Fox, P.F., de Kruif, K.G., Kelly, A.L., 2006. High pressure-induced changes in bovine milk proteins: A review. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics, Proteins Under High Pressure* 1764, 593–598. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2005.11.010>
- Hyun, C.-K., Shin, H.-K., 1998. Utilization of bovine blood plasma obtained from a slaughterhouse for economic production of probiotics. *Journal of Fermentation and Bioengineering* 86, 34–37. [https://doi.org/10.1016/S0922-338X\(98\)80030-5](https://doi.org/10.1016/S0922-338X(98)80030-5)
- IDF, 1988. Dried milk and dried milk products: Determination of insolubility index. IDF standard 129A.
- Ingram, J.S.I., Ericksen, P., Liverman, D.M., 2010. Food security and global environmental change. Earthscan, London.
- Iskandar, M.M., Lands, L.C., Sabally, K., Azadi, B., Meehan, B., Mawji, N., Skinner, C.D., Kubow, S., 2015. High Hydrostatic Pressure Pretreatment of Whey Protein Isolates Improves Their Digestibility and Antioxidant Capacity. *Foods* 4, 184–207. <https://doi.org/10.3390/foods4020184>
- Jaeger, H., Reineke, K., Schoessler, K., Knorr, D., 2012. Effects of Emerging Processing Technologies on Food Material Properties, in: *Food Materials Science and Engineering*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 222–262. <https://doi.org/10.1002/9781118373903.ch9>
- Jayathilakan, K., Sultana, K., Radhakrishna, K., Bawa, A.S., 2012. Utilization of byproducts and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *J Food Sci Technol* 49, 278–293. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0290-7>
- Ji, J., Cronin, K., Fitzpatrick, J., Fenelon, M., Miao, S., 2015. Effects of fluid bed agglomeration on the structure modification and reconstitution behaviour of milk protein isolate powders. *Journal of Food Engineering, Food Structure Design: Innovation in Food Structure-Properties Relationships* 167, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.012>
- Jiang, H., Zhang, Z., Wang, Y., Gao, J., Yuan, Q., Mao, X., 2023. Effects of high hydrostatic pressure treatment on the antigenicity, structural and digestive properties of whey protein. *LWT* 178, 114628. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114628>
- Jiménez-Saiz, R., Ruiz-Henestrosa, V.M.P., López-Fandiño, R., Molina, E., 2012. *In vitro* digestibility and allergenicity of emulsified hen egg. *Food Research International* 48, 404–409. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.05.013>
- Jinapong, N., Supphantharika, M., Jamnong, P., 2008. Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering* 84, 194–205. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.032>
- Jyotsna, R., Sai Manohar, R., Indrani, D., Venkateswara Rao, G., 2007. Effect of Whey Protein Concentrate on the Rheological and Baking Properties of Eggless Cake. *International Journal of Food Properties* 10, 599–606. <https://doi.org/10.1080/10942910601048986>
- Kaur, R., Panwar, D., Panesar, P.S., 2020. Chapter 13 - Biotechnological approach for valorization of whey for value-added products, in: Kosseva, M.R., Webb, C. (Eds.), *Food Industry Wastes (Second Edition)*. Academic Press, pp. 275–302. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817121-9.00013-9>
- Kilara, A., Vaghela, M.N., 2004. Whey proteins, in: *Proteins in Food Processing*. pp. 72–99. <https://doi.org/10.1533/9781855738379.1.72>

- Kinsella, J.E., Morr, C.V., 1984. Milk proteins: Physicochemical and functional properties. *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 21, 197–262. <https://doi.org/10.1080/10408398409527401>
- Knoerzer, K., Buckow, R., Sanguansri, P., Versteeg, C., 2010a. Adiabatic compression heating coefficients for high-pressure processing of water, propylene-glycol and mixtures – A combined experimental and numerical approach. *Journal of Food Engineering* 96, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.017>
- Knoerzer, K., Smith, R., Juliano, P., Kelly, M., Steele, R., Sanguansri, P., Versteeg, C., 2010b. The Thermo-Egg: A Combined Novel Engineering and Reverse Logic Approach for Determining Temperatures at High Pressure. *Food Eng. Rev.* 2, 216–225. <https://doi.org/10.1007/s12393-010-9025-1>
- Knudsen, J.C., Otte, J., Olsen, K., Skibsted, L.H., 2002. Effect of high hydrostatic pressure on the conformation of β -lactoglobulin A as assessed by proteolytic peptide profiling. *International Dairy Journal* 12, 791–803. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00078-X](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00078-X)
- Koç, M., Koç, B., Yilmazer, M.S., Ertekin, F.K., Susyal, G., Bağdatlıoğlu, N., 2011. Physicochemical Characterization of Whole Egg Powder Microencapsulated by Spray Drying. *Drying Technology* 29, 780–788. <https://doi.org/10.1080/07373937.2010.538820>
- Kotwzan, B., Adamiak, W., Rybak, J., 2011. Sanitary Biology.
- Korhonen, H., Marnila, P., Gill, H.S., 2000. Milk immunoglobulins and complement factors. *The British journal of nutrition* 84 Suppl 1, S75-80. <https://doi.org/10.1017/S0007114500002282>
- Korhonen, H.J., 2011. 20 - Bioactive milk proteins, peptides and lipids and other functional components derived from milk and bovine colostrum, in: Saarela, M. (Ed.), *Functional Foods (Second Edition)*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing, pp. 471–511. <https://doi.org/10.1533/9780857092557.3.471>
- Kovacs, I., Keresztes, E.R., 2022. Perceived Consumer Effectiveness and Willingness to Pay for Credence Product Attributes of Sustainable Foods. *Sustainability* 14, 4338. <https://doi.org/10.3390/su14074338>
- Kovacs-Nolan, J., Phillips, M., Mine, Y., 2005. Advances in the value of eggs and egg components for human health. *J Agric Food Chem* 53, 8421–8431. <https://doi.org/10.1021/jf050964f>
- Kremenevskaya, M.I., Dobryagin, R.V., Bogomolov, V.V., Snarkiy, S.I., 2019. Development and use of compositions from products of deep processing of secondary meat raw materials. Theory and practice of meat processing 4, 20–26. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2019-4-2-20-26>
- Lado, B.H., Yousef, A.E., 2002. Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes and Infection* 4, 433–440. [https://doi.org/10.1016/S1286-4579\(02\)01557-5](https://doi.org/10.1016/S1286-4579(02)01557-5)
- Laemmli, U.K., 1970. Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature* 227, 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
- Landim, A.P.M., Tiburski, J.H., Mellinger, C.G., Juliano, P., Rosenthal, A., 2023. Potential Application of High Hydrostatic Pressure on the Production of Hydrolyzed Proteins with Antioxidant and Antihypertensive Properties and Low Allergenicity: A Review. *Foods* 12, 630. <https://doi.org/10.3390/foods12030630>
- Larrea-Wachtendorff, D., Tabilo-Munizaga, G., Moreno-Osorio, L., Villalobos-Carvajal, R., Pérez-Won, M., 2015. Protein Changes Caused by High Hydrostatic Pressure (HHP): A Study Using Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy. *Food Eng Rev* 7, 222–230. <https://doi.org/10.1007/s12393-015-9107-1>
- Layman, D.K., Lönnerdal, B., Fernstrom, J.D., 2018. Applications for α -lactalbumin in human nutrition. *Nutrition Reviews* 76, 444–460. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy004>
- Le Denmat, M., Anton, M., Beaumal, V., 2000. Characterisation of emulsion properties and of interface composition in O/W emulsions prepared with hen egg yolk, plasma and granules. *Food Hydrocolloids* 14, 539–549. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(00\)00034-5](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(00)00034-5)
- Lebrun, P., Krier, F., Mantanus, J., Grohgan, H., Yang, M., Rozet, E., Boulanger, B., Evrard, B., Rantanen, J., Hubert, P., 2012. Design space approach in the optimization of the spray-drying process. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 80, 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2011.09.014>
- Lechevalier, V., Nau, F., Jeantet, R., 2013. 19 - Powdered egg, in: Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., Schuck, P. (Eds.), *Handbook of Food Powders*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing, pp. 484–512. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.3.484>

