

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Barkó Annamária

Budapest

2025



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

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEK

Az állati eredetű élelmiszerek az emberi táplálkozás évezredek óta meghatározó komponensei, melyek alapvető szerepet játszanak a szükséges tápanyagok biztosításában. A modern táplálkozástudomány is megerősíti, hogy az olyan állati eredetű fehérjeforrások, mint a hús, vér, tej, tojás és hal, a makro- és mikrotápanyagok széles skáláját biztosítják. Ezen nyersanyagok megfelelő mennyiségben, kiegyensúlyozott étrend részeként történő fogyasztása biztonságos, és jelentős mértékben hozzájárul a napi táplálkozási szükségletek kielégítéséhez.

Jelen kutatás a porított vér, tojás és tejsavó alapanyagokra fókuszál, amelyek nyers állapotukban magas vízáktivitással és tápanyagdús összetétellel rendelkeznek. E tulajdonságok kedveznek a mikrobák szaporodásnak, ezáltal rendkívül romlandóak. Rövid eltarthatóságuk technológiai kihívást jelent az élelmiszeripar számára. A víztartalom jelentős csökkentésével járó szárítás (porítás) olyan tartósítási eljárás, amely nemcsak a kezelhetőséget, tárolhatóságot és szállíthatóságot javítja, hanem elősegíti a széles körű élelmiszeripari hasznosításukat is.

A tojás számos élelmiszeripari termékben alkalmazható, rendkívül sokoldalú és kiváló tápanyagprofilú alapanyag. Ugyanakkor a tojástermelés szezonális ingadozása akadályozza a folyamatos alapanyag-ellátást, ami korlátozza az ipari felhasználhatóságot. A szárítással előállított tojáspor hatékony megoldást kínál ezen korlátok áthidalására, mivel hosszabb eltarthatóságot biztosít, miközben minimalizálja a romlásból eredő veszteségeket.

A kutatásban szereplő további két alapanyag ipari melléktermékként keletkezik: a vér a vágóhídi húsfeldolgozás során, míg a tejsavó a sajt, túró és kazein előállításának technológiai folyamatában. Ezek az anyagok korábban főként hulladékként kerültek kezelésre, azonban egyre inkább előtérbe kerülnek, mint értékes, újrahasznosítható fehérjeforrások. Az élelmiszeripari fenntarthatósági törekvések ösztönzik az olyan technológiai megoldásokat, amelyek nemcsak csökkentik a környezeti terhelést, hanem növelik a végtermékek táplálkozás-élettani értékét is. A melléktermékek hasznosítása így kettős előnyt jelent: hozzájárul a hulladékcsökkentéshez, valamint lehetőséget teremt funkcionális élelmiszer-összetevők előállítására, elősegítve a körforgásos gazdasági modell megvalósítását az élelmiszeriparban.

Az elmúlt években a fogyasztói magatartás jelentős átalakuláson ment keresztül. A 20. század végén a fogyasztói elvárások középpontjában elsősorban az élelmiszerek biztonsága és kedvező ár-érték aránya állt, amelyre az iparág fokozottan feldolgozott termékek előállításával reagált, gyakran figyelmen kívül hagyva a végtermék táplálkozás-élettani és érzékszervi minőségét. Napjainkra azonban a fogyasztói preferenciák számottevően módosultak és egyre nagyobb igény mutatkozik a természetes eredetű, adalékanyagoktól mentes, friss és kíméletesen feldolgozott élelmiszerek iránt. Ez a szemléletváltás ösztönözte az új, kíméletes feldolgozási

technológiák fejlesztését és elterjedését, amelyek célja a kiváló minőség és táplálkozási érték megőrzése a feldolgozás során. E technológiák egyik kiemelkedő képviselője a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (High Hydrostatic Pressure, HHP), amely egy nem termikus tartósítási eljárás. A HHP alkalmazása lehetővé teszi a patogén és romlást okozó mikroorganizmusok inaktiválását anélkül, hogy kedvezőtlenül befolyásolná az élelmiszer tápanyag-összetételét, érzékszervi tulajdonságait vagy minőségét (Serna-Hernandez et al., 2021). A nagynyomású feldolgozás koncepciója a 19. század végén került bemutatásra, ipari alkalmazása azonban csak a 20. század második felében vált széles körben elfogadottá és elérhetővé (Francisco Purroy Balda et al., 2012). Az érdeklődés növekedésének hajtóereje a kíméletesen feldolgozott élelmiszerek iránti igény növekedése volt.

