

SZAKDOLGOZAT

Romhányi Zsombor Szakdolgozat

Romhányi Zsombor
Budapest, 2023

**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
Állatiermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék**

**Állati és növényi eredetű fehérjeporok oldhatóságának
vizsgálata**

Romhányi Zsombor Szakdolgozat

Romhányi Zsombor
Budapest
2023

*Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet*

**Szak neve: BSc Élelmiszermérnöki
Árúkezelési technológiák és minőségügy**

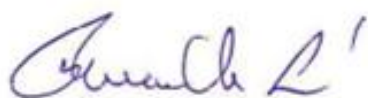
Szakedolgozat készítés helye: Állatitermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék

Hallgató: Romhányi Zsombor

A szakedolgozat címe: Állati és növényi eredetű fehérjeporok oldhatóságának vizsgálata

Konzulens: Dr. Hidas Karina Ilona
Külső konzulens esetén tanszéki felelős: -

Beadás dátuma: 2023. november 6.



Szakedolgozat készítés helyének vezetője
Dr. Friedrich László Ferenc



Konzulens
Dr. Hidas Karina Ilona



Dr. Hitka Géza
Árúkezelési technológiák és minőségügy ismeretkör felelős

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	1
2. A munka célja	3
3. Irodalmi áttekintés	4
3.1. A fehérjék felépítése, csoportosítása	4
3.2. Fehérjék szerepe az étrendben	6
3.3. Nagy fehérje tartalmú táplálékkiegészítők bemutatása	9
3.4. Fehérjeporok gyártástechnológiája	12
3.5. Stabilitás mérésére alkalmas módszerek	15
4. Anyagok és módszerek	19
4.1. Mérésnél vizsgált fehérjeminták	19
4.2. Szuszpenzió készítése az oldhatósági mérésekhez	20
4.3. Minták szárazanyag-tartalom meghatározása	20
4.4. Alkalmazott mérési módszerek	20
4.4.1. Oldhatóság vizsgálata a centrifugálás előtti és a centrifugálás után, a folyadékfázisban mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján	20
4.4.2. Oldhatóság vizsgálata a centrifugálás után a folyadékfázisban, illetve az üledékben mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján	22
4.4.3. Oldhatóság vizsgálata a centrifugálás előtti és a centrifugálás után, a folyadékfázisban mért fehérjetartalom összehasonlítása alapján	23
4.4.4. A fehérjesuszpenziók stabilitásának vizuális értékelése	23
4.4.5. A hőmérséklet hatása a fehérjesuszpenziók stabilitására	24
5. Kísérleti eredmények és értékelésük	25
5.1.1. Oldhatóság meghatározása centrifugálással (a centrifugálás előtti és a centrifugálás után, a folyadékfázisban mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján)	25
5.1.2. Az oldhatóság meghatározása centrifugálással (a centrifugálás után a folyadékfázisban, illetve az üledékben mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján.)	28

5.1.3. Oldhatóság vizsgálata a centrifugálás előtti és a centrifugálás után, a folyadékfázisban mért fehérjetartalom összehasonlítása alapján _____	30
5.1.4. A fehérjeszuszpenziók oldhatóságának és stabilitásának vizuális értékelése	32
5.1.5. A hőmérséklet hatása a fehérjeszuszpenziók stabilitására _____	33
6. Összefoglalás _____	36
<i>Irodalomjegyzék _____</i>	38

Romhányi Zsombor Szakdolgozat

1. BEVEZETÉS

A fehérjék elengedhetetlenül fontos szerepet töltenek be az egészséges táplálkozásban és az emberi test működésében. A fehérjék építő elemei a sejteknek és szöveteknek, és számos kulcsfontosságú funkciót látnak el a szervezetünkben. Az egyik legfontosabb szerepe a fehérjéknek az izomzat építése és fenntartása, segít az izmok regenerálásában és növekedésében. Támogatja a sejtek, szövetek regenerációját. Fontos feladatot töltenek még be az enzim- és hormonműködésben, illetve az immunrendszer egészséges működésének fenntartásában. Az egészséges bőr, haj és köröm fenntartásában is nagy szerepe van a fehérjéknek.

A humán táplálkozásban a fehérje kulcsfontosságú makrotápanyag, ami szükséges a szervezet egészséges működésének a fenntartásában. A napi szükséges bevétel változó, a sportolóknak általában nagyobb mennyiségű, jó minőségű fehérjére van szükségük az étrendjükben, ez a mennyiség 1,2-2,0 g/kg/nap. A nem sportoló, nem aktív életet élő emberek körében a napi ajánlott fehérje bevétel kevesebb, 0,8-1,0 g/kg/nap (López-Martínez és mtsai., 2022).

Táplálkozás során a fehérjék hozzájárulnak a telítettségérzet eléréséhez, így segítik az étvágy szabályozását, és hozzájárulnak az egészséges testsúly eléréséhez és fenntartásához. Jó minőségű fehérje források a tojás, húsok, tejtermékek, amik nagy esszenciális aminosav tartalommal rendelkeznek és nélkülözhetetlenek a szervezet felépítőfolyamataihoz.

Az állati és növényi eredetű fehérjék nagymértékben különböznek egymástól. Az állati eredetű fehérjék, mint a hús, hal, tojás és tejtermékek, általában teljes értékű fehérjeforrások, mivel tartalmazzák az összes esszenciális aminosavat. Azonban a növényi eredetű fehérjék kisebb esszenciális aminosavtartalommal rendelkeznek, és egy vagy több specifikus aminosavból hiányosak. Az állati eredetű fehérjék magas biológiai értékkel rendelkeznek, illetve vasban és B12 vitaminban gazdag források. Ugyanakkor a növényi eredetű élelmiszerek gazdag rost, vitamin és ásványanyag tartalommal rendelkeznek. Összességében elmondható, hogy a legjobb választás nem specifikusan csak az egyik fehérje forrás fogyasztása, hanem az állati és a növényi fehérjék vegyes, változatos fogyasztása, a szervezet egészséges működésének az érdekében.

Napjainkban egyre nagyobb kereslet mutatkozik a nagy fehérjetartalmú táplálékkiegészítők iránt. Legkeresettebbek a sportolók és aktív életet élők körében, a megnövekedett tápanyagszükséglet kielégítése miatt. Egyes sportágakban az eredményes fejlődés és a

megfelelő regeneráció érdekében nagy mennyiségű tápanyagot kell a szervezetükbe bejuttatniuk, ebben nagy segítség a nagy fehérje tartalmú étrendkiegészítők, például a fehérjeszeletek, fehérjeporok. A nagy fehérjetartalmú táplálékkiegészítők hozzájárulnak a nagy fehérjebevitelhez, alacsony kalória jelenlétében. A fehérje hozzájárul a jóllakottság érzet kialakításához, ennek köszönhetően a különböző diétákat folytató emberek körében egyre elterjedtebben.

A piacon megtalálható nagy fehérjetartalmú táplálékkiegészítők számos változata fellelhető. Alapanyaguk szerint lehetnek állati eredetű vagy növényi eredetű fehérjék. Az állati eredetű fehérjekészítmények között a legelterjedtebbek a tejsavó alapú termékek, a növényi fehérjék között pedig a különböző hüvelyes zöldségféléből származó fehérjekészítmények. A táplálékkiegészítők fogyasztása jó felszívódást, egyszerűbb, gyorsabb táplálékbevitelt tesz lehetővé, de fontos kiemelni, hogy a napi étkezésünk nagyobb részét hagyományos eredetű élelmiszerek fogyasztásával kell fedeznünk.

Az élelmiszeriparban a fehérjeporok fizikai tulajdonságainak vizsgálata fontos lépés. Elsősorban azért, mert ezek a jellemzők közvetlen hatással vannak a termék minőségére. A fehérjék számos funkcionális tulajdonsággal rendelkeznek, amelyet a fizikai és kémiai aktivitásuk befolyásol. A fehérjeporok funkcionális tulajdonságának vizsgálatával számos kutatás foglalkozott, amelyek segítségével szolgáltak a saját vizsgálatom során. Funkcionális tulajdonságok közé tartoznak például az oldhatóság, emulzióképző képesség, habképző képesség, zselésítő képesség, vízkötő képesség, állomány. Az egyik legfontosabb fizikai tulajdonság az oldhatóság, amely meghatározza, hogy a fehérjepor könnyen és egyenletesen oldódik-e különböző folyadékokban. Az élelmiszeriparban felhasznált fehérjéknek többnyire jó oldódással kell rendelkezniük, mivel ez jelentős hatással a további felhasználhatóságra. A fehérje oldódását számos tényező befolyásolja, például denaturált formában jelenlévő fehérje, pH, hőmérséklet.

2. A MUNKA CÉLJA

Az állati és a növényi alapanyagból készült fehérjeporok egyre nagyobb teret hódítanak az élelmiszeriparban. Számos előnnyel rendelkeznek, amelyekkel új vagy meglévő élelmiszereink minőségét, tápanyagtartalmát növelni tudjuk. Felhasználásuk nagymértékben függ a fizikai tulajdonságaiktól, oldhatóságuktól. Az oldhatósági vizsgálat egy rendkívül fontos szempont a fehérje élelmiszeriparban való felhasználásukhoz. Korábbi kutatásokban számos vizsgálatot folytattak a fehérjeporok oldhatóságáról, más és más módszereket használva.

Kutatásom során célul tűztem ki, hogy összehasonlítsam néhány kiválasztott, kereskedelmi forgalomban kapható növényi és állati eredetű fehérjekoncentrátum és -izolátum oldhatóságát. Kísérletemben különböző módszereket alkalmaztam a minták oldhatóságának vizsgálatára. Céljaim közé tartozik a különböző vizsgálati módszerek eredményeinek összehasonlítása. Ezenkívül célul tűztem ki, hogy megállapítsam, hogy az alkalmazott módszerek közül melyek a legalkalmasabbak az állati és a növényi fehérjeporok oldhatóságának vizsgálatára és összehasonlítására.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A fehérjék felépítése, csoportosítása

A fehérjék a makromolekulák csoportjába tartoznak a szénhidrátokkal és a zsírokkal együtt. A fehérjék nagy, összetett molekulák, amelyek minden élő szervezet sejtjeiben megtalálhatók. A fehérjék az emberi test összes szövetének az építőelemei, megtalálható a vérben, a csontszövetben és a bőrt felépítő szövetekben is. Nagy szerepet töltenek be az anyagcserében, az immunitásban, a folyadék egyensúlyban és a tápanyagszállításban, illetve az energiaszolgáltatásban is.

Az aminosavak a fehérjék fő alkotórészei. Az aminosavak kombinációjából épülnek fel a fehérjék. A szervezetünkben húsz aminosav található meg. Az aminosavak kettő csoportra bonthatók, ezt szemlélteti az 1. táblázat. Kilenc esszenciális aminosav található meg az emberi szervezetben. Ezeket az aminosavakat nem képes elegendő mennyiségben a szervezet előállítani a fiziológiai szükségletek kielégítéséhez, ezért ezeket külső forrásból kell a szervezetünk számára fedezni, vagy különben elveszíti a szervezetünk azt a képességet, hogy fehérjéket és más nitrogén tartalmú vegyületeket tudjon előállítani (Thompson & Manore, 2011).

1. táblázat: Az emberi szervezetben fellelhető aminosavak csoportosítása (Thompson & Manore, 2011)

Aminosavak az emberi szervezetben	
Esszenciális aminosavak	Nem esszenciális aminosavak
<ul style="list-style-type: none">• Hisztidin• Izoleucin• Leucin• Lizin• Metionin• Fenilalanin• Treonin• Triptofán• Valin	<ul style="list-style-type: none">• Alanin• Arginin• Aszpargin• Aszparginsav• Cisztein• Glutaminsav• Glutamin• Glicin• Prolin• Szerin• Tirozin

Az aminosavak másik csoportjába a nem esszenciális aminosavak tartoznak, amelyek ugyanolyan fontosak az emberi szervezet számára, mint az előzőekben leírt kilenc esszenciális

aminosav. A nem esszenciális aminosavakat a szervezet elő tudja állítani az esszenciális aminosavak aminocsoportjának a transzferálásával, így nem szükséges a táplálkozásunkra hagyatkozni a bevitelük során. A folyamat a transzaminálás, ahol az aminosavokról savcsoportok és oldalláncok hasadnak le, majd az aminosavak különböző részeinek a kombinálásával új aminosav jön létre. A szervezet ezeknek a folyamatoknak köszönhetően képes a meglévő esszenciális aminosavak segítségével, a szükséges, hiányzó nem esszenciális aminosavak előállítására (Thompson & Manore, 2011).

A fehérjék felépítése során 4 különböző szerkezetet különítünk el. A legegyszerűbb szerkezeti formától, az elsődleges szerkezettől haladva jutunk el a másodlagos, harmadlagos, majd a legösszetettebb, negyedleges szerkezeti felépítéshez. A fehérjéket felépítő aminosavak polipeptid láncokká alakulnak. A láncokat összetartó erő a peptidkötés. Ezen aminosavakból a polipeptidláncok több százat is tartalmazhatnak. Az aminosavak kapcsolódásának sorrendje rendkívül változatos lehet, és ez a sorrend határozza meg a fehérje elsődleges szerkezetét. A másodlagos szerkezet olyan aminosavláncok részeit tartalmazza, amelyeket a polipeptidváz hidrogénkötései stabilizálnak. Ezek a hidrogénkötések hozzák létre a másodlagos szerkezet α -hélix és β -redő szerkezet (Sanvictores & Farci, 2023). Az α -hélix a fehérjék másodlagos szerkezetének egyik gyakori eleme, amely akkor alakul ki, amikor az aminosavak "feltekerednek", hogy egy spirált alkossanak, ahol az oldalláncok kifelé mutatnak a központi spirálból (Boyle, 2018). Az α -hélixek stabilizálása hidrogénkötések révén történik. Az egyik aminosav hidrogénkötést alakít ki, a másik aminosav aminosav hidrogénjével. Ez a jellegzetes kötési forma adja a spirális, hullámos szalag szerkezetű polipeptidlánc formációt. A kialakult spirális szerkezeten belüli aminosavak eloszlása egy fordulaton belül 3, 6 (A fehérjék szerkezeti szintjei (cikk), é. n.).