- Lee, D.Y., Lee, S.Y., Yun, S.H., Jeong, J.W., Kim, J.H., Kim, H.W., Choi, J.S., Kim, G.-D., Joo, S.T., Choi, I., Hur, S.J., 2022. Review of the Current Research on Fetal Bovine Serum and the Development of Cultured Meat. *Food Sci Anim Resour* 42, 775–799. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2022.e46>
- Lee, H., Ha, M.J., Shahbaz, H.M., Kim, J.U., Jang, H., Park, J., 2018. High hydrostatic pressure treatment for manufacturing of red bean powder: A comparison with the thermal treatment. *Journal of Food Engineering* 238, 141–147. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.016>
- Lee, S., Jo, K., Jeong, H.G., Choi, Y.-S., Yong, H.I., Jung, S., 2023. Understanding protein digestion in infants and the elderly: Current in vitro digestion models. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 63, 975–992. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1957765>
- Légrády, P., 2001. *Tojás – Táplálkozás - Egészség*. Maecenas Könyvkiadó, Budapest.
- Lemon, P.W., 1995. Do athletes need more dietary protein and amino acids? *Int J Sport Nutr* 5 Suppl, S39–61. <https://doi.org/10.1123/ijasn.5.s1.s39>
- Li, H., Zhu, K., Zhou, H., Peng, W., 2011. Effects of High Hydrostatic Pressure on Some Functional and Nutritional Properties of Soy Protein Isolate for Infant Formula. *J. Agric. Food Chem.* 59, 12028–12036. <https://doi.org/10.1021/jf203390e>
- Li, Z., Huang, X., Tang, Q., Ma, M., Jin, Y., Sheng, L., 2022. Functional Properties and Extraction Techniques of Chicken Egg White Proteins. *Foods* 11, 2434. <https://doi.org/10.3390/foods11162434>
- Li-Chan, E.C.Y., Kim, H.-O., 2008. Structure and Chemical Compositions of Eggs, in: *Egg Bioscience and Biotechnology*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 1–95. <https://doi.org/10.1002/9780470181249.ch1>
- Lisak Jakopović, K., Barukčić Jurina, I., Božanić, R., 2016. Physiological significance, structure and isolation of α -lactalbumin. *Mljekarstvo* 66, 3–11. <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2016.0101>
- Liu, G., Carøe, C., Qin, Z., Munk, D.M.E., Crafsack, M., Petersen, M.A., Ahrné, L., 2020. Comparative study on quality of whole milk processed by high hydrostatic pressure or thermal pasteurization treatment. *LWT* 127, 109370. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109370>
- Liu, X., Powers, J.R., Swanson, B.G., Hill, H.H., Clark, S., 2005. Modification of whey protein concentrate hydrophobicity by high hydrostatic pressure. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6, 310–317. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.03.006>
- Liu, X.Q., Yonekura, M., Tsutsumi, M., Sano, Y., 1996. Physicochemical Properties of Aggregates of Globin Hydrolysates. *J. Agric. Food Chem.* 44, 2957–2961. <https://doi.org/10.1021/jf9505786>
- Liu, Y., Huang, C., Wang, J., Li, Z., Xu, Q., Chen, L., Feng, X., Ma, M., 2022. Improving rehydration of egg white powder through modifying its physicochemistry properties by ultrasound-assisted glutaminase deamidation. *Food Hydrocolloids* 133, 107950. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107950>
- Liu, Y.-F., Oey, I., Bremer, P., Silcock, P., Carne, A., 2018. Proteolytic pattern, protein breakdown and peptide production of ovomucin-depleted egg white processed with heat or pulsed electric fields at different pH. *Food Research International* 108, 465–474. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.03.075>
- Loon V., J.c L., 2012. Leucine as a pharmaconutrient in health and disease. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care* 15, 71. <https://doi.org/10.1097/MCO.0b013e32834d617a>
- Lopez, M.J., Mohiuddin, S.S., 2023. *Biochemistry, Essential Amino Acids*, in: StatPearls. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).
- López-Fandiño, R., 2006. Functional Improvement of Milk Whey Proteins Induced by High Hydrostatic Pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 46, 351–363. <https://doi.org/10.1080/10408690590957278>
- Lopez-Fandiño, R., Carrascosa, A.V., Olano, A., 1996. The Effects of High Pressure on Whey Protein Denaturation and Cheese-Making Properties of Raw Milk. *Journal of Dairy Science* 79, 929–936. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(96\)76443-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(96)76443-3)
- Lorrain, B., Dangles, O., Loonis, M., Armand, M., Dufour, C., 2012. Dietary Iron-Initiated Lipid Oxidation and Its Inhibition by Polyphenols in Gastric Conditions. *J. Agric. Food Chem.* 60, 9074–9081. <https://doi.org/10.1021/jf302348s>
- Lu, G.H., Chen, T.C., 1999. Application of egg white and plasma powders as muscle food binding agents. *Journal of Food Engineering* 42, 147–151. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(99\)00112-0](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(99)00112-0)

- Lubich, J., Thomas, K., Engels, D.W., 2019. Identification and Classification of Poultry Eggs: A Case Study Utilizing Computer Vision and Machine Learning. *SMU Data Science Review* 2, 20.
- Lukács, G., Cser, T., 1982. *Színmérés. Műszaki Könyvkiadó*, Budapest.
- Ly, B.C.K., Dyer, E.B., Feig, J.L., Chien, A.L., Del Bino, S., 2020. Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology* 140, 3–12.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>
- Lynch, S.A., Mullen, A.M., O'Neill, E.E., García, C.Á., 2017. Harnessing the Potential of Blood Proteins as Functional Ingredients: A Review of the State of the Art in Blood Processing. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 16, 330–344. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12254>
- Macdougall, D.B., 2010. 13 - Colour measurement of food: principles and practice, in: Gulrajani, M.L. (Ed.), *Colour Measurement*, Woodhead Publishing Series in Textiles. Woodhead Publishing, pp. 312–342. <https://doi.org/10.1533/9780857090195.2.312>
- Maćkiw, E., Kowalska, J., Korsak, D., Stasiak, M., Antoszewska, A., Ławrynowicz-Paciorek, M., Postupolski, J., 2024. Thermal resistance of selected strains of *Salmonella* spp. isolated from eggs and sesame seeds. *LWT* 198, 115907. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115907>
- Macwan, S.R., Dabhi, B.K., Parmar, S.C., Aparnathi, K.D., 2016. Whey and its Utilization. *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci.* 5, 134–155. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2016.508.016>
- Madureira, A.R., Pereira, C.I., Gomes, A.M.P., Pintado, M.E., Xavier Malcata, F., 2007. Bovine whey proteins – Overview on their main biological properties. *Food Res Int* 40, 1197–1211. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.07.005>
- Magnon, E., Cayeux, E., 2021. Precise Method to Estimate the Herschel-Bulkley Parameters from Pipe Rheometer Measurements. *Fluids* 6, 157. <https://doi.org/10.3390/fluids6040157>
- Maldonado-Valderrama, J., Gunning, A.P., Wilde, P.J., Morris, V.J., 2010. In vitro gastric digestion of interfacial protein structures: visualisation by AFM. *Soft Matter* 6, 4908–4915. <https://doi.org/10.1039/C0SM00300J>
- Mangano, K.M., Bao, Y., Zhao, C., 2019. Nutritional Properties of Whey Proteins, in: *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications*. pp. 103–140. <https://doi.org/10.1002/9781119256052.ch5>
- Marengo-Rowe, A.J., 2006. Structure-function relations of human hemoglobins. *Proc (Bayl Univ Med Cent)* 19, 239–245.
- Marin, G., Montfort, J.P., 1996. Molecular Rheology and linear viscoelasticity, in: Piau, J.-M., Agassant, J.-F. (Eds.), *Rheology Series, Rheology for Polymer Melt Processing*. Elsevier, pp. 95–139. [https://doi.org/10.1016/S0169-3107\(96\)80006-2](https://doi.org/10.1016/S0169-3107(96)80006-2)
- Maruf, M.M.U., 2015. An Entire Process for the Isolation of Blood Meal from Animal Blood & Microbial Investigation in Blood Meal. <https://doi.org/10.9790/2380-08214246>
- Melchior, S., Moreton, M., Alongi, M., Calligaris, S., Cristina Nicoli, M., Anese, M., 2023. Comparison of protein *in vitro* digestibility under adult and elderly conditions: The case study of wheat, pea, rice, and whey proteins. *Food Research International* 163, 112147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112147>
- Messens, W., Van Camp, J., Huyghebaert, A., 1997. The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends in Food Science & Technology* 8, 107–112. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01015-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01015-7)
- Mills, E.N.C., Sancho, A.I., Rigby, N.M., Jenkins, J.A., Mackie, A.R., 2009. Impact of food processing on the structural and allergenic properties of food allergens. *Mol Nutr Food Res* 53, 963–969. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200800236>
- Mine, Y., 2008. *Egg Bioscience and Biotechnology*. John Wiley & Sons.
- Mine, Y., Yang, M., 2008. Recent Advances in the Understanding of Egg Allergens: Basic, Industrial, and Clinical Perspectives. *J. Agric. Food Chem.* 56, 4874–4900. <https://doi.org/10.1021/jf8001153>
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Feunteun, S.L., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., Marze, S., J. McClements, D., Ménard, O., Recio, I., N. Santos, C., P. Singh, R., E. Vegarud, G., J. Wickham, M.S., Weitschies, W., Brodkorb, A., 2014. A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food – an international consensus. *Food & Function* 5, 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>