A HHP kezelés ígéretesnek bizonyul a rehidratált élelmiszerporok esetében is, mivel fokozhatja azok mikrobiológiai biztonságát, valamint a bennük található tápanyagok biohasznosulását. Ennek eredményeként ezek az alapanyagok alkalmasak lehetnek táplálkozási szempontból értékes, fenntartható élelmiszerek előállítására. Ez különösen releváns, mivel az élelmiszerporok rehidratálása és a kapott szuszpenziók élelmiszer-mátrixba történő beépítése elterjedt ipari gyakorlat. Ez az eljárás lehetővé teszi a funkcionális összetevők, tápanyagok, adalékanyagok homogén eloszlását, pontos adagolását, valamint a termék állományának és minőségének javítását, különösen olyan termékkategóriákban, mint a joghurtok, italok, pékáruk, jégkrémek és fagyasztott desszertek.

Az élelmiszeriparban gyakran használt tojás és tejsavó mellett az állati eredetű vér továbbra is alulhasznosított nyersanyag, de a kutatások mindhárom alapanyag tekintetében főként a nyers állapotukban történő vizsgálatokra terjed ki. Ennek következtében az állati eredetű, rehidratált porkészítmények HHP kezelése kevésbé kutatott terület, amely jelentős, eddig kiaknázatlan potenciált rejt az élelmiszeripar számára. E tudományos hiányterület felismerése határozta meg kutatásom irányát és célkitűzéseit.

A kutatásom első szakaszában az alábbi célkitűzésekre fókuszáltam, melyek az alap, kiindulási porok tulajdonságainak és viselkedésének megértését szolgálták:

- 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 miként befolyásolják a porok instantizálhatóságát?
- Milyen aminosav-összetétel jellemzi a vizsgált mintákat, és ez milyen hatással van a táplálkozás-élettani megítélésükre, különös tekintettel az esszenciális aminosav-tartalomra?

A kutatás további szakaszában célul tűztem ki a HHP kezelés hatásainak átfogó vizsgálatát, amely során a rehidratált porokat 300 és 600 MPa közötti nyomáson, 5 percig kezeltem. A vizsgálatok elsődleges célja, hogy választ kapjak az alábbi kérdésekre, ezáltal részletesebb ismereteket nyerve a HHP kezelés okozta változások hatásmechanizmusairól:

- Milyen mértékben változnak a különböző szuszpenziók (vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás, tejsavó) színparaméterei a HHP kezelés hatására?
- Milyen hatással van a HHP kezelés a vérplazma, hemoglobin, teljes vér, tojásfehérje, teljes tojás és tejsavó szuszpenziók reológiai tulajdonságaira?
- Milyen változásokat indukál a HHP kezelés a fenti szuszpenziók molekulatömegeloszlásában?
- Milyen mértékben javítja a HHP kezelés ezen szuszpenziók fehérjetartalmának emészthetőségét?
- Milyen hatása van a HHP kezelésnek a különböző szuszpenziók eltarthatóságára, különös tekintettel a mezofil aerob csíraszám alakulására a 44 napos tárolási idő során?

Ezen vizsgálati célok megvalósításával minden minta esetében meghatározható egy optimális nyomásérték/tartomány, amely a legkedvezőbb hatást gyakorolja a szuszpenziók minőségi és funkcionális tulajdonságaira, támogatva ezzel az élelmiszeripari alkalmazásuk optimalizálását.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

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).