A β -redő szerkezet kialakulása során egy vagy több polipeptid lánc, és hidrogénkötések segítségével egymásmellé rendeződik. A fehérjelánc és a szénhidrogének csoportja között alakul ki a hidrogénkötés. A β -redő szárai lehetnek párhuzamos, vagy antipárhuzamos. Párhuzamos a párhuzamos, ebben az esetben a szálok iránya megegyezik, N- és C terminál egy azonos irányba vannak. A nem párhuzamos, antipárhuzamos esetében a szálok iránya nem egyezik. Egyik szakasz C- terminális vége azonos oldalon van, mint a másik szakasz N- terminális vége (26.10: Protein Structure - Chemistry LibreTexts, é. n.; A fehérjék szerkezeti szintjei (cikk), é. n.).

A fehérjék harmadlagos szerkezetének kialakulása során a polipeptidlánc háromdimenziós elrendeződése figyelhető meg. A kialakulása aminosavak R- csoportjainak a kölcsönhatásainak köszönhető. Ennek kialakulásában kulcsszerepet játszanak hidrogénkötések és ionos

kölcsönhatások a molekula külső részén, valamint hidrofób kölcsönhatások a molekula belső részén, az aminosavak oldalláncaiban. A szerkezet kialakulásához továbbá az ionos kötés, dipól-dipól és a diszperziós kölcsönhatások járulnak hozzá. A harmadlagos szerkezet alapján két csoportba sorolhatók a fehérjék. Az első csoportba tartoznak a globurális, gömbölyded formájú fehérjék. Ezek például a plazmaproteinek és az immunoglobulinok, ezek általában hidrofil jellegűek. A másik típus a fibrillális, szálszerű fehérje, ezek például az α -keratin. A fibrilláris fehérjék hosszú szálszerű szerkezettel rendelkeznek és általában hidrofób jellegűek (A fehérjék szerkezeti szintjei (cikk), é. n.; Engelking, 2015).

A negyedleges szerkezet kialakulásáért azok a fehérjék a felelősek, amelyek több mint egy polipeptidláncból és alegységből állnak. Ezeket ugyanazok a kölcsönhatások stabilizálják, mint a harmadlagos szerkezetben leírtak. Negyedleges szerkezetű fehérje a hemoglobin. Ez egy funkcionális fehérje, ami négy alfa és béta láncból és négy hem-csoportból épül fel. Feladata az oxigén szállítása (A fehérjék szerkezeti szintjei (cikk), é. n.; Engelking, 2015).

3.2. Fehérjék szerepe az étrendben

A fehérjék táplálkozástani szempontból létfontosságú makromolekulák, amelyek kulcsfontosságú szerepet játszanak a szervezet egyensúlyának fenntartásában. A legfontosabb folyamatai közé tartoznak az izmok és csontok anyagcsere-folyamatai, hozzájárulnak az idegrendszer megfelelő működéséhez és az izomtömeg, fizikai teljesítőképesség megőrzéséhez, idősebb életszakasz során. A nettó fehérje egyensúlyt a vázizom fehérjeszintézis és az izomfehérje lebontás közötti különbségként határozzák meg (López-Martínez és mtsai., 2022).

Az izomtömeg felépítésén kívül szerepet játszanak a sejtek és szövetek szerkezetének és működésének támogatásában, az anyagok szintézisében, a regeneráció és az anyagok szállításában, a szervezetben. A különbség a többi makromolekula és a fehérje között az, hogy míg a zsírok és a szénhidrátok tárolására és szükséges pillanatban való felhasználására képes a szervezet, ilyen például a glükogén, addig a fehérje esetében erre nem képes. Az étrendünknek a fehérjebevitel szempontjából meg kell felelnie a szervezet metabolikus igénybevételének, azért, hogy elkerüljük a stresszes és a tápanyagnélküli időszakban azt, hogy a testünk a vázizomzat összehúzódásáért felelős fehérjéket használja létfontosságú aminosav forrásként, a szervezet belső egyensúlyának és működésének a fenntartásához (Thompson & Manore, 2011). Az egészséges fehérjebevitel egy minimális fizikai aktivitást végző felnőtt ember számára, 0,8 g fehérje/ttkg. A funkcionális szükséglethez, ide tartozik a vázizomzat felépítése és a fizikai erő kívánt mértékének az eléréséhez, a napi ajánlott fogyasztási mennyiség, 1,0-1,3 és 1,6 g/ttkg,

míg sportolók esetében magasabb, akár 2,0 g fehérje/ttkg mennyiség ajánlott (López-Martínez és mtsai., 2022; Wu, 2016).

A növényi és állati fehérjék hasznosulásánál több szempontot kell figyelembe venni, ezek az emészthetőség, felszívódás, szervezetben való megtartás és az esszenciális aminosav összetétele. A fehérjék táplálkozási értéke függ az esszenciális aminosavak biológiai hozzáférhetőségétől és a metabolikus hasznosulásuktól, hogy mennyire hatékonyan elégíti ki a szervezet aminosavszükségletét. A fehérje minőségének meghatározására vezették be a nitrogénegyensúly meghatározás alapján történő értékelési paramétereket, ilyen az emészthetőség, fehérje százalékos hasznosulás, biológiai érték, kémiai pontszám és az emészthetőséggel korrigált aminosav-pontszám. A PDCAAS (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) pontszám, azaz a fehérje emészthetőséggel korrigált aminosav-pontszám, az emészthetőség mutatója. Célja, hogy a kapott értékből megállapítsák, hogy a táplálékfehérje képes-e a szervezet aminosav szükségletét kielégíteni. Akkor, ha a bevitt fehérje nem képes a szervezet esszenciális aminosav szerkezetét fedezni, kevesebb, mint 100 % PDCAAS értéket kap. A növényi alapú fehérje forrásokra jellemző a 100 % alatti, alacsonyabb érték, az állati eredetű fehérjék esetében 100 %-hoz közelebbi értékek érhetők el (Berrazaga és mtsai., 2019). A növényi eredetű fehérjék alacsony esszenciális aminosavtartalommal rendelkeznek, és gyakran hiányosak egy vagy több specifikus aminosavban, például lizinben és metioninban (Pinckaers és mtsai., 2021). Ennek következtében rosszabb emészthetőséggel rendelkeznek. A PDCAAS vizsgálatoknál vannak pontatlanságok, amelyeknek az oka az, hogy nem veszi figyelembe a magas biológiai értékű fehérjéket, túlbecsüli az antinutritív anyagokat tartalmazó élelmiszereket, és túlbecsüli az alacsonyabb emészthetőségű fehérjetartalmú élelmiszereket, ha azokat limitáló aminosavakkal egészítik ki (Lee és mtsai., 2016). Egy újabb eszköz, ami pontosabb meghatározást tehet lehetővé, a DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score). Ez az emészthető nélkülözhetetlen aminosav pontszám. A módszer az esszenciális aminosavak emészthetőségét méri egy referenciafehérjéhez viszonyítva, az ileális részben, azaz a vékonybélben. Ugyanis a legtöbb táplálékkal bevitt aminosav a vékonybélben szívódik fel (Deglaire és mtsai., 2009). Ennek kifejlesztésére azért volt szükség, mert az egyes aminosavak más-más emészthetőséggel rendelkeznek, így minden aminosavat önálló tápanyagnak kell tekinteni. A DIAAS vizsgálatok alapján 100 % alatti értéket kaptak a növényi eredetű fehérjék, ezzel igazolva a rosszabb hasznosulásukat az állati eredetű fehérjékhez képest (Berrazaga és mtsai., 2019; Deglaire és mtsai., 2009). A 2. táblázatban látható néhány eredmény, amely a növényi és állati eredetű fehérjéket hasonlítja össze fehérjeminőség szempontjából. A növényi

fehérjék önmagukban alkalmazva általában kisebb értékekkel rendelkeznek, mint az állati fehérjék. Ez egyrészt köszönhető annak, hogy a növényi fehérjék több β -redő konformációjú szakaszt tartalmaznak, amelyek ellenállóbbak a gyomor traktusban történő lebontással szemben. Ezenkívül a növények gyakran antinutritív hatású anyagokat is tartalmaznak, amik szintén rontják az emészthetőséget például, fitinsav, proteázgátlók, tanninok (Berrazaga és mtsai., 2019). Ezek az anyagok hőkezeléssel csökkenthetők. Berrazaga és munkatársai (2019) kutatásában 18 %-os emészthetőség javulásról számoltak be különböző növényi eredetű élelmiszereknél hőkezelés hatására (Berrazaga és mtsai., 2019). A növényi fehérje emészthetőség az antinutritív faktorok eltávolításával, majd koncentrátum, izolátum vagy hidrolizátum készítésével javítható és e felszívódás az állati fehérjékhez hasonló mértékben valósul meg. Tehát megállapítható, hogy a rosszabb felszívódás nem önmagában a növényi fehérje saját tulajdonsága, hanem a fehérjeforrás egészének táplálék mátrixának eredménye (Pinckaers és mtsai., 2021).

2. táblázat: (Berrazaga és mtsai., 2019)

Fehérjeforrás	Emészthetőség	Biológiai érték	Nettó fehérje felhasználás	PDCAAS	DIAAS
Tejsavó	N.A.	104 %	92 %	100	N.A.
Kazein	99 %	77 %	76-82 %	100	N.A.
Tojás	98 %	100 %	94 %	100	114
Borsó fehérje koncentrátum	99 %	N.A.	N.A.	89	82
Csicseri borsó	89 %	N.A.	N.A.	74	83
Szója fehérje izolátum	98 %	74 %	61 %	100	N.A.

A fehérje lebontása kis molekulákra eltér a többi makrotápanyag anyagcseréjétől, mivel ez a folyamat a gyomorban veszi kezdetét. Ezt a fázist proteolízisnek nevezzük (Coelho-Junior és mtsai., 2020). Az elfogyasztott fehérjék vagy polipeptidek a gyomorban kezdenek lebomlani a proteáz pepszin hatására. A pepszint a gyomornyálkahártya fő sejtjei választják ki pepszinogén más néven zimogén formájában. A pepszinogén miután a gyomorba kerül, a sósavnak köszönhetően megváltoztatja a konformációját, képes magát lebontani és aktív pepszinné alakul. A gyomorsav denaturálja a fehérjéket, ami részben kibontja őket, így a proteázok jobban hozzáférnek a peptidkötéseikhez. A pepszin a gyomorban különböző hasadási pontokon elkezd hidrolizálni a fehérjéket kisebb polipeptidekké (Goodman, 2010). A gyomorból a duodenum

részben folytatódik a bontás, ahol a hasnyálmirigy exokrin részében létrejövő, különböző lebontó enzimeket termelnek például tripszin, kimotripszin, és elasztáz és a karboxipolipeptidáz. Ezek az enzimek hozzájárulnak a lebontási folyamatok, aminosav láncok hasításához, tripeptidekre és dipeptidekre (Coelho-Junior és mtsai., 2020). A további lebontási folyamatokban, amit endopeptidázok hajtanak végre, aminosavak keletkeznek. Az aminosav felszívódása a vékonybélben történik, ahol vagy aktív vagy passzív transzport révén képes keresztüljutni, majd a vér segítségével eljut a test különböző pontjaira, ahol a fehérje szintézisben játszik szerepet (Goodman, 2010).

3.3. Nagy fehérje tartalmú táplálékkiegészítők bemutatása

Az egészséges életmód elérésében fontos szerepet tölt be a sport és a táplálkozás. Az étrend hagyományos tápanyagból való fedezése mellett egyes sportágit végző egyének magasabb mennyiségű tápanyagra van szüksége, ezért a sporttáplálkozásában fontos szerepet töltenek be a táplálékkiegészítők, a nagyobb teljesítmény elérés érdekében (López-Martínez és mtsai., 2022). A 37/2004. (IV. 26.) rendeletben leírtak alapján, „*étrend-kiegészítő*: a hagyományos étrend kiegészítését szolgáló olyan élelmiszer, amely koncentrált formában tartalmaz tápanyagokat vagy egyéb táplálkozási vagy élettani hatással rendelkező anyagokat, egyenként vagy kombináltan; adagolt vagy adagolható formában kerül forgalomba (például kapszula, pasztilla, tableta, port tartalmazó tasak, adagolható por, ampulla, csepegtető üveg vagy más hasonló por-, illetve folyadékforma, amely alkalmas kis mennyiség adagolására).”

A nagy fehérjetartalmú táplálékkiegészítők nagy fehérje bevitelt tesznek lehetővé, alacsony kalória bevitel jelenlétében. A nagy fehérjetartalmú étrendkiegészítők könnyebben emészthetők és felszívódnak, mint a hagyományos élelmiszerforrások (Huecker és mtsai., 2019). A táplálékkiegészítők gyártása során a főbb összetevők a kazeinátok, tejsavó. Kisebb mennyiségben van jelen a szója, búza vagy tojásfehérje, valamint a dextrin-maltóz, ami a fő szénhidrátforrást biztosítja. A tejsavó közkedvelt forrása a táplálékkiegészítőknek a piacon, ugyanis jóminőségű fehérjét biztosítanak (Rufián-Henares és mtsai., 2007).

A tejsavó, mint állati eredetű nagy fehérjetartalmú készítmények legelterjedtebb alapanyaga. A sajt és túrógyártás mellékterméke. A feldolgozás folyamán a tej 70-90 %-ának megfelelő mennyiségű tejsavó keletkezik. Számos feldolgozási lehetősége van, például a savósajtok és savófehérje-koncentrátumok gyártása (Tejipari technológia). A tejsavófehérje egy teljes értékű, kiváló minőségű fehérje, amely gazdag aminosav összetétellel rendelkezik, amely a szövetek növekedéshez és a szövetek helyreállításához járul hozzá. A tejsavófehérjék egyedi fehérjék

vagy frakciók, amelyek elválnak a kazeintől a sajt készítés folyamán. Ezeket a frakciókat eltérő koncentrációkra tisztítják, attól függően, hogy milyen végső összetételt akarnak elérni, ezáltal változhatnak az összetevők aránya a fehérje, szénhidrát, immunglobulin, ásványi anyagok és a zsír mennyiség. A tejsavó fehérje koncentrátumok, fehérje tartalmuk szerint 35, 60 vagy 80 %-osak lehetnek. A tejsavófehérje-izolátum fehérje tartalma a magasabb mint 90 %-os koncentrációba tartozik (Chegini & Taheri, 2013). A savóból készült porok típusait a 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat: Tejsavófehérjék csoportosítása.(Chegini & Taheri, 2013)

Termék	Fehérje tartalom	Laktóz	Zsír
Tejsavó por	11-14,5%	63-75%	1-1,5%
Tejsavófehérje koncentrátum	25-89%	4-52%	1-9%
Tejsavófehérje izolátum	90-95%	0,5-1%	0,5-1%
Hidrolizált tejsavófehérje koncentrátum	>80%	<8%	<10%
Hidrolizált tejsavófehérje izolátum	>90%	0,5-1%	0,5-1%

A friss édes és savanyú tejsavót pasztörözik és porlasztva szárítják. A keletkezett tejsavópor az összes alkotó elemet tartalmazza, amit a friss tejsavó is. A tejsavópor jó sütő- és cukrászipari barnító anyag (Dattatreya és mtsai., 2007). A tejsavófehérjék frakciója heterogén rendszer. A savó tartalmaz β -laktoglobulint, α -laktalbumint, vérszérum albumint, immunglobulinokat és számos különböző enzimet. Gömbalakú szerkezettel rendelkezik, nagy számban tartalmaz rendezett szerkezettel rendelkező aminosav sorozatokat. Ennek köszönhetően nagyobb hidrofilitás mutatnak, kevésbé amfipatikusak és kevésbé hajlamosan aggregációra, emellett hőérzékenyebbek, de kevésbé pH érzékenyek, mint a kazein fehérjék (O'Regan és mtsai., 2009).