- Minj, S., Anand, S., 2020. Whey Proteins and Its Derivatives: Bioactivity, Functionality, and Current Applications. *Dairy* 1, 233–258. <https://doi.org/10.3390/dairy1030016>
- Miranda, J.M., Anton, X., Redondo-Valbuena, C., Roca-Saavedra, P., Rodriguez, J.A., Lamas, A., Franco, C.M., Cepeda, A., 2015. Egg and Egg-Derived Foods: Effects on Human Health and Use as Functional Foods. *Nutrients* 7, 706–729. <https://doi.org/10.3390/nu7010706>
- Monfort, S., Ramos, S., Meneses, N., Knorr, D., Raso, J., Álvarez, I., 2012. Design and evaluation of a high hydrostatic pressure combined process for pasteurization of liquid whole egg. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 14, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.01.004>
- Moravkar, K., KORDE, S., Bhairav, B., SHINDE, S., KAKULADE, S., Chalikwar, Dr.S., 2020. Traditional and Advanced Flow Characterization Techniques: A Platform Review for Development of Solid Dosage Form. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* 82. <https://doi.org/10.36468/pharmaceutical-sciences.726>
- Moravkar, K.K., Shah, D.S., Magar, A.G., Bhairav, B.A., Korde, S.D., Ranch, K.M., Chalikwar, S.S., 2022. Assessment of pharmaceutical powders flowability and comparative evaluation of lubricants on development of gastro retentive tablets: An application of powder flow tester. *Journal of Drug Delivery Science and Technology* 71, 103265. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2022.103265>
- Morr, C., Swenson, P., Richter, R., 2006. Functional properties of whey protein concentrates. *Journal of Food Science* 38, 324–330. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1973.tb01417.x>
- Morr, C.V., German, B., Kinsella, J.E., Regenstein, J.M., Buren, J.P.V., Kilara, A., Lewis, B.A., Mangino, M.E., 1985. A Collaborative Study to Develop a Standardized Food Protein Solubility Procedure. *Journal of Food Science* 50, 1715–1718. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10572.x>
- Mota, M.J., Lopes, R.P., Delgadillo, I., Saraiva, J.A., 2013. Microorganisms under high pressure — Adaptation, growth and biotechnological potential. *Biotechnology Advances* 31, 1426–1434. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.06.007>
- Murchie, L.W., Cruz-Romero, M., Kerry, J.P., Linton, M., Patterson, M.F., Smiddy, M., Kelly, A.L., 2005. High pressure processing of shellfish: A review of microbiological and other quality aspects. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 6, 257–270. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.04.001>
- Murphy, S., Allen, L., 2003. Nutritional Importance of Animal Source Foods. *The Journal of nutrition* 133, 3932S–3935S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.11.3932S>
- Naderi, N., House, J.D., Pouliot, Y., 2014. Scaling-up a process for the preparation of folate-enriched protein extracts from hen egg yolks. *Journal of Food Engineering* 141, 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.05.011>
- Nascimento, R.F., Rosa, J.G., Ávila, M.F., Taranto, O.P., 2021. Pea protein isolate fluid dynamics and characterization obtained by agglomeration in pulsed fluidized bed. *Particulate Science and Technology* 39, 809–819. <https://doi.org/10.1080/02726351.2020.1830209>
- Neumann, C., Harris, D., Rogers, L., 2002. Contribution of Animal Source Foods in Improving Diet Quality and Function in Children in the Developing World. *Nutrition Research* 22, 193–220. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(01\)00374-8](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(01)00374-8)
- Newman, A.B., Kupelian, V., Visser, M., Simonsick, E.M., Goodpaster, B.H., Kritchevsky, S.B., Tylavsky, F.A., Rubin, S.M., Harris, T.B., 2006. Strength, but not muscle mass, is associated with mortality in the health, aging and body composition study cohort. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 61, 72–77. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.1.72>
- Nicoleta, S., Rapeanu, G., 2010. An overview of bovine α -lactalbumin structure and functionality. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati. Fascicle VI : Food Technology* 34.
- Norton, L.E., Wilson, G.J., Moulton, C.J., Layman, D.K., 2017. Meal Distribution of Dietary Protein and Leucine Influences Long-Term Muscle Mass and Body Composition in Adult Rats. *J Nutr* 147, 195–201. <https://doi.org/10.3945/jn.116.231779>
- Nys, Y., Guyot, N., 2011. Egg formation and chemistry, in: *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*. pp. 83–132. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.83>
- Ockerman, H.W., Hense, C.L., 1988. Animal By-Product Processing [WWW Document]. URL <https://kb.osu.edu/items/27fc7699-cc78-5d14-95c7-5313a89536d0> (accessed 1.6.24).
- OECD, FAO, 2024. OECD-FAO Agricultural Outlook 2024-2033, OECD-FAO Agricultural Outlook. OECD. <https://doi.org/10.1787/4c5d2cfb-en>

- Ofori, J.A., Hsieh, Y.-H.P., 2014. Issues related to the use of blood in food and animal feed. *Crit Rev Food Sci Nutr* 54, 687–697. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.605229>
- Ofori, J.A., Hsieh, Y.-H.P., 2011. Blood-derived products for human consumption. *Revelation and Science* 1, 14–21.
- Oladimeji, B.M., Gebhardt, R., 2023. Physical Characteristics of Egg Yolk Granules and Effect on Their Functionality. *Foods* 12, 2531. <https://doi.org/10.3390/foods12132531>
- Organisms (GMO), E.P. on G.M., Naegeli, H., Bresson, J.-L., Dalmay, T., Dewhurst, I.C., Epstein, M.M., Firbank, L.G., Guerche, P., Hejatk, J., Moreno, F.J., Mullins, E., Nogué, F., Rostoks, N., Sánchez Serrano, J.J., Savoini, G., Veromann, E., Veronesi, F., Dumont, A.F., 2021. Statement on in vitro protein digestibility tests in allergenicity and protein safety assessment of genetically modified plants. *EFSA Journal* 19, e06350. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6350>
- Paesano, R., Berlutti, F., Pietropaoli, M., Pantanella, F., Pacifici, E., Goolsbee, W., Valenti, P., 2010. Lactoferrin efficacy versus ferrous sulfate in curing iron deficiency and iron deficiency anemia in pregnant women. *Biometals* 23, 411–417. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9335-z>
- Pal, S., Ellis, V., Dhaliwal, S., 2010. Effects of whey protein isolate on body composition, lipids, insulin and glucose in overweight and obese individuals. *British Journal of Nutrition* 104, 716–723. <https://doi.org/10.1017/S0007114510000991>
- Papademas, P., Kotsaki, P., 2020. Technological Utilization of Whey towards Sustainable Exploitation. *Advances in Dairy Research*. <https://doi.org/10.35248/2329-888X.7.4.231>
- Parés, D., Ledward, D.A., 2001. Emulsifying and gelling properties of porcine blood plasma as influenced by high-pressure processing. *Food Chemistry* 74, 139–145. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00105-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00105-4)
- Pares, D., Saguer, E., Toldra, M., Carretero, C., 2001. High Hydrostatic Pressure as a Method to Reduce Microbial Contamination of Porcine Blood Plasma. *Food sci. technol. int.* 7, 117–121. <https://doi.org/10.1177/108201320100700203>
- Patazca, E., Koutchma, T., Balasubramaniam, V.M., 2007. Quasi-adiabatic temperature increase during high pressure processing of selected foods. *Journal of Food Engineering* 80, 199–205. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.014>
- Patel, S., 2015. Functional food relevance of whey protein: A review of recent findings and scopes ahead. *Journal of Functional Foods* 19, 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.040>
- Pathare, P., Opara, U., Al Said, F., 2013. Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Peñas, E., Préstamo, G., Luisa Baeza, M., Martínez-Molero, M.I., Gomez, R., 2006. Effects of combined high pressure and enzymatic treatments on the hydrolysis and immunoreactivity of dairy whey proteins. *International Dairy Journal* 16, 831–839. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2005.08.009>
- Penna, A.L.B., Sivieri, K., Oliveira, M.N., 2001. Relation between quality and rheological properties of lactic beverages. *Journal of Food Engineering* 49, 7–13. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00179-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00179-5)
- Permyakov, E.A., Berliner, L.J., 2000. α -Lactalbumin: structure and function. *FEBS Letters* 473, 269–274. [https://doi.org/10.1016/S0014-5793\(00\)01546-5](https://doi.org/10.1016/S0014-5793(00)01546-5)
- Pottier, L., Villamonte, G., de Lamballerie, M., 2017. Applications of high pressure for healthier foods. *Current Opinion in Food Science, Innovation in food science • Foodomics technologies* 16, 21–27. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.06.009>
- Prazeres, A.R., Carvalho, F., Rivas, J., 2012. Cheese whey management: A review. *Journal of Environmental Management* 110, 48–68. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.05.018>
- Pugliese, A., Cabassi, G., Chiavaro, E., Paciulli, M., Carini, E., Mucchetti, G., 2017. Physical characterization of whole and skim dried milk powders. *J Food Sci Technol* 54, 3433–3442. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2795-1>
- Qi, P.X., Onwulata, C.I., 2011. Physical properties, molecular structures, and protein quality of texturized whey protein isolate: Effect of extrusion moisture content1. *Journal of Dairy Science* 94, 2231–2244. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3942>
- Queirós, R.P., Serment-Moreno, V., Tonello-Samson, C., 2023. Chapter Eight - High pressure thermal processing systems, in: Knoerzer, K., Sevenich, R. (Eds.), *High Pressure Thermal Processing*. Academic Press, pp. 205–241. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823872-1.00009-0>