Kutatásom megtervezése során két részre osztottam a méréseket. Az első lépésben a por állagú alapanyagokat vizsgáltam, majd ezt követően készítettem a szuszpenziókat, melyeket HHP kezelésnek vettem alá. A minták előkészítése során minden mintából 3 x 350 ml 12 m/v% -os szuszpenziót készítettem. A színméréshez, reológiai tulajdonságok vizsgálatához, SDS-PAGE gélelektroforézishez, valamint az emésztési modellkísérlethez 200 ml-es PA-PE (poliamid-polietilén) tasakokba (90 μ m: 20 μ m PA + 70 μ m 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.

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. Minden szuszpenziót 5 perces nyomáskezelésnek vettem 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.

2.1. Portermékek esetében alkalmazott mérési módszerek

2.1.1. Folyékonyság meghatározása

A porok folyékonyságának meghatározásához először ömlesztett (Pugliese et al., 2017) és tömörített térfogatsűrűség (Lebrun et al., 2012) mérést végeztem. A mérést minden minta esetében háromszor végeztem el és a kapott adatok átlagértékével számoltam. Az így kapott adatok alapján számítottam ki a Carr-indexet és a Hausner-arányt (Lebrun et al., 2012; Reddy et al., 2014). Ezek a mutatók a porok áramlási tulajdonságaira utalnak: minél kisebb az értékük, annál jobb a folyékonyság. Az így kapott értékek alapján az anyagok áramlási képessége

minősíthető az irodalmi referenciaértékek (Reddy et al., 2014; Venkateswara Rao et al., 2021) segítségével.

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

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

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

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

2.1.2. Rehidratációs tulajdonságok meghatározása

Nedvesíthetőség:

A porminták nedvesíthetőségi tulajdonságát Fitzpatrick et al., (2017), valamint Szulc és Lenart (2016) kutatása alapján határoztam meg.

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

Diszpergálhatóság:

A diszperziós mérést Jinapong és társai (2008) által leírt eljárás szerint végeztem. 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%).

Oldhatóság:

A porok oldhatóságát szobahőmérsékleten (24 ± 2 °C) standard módszerekkel (GEA Niro, 2006; IDF, 1988) határoztam meg, kisebb módosításokkal. A kapott eredményeket az oldhatóság százalékos formájában fejeztem ki (Fournaise et al., 2020).

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

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

2.1.3. Aminosav-összetétel meghatározás

Az aminosav-analízist folyadék kromatográfiás módszerrel végeztem el, melyhez egy AAA 400 típusú (Ignos Kft., Csehország) automatikus aminosav analízátort használtam. Az elválasztáshoz gradiens elúciót alkalmaztam lítium-citrát alapú pufferekkel. A homogenizált mintákból 0,3–0,4 g fehérjét bemérve hidrolízist végeztem 6 M HCl alkalmazásával, 110 °C-on, 24 órán át. A hidrolizált mintákat semlegesítés után desztillált vízzel felhígítottam, majd kétszeri szűrést követően 10-szeres hígításban mértem. A módszerrel triptofán nem volt kimutatható, a kész mintákat fagyaszttva tároltam. A mérés eredményeképpen kapott kromatogramok kiértékelését a CHROMULAN V 0.82 (PIKRON, Csehország) nevű program alkalmazásával végeztem el.

2.2. Nagy hidrosztatikus nyomáskezelt minták mérési módszerei

2.2.1. Színmérés

A színmérésekhez Konica Minolta CR-400 típusú kolorimétert használtam, amely az emberi szem színérzékelését utánozva méri a színek L*, a* és b* értékeit a CIELAB színrendszer szerint. Az L* a világosságot, az a* a piros-zöld, a b* pedig a sárga-kék színek koordinátákat jelöli. Ezek alapján számítottam ki a színíngert-különbséget (ΔE_{ab}^*) és a telítettséget jellemző króma (C^*) értéket. A műszert kalibrálás után Petri-csészében elhelyezett mintákon alkalmaztam, minden esetben három ismétléssel.