A tejsavó koncentráálásával, ami az ultraszűréssel érhető el, kapjuk a tejsavó koncentrátumot (WPC, whey protein concentrate). Leggyakoribb koncentráció fajtái a WPC34, WPC60, WPC80, amely 34, 60 80 %-ig növelhető a fehérje tartalma. A WPC34 koncentrátum fehérje és zsír összetételben nagyon hasonló a soványtejporhoz (Hoppe és mtsai., 2008). A WPC mikroszűrése segítségével a fehérje koncentrációt 90 % feletti értékre is emelhetjük, a

felesleges zsír eltávolításával együtt. Az így keletkezett termékünk a tejsavó izolátum (WPI, whey protein isolate) (Berry és mtsai., 2009; Gaonkar és mtsai., 2010). Fehérje hidrolizátumokat enzimekkel, proteolitikus inkubálással állítják elő, 37-40 °C hőmérséklettartományban. A fehérje hidrolizáltsági fokát (DH, Degree of Hidrolization) jelző adja meg százalékos értékben adja meg peptidkötések hasadását (Boland, 2011). Tejsavó fehérje hidrolizátumokat gyakran, a DH és az összetevők peptid molekulásúly tartományának leírásával jellemzik. Legfőbb felhasználása gyermektáplálkozásban, anyatej helyettesítő tápszerekben van, ugyanis hasonló aminosav mennyiséggel rendelkeznek (Boland, 2011).

A szintén közkedvelt tejfehérje-koncentrátumok teljes értékű tejfehérjéket, kazeint, tejsavó fehérjét tartalmaznak. Fehérje tartalmuk 42-85% érhető el. A MPC-k fehérje koncentrációjának a növelésével arányosan csökken, a laktóz tartalma. Általában sovány tejből készül, a végtermék zsírtartalma így 3 % alatti. Felhasználása magas fehérjetartalmú, alacsony laktóztartalmú ételek, italok készítésekor, a fehérje tartalom növelésére, laktóz hozzáadása nélkül. Ezzel lehetővé téve, a laktózmentes termékek gyártását, és a Maillard-reakció, mint termék hiba elkerülését (Agarwal és mtsai., 2015).

Táplálékkiegészítőként ritkábban használt alapanyag a tojásfehérje. Azonban a tojás gazdag fehérjeforrás, magas biológiai értékkel bír. A fehérjék minőségének mérésére gyakran használt fehérjeforrás (Rufián-Henares és mtsai., 2007; Sharif és mtsai., 2018). A tojás 60 % a tojásfehérje rész, ami legnagyobb százalékban vizet (88 %) tartalmaz, illetve fehérje tartalma (11 %) a többi 1 % szénhidrát, hamu és nyomokban lipideket tartalmaz (Abeyrathne és mtsai., 2013). A tojásfehérjét 5 főbb fehérje alkotóra bonthatjuk, ezek az ovalbumin, konalbumin, lizozim, ovomucid ovomucin. Felépítésben az ovalbumin teszi ki a legnagyobb részt, a tojásfehérje 54 %-át alkotja (Jalili-Firoozinezhad és mtsai., 2020). Emészthetőség szempontjából jó tulajdonságokkal rendelkeznek. Hőkezelés hatására az emészthetőség javul. A fő fehérje az ovalbumin ellenál a hőkezelésnek, ez lehetőséget ad étrend kiegészítők felhasználására (Réhault-Godbert és mtsai., 2019). A tojásfehérje az élelmiszeripar egyik fontos alapanyaga a kiváló habzó és gélesítő tulajdonságai miatt. Tartalmazza a tojásfehérjét alkotó fehérjéket, ezáltal fehérje dúsított élelmiszerek gyártásánál használható (Li és mtsai., 2020) A tojásfehérjét folyékony formáját tovább dolgozzák porlasztva szárítással, hogy jobb eltarthatóságú és kisebb térfogatú, kedvezőbb élelmiszerbiztonsági kockázatú terméket kapjanak (Z. Ma és mtsai., 2022) A tojásfehérje por rehidratálásával a folyékony tojásfehérjéhez hasonló tulajdonságokkal rendelkező terméket kaphatunk. Azonban az

oldhatóság nagymértékben befolyásolja az egyéb technofunkciós tulajdonságait, például az emulgeáló és gélképző tulajdonságokat (Li és mtsai., 2020).

Az előzőkben szemléltettem az állati eredetű forrásból származó táplálékkiegészítőket, azonban a társadalom egyre nagyobb igényt tart a környezetbarát, fenntarthatóbb élelmiszerforrásokra, így a növényi eredetű termékek iránti keresletnövekedés egyre nagyobb. Általánosságban elmondható, hogy a növényi fehérje táplálék kiegészítés hasonló ergogén hatást tesz lehetővé, mint az állati eredetű fehérjék esetében. Azonban az aminosavösszetételük elágazó láncú aminosavakból, és esszenciális aminosavakból kevesebbet tartalmaz és alacsonyabb biológiai hasznosulással rendelkezik, mint az állati fehérjék például a tejsavó vagy a tojásfehérje. Az előbb felsorolt hátrányok miatt, a fehérjék izolálására, vagy más feldolgozási módszerek alkalmazásával van szükség a jobb hasznosulás, emésztés elérése érdekében (López-Martínez és mtsai., 2022).

Vizsgálatom során a növényi eredetű mintáim között három hüvelyes zöldségből, csicseriborsóból, lóbabból, borsóból készült fehérje izolátum mintám volt. Összességében elmondható, hogy magas fehérje tartalmuk (>80 %) ellenére nehezen oldódnak vízben (Karaca és mtsai., 2011; Kornet és mtsai., 2021; S. Lee és mtsai., 1992). A legtöbb növényi fehérje alacsony esszenciális aminosav tartalom jellemzik, illetve rossz emészthetőséggel (Berrazaga és mtsai., 2019; Pinckaers és mtsai., 2021).

3.4. Fehérjeporok gyártástechnológiája

A tejsavó gyártás folyamán az alapanyagul szolgáló savót különböző folyamatoknak vetik alá ilyen például a hőkezelés, a szűrés, demineralizálás. A folyamatok során kinyerik és koncentrálják a fehérjét és eltávolítják a laktózt, és zsírokat (Boland, 2011; Wang & Guo, 2019). A folyamatok során a savót tisztítják, majd szétválasztják a sajt részecskéket és a savót. Pasztörizálják, majd különböző besűrítési, szűrési folyamatokon haladnak át.

A fehérjekoncentrátumok és -izolátumok gyártása során a membránszűrési technológiák a legelterjedtebbek. Alapelve, különböző részecske méretű komponensek szétválasztása. A membránszűrés, két vagy több komponens szétválasztását teszi lehetővé, egy félig áteresztő membrán segítségével (Argenta & Scheer, 2020). A folyamat során a membrán pórusméreténél kisebb alkotók áthaladnak a membránon, de a nagyobbak visszamaradnak. Az áthaladó rész a permeátum, a fent maradó rész a retentátum (Wang & Guo, 2019). Előnyük, a

hagyományos elválasztási technológiákkal szemben az alacsony energia fogyasztás, könnyű kombinálhatóság más eljárásokkal, könnyű méretnövelés (Argenta & Scheer, 2020).

A folyadék áramlási irányát tekintve kétféle szűrőrendszer létezik. A merőleges betáplálású rendszer esetén a folyadék merőlegesen a szűrőfelületre érkezik. Hátránya ebből adódik, ugyanis szűrés folyamán a permeátum áthalad a membránon, de a nagyobb részecskékből álló rész a fent marad a szűrő felületén, ezzel a membrán gyors eltömődését okozza. A keresztirányú rendszer során az eltömődés elkerülése, késleltetés miatt jobb választás. Az ipari gyakorlatban a tejsavó elválasztására használt közkedvelt módszer. A szűrés során az áramoltatott folyadék nem merőleges irányban érintkezik a szűrő felülettel, hanem érintőlegesen párhuzamosan. A membrán pórusok mérete alapján megkülönböztetünk, mikroszűrést, ami a 100 nm-nél nagyobb baktériumok, zsírgolyócskák, kazein-micellák visszatartására képes. Jelenleg a legelterjedtebb szűrés a tejsavó izolátumok és koncentrátumok elő állítására az ultraszűrés. A folyamat során visszatartják a tejsavófehérjét, míg a permeátumban a laktóz és ásványi anyagok bennmaradnak. A nanoszűrés képes visszatartani a zsírokat, laktózt, ásványi anyagokat és az összes fehérjét. Az iparban leginkább használt demineralizációs lépés, káros hőhatás használata nélkül. Illetve fordított ozmózis, (RO, reverse osmosis) szűrést ami mindent vissza tart kivéve a szabad molekulájú vizet (Wang & Guo, 2019). Alacsonyabb fehérje tartalmú termékek előállítására során alkalmazott koncentrációnövelést a vákuumbepárlóval érik el, aminek köszönhetően 45-65 % szárazanyag tartalom érhető el.

A membránfolyamatok hatékonyságát befolyásolja a hidrosztatikus nyomásgradiensek szabályozzák (transzmembrán nyomás) illetve az egész membrán és a folyadék koncentráció gradiense (Kumar és mtsai., 2013). Minél kisebb a membrán pórusmérete annál nagyobb nyomás szükséges. Ezek a nyomás különbségek láthatóak az 4. Táblázatban.

4. Táblázat: Membrán műveletek tulajdonságai (Kumar és mtsai., 2013)

Művelet	Pórus méret	Hajtóerő	Kiszűrhető részecskék
Mikroszűrés	0,2-2 μm	Alacsony nyomású, 2 bar alatti	Zsírgolyócskák Baktériumok Spórák
Últraszűrés	1-500 μm	Közepes nyomás, 1-10 bar	Kazein micellák Fehérje
Nanoszűrés	0,5-2 nm	Közepesen magas nyomás 5-10 bar	Aminosavak Laktóz
Fordított ozmózis	Nincs pórus	Magasnyomás 10-100 bar	Víz Sók

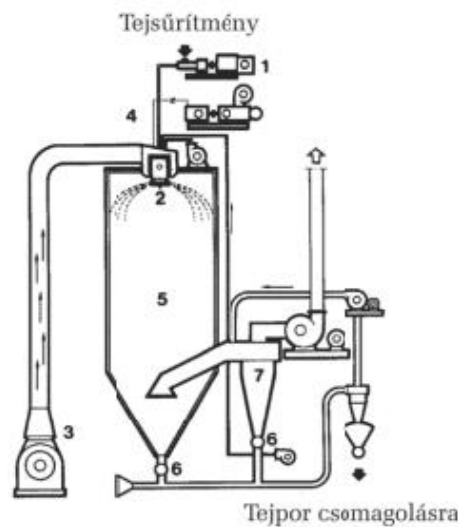
Az előbb felsorolt membrán technológiának köszönhetően a kereskedelmi tejsavófehérje termékek fehérje tartalma 20-90 % közötti vagy ennél magasabb, melyek különböző funkcionalitással és alkalmazhatósággal rendelkeznek (Wang & Guo, 2019).

Tejsavó feldolgozásának, és a tejsavó fehérje kinyerésének a másik lehetséges gyártási folyamata az ioncserélős eljárás. A folyamat során a tejsavó fehérjéket ioncserélő közeghez kötik, majd a laktózt és az ásványi anyagokat kimossák, majd a fehérjét kimossák az ioncserélő közegéből, a környezet és vagy a pH megváltoztatásával. Az ioncserélő alkalmazása rendkívül tiszta fehérje terméket állít elő, de a termék összetételében változás történik, csak a hasonló töltésű fehérjéket tartja meg, így nagyrészt eltávolítva a kazein-makropeptidet a tejsavókoncentrátumból és magas béta- laktoglobulin szint fele tolja az összetételt (Boland, 2011).

Napjainkban egyre nagyobb igény mutatkozik a állati eredetű fehérjék alternatívájaként alkalmazható növényi eredetű fehérjék alkalmazására (Keivaninahr és mtsai., 2021). Általánosan alkalmazott eljárások a növényi eredetű fehérjék előállítása során az őrlés és a levegővel történő osztályozás, illetve a nedves eljárás. Az őrlés és levegő osztályozás megnevezése a Pin-milling eljárás. Az eljárásnak köszönhetően magas keményítő tartalmú hüvelyesekből kettő eltérő méretű és sűrűségű részt különíthetünk el. Ennek köszönhetően levegő osztályozási technika alkalmazásával elválasztható a könnyű fehérje rész a nehezebb keményítő résztől. A folyamat során a magokat egészben vagy hántoltalanul finomra őrlik. A lisztet spirális légáramba vezetik be és elválasztják egymástól a kettő részt. Ez a művelet többször megismételhető, ugyanis egy művelet során néhány fehérje részecske még mindig a keményítőhöz van tapadva. A folyamat megismétlésével a keményítő rész megtisztítható (Gueguen, 1983). Másik lehetséges eljárás a nedves eljárás. Izolátumok előállítására széles körben elterjedt. Az eljárás során a fehérjék lúgos oldatban történő oldódása után az oldhatatlan anyagot centrifugálással eltávolítják. A felülúszó részhez savat adnak, így a fehérje izoelektromosan kicsapódik, ezzel létrehozva az izolátumot (Gueguen, 1983).

Mind az állati, mind a növényi fehérjék esetében, szűréssel vagy nedves extrakcióval elválasztott folyamat befejező művelete a porlasztva szárítás, ezt a berendezést szemlélteti 1. ábra (Gueguen, 1983; *Tejipari technológia*). A porlasztva szárítás alkalmazása porok előállítására az egyik legkényelmesebb eljárás a könnyen szivattyúzható anyagok felhasználásánál. Folyamatos eljárás, amely hőérzékeny anyagok szárítására tökéletes, ugyanis a hőbehatási idő rövid. A szárítóberendezés specifikációit a szárítandó anyag tulajdonságaihoz kell igazítani. A folyamat során a forró levegő belép a szárítókamrába, ezáltal a permetből

nedvesség párolog el. A levegő hőmérséklete csökken a víz párolgásának következtében, a kamrán áthaladása során (Chegini & Taheri, 2013).