- Quinn, E.M., Kilcoyne, M., Walsh, D., Joshi, L., Hickey, R.M., 2020. A Whey Fraction Rich in Immunoglobulin G Combined with *Bifidobacterium longum* subsp. *infantis* ATCC 15697 Exhibits Synergistic Effects against *Campylobacter jejuni*. *International Journal of Molecular Sciences* 21, 4632. <https://doi.org/10.3390/ijms21134632>
- Rabaioli Rama, G., Kuhn, D., Beux, S., Jachetti Maciel, M., Souza, C., 2019. Potential applications of dairy whey for the production of lactic acid bacteria cultures. *International Dairy Journal* 98. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.06.012>
- Raffaella Leoci, 2014. Animal by-products (ABPs): origins, uses, and European regulations.
- Ragasri, S., Sabumon, P.C., 2023. A critical review on slaughterhouse waste management and framing sustainable practices in managing slaughterhouse waste in India. *Journal of Environmental Management* 327, 116823. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116823>
- Rahaman, T., Vasiljevic, T., Ramchandran, L., 2016. Effect of processing on conformational changes of food proteins related to allergenicity. *Trends in Food Science & Technology* 49, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.001>
- Rakonjac, S., Bogosavljević-Bošković, S., Pavlovski, Z., Škrbić, Z., Dasković, V., Petrović, M.D., Petričević, V., 2014. Laying hen rearing systems: a review of major production results and egg quality traits. *World's Poultry Science Journal* 70, 93–104. <https://doi.org/10.1017/S0043933914000087>
- Rao, Q., Klaassen Kamdar, A., Labuza, T.P., 2016. Storage Stability of Food Protein Hydrolysates—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56, 1169–1192. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.758085>
- Rathour, A.K., Chauhan, A.K., Bhatia, K.L., Rathour, A.K., Chauhan, A.K., Bhatia, K.L., 2004. Gelling properties of whey protein concentrate and its industrial applications. *Indian Dairyman* 56, 61–66.
- Razi, S.M., Fahim, H., Amirabadi, S., Rashidinejad, A., 2023. An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocolloids* 135, 108183. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108183>
- Reddy, R.S., Ramachandra, C.T., Hiregoudar, S., Nidoni, U., Ram, J., Kammar, M., 2014. Influence of processing conditions on functional and reconstitution properties of milk powder made from Osmanabadi goat milk by spray drying. *Small Ruminant Research* 119, 130–137. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2014.01.013>
- Réhault-Godbert, S., Guyot, N., Nys, Y., 2019. The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. *Nutrients* 11, 684. <https://doi.org/10.3390/nu11030684>
- Rendueles, E., Omer, M.K., Alvseike, O., Alonso-Calleja, C., Capita, R., Prieto, M., 2011. Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. *LWT - Food Science and Technology* 44, 1251–1260. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.001>
- Russo, R., Zucchelli, S., Codrich, M., Marcuzzi, F., Verde, C., Gustincich, S., 2013. Hemoglobin is present as a canonical $\alpha_2\beta_2$ tetramer in dopaminergic neurons. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Proteins and Proteomics, Oxygen Binding and Sensing Proteins* 1834, 1939–1943. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2013.05.005>
- Salaris, C., Scarpa, M., Elli, M., Bertolini, A., Guglielmetti, S., Pregliasco, F., Blandizzi, C., Brun, P., Castagliuolo, I., 2021. Protective Effects of Lactoferrin against SARS-CoV-2 Infection In Vitro. *Nutrients* 13, 328. <https://doi.org/10.3390/nu13020328>
- San Martín, M.F., Barbosa-Cánovas, G.V., Swanson, B.G., 2002. Food Processing by High Hydrostatic Pressure. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 42, 627–645. <https://doi.org/10.1080/20024091054274>
- Schuck, P., Jeantet, R., Dolivet, A., 2012. Determination of Rehydration Ability, in: *Analytical Methods for Food and Dairy Powders*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 203–215. <https://doi.org/10.1002/9781118307397.ch13>
- Senbeta, E.K., Zeleke, N., Molla, Y., 2015. Chemical composition and microbial loads of chicken table eggs from retail markets in urban settings of Eastern Ethiopia. *Journal of Advanced Veterinary and Animal Research* 2, 1. <https://doi.org/10.5455/javar.2015.b108>
- Sensoy, I., 2021. A review on the food digestion in the digestive tract and the used in vitro models. *Curr Res Food Sci* 4, 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.04.004>

- Serna-Hernandez, S.O., Escobedo-Avellaneda, Z., García-García, R., Rostro-Alanis, M. de J., Welti-Chanes, J., 2021. High Hydrostatic Pressure Induced Changes in the Physicochemical and Functional Properties of Milk and Dairy Products: A Review. *Foods* 10, 1867. <https://doi.org/10.3390/foods10081867>
- Seth, D., Mishra, H.N., Deka, S.C., 2017. Functional and reconstitution properties of spray-dried sweetened yogurt powder as influenced by processing conditions. *International Journal of Food Properties* 20, 1603–1611. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1214965>
- Seuss-Baum, I., Nau, F., 2011. 11 - The nutritional quality of eggs, in: Van Immerseel, F., Nys, Y., Bain, M. (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. Woodhead Publishing, pp. 201–236. <https://doi.org/10.1533/9780857093929.3.201>
- Seydim, A.C., Sarikus, G., 2006. Antimicrobial activity of whey protein based edible films incorporated with oregano, rosemary and garlic essential oils. *Food Research International* 39, 639–644. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2006.01.013>
- Sgarbieri, V.C., 2017. Chapter 3 - Impact of Bovine Milk Whey Proteins and Peptides on Gastrointestinal, Immune, and Other Systems, in: Watson, R.R., Collier, R.J., Preedy, V.R. (Eds.), *Dairy in Human Health and Disease Across the Lifespan*. Academic Press, pp. 31–55. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809868-4.00003-0>
- Sharma, A., Jana, A., Chavan, R., 2012. Functionality of Milk Powders and Milk-Based Powders for End Use Applications—A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00199.x>
- Shinn, S.E., Liyanage, R., Lay Jr., J.O., Proctor, A., 2016. Isolation and Characterization of Chicken Yolk Vitelline Membrane Lipids Using Eggs Enriched With Conjugated Linoleic Acid. *Lipids* 51, 769–779. <https://doi.org/10.1007/s11745-016-4153-x>
- Siddiqui, S.A., Ucak, İ., Jain, S., Elsheikh, W., Ali Redha, A., Kurt, A., Toker, O.S., 2024. Impact of drying on techno-functional and nutritional properties of food proteins and carbohydrates - A comprehensive review. *Drying Technology* 42, 592–611. <https://doi.org/10.1080/07373937.2024.2303580>
- Silva, J.L., Weber, G., 1993. Pressure stability of proteins. *Annual Review of Physical Chemistry* 44, 89–113. <https://doi.org/10.1146/annurev.pc.44.100193.000513>
- Silva, V.D.M., Silvestre, M.P.C., 2003. Functional properties of bovine blood plasma intended for use as a functional ingredient in human food. *LWT - Food Science and Technology* 7, 709–718. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00092-6](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00092-6)
- Singh, A., Ramaswamy, H.S., 2015. High pressure modification of egg components: Exploration of calorimetric, structural and functional characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 32, 45–55. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.09.010>
- Singh, A., Sharma, M., Ramaswamy, H.S., 2015. Effect of High Pressure Treatment on Rheological Characteristics of Egg Components. *International Journal of Food Properties* 18, 558–571. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.837063>
- Singh, T.K., Øiseth, S.K., Lundin, L., Day, L., 2014. Influence of heat and shear induced protein aggregation on the in vitro digestion rate of whey proteins. *Food Funct* 5, 2686–2698. <https://doi.org/10.1039/c4fo00454j>
- Skřivan, M., Englmaierová, M., 2014. The deposition of carotenoids and α -tocopherol in hen eggs produced under a combination of sequential feeding and grazing. *Animal Feed Science and Technology* 190, 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.01.009>
- Smelt, J.P.P.M., 1998. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends in Food Science & Technology* 9, 152–158. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00030-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00030-2)
- Smithers, G.W., 2008. Whey and whey proteins—From ‘gutter-to-gold.’ *International Dairy Journal*, MILESTONE ACHIEVEMENTS IN DAIRY SCIENCE RESEARCH AND THEIR CURRENT AND FUTURE INDUSTRIAL APPLICATIONS 18, 695–704. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2008.03.008>
- Sorapukdee, S., Narunatsopanon, S., 2017. Comparative Study on Compositions and Functional Properties of Porcine, Chicken and Duck Blood. *Food Science of Animal Resources* 37, 228–241. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.2.228>
- Sousa, G.T., Lira, F.S., Rosa, J.C., de Oliveira, E.P., Oyama, L.M., Santos, R.V., Pimentel, G.D., 2012. Dietary whey protein lessens several risk factors for metabolic diseases: a review. *Lipids Health Dis* 11, 67. <https://doi.org/10.1186/1476-511X-11-67>