2.2.2. A minták reológiai tulajdonságainak vizsgálata rotációs reométerrel

A HHP kezelt minták reológiai tulajdonságait MCR 92 típusú reométerrel, rotációs módban vizsgáltam, koncentrikus cylinder mérőrendszerrel. A méréseket 20 °C-on, csökkenő nyírási sebesség mellett végeztem, minden mintánál három ismétléssel. A mért eredmények felhasználásával a nyírási sebesség függvényében ábrázoltam a nyírófeszültséget. A minták reológiai tulajdonságainak leírására a Herschel-Bulkley modellt (8. egyenlet) (Magnon and Cayeux, 2021; Penna et al., 2001) alkalmaztam. 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 illesztésének megfelelőségét a determinációs együttható (R^2) alapján határoztam meg.

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad [8. \text{ egyenlet}]$$

τ : nyírófeszültség (Pa)

τ_0 : folyáshatár (Pa)

K: konzisztencia koefficiens ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$)

$\dot{\gamma}$: nyírási sebesség (s^{-1})

n: folyásindex (dimenzió nélküli)

2.2.3. SDS-poliakrilamid gélelektroforézis (SDS-PAGE)

A fehérjék méret szerinti elválasztását nátrium-dodecil-szulfát–poliakrilamid gélelektroforézissel (SDS-PAGE) végeztem a Laemmli (1970) módszer alapján. A szeparáció végrehajtását a Bio-Rad készüléken (Bio-Rad mini Protein Tetra System, Bio-Rad, USA) végeztem. A géleket kétlépéses eljárással készítettem: először 15%-os főgél, majd 6%-os gyűjtőgél öntésével. A mintákat Laemmli mintaoldóval (2×Laemmli sample buffer and 2-mercaptoethanol, Bio-Rad, USA) hígítottam és vortex kémcsórázó készülék segítségével elegyítettem. Ezt követően felforraltam a hígított mintákat, majd hagytam kihűlni. A gél zsebeibe 4 µl mintát töltöttem, míg az első zsebbe 7 µl molekulatömeg-standardet helyeztem. Az elektroforézist 200 V-on, 45 percig végeztem, majd a géleket 20%-os TCA-val fixáltam. A festést Coomassie Brilliant Blue-val végeztem, a felesleges festéket 10%-os ecetsavval távolítottam el. A géleket 1 éjszakán át rázógépre helyeztem, majd desztillált vízbe helyeztem, hogy megakadályozzam a kiszáradásukat. A futtatott gélek kiértékelése az Image Lab 6.1 szoftver használatával valósult meg.

2.2.4. *In vitro* emésztési modellkísérlet

Az *in vitro* emésztési kísérleteket a Minekus et al. (2014) által kidolgozott, standardizált protokoll alapján végeztem, amely során szimulált emésztőfolyadékokat (nyál, gyomor- és vékonybél folyadék) alkalmaztam. Az emésztőnedvek a tápcsatorna ezen szakaszaira jellemző megfelelő mennyiségű és arányú elektrolit oldatot, emésztő enzimeket, kalcium-klorid-dihidrátot és vizet tartalmaztak. Mivel a vizsgálat kizárólag a fehérjeemésztésre irányult, ezért a szájfázis nem tartalmazott alfa-amiláz enzimet. Az enzimek aktivitását az emberi szervezetben feltételezett fiziológiás körülményeknek megfelelően állítottam be. A gyomorfázisban pepszint, a vékonybél fázisban pankreatint és epekivonatot használtam. Az emésztés során az emésztmény és a mesterséges emésztőnedv aránya minden fázisban 50:50 w/v% volt. A gyomor és vékonybél fázisban történő emésztést 37°C-on 2 órán keresztül végeztem, kevertetés mellett. Az enzimikus reakciót minden esetben azonnali -70°C-ra való hűtéssel állítottam le. Az emésztés hatékonyságát SDS-PAGE gélelektroforézissel értékeltem. Az emészthetőségi vizsgálatot csak a kontroll, 450 MPa-on és a 600 MPa-on nyomáskezelt mintákon végeztem el. Ezáltal a mintamátrix elejéről, közepéről és végéről is információt nyertem, lehetővé téve a nyomáskezelés hatásának nyomon követését.