1. ábra: porlasztva szárító. 1. Sűrítményszivattyú; 2. Porlasztótárca; 3. Forrólevegő-előállító kazán; 4. Keverőkamra; 5. Szárítótorny; 6. Cellás poradagoló; 7. Porleválasztó ciklon
(*Tejipari technológia*)

3.5. Stabilitás mérésére alkalmas módszerek

Az oldhatóság a fehérjekoncentrátumok és -izolátumok egyik legfontosabb tulajdonsága, mivel hatással van más funkcionális tulajdonságokra is (Tontul és mtsai., 2018). Termodinamikailag a fehérje oldhatóság megmutatja a fehérje koncentrációját az oldószer egyszerű vagy kétfázisú részében, fehérje oldat a folyadék-folyadék vagy folyadék-szilárd fázisban. Az oldhatóságot számos tényező befolyásolja, ilyen például, hogy a fehérje eredeti vagy denaturált formában van jelen és a környezeti tényezők pl: pH és hőmérséklet. Általánosságban elmondható, hogy a fehérjék jobb oldódást tanúsítanak savas vagy lúgos környezetben, mert az azonos jellegű töltések többlete taszítást eredményez a molekulák között, ami a legnagyobb oldhatósághoz vezet (Pelegrine & Gasparetto, 2005) Számos kutatás született az oldhatóság vizsgálatára, amelyekben különböző módszereket alkalmaztak. Az oldhatóságát, fehérje visszatartásnak alapján is meghatározható, centrifugálás utáni folyadék részben eltöltött idő a centrifugáló erő hatására.

Kornet és munkatársai (2021), vizsgálatukban a tejsavó fehérje, kettő laboratóriumi körülmények között előállított és egy a kereskedelemben kapható borsófehérje izolátum

oldódását vizsgálták. A vizsgálat során 2 m/m%-is szuszpenziót készítettek, 7.0 pH értéken, majd 2 órán át kevergették. A kész szuszpenziót 15000 g-vel 30 percig centrifugálták. Az oldhatóságot úgy határozták meg, hogy a felülúszó rész szárazanyag-tartalmát fejezték ki a centrifugálás előtti szárazanyag-tartalommal. Eredményként a borsófehérje izolátumok esetében gyenge oldódást kaptak a tejsavó izolátumhoz képest. Ez számos tényezőnek a közreműködése miatt lehetett. Hasonló eredményről számolt be Adebisi és Aluko (2011), a vizsgálatukban, ahol a kereskedelemben kapható fehérje oldódását hasonlították össze.

Tejfehérjeporok oldhatóság vizsgálata során Anema és munkatársai (2006), vizsgálatukban a 85 %-os tejfehérje koncentrátumot vizsgálták, hogy hogyan befolyásolja a 60 napon át 20-50 °C tárolási hőmérséklet az oldhatóságot. A vizsgálat során 5 m/m%-os fehérje szuszpenziót készítettek a mintákból, amit 30 percen át kevergettek mágneses keverővel. Majd ezután egy részét centrifugálták 10 percig 700 g mellett. Az oldhatóságot a felülúszó szárazanyag-tartalmaként számolták. Eredményül azt kapták, hogy minél magasabb hőmérsékleten tárolják a mintákat, annál gyorsabban és nagyobb mértékben következik be az oldódási probléma. Hasonló vizsgálatot végzett Gazi és Huppertz (2015), ahol azt állapították meg, hogy a MPC85 fehérje minták magas hőmérsékleten, hosszú ideig történő tárolás oldódás romlásával jár együtt.

A tojásfehérje oldhatóságát vizsgálta Morr és munkatársai (1985). A cél egy gyors megbízható oldhatósági vizsgálat kifejlesztése volt porlasztva szárítással előállított tejsavófehérje-koncentrátum, tojásfehérje és szója fehérje izolátum esetében. Ezt a nitrogén oldhatósági index eljárás módosításával érték el. A vizsgálat során 500 mg mintát 150 ml főzőpohárba tettek, majd 0,1 M NaCl oldatot adtak hozzá, hogy kevergetés mellett paszta állagot kapjanak. Majd felöntötték 0,1 M NaCl-val, 40 ml mennyiségre. A pH beállítása következett 0,1 N HCL vagy NaOH oldattal pH 3,0 vagy 7,0 értékre majd 1 óra mágneses kevergetés. A diszperziót ezután átöntötték 50 ml-es merőlombikba és jelre töltötték 0,1M NaCl oldattal majd elkeverték. Ezután egy kisebb mennyiséget 30 percig 20000 g-n centrifugálták, a kapott felülúszó frakciót szűrőpapíron leszűrték. A szűrlet fehérje tartalmát mikro-Kjeldahl vagy Biuret módszer alkalmazásával állapították meg. A fehérje oldhatóságát az alább képlettel határozták meg.

$$\text{Fehérje oldhatóság \%} = \frac{\text{Folyadék rész fehérje tartalma} \left(\frac{\text{mg}}{\text{ml}}\right) * 50}{\text{Minta tömege (mg)} * \frac{\text{Minta fehérje tartalma \%}}{100}} * 100$$

Hasonló vizsgálatot végeztek Kakalis és Regenstein, (1986). A vizsgálat során a fagyasztva szárított és a porlasztva szárított tojásfehérje tulajdonságait vizsgálták, különböző pH-n, és só

koncentrációkkal. A vizsgálat során 500 mg tojásfehérjét keverték össze 40 ml kiválasztott sóoldattal, majd beállították a kívánt pH-t. A következő lépés 1 óra kevertetés volt szobahőmérsékleten, majd 50 ml-re hígították ugyanezzel az oldattal. Ezután centrifugálták 16000 ford/perc 30 percig 4 °C. A felülúszó részt eltávolították, és a fehérje tartalmukat és Kjeldal és Biuret módszerrel is meghatározták és az egész fehérje tartalomhoz hasonlították. Hasonló vizsgálatot végzett egy korábbi kutatásban is (Morr és mtsai., 1985).

Lee és munkatársai (1992), vizsgálatukban a nátrium-kazeináttal kezelt tejsavó fehérje izolátum molekuláris szerkezeti tulajdonságait vizsgálták különböző pH és hőmérsékleti értékeken. A vizsgálatok között volt a fehérje oldhatóság, amit a következőképpen végeztek el. A tejsavó izolátum mintából 1 m/m%-os oldatot készítettek desztillált vízzel, ezután 30 percen 10000 g-n centrifugálták. A felülúszó és a centrifugálás előtti fehérje tartalmát határozták meg. (Lowry és mtsai., 1951)

Növényi fehérjék oldhatóságát vizsgálta Keivaninahr és munkatársai (2021). Vizsgálatuk célja a különböző extrakciós eljárással készült fehérje koncentrátumok és izolátumok oldhatóságának összehasonlítása kontroll alkalmazásával, ami a tejsavófehérje izolátum és a tojásfehérje volt. A vizsgálat menete, 2 m/m%-os oldatot készítettek, mágneskeverő segítségével 400 fordulat/percen kevertették egy éjszakán át, majd 6000 ford/perc fordulatszámra 30 percig centrifugálták. Az oldódás során az oldható rész fehérje tartalmát és a teljes fehérje por fehérje tartalmát Biuret módszerrel határozták meg, majd kiszámolták, hogy hány százalék volt képes oldódni. Az eredményeknek köszönhetően látható volt, hogy a lóbab fehérje izolátumok, és borsó fehérje izolátumok oldódása messze elmarad a tejsavó izolátum és a tojásfehérje oldhatóságától. Ma és munkatársai (2022), vizsgálatuk során a hüvelyes liszteket, koncentrátumokat, izolátumokat hasonlították össze az előző vizsgálatához hasonló módon.

Karaca és munkatársai (2011) a hüvelyes fehérje izolátumok oldhatóság vizsgálatát végezték el, amelyek különböző előállítási folyamaton estek keresztül. A minták izoelektromos kicsapással illetve sós extrakcióval előállított izolátumok voltak. Az oldhatósági vizsgálatot Morr és munkatársai (1985) módszerével végezték el. 0,2 g mintát 19,8 ml (1,0 m/m%-ra) 10 mM nátrium-foszfát pufferben eloszlatták és pH értéket 7-re állították be. A következő lépésben az oldatot 4 °C-on 500 fordulat/perc sebességgel egy éjszakán át kevertették, majd 9100 g centrifugálták 10 percig. A folyadék rész és a teljes por fehérjetartalmát Kjeldahl módszerrel határozták meg. Hasonlóan izoelektromos kicsapással előállított két csicséri borsó fajta fehérje izolátumának az oldódását vizsgálta Kaur és Singh (2007). Vizsgálatuk során 100 mg mintát 20 ml desztillált vízben oszlattak el, majd beállították a pH értékét. Ezután 1 órán át

szobahőmérsékleten kevergették, majd 8000 g-n 15 percig centrifugálták. A felülúszó és a centrifugálás előtti fehérje tartalmát határozták meg. (Lowry és mtsai., 1951) módszerével, standardként szarvasmarha szérumalbumint használtak.

Romhányi Zsombor Szakdolgozat

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1. Mérésnél vizsgált fehérjeminták

A vizsgálataim során különböző állati és növényi alapanyagból készült, ízesítetlen fehérjeporokat használtam fel. A minták között fellelhető három állati alapanyagból készült fehérjekészítmény és három növényifehérje készítmény is, amelyek megnevezését és a dolgozatban használt rövidítését az 5. táblázat, míg tápanyagtáblázatát a 6. táblázat tartalmazza. A 6. táblázatban látható adatokat a minták specifikációjából, csomagolásáról gyűjtöttem. A kutatás során különböző módszereket alkalmaztam az állati és növényi eredetű fehérjeporok esetében. Megvizsgáltam, hogy a különböző oldhatóságot és stabilitást vizsgáló módszerekkel hasonló eredményeket kapok-e. Ezen kívül kíváncsi voltam arra, hogy mennyire különbözik egymástól az állati és növényi eredetű fehérjeporok oldhatósága. Kísérleteim során ezért öt vizsgálati módszernek vettem alá a vizsgált mintáimat és hasonlítottam össze őket.

5. táblázat: A vizsgált fehérjepor minták és rövidítéseik (piros betűvel jelölt minták állati eredetűek, zöld színnel jelölt minták növényi eredetűek)

Minta megnevezése	Gyártó/Forgalmazó	A dolgozatban alkalmazott rövidítés
Tejfehérje izolátum	MIZO SOLE	MPI
Tojásfehérjepor	ALPHA HIGH-PRO BRAND	EWP
Tejsavófehérje izolátum	EUROVO	WPI
Csicseriborsó fehérje izolátum	EURODUNA food	EFCP
Lóbab fehérje izolátum	EURODUNA food	EFFP
Borsófehérje izolátum	BIOMENU	BPPP

6. Táblázat: A vizsgált fehérjepor minták tápanyagérték táblázata

100g mennyiségben	MPI	EWP	WPI	EFCP	EFFP	BPPP
Zsír (g)	2	0,3	N.A	N.A	5,9	4,5
Szénhidrát (g)	1	3	N.A	N.A	1	1,1
Rost (g)	0	0	N.A	N.A	1	0,7
Fehérje (g)	85	80	90	90	84	83,7

4.2. Szuszpenzió készítése az oldhatósági mérésekhez

A mintákból az oldhatósági mérésekhez 5 m/m%-os szuszpenziót készítettem. Táramérlegben kimértem 10 g mintát egy főzőpohárba, majd 190 g csapvízzel öntöttem fel a mintánkat. A szuszpenziót ezután Ultra-Turrax (IKA T-25 digital) készülékkel 10.000 1/min fordulaton 30 másodpercig homogenizáltam úgy, hogy az edény alján és a falán ne maradjon csomósodott minta. A következő lépésben az összekevert mintákba keverőmágnest tettem, majd a mágneses keverő segítségével 400 1/min fordulaton 30 percig kevertettem, a teljesen homogén állag elérése érdekében.

4.3. Minták szárazanyag-tartalom meghatározása

A oldhatósági vizsgálatok során szükségem volt a szárazanyag-tartalom meghatározására. Ehhez az ismert tömegű Petri-csészébe a vizsgálandó mintából 1,5-2,0 g mennyiséget mértem ki analitikai mérleg segítségével, majd a szárítószekrénybe helyeztem és szárítottam 102±1 °C-on tömegállandóságig. A tömegállandóság elérése után a visszamérés következett, ezáltal megkaptam a szükséges adatokat a szárazanyag-tartalom kiszámításához. A vizsgálatom során minden esetben 3 párhuzamost mérést végeztem és az így kapott adatokat az 1. egyenletbe helyettesítettem be.

$$Sz.A \left(\frac{g}{100g} \right) = \frac{m_{sz} - m_p}{m_n} * 100 \quad (1.)$$

Ahol:

Sz.A. – minta szárazanyag-tartalma (g/100 g)

m_{sz} – szárítás után visszamért tömeg (g)

m_p – Petri-csésze tömege (g)

m_n – bemért, nedves minta tömege (g)

4.4. Alkalmazott mérési módszerek

4.4.1. Oldhatóság vizsgálata a centrifugálás előtti és a centrifugálás után, a folyadékfázisban mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján

A minták oldhatóságának vizsgálatát Le és munkatársai (2011) módszer alapján hajtottam végre. A folyamat szemléltetése az 2. ábrán látható. A méréshez 100 ml 5 m/m%-os szuszpenziót készítettem a 4.2. fejezetben leírtak szerint. A minták 25 ml térfogatát 50 ml