- Spöttel, J., Brockelt, J., Falke, S., Rohn, S., 2021. Characterization of Conjugates between α -Lactalbumin and Benzyl Isothiocyanate—Effects on Molecular Structure and Proteolytic Stability. *Molecules* 26, 6247. <https://doi.org/10.3390/molecules26206247>
- Sridhar, A., Ponnuchamy, M., Kumar, P.S., Kapoor, A., 2021. Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review. *Environ Chem Lett* 19, 1715–1735. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01126-2>
- Stadelman, W.J., Newkirk, D., Newby, L., 2017. *Egg Science and Technology*. CRC Press.
- Starck, J.M., 2021. Morphology of the avian yolk sac. *Journal of Morphology* 282, 959–972. <https://doi.org/10.1002/jmor.21262>
- Steenkamp, J.-B.E.M., 1997. Dynamics in Consumer Behavior with Respect to Agricultural and Food Products, in: Wierenga, B., van Tilburg, A., Grunert, K., Steenkamp, J.-B.E.M., Wedel, M. (Eds.), *Agricultural Marketing and Consumer Behavior in a Changing World*. Springer US, Boston, MA, pp. 143–188. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6273-3_8
- Stratakis, A.Ch., Inguglia, E.S., Linton, M., Tollerton, J., Murphy, L., Corcionivoschi, N., Koidis, A., Tiwari, B.K., 2019. Effect of high pressure processing on the safety, shelf life and quality of raw milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 52, 325–333. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.01.009>
- Strixner, T., Kulozik, U., 2013. Continuous centrifugal fractionation of egg yolk granules and plasma constituents influenced by process conditions and product characteristics. *Journal of Food Engineering* 117, 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.02.009>
- Strixner, T., Sterr, J., Kulozik, U., Gebhardt, R., 2014. Structural Study on Hen-egg Yolk High Density Lipoprotein (HDL) Granules. *Food Biophysics* 9, 314–321. <https://doi.org/10.1007/s11483-014-9359-y>
- Sun, A., Gunasekaran, S., 2009. Yield Stress in Foods: Measurements and Applications. *International Journal of Food Properties* 12, 70–101. <https://doi.org/10.1080/10942910802308502>
- Sun, Q., Luo, Y., 2011. Porcine Hemoglobin Hydrolysate Prepared with Pepsin: Antioxidant Activities and Their Mechanisms. *International Journal of Food Properties* 14, 840–853. <https://doi.org/10.1080/10942910903453405>
- Szulc, K., Lenart, A., 2016. Effect of composition on physical properties of food powders. *International Agrophysics* 30, 237–243. <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0084>
- Tan, Y., Zhou, H., McClements, D.J., 2022. Application of static in vitro digestion models for assessing the bioaccessibility of hydrophobic bioactives: A review. *Trends in Food Science & Technology* 122, 314–327. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.028>
- Tarté, R., 2011. Meat Protein Ingredients, in: *Handbook of Food Proteins*. pp. 56–91. <https://doi.org/10.1533/9780857093639.56>
- Tarté, R., 2009. Meat-Derived Protein Ingredients, in: Tarté, R. (Ed.), *Ingredients in Meat Products: Properties, Functionality and Applications*. Springer, New York, NY, pp. 145–171. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71327-4_7
- Taylor, L.W., Wilborn, C., Roberts, M.D., White, A., Dugan, K., 2016. Eight weeks of pre- and postexercise whey protein supplementation increases lean body mass and improves performance in Division III collegiate female basketball players. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 41, 249–254. <https://doi.org/10.1139/apnm-2015-0463>
- Tejsavó – egy szuperélelmiszerré lett “hulladék” [WWW Document], n.d. URL <https://www.vitalitaswebaruhaz.hu/tejsavo-egy-szuperélelmiszerré-lelt-hulladek-371> (accessed 9.26.23).
- Thomas, K., Herouet-Guicheney, C., Ladics, G., Bannon, G., Cockburn, A., Crevel, R., Fitzpatrick, J., Mills, C., Privalle, L., Vieths, S., 2007. Evaluating the effect of food processing on the potential human allergenicity of novel proteins: International workshop report. *Food and Chemical Toxicology* 45, 1116–1122. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.12.016>
- Thompson, A., Boland, M., Singh, H., 2009. *Milk proteins: from expression to food*, Food science and technology, international series. Academic Press/Elsevier, Paris Amsterdam Boston.
- Toldrà, M., Busquets, A., Sagué, E., Pares, D., Carretero, C., 2002. Effects of High Hydrostatic Pressurised Treatment on Porcine Blood Red Cells Fraction. *Food Science and Technology International - FOOD SCI TECHNOL INT* 8, 41–48. <https://doi.org/10.1177/1082013202008001916>

- Toldrà, M., Elias, A., Parés, D., Saguer, E., Carretero, C., 2004. Functional properties of a spray-dried porcine red blood cell fraction treated by high hydrostatic pressure. *Food Chemistry* 88, 461–468. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.060>
- Toldrà, M., Parés, D., Saguer, E., Carretero, C., 2011. Hemoglobin hydrolysates from porcine blood obtained through enzymatic hydrolysis assisted by high hydrostatic pressure processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 12, 435–442. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2011.05.002>
- Tome, D., 2012. Criteria and markers for protein quality assessment – a review. *British Journal of Nutrition* 108, S222–S229. <https://doi.org/10.1017/S0007114512002565>
- Tóth A., 2020. Tojáslevek eltarthatóságának növelése kombinált kíméletes tartósítási eljárások alkalmazásával. <https://doi.org/10.14751/SZIE.2020.020>
- Tóth, A., Németh, C., Palotás, P., Surányi, J., Zeke, I., Csehi, B., Castillo, L.A., Friedrich, L., Balla, C., 2017. HHP treatment of liquid egg at 200–350 MPa. *J. Phys.: Conf. Ser.* 950, 042008. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/950/4/042008>
- Trachootham, D., Lu, W., Ogasawara, M.A., Valle, N.R.-D., Huang, P., 2008. Redox Regulation of Cell Survival. *Antioxidants & Redox Signaling* 10, 1343–1374. <https://doi.org/10.1089/ars.2007.1957>
- Trujillo, A.J., Capellas, M., Saldo, J., Gervilla, R., Guamis, B., 2002. Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: a review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* 3, 295–307. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(02\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(02)00049-8)
- Ulfman, L.H., Leusen, J.H.W., Savelkoul, H.F.J., Warner, J.O., van Neerven, R.J.J., 2018. Effects of Bovine Immunoglobulins on Immune Function, Allergy, and Infection. *Front. Nutr.* 5. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00052>
- USDA, 2023. Total Amino Acids in Egg Whites (Raw) and Egg Yolks (Raw) and Eggs (Raw) [WWW Document]. URL <https://tools.myfooddata.com/protein-calculator/172183-172184-171287/100g-100g/1-1-1/1#> (accessed 1.19.24).
- Varijakshapanicker, P., Mckune, S., Miller, L., Hendrickx, S., Balehegn, M., Dahl, G.E., Adesogan, A.T., 2019. Sustainable livestock systems to improve human health, nutrition, and economic status. *Anim Front* 9, 39–50. <https://doi.org/10.1093/af/vfz041>
- Venkateswara Rao, M., Venkatachalapathy, N., Jaganmohan, R., K G, A., C K, S., 2021. Effect of microwave treatment on physical and functional properties of foxtail millet flour. *International Journal of Chemical Studies* 9. <https://doi.org/10.22271/chemi.2021.v9.i1am.11641>
- Wakabayashi, H., Yamauchi, K., Takase, M., 2006. Lactoferrin research, technology and applications. *International Dairy Journal, Technological and Health Aspects of Bioactive Components of Milk* 16, 1241–1251. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.06.013>
- Wang, G., Guo, M., 2019. Manufacturing Technologies of Whey Protein Products, in: *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd, pp. 13–37. <https://doi.org/10.1002/9781119256052.ch2>
- Wang, T., Chang, C., Cheng, W., Gu, L., Su, Y., Yang, Y., Li, J., 2023. Combined effect of heating and enzymatic hydrolysis on the dispersibility and structure properties of egg white powder. *Journal of Food Engineering* 351, 111503. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2023.111503>
- Wang, W., Dufour, C., Zhou, W., 2015. Impacts of spray-drying conditions on the physicochemical properties of soy sauce powders using maltodextrin as auxiliary drying carrier. *CyTA - Journal of Food* 13, 548–555. <https://doi.org/10.1080/19476337.2015.1014430>
- Wasilewska, M., Adamczyk, Z., Jachimska, B., 2009. Structure of Fibrinogen in Electrolyte Solutions Derived from Dynamic Light Scattering (DLS) and Viscosity Measurements. *Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids* 25, 3698–704. <https://doi.org/10.1021/la803662a>
- Webb, P., Stordalen, G.A., Singh, S., Wijesinha-Bettoni, R., Shetty, P., Lartey, A., 2018. Hunger and malnutrition in the 21st century. *BMJ* 361, k2238. <https://doi.org/10.1136/bmj.k2238>
- Whole egg and broken raw egg on white isolated background [WWW Document], 2019. . iStock. URL <https://www.istockphoto.com/hu/fot%C3%B3/eg%C3%A9sz-toj%C3%A1s-%C3%A9s-t%C3%B6rt%C3%B6tt-nyers-toj%C3%A1s-feh%C3%A9r-alapon-gm1124412646-295158106> (accessed 9.21.23).
- Wisner-Pedersen, J., 1988. Use of haemoglobin in foods—A review. *Meat Science* 24, 31–45. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(89\)90005-3](https://doi.org/10.1016/0309-1740(89)90005-3)
- WPI 90 natúr tejsavófehérje izolátum 1kg [WWW Document], n.d. URL https://www.wheyprotein.hu/wpi_90_natur_tejsavofeherje_isolatum_1kg (accessed 9.29.23).