2.2.5. 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. A vizsgálandó mintákból tizedelő hígítási sort készítettem, majd steril körülmények között TGE telepszámláló táptalajjal Petri-csészékbe oltottam. Az inokulumot óvatosan elkevertem a táptalajban, és a mintákat 24 órán át 37 °C-on inkubáltam, majd telepszámláló segítségével határoztam meg a kinőtt telepeket.

A mikrobiológiai eredményeket 10-es alapú logaritmikus skálán ábrázoltam az idő függvényében. A tárolási vizsgálat során a mikrobapopulációk növekedését lineáris regressziós modellel írtam le, ahol az $y = mx + b$ egyenletben a meredekség (m) a mikroorganizmusok növekedési ütemének felel meg, míg a (b) az y tengelymetszetet adja meg. A regressziós modell illeszkedésének pontosságát az R^2 érték segítségével értékeltem.

2.2.6. Statisztikai értékelés

A statisztikai analízist egytényezős variancianalízis (ANOVA) alkalmazásával végeztem el az IBM SPSS Statistics 22-vel 5%-os szignifikancia szinten ($p < 0,05$). A hibatagok normalitást Kolmogorov-Smirnov, a szóráshomogenitást Levene-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.

3. EREDMÉNYEK ÉS AZOK MEGBESZÉLÉSE

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:

Színmérés 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 sávintenzitásában, 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.

4. 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 átfogó adat állt rendelkezésre. Kutatásom több nyitott kérdésre adott választ, hozzájárulva a HHP technológia élelmiszeripari alkalmazásának mélyebb megértéséhez.

Az elvégzett mérések eredményei alapján megállapítható minden mintát illetően egy optimális nyomásérték/nyomástartomány, 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 fokozására.

Következésképpen az eredmények arra utalnak, hogy a rehidratált fehérjeszuszpensiók 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.

5. 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.

6. PUBLIKÁCIÓK

Impakt faktorral és/vagy Q1-Q4 minősítéssel rendelkező folyóiratcikkek

Barkó, Annamária, Pásztor-Huszár, Klára, Mednyánszky, Zsuzsanna, Hidas, Karina Ilona, Csurka, Tamás, Horváth-Mezőfi, Zsuzsanna, Varga-Tóth, Adrienn, Jónás, Gábor, Dalmadi, István, Visy, Anna (2025) : Impact of High Hydrostatic Pressure on the Quality and Functional Properties of Rehydrated Animal Blood Plasma. APPLIED SCIENCES-BASEL 15:6 p.3341

DOI: 10.3390/app15063341%20Q2

Enkhbold, Munkhnasan, Lőrincz, Attila, Elayan, Majd, Friedrich, László, **Barkó, Annamária**, Hidas, Karina Ilona, Varga-Tóth, Adrienn (2025): Effect of High Hydrostatic Pressure on the Quality Parameters of Wild Red Deer (*Cervus elaphus*) Meat. APPLIED SCIENCES-BASEL 15 : 8 p. 4336 DOI: 10.3390/app15084336 **Q2**

Darnay, Livia, **Barko, Annamaria**, Hidas, Karina, Pataki, Fanni Anna, Miklos, Gabriella, Suranyi, Jozsef, Laczay, Peter (2024): Comparison of quality properties of pasteurized milk-based camel cheese depending on calf rennet concentration and microbial transglutaminase. INTERNATIONAL JOURNAL OF DAIRY TECHNOLOGY 77:2 pp. 540-547., 8 p.

DOI: 10.1111/1471-0307.13058%20Q2

Darnay, Livia, **Barko, Annamaria**, Hidas, Karina, Pataki, Fanni Anna, Miklos, Gabriella, Suranyi, Jozsef, Laczay, Peter (2024): Comparison of quality properties of powder milk-based camel cheese depending on calf rennet concentration and microbial transglutaminase. INTERNATIONAL JOURNAL OF DAIRY TECHNOLOGY 77: 2 pp. 532-539., 8 p.