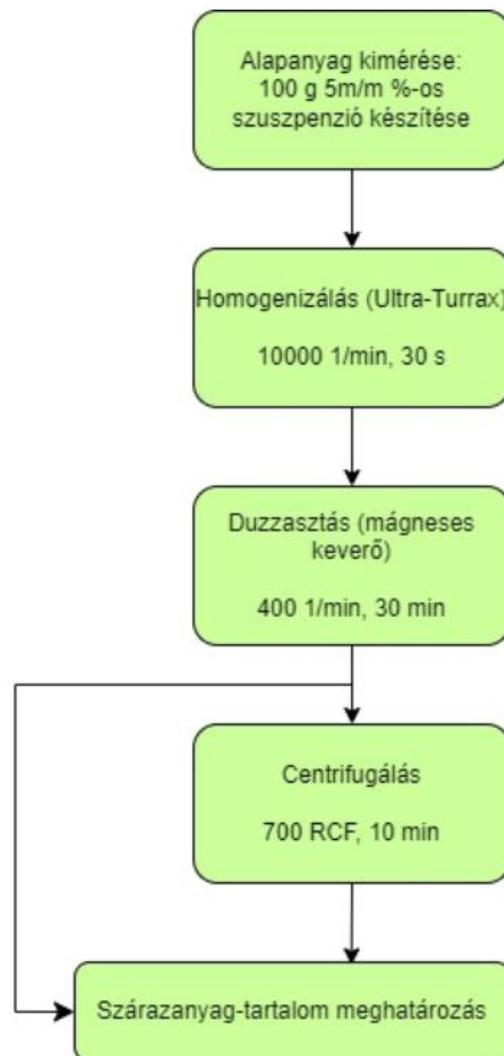
térfogatú centrifugacsövekbe töltöttem. A mintákat 10 percig $25 \pm 1^\circ\text{C}$ -on, 700 RCF-a s fordulatszámom centrifugáltam. A centrifugálás előtt a frissen elkészített szuszpenzióból, illetve a centrifugálást követően a folyadék fázisból meghatároztam a szárazanyag-tartalmat a 4.3 fejezetben leírtak alapján. A szárazanyag-tartalom értékeket a 2. egyenletbe behelyettesítettem, és százalékos eredményben megkaptam a különböző minták oldhatóságát. A vizsgálat során 3 párhuzamos mérést végeztem.

$$\text{Oldhatóság 1. (\%)} = \frac{c.u.sz.}{c.e.sz.} * 100 \quad (2.)$$

Ahol:

c.u.sz – centrifugálás utáni szárazanyag-tartalma (g/100 g)

c.e.sz – centrifugálás előtti szárazanyag-tartalom (g/100 g)



2.Ábra: 1. oldhatósági vizsgálat

4.4.2. Oldhatóság vizsgálata a centrifugálás után a folyadékfázisban, illetve az üledékben mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján

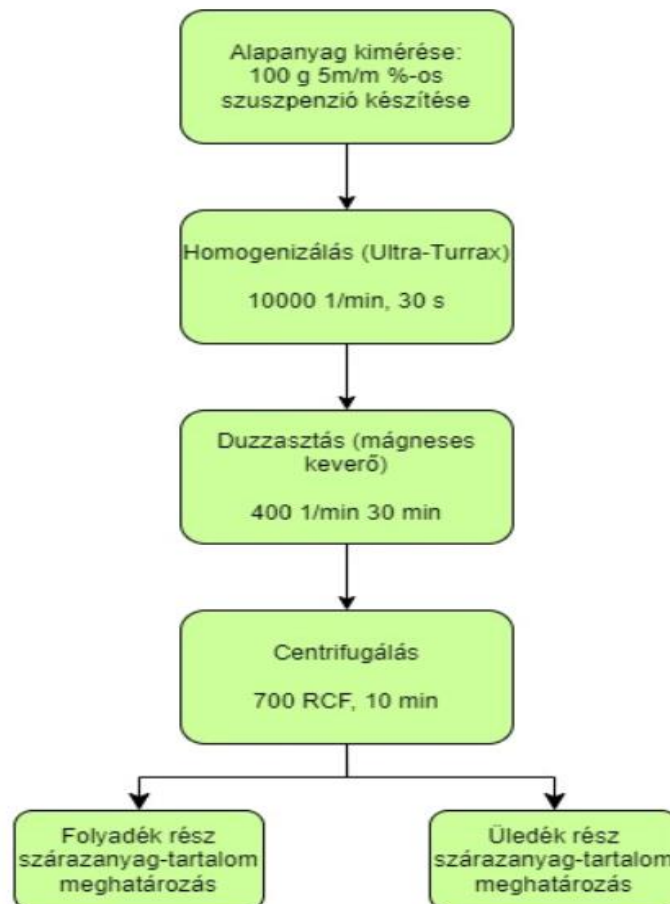
A második oldhatósági vizsgálatot (Meena és mtsai., 2017) módszere alapján végeztem el. A mérés menete a 3. ábrán látható. A 4. 2. fejezetben leírtak alapján elkészítettem a 100 g 5 m/m%-os szuszpenzióimat. Az elkészített szuszpenzióból 2x40 ml mintát töltöttem 50 ml térfogatú centrifugacsövekbe. A betöltött centrifugacsöveket centrifugáltam, $25 \pm 1^\circ\text{C}$ -on, 10 percig és 700 RCF fordulatszámon. A centrifugálás után látható, hogy a szuszpenzióban üledékréteg keletkezett és a folyadékréteg áttetszővé vált. Meghatároztam az üledék és a folyadékréteg szárazanyag-tartalmát a 4.3 fejezetben leírt módszer alapján, majd az üledék és a folyadékréteg szárazanyag-tartalmát behelyettesíttem a 3. egyenletbe, majd százalékos értékben megkaptam a minták oldhatóságát. A vizsgálat során 3 párhuzamos mérést végeztem.

$$\text{Oldhatóság 2. (\%)} = \frac{f.r.sz.}{\ddot{u}.r.sz} * 100 \quad (3.)$$

Ahol:

f.r.sz. – folyadék rész szárazanyag-tartalma (g/100)

ü.r.sz – üledék rész szárazanyag-tartalma (g/100)



3. ábra: 2. oldhatósági vizsgálat

4.4.3. Oldhatóság vizsgálata a centrifugálás előtti és a centrifugálás után, a folyadékfázisban mért fehérjetartalom összehasonlítása alapján

A harmadik oldhatósági vizsgálatot Meena és munkatársai (2017) módszere alapján végeztem el a 4.4.1. fejezetben leírtak alapján, azonban a szárazanyag-tartalom helyett a fehérjetartalom került meghatározásra. A centrifugálás előtt a frissen elkészített szuszpenzióból, illetve a centrifugálást követően a folyadék fázisból meghatározásra került a minták fehérjetartalma a Kjeldahl módszer alapján. A vizsgálatot az előkészített mintákból az Élelmiszerkémia és Analitika Tanszéken végezték el nekem. Ez a kísérlet főként a növényi fehérjék oldhatóságánál volt fontos, ugyanis ezzel a méréssel megállapítható, hogy a centrifugálás során képződő üledékrétegbe a fehérjetartalom is kiülepszik-e.

$$\text{Oldhatóság 3. (\%)} = \frac{c.u.f}{c.e.f} \cdot 100 \quad (4.)$$

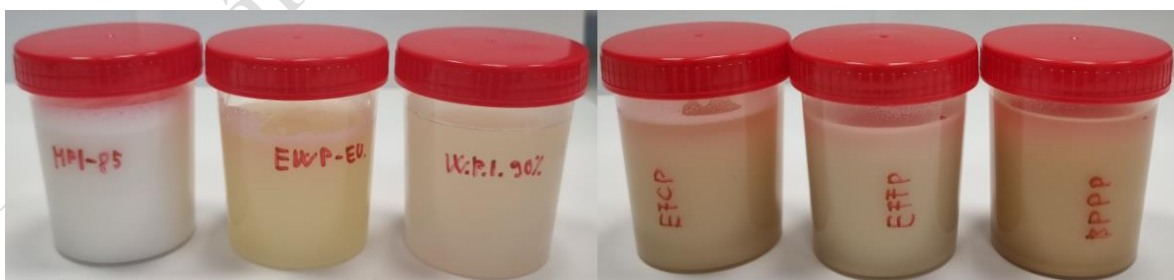
Ahol:

c.u.f – centrifugálás utáni fehérjetartalom (g/100 g)

c.e.f – centrifugálás előtti fehérjetartalom (g/100 g)

4.4.4. A fehérjeszuszpenziók stabilitásának vizuális értékelése

A 4.2.-es fejezetben leírtak szerint 100 ml 5 m/m%-os szuszpenziót készítettem, majd egy 100 ml térfogatú mintatartó edénybe öntöttem. Meghatározott időközönként, elkészítéskor 4. ábra és egy óra elteltével fényképet készítettem a mintákról és vizuálisan értékeltem a minták ülepedését.



4. ábra: A vizsgált mintákból készített szuszpenzió, a készítés utáni pillanatban.

4.4.5. A hőmérséklet hatása a fehérjeszuszpenziók stabilitására

Minden mintából 100-100 ml 5 m/m%-os szuszpenziót készítettem 15 °C és 40 °C-os csapvíz felhasználásával. A szuszpenziókészítést a 4.2. fejezetben leírtak alapján végeztem. A szuszpenzió elkészítés utáni pillanatban és egy óra elteltével fényképet készítettem, majd a minták ülepedését vizuálisan értékeltem.

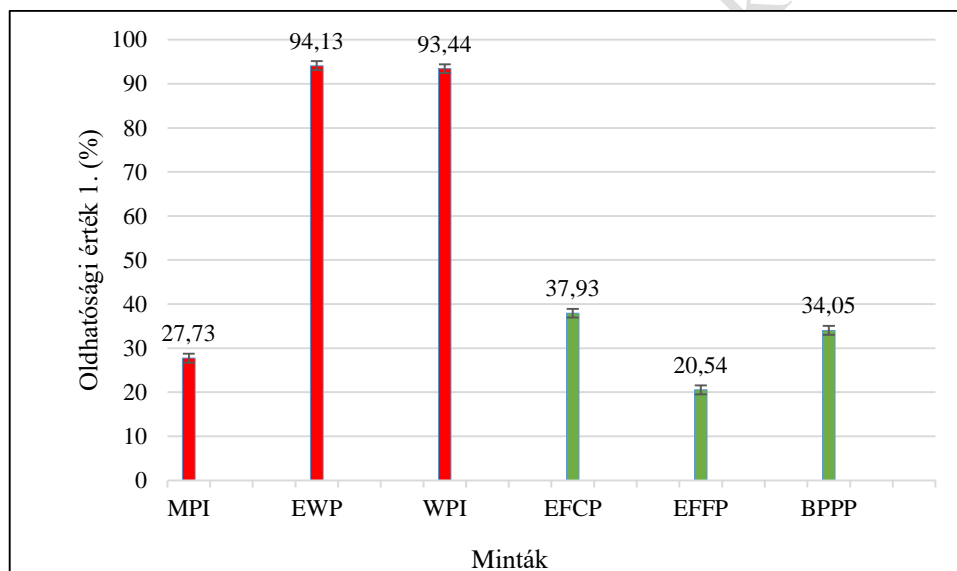


5. Ábra: Meleg / Hideg vizes oldhatóság minta példa

5. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1.1. Oldhatóság meghatározása centrifugálással (a centrifugálás előtti és a centrifugálás után, a folyadékfázisban mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján)

Vizsgálatom során három állati, (Tejfehérje izolátum, MPI85; tojásfehérjepor EWP; Savófehérje izolátum, WPI), és három növényi eredetű, (csicseriborsó izolátum, EFCP, lóbabfehérje izolátum, EFFF, borsófehérje izolátum, BPPP) fehérje készítményt vizsgáltam, amik. A fehérje mintákból készített szuszpenziók a 7. ábrán láthatók. A vizsgálataim során három-három párhuzamos mérést végeztem minden mintából. A kapott eredmények segítségével oszlopdigrammot készítettem, amit az 6. ábrán láthatjuk.



6. ábra: A vizsgált minták oldhatóságának összehasonlítása - centrifugálás előtt és után, a folyadékfázisban mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján (a piros színnel jelölt oszlopok jelölik az állati fehérjéket, a zöld színnel jelölt oszlopok pedig a növényi eredetű fehérjék adatait ábrázolják)

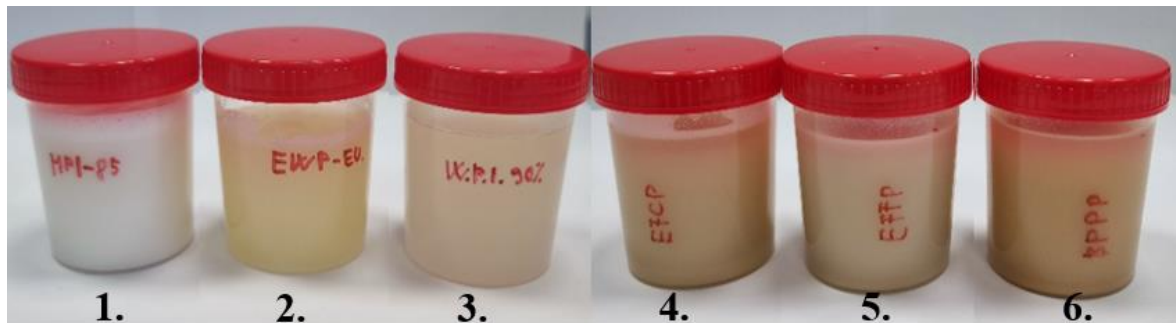
A vizsgált tojásfehérjepor és a savófehérje izolátum oldhatóságára kiemelkedő eredményeket kaptam. Ezeknél a fehérjéknél volt megfigyelhető a legjobb oldódás, amit szemléltet a 6. ábra. A tejfehérje izolátum a másik két állati eredetű fehérjeporral összehasonlítva sokkal rosszabb oldhatósággal rendelkezett. A tejfehérje koncentrátumok és tejfehérje izolátumok rossz oldhatóságáról korábbi kutatásokban is beszámoltak (Gazi & Huppertz, 2015). Tejsavófehérje izolátum magas, 93,44 %-os oldódása eredményezett. Egy hasonló vizsgálatban Lee és

munkatársai (1992) is magas 94,5 % feletti oldódási értéket kaptak, ahol azt vizsgálták hogyan befolyásolja pH és a hőmérsékletváltozás az oldhatóságot. Eredményül azt kapták, hogy mind a három vizsgált pH értéken nagyobb oldhatóságot tapasztaltak 25 °C-on mint magasabb 55, 65 °C-on. Ezt a fehérjék denaturációjával magyarázták. Hasonló eredményekre jutottak egy későbbi vizsgálat során ahol tejsavó fehérjék vizsgálatában a tejsavó fehérje izolátum oldódását vizsgálták (Pelegrine & Gasparetto, 2005). 4,5-ös pH értéken mutatta a legrosszabb oldhatóságát. Ezen a pH-n a fehérje-fehérje kölcsönhatások növekednek, mert az elektrosztatikus erők a legalacsonyabbak ezen a pH szinten, ezáltal kevesebb víz lép kölcsönhatásba a fehérje molekulákkal, alacsony oldódás figyelhető meg. A vizsgálat során semleges, 6,8-as pH értéken az oldhatóság csökkent a hőmérséklet növekedésekor, ez utal arra, hogy fehérjedenaturáció történt. Lényegesen rosszabb oldódás volt megfigyelhető semleges pH-n magas 60 °C hőmérsékleten, mint alacsonyabb 40 °C hőmérsékleten. A tanulmány során arra a megállapításra jutottak, hogy a funkcionális tulajdonságokat nagymértékben befolyásolja a pH és a hőmérséklet, illetve a tejsavófehérjék oldódása izoelektromos pontjukon a legalacsonyabb.