- Wu, S., Fitzpatrick, J., Cronin, K., Maidannyk, V., Miao, S., 2020. Effects of spraying surfactants in a fluidised bed on the rehydration behaviour of milk protein isolate powder. *Journal of Food Engineering* 266, 109694. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109694>
- Xi, J., He, M., 2018. High hydrostatic pressure (HHP) effects on antigenicity and structural properties of soybean β -conglycinin. *J Food Sci Technol* 55, 630–637. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2972-2>
- Yaldagard, M., Mortazavi, S.A., Tabatabaie, F., 2008. The principles of ultra high pressure technology and its application in food processing/preservation: A review of microbiological and quality aspects. *African Journal of Biotechnology* 7.
- Yang, J., Mocking-Bode, H.C.M., van den Hoek, I.A.F., Theunissen, M., Voudouris, P., Meinders, M.B.J., Sagis, L.M.C., 2022. The impact of heating and freeze or spray drying on the interface and foam stabilising properties of pea protein extracts: Explained by aggregation and protein composition. *Food Hydrocolloids* 133, 107913. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107913>
- Yoshinari, O., Moriyama, H., 2019. Beta-Hydroxy-Beta-Methylbutyric Acid Supplementation in Healthy Populations: A Systematic Review, in: Bagchi, D., Nair, S., Sen, C.K. (Eds.), *Nutrition and Enhanced Sports Performance (Second Edition)*. Academic Press, pp. 675–682. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813922-6.00058-8>
- Yu, T., Zhang, X., Feng, R., Wang, C., Wang, X., Wang, Y., 2022. Comparison of the Effects of High Hydrostatic Pressure and Pasteurization on Quality of Milk during Storage. *Foods* 11, 2837. <https://doi.org/10.3390/foods11182837>
- Yusuf Hidayat, M., Attahmid, N.F., 2020. Evaluation of Physicochemical Properties and Sensory Products of Cocoa Liquor and Dark Chocolate High Polyphenols and Flavanoids. *Indian Journal of Science and Technology* 13, 840–859. <https://doi.org/10.17485/ijst/2020/v13i07/149883>
- Zandona, E., Blažić, M., Režek Jambrak, A., 2021. Whey Utilization: Sustainable Uses and Environmental Approach. *Food Technol Biotechnol* 59, 147–161. <https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6968>
- Zayas, J.F., 1997. *Functionality of Proteins in Food*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-59116-7>
- Zazpe, I., Beunza, J.J., Bes-Rastrollo, M., Warnberg, J., de la Fuente-Arrillaga, C., Benito, S., Vázquez, Z., Martínez-González, M.A., 2011. Egg consumption and risk of cardiovascular disease in the SUN Project. *Eur J Clin Nutr* 65, 676–682. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2011.30>
- Zhao, L., Qin, X., Wang, Y., Ling, J., Shi, W., Pang, S., Liao, X., 2017. CO₂-assisted high pressure processing on inactivation of *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of CO₂ Utilization* 22, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2017.09.005>
- Zhao, R.-J., Huo, C.-Y., Qian, Y., Ren, D.-F., Lu, J., 2017. Ultra-high-pressure processing improves proteolysis and release of bioactive peptides with activation activities on alcohol metabolic enzymes in vitro from mushroom foot protein. *Food Chemistry* 231, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.058>
- Zhou, H., Tan, Y., McClements, D.J., 2023. Applications of the INFOGEST In Vitro Digestion Model to Foods: A Review. *Annual Review of Food Science and Technology* 14, 135–156. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-012235>

M2 – Jelölések, rövidítések jegyzéke

Rövidítés	Angol megnevezés	Magyar megnevezés
SDS	<i>sodium dodecyl sulfate</i>	nátrium-dodecil-szulfát
APS	<i>ammonium persulfate</i>	ammónium-perszulfát
TEMED	<i>N,N,N',N'-tetramethylethylenediamine</i>	N,N,N',N'-tetrametil-etilén-diamin
TAME	<i>p-Toluenesulfonyl-L-arginine Methyl Ester</i>	p-toluolszulfonil-L-arginin-metilészter
L*	<i>lightness value</i>	világossági tényező
a*	<i>green–red colour component</i>	piros-zöld színezet
b*	<i>blue–yellow colour component</i>	sárga-kék színezet
ΔE*	<i>colour difference</i>	színinger-különbség
HHP	<i>high hydrostatic pressure</i>	nagy hidrosztatikus nyomás
PAGE	<i>polyacrylamide gel electrophoresis</i>	poliakrilamid gélelektroforézis
TCA	<i>trichloroacetic acid</i>	triklórecetsav
SSF	<i>Simulated Salivary Fluid</i>	szimulált nyálfolyadék
SGF	<i>Simulated Gastric Fluid</i>	szimulált gyomornedv
SIF	<i>Simulated Intestinal Fluid</i>	szimulált bélfolyadék
BSA	<i>Bovine Serum Albumin</i>	szarvasmarha szérum albumin
PSA	<i>Porcine Serum Albumin</i>	sertés szérum albumin
HC	<i>Heavy Chains</i>	nehéz lánc
LC	<i>Light Chains</i>	könnyű lánc
Ig	<i>Immunoglobulin</i>	immunglobulin
α-LA	<i>alpha-lactalbumin</i>	alfa-laktalbumin
β-LG	<i>beta-lactoglobulin</i>	béta-laktoglobulin
OVA	<i>ovalbumin</i>	ovalbumin
OTF	<i>ovotransferrin</i>	ovotransferrin
OVM	<i>ovomucoid</i>	ovomukoid
LYZ	<i>lysozyme</i>	lizozim
Lys	<i>lysine</i>	lizin
Leu	<i>leucine</i>	leucin
Ile	<i>isoleucine</i>	izoleucin
Trp	<i>tryptophan</i>	triptofán
Thr	<i>threonine</i>	treonin
His	<i>histidine</i>	hisztidin
Met	<i>methionine</i>	metionin
Val	<i>valine</i>	valin

Phe	<i>phenylalanine</i>	fenilalanin
EAA	<i>essential amino acid</i>	esszenciális aminosav
CEAA	<i>conditionally essential amino acid</i>	feltételesen nélkülözhetetlen aminosav
Cys	<i>cysteine</i>	cisztein
AA	<i>amino acid</i>	aminosav
RBC	<i>red blood cell</i>	vörösvérsejt
LDL	<i>low-density-lipoprotein</i>	alacsony sűrűségű lipoproteinek
HDL	<i>high-density-lipoprotein</i>	nagy sűrűségű lipoproteinek
BV	<i>biological value</i>	biológiai érték
RDI	<i>Recommended Daily Intake</i>	ajánlott napi bevétel
ttkg	-	testtömeg kilogramm
SFA	<i>saturated fatty acid</i>	telített zsírsav
MUFA	<i>monounsaturated fatty acid</i>	egyszeresen telítetlen zsírsav
PUFA	<i>polyunsaturated fatty acid</i>	többszörösen telítetlen zsírsav
LPO	<i>lactoperoxidase</i>	laktoperoxidáz
WPI	<i>Whey Protein Isolate</i>	tejsavófehérje-izolátum
WPC	<i>Whey Protein Concentrate</i>	tejsavófehérje-koncentrátum
WPH	<i>Whey Protein Hydrolysate</i>	tejsavófehérje-hidrolizátum
BCAA	<i>Branched-Chain Amino Acid</i>	elágazó láncú aminosav