DOI: 10.1111/1471-0307.13058%20Q2

Enkhbold, Munkhnasan, Lőrincz, Attila, Elayan, Majd, Friedrich, László, **Barkó, Annamária**, Csurka, Tamás, Boros, Anikó, Hitka, Géza, Varga-Tóth, Adrienn (2024): Effects of Lactic Acid and Ascorbic Acid Mixture on Quality Properties of Wild Red Deer (*Cervus elaphus*) Meat. APPLIED SCIENCES-BASEL 14:19 Paper: 8915

DOI: 10.3390/app14198915%20Q2

Jónás, Gábor, Visy, Anna, Dalmadi, István, Majzinger, Koppány, Krzyzewsky, Nóra, **Barkó, Annamária**, Surányi, József, Friedrich, László (2024): Evaluation of the Effects of Electrical and Carbon Dioxide Stunning Methods on Quality Attributes of Pork Meat. APPLIED SCIENCES-BASEL 14:22 Paper: 10410, 12 p.

DOI: 10.3390/app142210410%20Q2

Majadi, Mariem, **Barkó, Annamária**, Varga-Tóth, Adrienn, Maukenovna, Zhulduz Suleimenova, Batirkhanovna, Dossimova Zhanna, Dilara, Senkebayeva, Lukacs, Matyas, Kaszab, Timea, Mednyánszky, Zsuzsanna, Kovacs, Zoltan (2024): Quality Assessment of Reconstructed Cow, Camel and Mare Milk Powders by Near-Infrared Spectroscopy and Chemometrics. MOLECULES 29:17 p. 3989

DOI: 10.3390/molecules29173989%20Q1

Majzinger, Koppány L., Jónás, Gábor, Surányi, József, Zimborán, Ágnes, Kiskó, Gabriella, Taczman-Brückner, Andrea, **Barkó, Annamária**, Friedrich, László F. (2024): Effect of watering before slaughter and the evisceration method on the quality characteristics of fattened goose liver. POULTRY SCIENCE 103: 12 Paper: 104454, 8 p

DOI: 10.1016/j.psj.2024.104454%20D1

Hidas, Karina, Németh, Csaba, Nguyen, Lien Le Phuong, Visy, Anna, Tóth, Adrienn, **Barkó, Annamária**, Friedrich, László, Nagy, Attila, Nyulas-Zeke, Ildikó Csilla (2021): Effect of cryogenic freezing on the rheological and calorimetric properties of pasteurized liquid egg yolk. CZECH JOURNAL OF FOOD SCIENCES 39:3 pp. 181-188., 8 p.

DOI: 10.17221/37/2021-CJFS%20Q3

Visy, Anna, Hidas, Karina Ilona, **Barkó, Annamária**, Nguyen, Lien Le Phuong, Friedrich, László, Jónás, Gábor (2021): Effect of wet-curing on physical properties and proteins of cured ham. PROGRESS IN AGRICULTURAL ENGINEERING SCIENCES 17 : S1 pp. 145-155. , 11 p., DOI: 10.1556/446.2021.30017%20Q3

Adrienn, Tóth, Csaba, Németh, Ildikó, Zeke, **Annamária, Barkó**, Karina, Hidas, László, Friedrich (2020): Effects of combined HHP and heat treatment on viscosity attributes and microbiological condition of liquid egg yolk. PROGRESS IN AGRICULTURAL ENGINEERING SCIENCES 16: S1 pp. 67-74., 8 p.

DOI: 10.1556/446.2020.10007 **Q3**

7. IRODALOMJEGYZÉK

- 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>
- 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>
- 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>
- GEA Niro, 2006. Analytical Methods for Dry Milk Products. GEA Niro Method No. A 3 a.
- IDF, 1988. Dried milk and dried milk products: Determination of insolubility index. IDF standard 129A.
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- Minekus, M., Alming, 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., Brodtkorb, 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>

- 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)
- 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>
- 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>
- 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>
- Serna-Hernandez, S.O., Escobedo-Avellaneda, Z., García-García, R., Rostro-Alanis, M. de J., Welte-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>
- 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>
- 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>