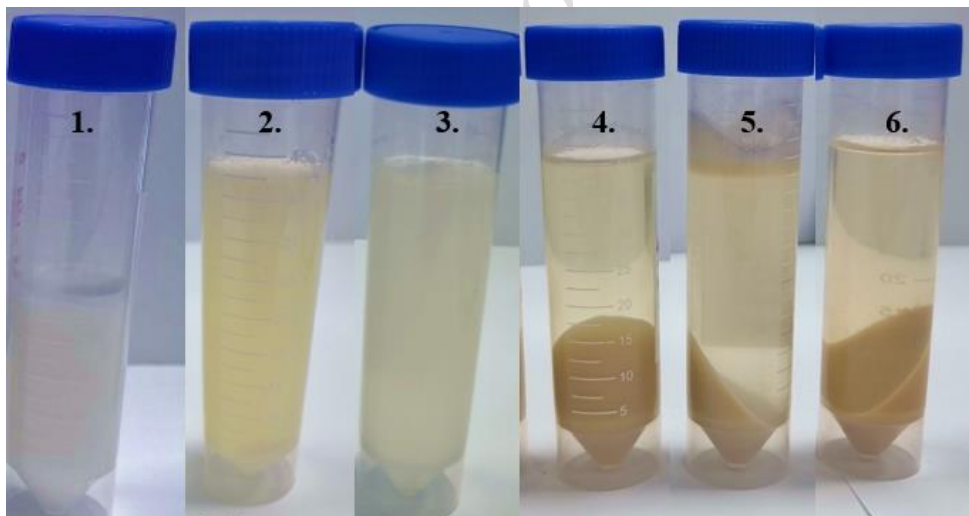
Növényi eredetű fehérje mintáknál viszonylag rossz oldódást tapasztaltam. A rossz oldódást a szuszpenzió készítése közben is tapasztaltam, ugyanis az elkészítést követően már szemmel látható volt az ülepedés. Egyértelműen látható, hogy a centrifugálás hatására a növényi minták esetében nagymértékű ülepedés történt, ez látható is az 8. ábrán. Arról a mérés nem ad információt, hogy a minta fehérjetartalma milyen mértékben csökkent a centrifugálás hatására, azonban feltehetően a fehérjetartalom nagy része is kiülepedett, ezt a 3-as oldhatósági vizsgálatomban részletesebben elemzem. Az 1. oldhatósági vizsgálat eredményei alapján kijelenthető, hogy a három növényi eredetű mintánk között a legjobb oldódási értéket 37,39 % a csicsereborsó fehérje izolátum (EFCP) mintánál tapasztaltam. Meglepő eredményt kaptam a borsófehérje borsófehérje izolátum (BPPP) mintám oldhatóságára is, ugyanis az első vizsgálatom során, jobb oldódás 34,05 % volt tapasztalható a borsó fehérje mintámnál, mint a tejfehérje (MPI) oldhatósága 27,73 % volt.

Hasonló eredmény volt megfigyelhető borsó fehérje izolátum oldódására Kernet és munkatársai (2021) vizsgálatában. Eredményül a WPI 100 %-os, míg a kereskedelmi borsó fehérje izolátumra 32,2 % oldódást kaptak. A vizsgálat során használt kereskedelmi borsó fehérje izolátum előállítása nem ismert, de számos tanulmány számol be arról, hogy a kereskedelemben kapható borsófehérje izolátumok alacsony oldódással rendelkeznek (Adebiyi & Aluko, 2011). Vizsgálatukban eredményül 30 % alatti oldódást értek el. A rossz oldódást az

aggregátumok jelenlétével indokolták. Frakcionálási folyamatok során a hőmérséklet és a pH változtatásával olyan terméket állítanak elő, amiknek az oldhatósága alacsony, magasabb a viszkozitása és nagyobb fehérje aggregátumokkal rendelkeznek (Adebiyi & Aluko, 2011).



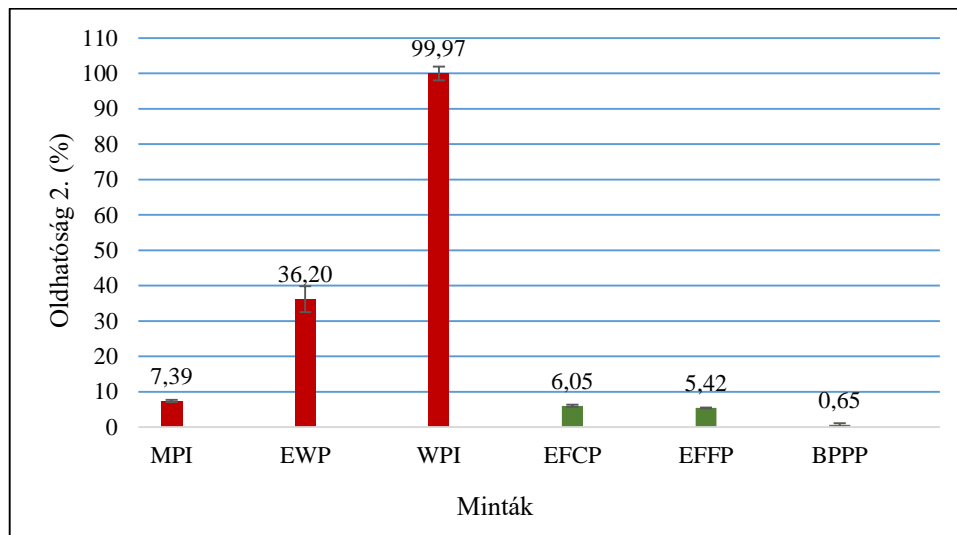
7. ábra: Minták centrifugálás előtt. 1. Tejfehérje izolátum (MPI-85); 2. Tojásfehérjepor (EWP); 3. Tejsavó fehérje izolátum (WPI 90%); 4. Csicszeriborsó fehérje izolátum (EFCP 90%); 5. Lóbab fehérje izolátum (EFFP 90%); 6. Borsófehérje izolátum (BPPP)



8. ábra: Minták centrifugálás után. Tejfehérje izolátum (MPI-85); 2. Tojásfehérje (EWP); 3. Tejsavó fehérje izolátum (WPI 90%); 4. Csicszeriborsó fehérje izolátum (EFCP 90%); 5. Lóbab fehérje izolátum (EFFP 90%); 6. Borsófehérje izolátum (BPPP)

5.1.2. Az oldhatóság meghatározása centrifugálással (a centrifugálás után a folyadékfázisban, illetve az üledékben mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján.)

A következő vizsgálatomnál a vizsgált mintáimnak egy másik vizsgálati módszerrel határoztam meg az oldhatóságát. A folyamat során centrifugálás utáni minták folyadék, illetve üledékréteg szárazanyag-tartalmát hasonlítottam össze. Az eredményeket a 9. ábra mutatja be.



9. Ábra: A vizsgált minták oldhatóságának összehasonlítása - centrifugálás után, a folyadékfázisban és az üledékben mért szárazanyag-tartalom összehasonlítása alapján (a piros színnel jelölt oszlopok jelölik az állati fehérjéket, a zöld színnel jelölt oszlopok pedig a növényi eredetű fehérjék adatait ábrázolják)

Az eredmény eltérést mutatott az előző kísérletben kapott oldhatósági értékekhez képest, ugyanis míg az első oldhatósági vizsgálat alapján a tojásfehérje (EWP), és a tejsavó izolátum (WPI) minták az eredmények alapján kimagasló oldhatósággal rendelkeztek, a 9. Ábrán a második oldhatósági vizsgálatom eredményében látható, hogy attól függetlenül, hogy a savó és a tojásfehérje érte el a legjobb oldódást, a tojásfehérje messze elmarad az előző fejezetben bemutatott vizsgálati eredményeimtől.

Az állati eredetű fehérjék közül nem csak az tojásfehérjépor minta esetében mértem gyengébb oldhatóságot az első vizsgálatomhoz képest, hanem a tejfehérje izolátum (MPI) mintánál is. Az 5.1.1.-es pontban a tejfehérje izolátum minta a többi állati eredetű mintához képest gyengébb eredményt adott, azonban a mostani vizsgálatnál ez a különbség drasztikusan nagyobb volt.

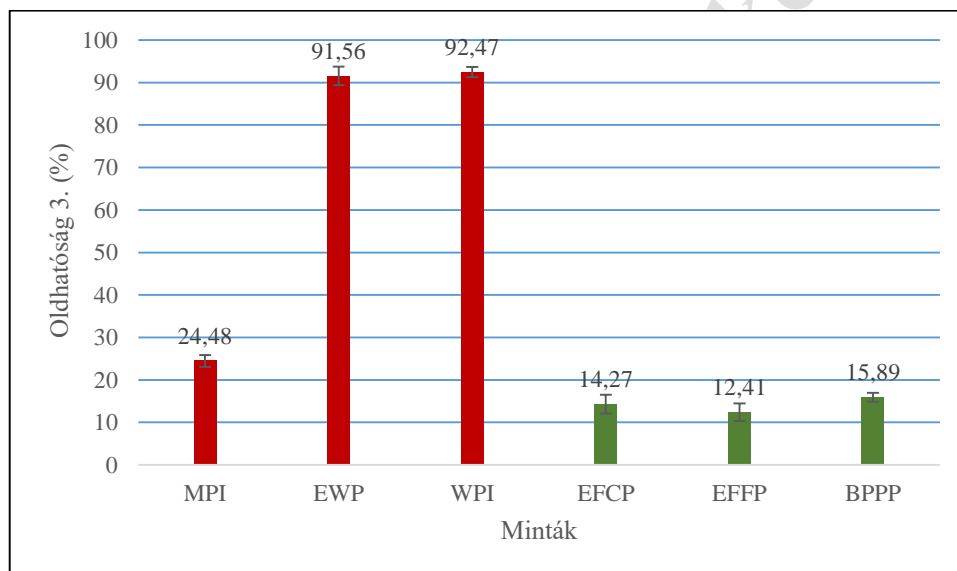
A növényi eredetű mintáimnál az eredmények 0,65-6,05 % -ig terjedtek. A kis értékek azt jelentik, hogy a minta szárazanyag-tartalmának nagy része 94-99 %-a kiülepedett a centrifugálás hatására. Ezen kívül fontos megjegyezni, hogy ezek az eredmények sokkal rosszabb oldhatóságra utalnak, mint az első oldhatósági vizsgálat eredményei. Kiértékelésem során csicseriborsó fehérje izolátum (EFCP) mintám rendelkezett a legjobb oldhatósággal a három növényi eredetű mintáim közül, ez az eredmény figyelhető meg az első vizsgálatomnál is.

Ennél a vizsgálatnál fontos megemlíteni, hogy a növényi eredetű minták esetében a centrifugálás után könnyedén elválasztható volt egymástól a felülúszó és az üledék rész, ezért az eredményeket is kisebb szórás jellemzi. A vizsgálatom során a növényi minták esetében a szárazanyag-tartalom segítségével meghatározott oldódási vizsgálatomhoz elegendő mennyiségű üledék állt rendelkezésemre. Azonban a jobb oldhatósággal rendelkező állati minták esetében, amelyeknél nem, vagy csak kisebb mértékben különült el egymástól a felülúszó és az üledék, ezek elválasztása is bizonytalanabb volt, ezért a méréseket nagyobb szórás terheli. Emellett a kevés mennyiségű üledék szárazanyag-tartalmát is nehezebb volt vizsgálni a kis minta mennyiség miatt.

A 9. ábrán látható, hogy a tejfehérje mintám rosszabb oldódással rendelkezett (7,39 %), mint az előző vizsgálatom során (27,73 %). A tejfehérje mintám rossz oldódását bizonyítja Anema és munkatársai (2006) vizsgálata, ahol azt vizsgálták, hogy hogyan befolyásolja az oldódást a pH és a tárolási hőmérséklet, idő. A 20 °C-on tárolt minta alig mutatott változást. A 30 °C-on tárolt minta 10 nap tárolásnál nem mutatott változást, majd utána folyamatosan romlott az oldhatósága 100 %-ról 60 % körüli értékre a tárolási idő végezetére. A 35 °C-on tárolt minta első 8 napban jó oldódást mutatott, de utána drasztikusan lecsökkent az oldhatósága. A 60. nap végére 30 % körüli értéket mutatott, illetve a 40 és 50 °C tárolt minták 15, illetve 10 napra elérték a 20 %-os oldódást. A tanulmány eredménye, hogy a tejfehérje koncentrátumok oldódása exponenciálisan csökken a tárolási hőmérséklettel. Ez feltehetőleg a kazein micellák rossz oldódása miatt történik, illetve egy fehérjeháló alakul ki a felszínen ez akadályozza a vízszállítást, gátolódik a MPI85 részecskék dehidratálása. Gazi és Huppertz, vizsgálatában a tejfehérje koncentrátum kazeinfehérje oldhatósága jelentősen lecsökkent a gyártás után. Kezdetben 90 %-os oldhatóság volt megfigyelhető, de 25 nap után 50 °C-on az oldhatóság 30 % alá csökken. Ez feltehetően a kazein rész oldódásának csökkenése miatt következett be, ami a magas hőmérsékleten tárolásnak a következménye. A tejfehérje izolátum tartalmaz tejsavó fehérje részt is, aminek az oldódásában jelentős változás nem volt tapasztalható.

5.1.3. Oldhatóság vizsgálata a centrifugálás előtti és a centrifugálás után, a folyadékfázisban mért fehérjetartalom összehasonlítása alapján

A harmadik oldhatósági vizsgálatom eredményeit a 10. ábra szemlélteti. Eredményként elmondható, hogy a mért fehérjetartalom alapján a tojásfehérjépor és a tejsavófehérje izolátum kapta a legjobb eredményt, nagyobb mint 90 %-os oldhatósággal. A tojásfehérjépor jó oldódását bizonyító vizsgálatot végzett el (Morr és mtsai., 1985). Vizsgálatuk során Kjeldahl módszert használtak a fehérjetartalom megállapítására, ugyanis ez reprodukálhatóbb értékeket adott, mint a Biuret módszer. A tojásfehérje jó oldódást produkált, mind a kettő vizsgált pH értéken, pH 3-on 91 % körüli, pH 7-en 94 % körüli értéket kaptak. Hasonlóan magas oldódást tapasztaltak Kakalis és Regenstein, ahol a fagyasztva szárított minta esetében 90 % feletti oldódás volt megfigyelhető pH 7-es értéken.