M3 – 1,25x szimulált emésztőnedvek elektrolit összetétele

Emésztőnedvek			(1.25x)SSF (pH 7)	(1.25x)SGF (pH 3)	(1.25x)SIF (pH 7)
	g/L	mol/L	mL	mL	mL
KCl	37,3	0,5	15,1	6,9	6,8
KH ₂ PO ₄	68	0,5	3,7	0,9	0,8
NaHCO ₃	84	1	6,8	12,5	42,5
NaCl	117	2	-	11,8	9,6
MgCl ₂ (H ₂ O) ₆	30,5	0,15	0,5	0,4	1,1
(NH ₄) ₂ CO ₃	48	0,5	0,06	0,5	-
-			390 ml-ig desztillált vízzel feltölteni		
pH-beállítás: 6M HCl-el (kb.)			0,09	1,3	0,7
-			400 ml-re desztillált vízzel kiegészíteni az oldatot		
Tárolás aliquotokban, mélyhűtőben, 1 hónapig					

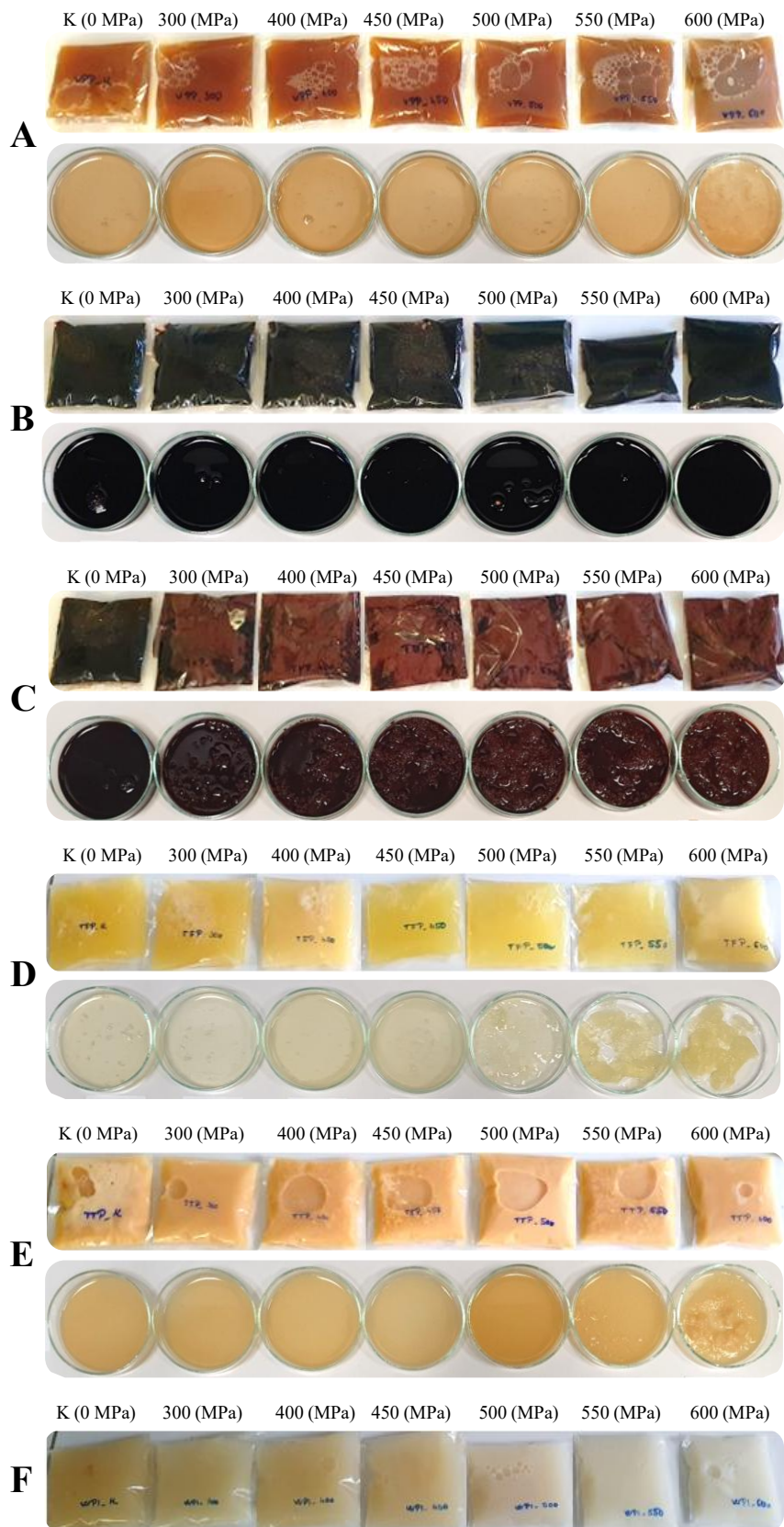
M4 – Emésztőnedvek összetétele (1 g kiindulási mintára vonatkoztatva)

SZÁJ-szimulált nyál		1 ml
(1,25x) SSF (pH7)		0,8 ml
0,3M CaCl ₂ *2H ₂ O		5 µl
desztillált víz (alfa-amiláz helyett)		0,1 ml
DV		0,095 ml
GYOMOR-szimulált gyomorfolyadék		2 ml
(1,25x) SGF (pH3)		1,6 ml
0,3M CaCl ₂ *2H ₂ O		1 µl
pepszin (végkoncentrációban: 2000U/ml)		0,2 ml
5M HCl (ul)		mintától függő a mennyiség,
DV (ul)		beállítani pH 3-ra
VÉKONYBÉL-szimulált vékonybélfolyadék		4ml
SIF		2,2 ml
pankreatin (végkoncentrációban: 100 TAME U/ml)		1 ml
epe (10 mM)		0,488 ml
0,3M CaCl ₂ *2H ₂ O		8 µl
5M NaOH (ul)		mintától függő a mennyiség,
DV (ul)		pH 7-re beállítani

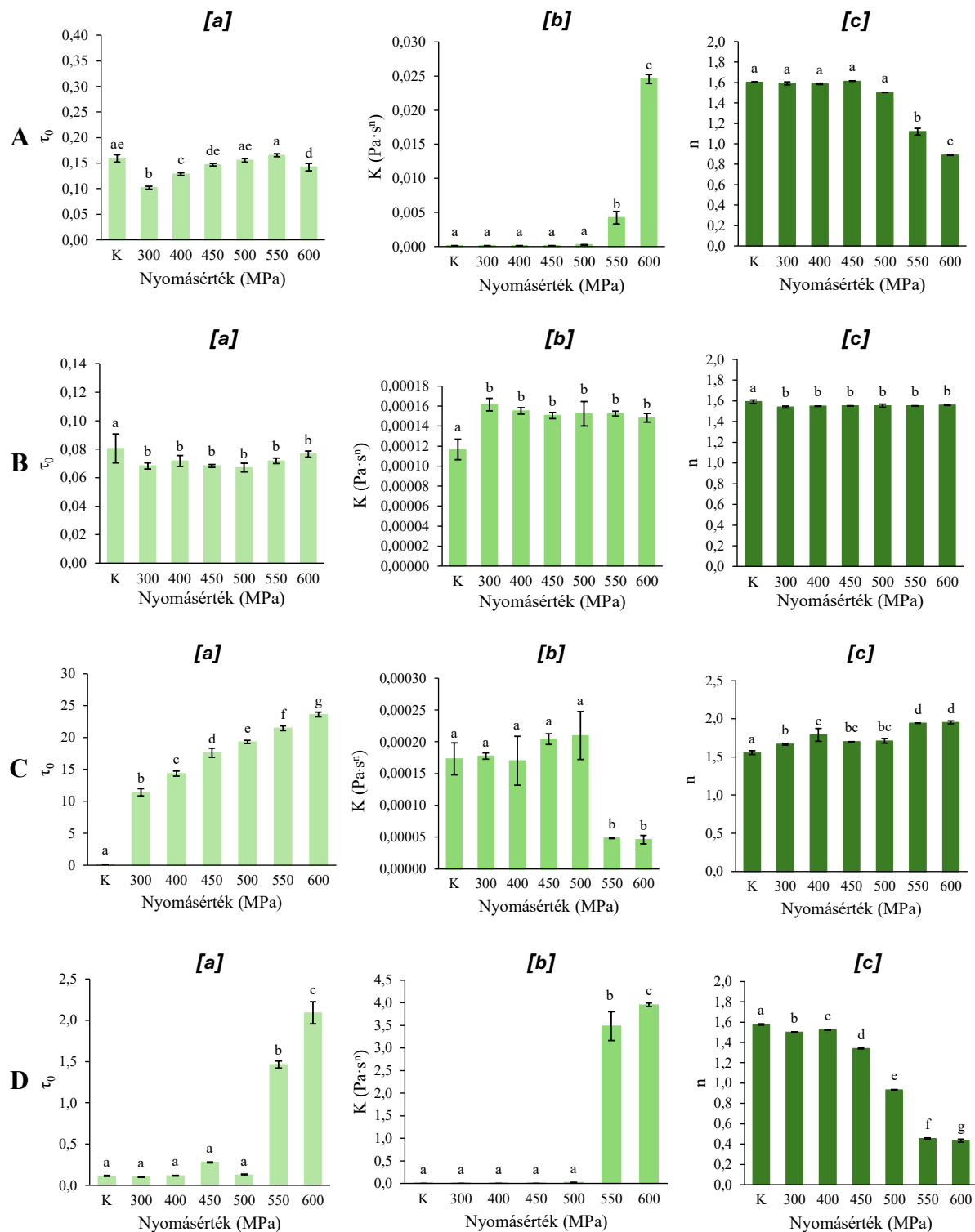
M5 – A különböző nyomásértékeken kezelt minták számolt króma értékei, valamint színinger-különbségei a kontroll mintához viszonyítva