10. ábra: A vizsgált minták oldhatóságának összehasonlítása - centrifugálás után, a folyadékfázisban és az üledékben mért fehérje-tartalom összehasonlítása alapján (a piros színnel jelölt oszlopok jelölik az állati fehérjéket, a zöld színnel jelölt oszlopok pedig a növényi eredetű fehérjék adatait ábrázolják)

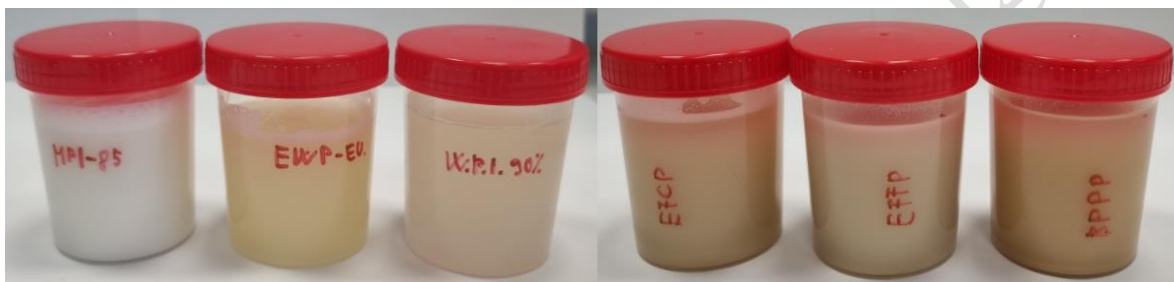
Vizsgálataim során a növényi fehérje izolátumok ismét gyenge oldódást mutattak. Ebben a vizsgálatomban egymáshoz képest közeli érték születtek. Mind a csicseriborsóból, lóbabból, borsóból készült fehérje izolátumok 12-16 % körüli fehérje oldódást mutattak. Hasonló fehérje oldódásán alapuló vizsgálatok kimutatták, hogy sok tényező befolyásolhatja a növényi fehérjék oldódását (Karaca és mtsai., 2011). Hüvelyes fehérjék izolátumának oldódás vizsgálatát végezték el Karaca és munkatársai (2011). A vizsgálat során a két eljárással előállított

csicseriborsófehérje izolátumot vizsgáltak, amiknek a fehérjetartalma 80 % feletti volt. Eltérő oldódást mutattak pH 7-es értéken. Az izoelektromos elválasztással előállított minta 91,2 % feletti oldódást mutatott, vele szemben a sós extrakcióval elő állított minta alacsony, 30,16 % oldódást mutatott. Arra a következtetésre jutottak, hogy a hüvelyes növények fajtája és az izolátum előállítási módszer jelentős hatással volt a vizsgált hüvelyesek fizikai-kémiai és emulgeáló tulajdonságaira. Általánosságban elmondható, hogy az izoelektromos kicsapással előállított minták oldódása jobbnak bizonyult, mint a sós extrakcióval előállított mintáké. Hasonló eredményt kaptak egy korábbi vizsgálat során, ahol az izoelektromos kicsapással előállított csicseriborsó fehérje izolátum oldódását vizsgálták (Kaur & Singh, 2007). Azt figyelték meg, hogy a legrosszabb oldódást az izoelektromos ponton kapták. A növényi fehérjék rossz oldódását az izoelektromos ponton számos kutatás kimutatta (Boye és mtsai., 2010; Kaur & Singh, 2007; K. K. Ma és mtsai., 2022). Ennek oka, hogy az izoelektromos ponton nincsen nettó töltése a fehérjéknek, nincsen taszító kölcsönhatás és a fehérje-fehérje kölcsön hatások nem kedvezőek az oldódás kialakulásához. A vizsgálat során 2 nagy oldhatósági értéket tapasztaltak. 70 % feletti értéket kaptak pH 2,5-ös értéken, 80 % felettit, pH 7-es értéken (Kaur & Singh, 2007).

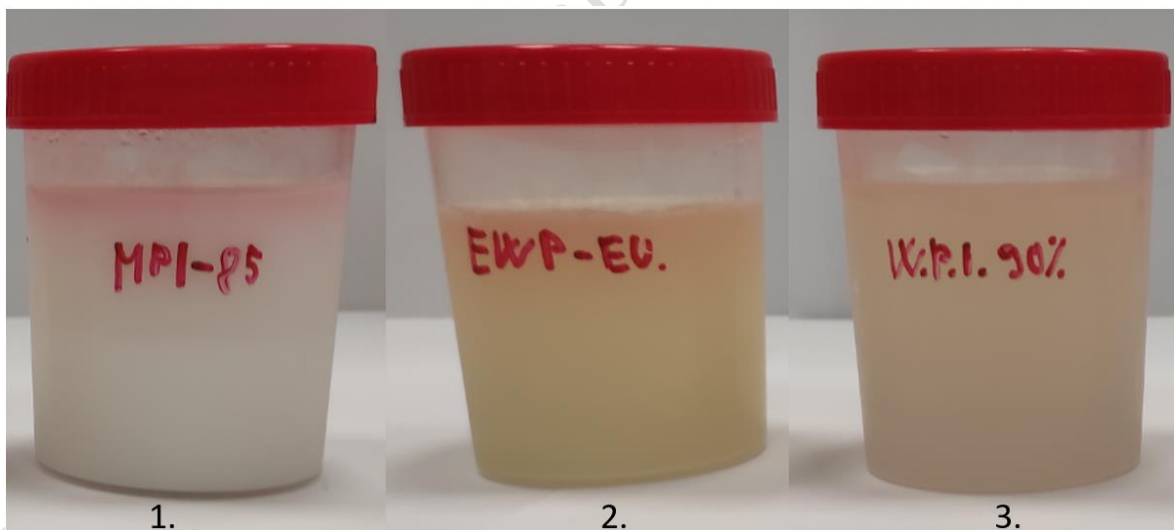
Vizsgálatom során a lóbab fehérje izolátum 12,41 % oldhatóságot mutatott semleges pH-n. Ennél alacsonyabb oldhatóságról számoltak be egy hasonló oldhatósági vizsgálatban Keivaninahr és munkatársai, ahol a borsó- és babfehérje-koncentrátumok és izolátumok oldódását és fizikai tulajdonságait vizsgálták. Kimutatták, hogy a tejsavófehérje izolátum és tojásfehérjéje szinte teljesen feloldódott, azonban a lóbab fehérje izolátum 8,3 %, a borsó fehérje izolátum, 20,5 % oldódást mutatott, semleges pH-n. A vizsgálat során a fehérje koncentrátumok mutatták a legnagyobb oldódást a növényi eredetű fehérjék közül. A koncentrátumokat száraz őrléssel és levegőosztályozási eljárással készítették. A legmagasabb oldódást a lóbab fehérje koncentrátum mutatott 70 % körüli értékkel. A vizsgálat során arra a következtetésre jutottak, hogy köze lehet, hogy a feldolgozási körülmények nagyban befolyásolják a fehérjék oldódási tulajdonságát. Vizsgálatok során a fehérjék oldódásának a csökkenését tapasztalták a minták nedves melegítéskor, és száraz melegítéskor a kezeletlen hüvelyesekhez képest. Ennek oka a fehérje szerkezetének a változása, például a fehérje és a keményítő keresztkötésekkel oldhatatlan aggregátumokat eredményez. Illetve feldolgozás során mind a hidrogén, mind a nem-poláros kötések változásokat okozhatnak a fehérje szerkezetében, ami denaturációhoz és az oldhatóság csökkenéséhez vezet.

5.1.4. A fehérjeszuszpenziók oldhatóságának és stabilitásának vizuális értékelése

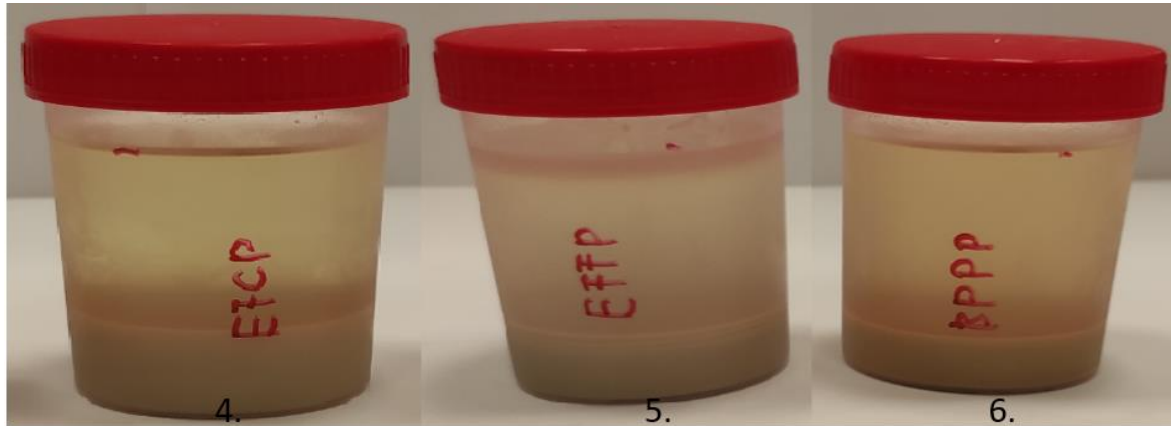
Az 5.1.1-5.1.3. fejezetekben bemutattam a fehérjeporok oldhatóságának vizsgálatára a kutatásokban leggyakrabban alkalmazott méréseket és azok eredményeit. Ezeket a centrifugáláson alapuló mérési módszereket viszont szerettem volna kiegészíteni a saját megfigyeléseimmel, amelyek során a gravitációs ülepedést tanulmányoztam. Az első gravitációs ülepedésen alapuló vizsgálatban vizuálisan értékeltem a minták ülepedését. A vizsgálat célja. megfigyelni az ülepedést az elkészített mintám hűtött körülmények között, 24 óra elteltével a készítés után. A szuszpenziókészítést követő is fényképet készítettem a mintákról (11. ábra), illetve 24 órával később is vizuálisan értékeltem őket (12. és 13. ábra).



11. ábra: A vizsgált mintákból készített szuszpenzió, a készítés utáni pillanatban.



12. ábra: Állati eredetű minták 24 óra hűtőtárolás után. 1. Tejfehérje izolátum (MPI-85); 2. Tojásfehérjepor (EWP); 3. Tejsavó fehérje izolátum (WPI 90%);



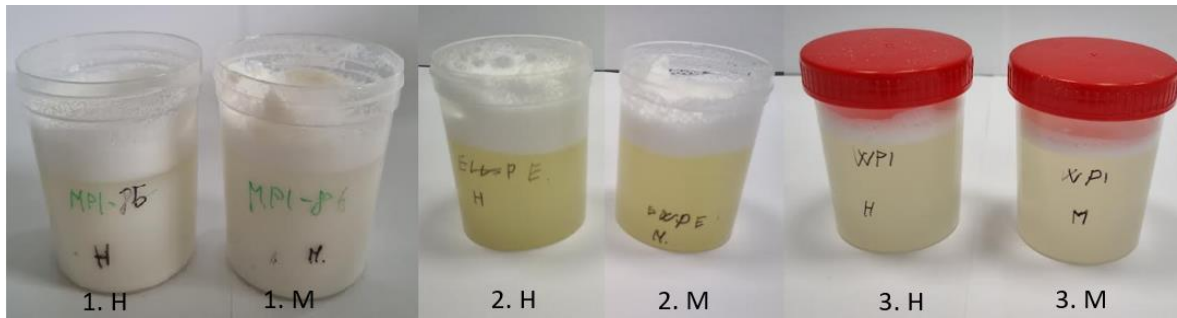
13. ábra: Növényi eredetű minták 24 óra hűtőtárolás után. 4. Csicserei borsó fehérje izolátum (EFCP 90%); 5. Lóbab fehérje izolátum (EFTP 90%); 6. Borsó fehérje izolátum (BPPP)

Az első vizuális vizsgálat során a szuszpenzió elkészítése után a növényi eredetű fehérje mintáknak már azonnal elkezdődött az ülepedése. Az állati eredetű mintáknál ilyen gyors ülepedés nem volt megfigyelhető.

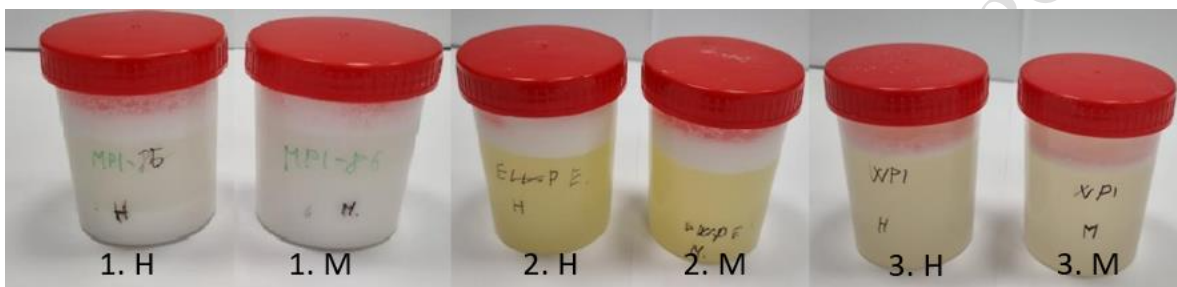
Nagymértékű ülepedés, szinte víz tisztaságú átláthatóság figyelhető meg a 13. ábrán, 24 órával később, hűtött körülmények között a növényi mintáknál, ami nem volt meglepő, hiszen az eddigi vizsgálataimban is rossz oldhatóságot tapasztaltam ezek esetén. A tejfehérje mintán látható volt minimális üledék réteg kialakulása (12. ábra), de ez szabad szemmel is alig volt megfigyelhető.

5.1.5. A hőmérséklet hatása a fehérjeszuszpenziók stabilitására

A második vizuális vizsgálatom során a hőmérséklet hatását figyeltem meg, hogy hogyan befolyásolja az oldódást és az elkészítést követő egy órában mekkora mértékű üledék kiválás lesz megfigyelhető. A vizsgált állati eredetű minták vizsgálatát a 14. és 15. ábrák szemléltetik, a növényi minták vizsgálatáról pedig a 16. és 17. ábrákon látható képek számolnak be.