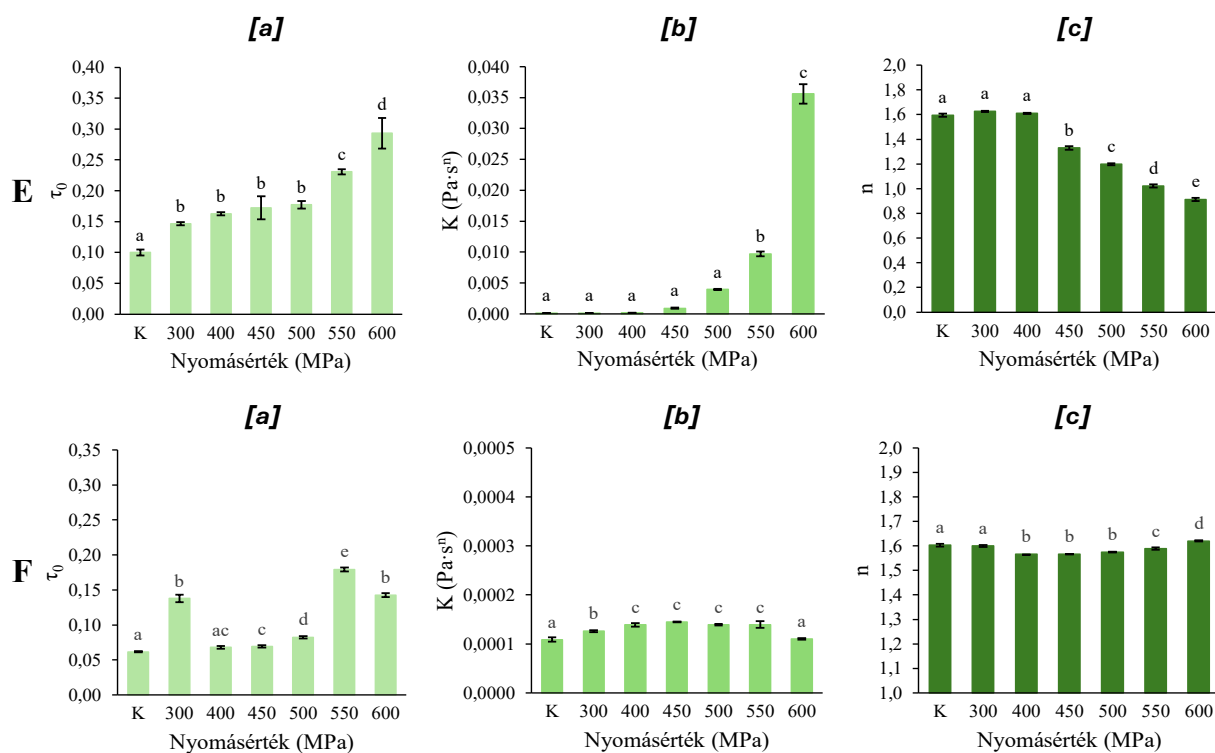
	C_{ab}*						ΔE_{ab}*					
	VP	HG	TV	TF	TT	TS	VP	HG	TV	TF	TT	TS
K	3,22	0,74	4,57	1,00	27,64	2,28	0	0	0	0	0	0
300 MPa	3,00	0,79	13,43	1,08	27,48	2,07	18,66	0,59	13,49	4,06	1,06	0,31
400 MPa	2,77	0,96	14,71	1,68	27,32	2,02	16,60	1,07	16,06	6,68	2,48	6,84
450 MPa	2,59	1,03	14,85	1,47	26,94	2,01	14,35	1,77	16,57	3,40	2,54	7,62
500 MPa	2,59	1,05	15,48	1,63	29,91	1,40	14,60	1,54	17,84	5,38	7,96	12,01
550 MPa	2,62	1,14	16,00	1,63	26,87	1,02	11,74	3,94	19,75	11,14	6,39	9,79
600 MPa	2,67	1,21	16,70	2,74	26,64	1,01	8,73	5,87	21,55	14,04	4,08	9,94

M6 – A HHP kezelés hatására bekövetkező szín- és állomány változás a vérplazma (A), hemoglobin (B), teljes vér (C), tojásfehérje (D), teljes tojás (E), tejsavó (F) mintákban



M7 – A vérplazma (A), hemoglobin (B), teljes vér (C), tojásfehérje (D), teljes tojás (E) és a tejsavó (F) szuszpenziók reológiai tulajdonságaiban (τ_0): folyáshatár [a], (K): konzisztencia koefficiens [b], (n): folyásindex [c]) bekövetkező változások a HHP kezelés hatására





a, b, c, d, e, f A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek a különböző minták folyáshatár, konzisztencia koefficiens és folyásindex tényezőkön belül ($p < 0,05$)

M8 – Az egytényezős varianciaanalízis eredményei a HHP kezelt minták (vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás és tejsavó szuszpenzió) 0. napon mért és átlagolt mezofil összes csíraszámában (log TKE/ml) bekövetkező változásai alapján

	VP (log TKE/ml)	HG (log TKE/ml)	TV (log TKE/ml)	TF (log TKE/ml)	TT (log TKE/ml)	TS (log TKE/ml)
K	3,28 ± 0,17 ^a	3,46 ± 0,16 ^a	3,55 ± 0,09 ^a	3,55 ± 0,07 ^a	3,76 ± 0,15 ^a	3,33 ± 0,05 ^a
300 MPa	3,09 ± 0,20 ^{ab}	3,05 ± 0,06 ^{ab}	3,26 ± 0,14 ^{ab}	3,20 ± 0,15 ^{ab}	3,56 ± 0,11 ^{ab}	3,10 ± 0,14 ^{ab}
400 MPa	2,94 ± 0,09 ^{ab}	2,76 ± 0,14 ^{bc}	2,96 ± 0,03 ^b	3,07 ± 0,01 ^{bc}	3,40 ± 0,09 ^b	2,80 ± 0,10 ^{bc}
450 MPa	2,72 ± 0,11 ^{bc}	2,36 ± 0,26 ^{cd}	2,47 ± 0,24 ^c	2,77 ± 0,06 ^c	3,00 ± 0,07 ^c	2,50 ± 0,16 ^{cd}
500 MPa	2,37 ± 0,16 ^{cd}	2,13 ± 0,17 ^{de}	2,13 ± 0,17 ^{cd}	2,39 ± 0,14 ^d	2,70 ± 0,11 ^{cd}	2,19 ± 0,13 ^{de}
550 MPa	1,99 ± 0,09 ^{de}	1,87 ± 0,07 ^{ef}	1,90 ± 0,09 ^{de}	2,06 ± 0,19 ^{de}	2,47 ± 0,19 ^{de}	1,91 ± 0,06 ^{ef}
600 MPa	1,68 ± 0,12 ^e	1,60 ± 0,18 ^f	1,54 ± 0,21 ^e	1,80 ± 0,07 ^e	2,17 ± 0,10 ^e	1,73 ± 0,10 ^f

a, b, c, d, e, f A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül ($p < 0,05$)

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek **Pásztorné Dr. Huszár Klára** tanárnőnek és **Dr. Mednyánszky Zsuzsannának** az értekezés megvalósításához nyújtott ösztönző, nélkülözhetetlen szakmai segítségükért, tanácsaikért.

Köszönettel tartozom **Dr. Friedrich Lászlónak**, aki biztosította a kísérleteim megvalósításához szükséges infrastruktúrát, valamint motiváló és biztató tanácsaival segítette a doktori értekezésem mielőbbi elkészülését.

Köszönöm az **Állattermék és Élelmiszer-tartósítási Technológia Tanszék minden munkatársának** a doktori dolgozatom elkészítése során nyújtott inspiráló, szakmai iránymutatását.

Köszönöm **Dr. Takács Krisztina** emészthetőségi vizsgálatban történő közreműködését és a dolgozathoz nyújtott szakmai tanácsait.

Köszönöm az **SKC Consulting Kft. munkatársainak**, hogy biztosították a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés megvalósítását és az ehhez szükséges feltételeket.

Hálás köszönettel tartozom a **szüleimnek, testvéreimnek, családomnak, páromnak és barátaimnak**, akik mindvégig mellettem álltak és támogattak, biztattak a doktori tanulmányaim- és az értekezés megírása során is.



Köszönöm!