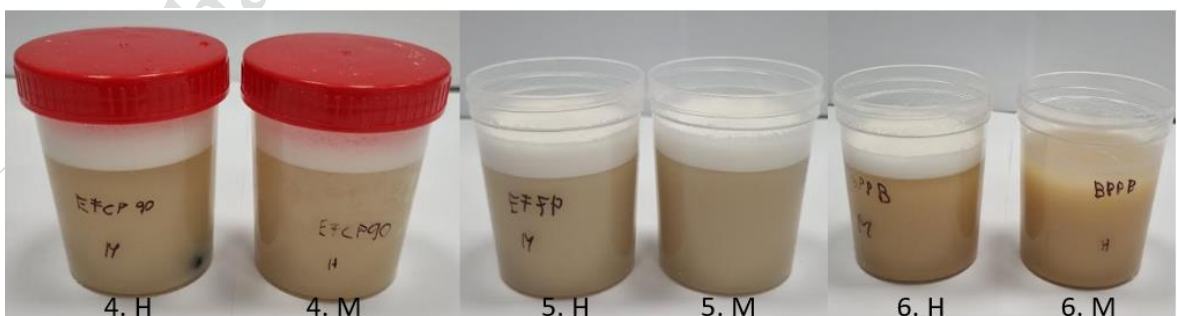


14. ábra: Készítés pillanatában 15 fokos és 40 fokos vízzel állati eredetű mintából készített szuszpenzió. H:15°C; M:40°C 1. Tejfehérje izolátum (MPI-85); 2. Tojásfehérjepor (EWP); 3. Savó izolátum (WPI 90%);

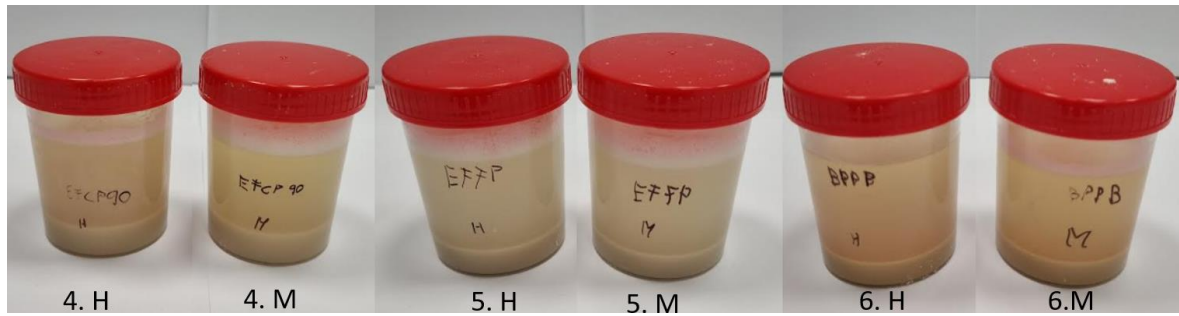


15. ábra: 1 óra elteltével, 15 fokos és 40 fokos vízzel állati eredetű mintából készített szuszpenzió. H:15°C; M:40°C 1. Tejfehérje izolátum (MPI-85); 2. Tojásfehérjepor (EWP); 3. Savó izolátum (WPI 90%);

A különböző hőmérsékletű vízzel készített szuszpenziókban, megfigyelhető volt a 14. és 15. ábrán, hogy míg a tojásfehérje és a tejsavó oldódása különösebben nem változott, addig a hidegvízben feloldott tejfehérje az elkészítés pillanatában jól oldódott, de aztán egy óra elteltével üledék réteg alakult ki az edény alján, azonban a melegvizes mintánál ez nem volt megfigyelhető.



16. ábra: A készítés pillanatában, 15 fokos és 40 fokos vízzel növényi eredetű mintából készített szuszpenzió. H:15°C; M:40°C 4. Csicséri borsó fehérje izolátum (EFCP 90%); 5. Lóbab fehérje izolátum (EFP 90%); 6. Borsó fehérje izolátum (BPPP)



17. ábra: 1 óra elteltével, 15 fokos és 40 fokos vízzel növényi eredetű mintából készített szuszpenzió. H:15°C; M:40°C 4. Csicséri borsó fehérje izolátum (EFCP 90%); 5. Lóbab fehérje izolátum (EFFP 90%); 6. Borsó fehérje izolátum (BPPP)

A növényi mintáimmánál már az elkészítés pillanatában látható ülepedés volt a hideg vizes oldatban. A rossz oldódás várható volt az előző kísérletekben kapott adatok alapján. 1 óra elteltével zavaros, de kissé átlátszó folyadék rész és leülepedett. A szemcsék által alkotott üledékréteg volt megfigyelhető a hideg és melegvizes oldatunknál is. Hőmérsékletek között lényegi különbséget csak az tejfehérje izolátum esetében tapasztaltam, ott a 40 fokos víz esetében kisebb üledék réteg volt megfigyelhető 1 óra elteltével.

Romhányi Zsombor Szakdolgozat

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A fehérjék aminosavakból épülnek fel, és számos kulcsfontosságú szerepet játszanak a szervezetben. Az enzimek, amelyek katalizálják a kémiai reakciókat, az antitestek, amelyek az immunrendszer részét képezik, és az izmok alkotóelemei is fehérjék. Az élelmiszerekben található fehérjék hozzájárulnak az izomzat fenntartásához és az újjáépítéséhez.

A nagy fehérjetartalmú táplálékkiegészítők egyre nagyobb teret hódítanak. Számos előnnyel rendelkeznek, magas tápanyagbevitel, könnyebb emészthetőség, amelyeknek köszönhetően könnyebbe válnak az étkezések.

Vizsgálatom során az állati és a növényi eredetű fehérjék funkcionális tulajdonságain belül az oldhatóság vizsgálatával foglalkoztam. Az oldhatóság az egyik legfontosabb fizikai tulajdonsága ezeknek a termékeknek. Az oldhatóság hatással van az emulziós, habképző és gélképző tulajdonságokra is, ami a felhasználhatóságuk során lényeges tulajdonságok. A vizsgálat során semleges pH- értéken, oldószerként csapvíz használatával végeztem az oldhatósági vizsgálatokat. A kapott adatokat ezután összehasonlítottam a szakirodalomban található adatokkal.

Eredményül arra a megállapításra jutottam, hogy a legjobb oldódást a tejsavófehérje izolátum és a tojásfehérje mutatta, míg a növényi alapú fehérjeizolátumok messze elmaradtak tőlük.

A három elvégzett centrifugáláson alapuló módszer közül kettő volt, ami kivitelezésben és eredmények szempontjából működő képesnek tekinthető. Abban a vizsgálatomban, ahol a centrifugálás után a felülúszó rész és az üledékrész szárazanyag-tartalmát hasonlítottam össze, rendkívül alacsony eredményeket kaptam a növényi eredetű fehérjékre. Ez a vizsgálat nem feltétlen ad pontos eredményt, ugyanis elkészítés pillanatában már erős ülepedés volt megfigyelhető az említett mintáknál. Problémát okozott még a tojásfehérje és a tejsavófehérje izolátum vizsgálata is ebben a kísérletben, ugyanis minimális mennyiségű üledékréteg képződött a centrifugálás után ezeknél a termékeknél. Így az oldhatóság kiszámolásához a szükséges minimum üledék mennyiség mennyisége a tejsavófehérje izolátum és a tojásfehérje esetében túl alacsony volt.

Az összehasonlíthatóság szempontjából az első és a harmadik vizsgálatom volt a legmegfelelőbb, számos szakirodalom ennek a kettő vizsgálatát használta a növényi és állati fehérjék vizsgálatára, összehasonlítására. Az első vizsgálatom során a centrifugálás előtti szuszpenzió szárazanyag-tartalmát és a centrifugálás utáni folyadék rész szárazanyag-tartalmát hasonlítottam össze és ebből állapítottam meg százalékos értékben az oldódást. A legjobb

eredményt a tojásfehérjapor és a tejsavófehérje izolátum mutatta, ez várható volt, ugyanis a korábbi kutatásokban is ilyen adatokról számoltak be. A növényi fehérjék oldódása itt magasnak bizonyult a többi vizsgálathoz képest, de a legjobb oldódás is messze elmaradt a legjobban oldódó állati mintám értékétől. Fontos megjegyezni, hogy szárazanyag vizsgálat esetén az oldódás nem feltétlen azonos a fehérje oldódásával. Ennek a pontosabb kimutatására alkalmaztam a harmadik vizsgálatomat, ahol a fehérjetartalom megállapításával számoltam az oldhatóságot. A fehérje tartalmat Kjeldahl módszerrel határoztam meg, amit számos kutatásban használtak és pontosabb eredményeket produkált, mint a Biuret módszer. Eredményül az állati fehérjék közül a tojásfehérjapor és a tejsavó izolátum oldódása volt a legmagasabb. Alacsony értéket kaptam a növényi eredetű mintáim esetében, de valamivel magasabbat, mint a feltehetőleg növényi mintáknál alkalmatlan második vizsgálatom esetében. A tejfehérje izolátum mind a 3 vizsgálatom során jóval alacsonyabb oldódást mutatott, mint a többi állati fehérje, amit számos kutatás alátámasztott, azzal indokolva, hogy befolyásoló tényező lehet az oldódásban a hosszú és nem megfelelő hőmérsékletű tárolási körülmény.

Vizuális vizsgálataim során a cél az idő és a hőmérséklet változásának hatása az üledékképződésre. A vizuális vizsgálatok is alátámasztották, hogy rosszabb oldódással rendelkeznek a növényi fehérjék, mint az állati fehérjék. A hőmérséklet különbség az oldódásban a növényi mintáknál nem mutatott különbséget. Szemmel látható különbség a tejfehérje mintánál volt megfigyelhető. A tejfehérje izolátum meleg vízben feloldódott, azonban egy óra elteltével minimális, üledék réteg alakult ki, ezzel szemben a hidegvízben feloldódott fehérje nagyobb mennyiségben ülepedett egy óra elteltével.

Összességében a kapott adatok és a vizsgálatom forrásaként szolgáló kutatásokból kiderült, hogy a legjobban oldódó fehérje a mintáim közül a tejsavófehérje izolátum és tojásfehérjapor volt. Mindegyik vizsgálatom során magasabb eredményt mutattak, mint a növényi eredetű fehérjék. Összehasonlítás szempontjából a fehérje oldhatóság vizsgálat alapján végzett módszer bizonyult a legjobbnak az állati és növényi eredetű minták összehasonlítására. Azonban fontos kiemelni, hogy az oldódást nagymértékben befolyásolják a gyártási eljárások és környezeti hatások. Szükség van további oldhatósági vizsgálatok elvégzésére. Úgy gondolom, hogy pontosabb eredmények érhetők el, ha a mintákat gyártást követően vizsgáljuk, ismerjük a gyártási folyamatait és más pH és hőmérséklet tartományban is elvégezzük a vizsgálatokat.

IRODALOMJEGYZÉK

26.10: *Protein Structure—Chemistry LibreTexts*. (é. n.). Elérés 2023. október 29., forrás

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Organic_Chemistry_\(Morsch_et_al.\)/26%3A_Biomolecules-_Amino_Acids_Peptides_and_Proteins/26.10%3A_Protein_Structure](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Organic_Chemistry_(Morsch_et_al.)/26%3A_Biomolecules-_Amino_Acids_Peptides_and_Proteins/26.10%3A_Protein_Structure)

A fehérjék szerkezeti szintjei (cikk). (é. n.). Khan Academy. Elérés 2023. szeptember 4., forrás

<https://hu.khanacademy.org/science/biology/xd0add07ff39257dd:macromolecules/xd0add07ff39257dd:proteins-and-amino-acids/a/orders-of-protein-structure>

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(12), 3292–3299. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03391>

Adebiyi, A. P., & Aluko, R. E. (2011). Functional properties of protein fractions obtained from commercial yellow field pea (*Pisum sativum* L.) seed protein isolate. *Food Chemistry*, 128(4), 902–908. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.116>

Agarwal, S., Beausire, R. L. W., Patel, S., & Patel, H. (2015). Innovative Uses of Milk Protein Concentrates in Product Development. *Journal of Food Science*, 80(S1). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12807>

Anema, S. G., Pinder, D. N., Hunter, R. J., & Hemar, Y. (2006). Effects of storage temperature on the solubility of milk protein concentrate (MPC85). *Food Hydrocolloids*, 20(2–3), 386–393. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.03.015>

Argenta, A. B., & Scheer, A. D. P. (2020). Membrane Separation Processes Applied to Whey: A Review. *Food Reviews International*, 36(5), 499–528. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1649694>

Berrazaga, I., Micard, V., Gueugneau, M., & Walrand, S. (2019). The Role of the Anabolic Properties of Plant- versus Animal-Based Protein Sources in Supporting Muscle Mass

Maintenance: A Critical Review. *Nutrients*, 11(8), 1825.

<https://doi.org/10.3390/nu11081825>

Berry, T. K., Yang, X., & Foegeding, E. A. (2009). Foams Prepared from Whey Protein Isolate and Egg White Protein: 2. Changes Associated with Angel Food Cake Functionality. *Journal of Food Science*, 74(5), E269–E277.

<https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01178.x>

Boland, M. (2011). Whey proteins. In *Handbook of Food Proteins* (o. 30–55). Elsevier.

<https://doi.org/10.1533/9780857093639.30>

Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537–546.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.021>

Boyle, A. L. (2018). 3—Applications of de novo designed peptides. In S. Koutsopoulos (Szerk.), *Peptide Applications in Biomedicine, Biotechnology and Bioengineering* (o. 51–86). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100736-5.00003-X>

Chegini, G., & Taheri, M. (2013). *Whey Powder: Process Technology and Physical Properties: A Review*.

Coelho-Junior, H. J., Marzetti, E., Picca, A., Cesari, M., Uchida, M. C., & Calvani, R. (2020). Protein Intake and Frailty: A Matter of Quantity, Quality, and Timing. *Nutrients*, 12(10), 2915. <https://doi.org/10.3390/nu12102915>

Dattatreya, A., Etzel, M. R., & Rankin, S. A. (2007). Kinetics of browning during accelerated storage of sweet whey powder and prediction of its shelf life. *International Dairy Journal*, 17(2), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2006.02.004>

- Deglaire, A., Bos, C., Tomé, D., & Moughan, P. J. (2009). Ileal digestibility of dietary protein in the growing pig and adult human. *British Journal of Nutrition*, *102*(12), 1752–1759. <https://doi.org/10.1017/S0007114509991267>
- Engelking, L. R. (2015). Protein Structure. In *Textbook of Veterinary Physiological Chemistry* (o. 18–25). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391909-0.50004-9>
- Gaonkar, G., Koka, R., Chen, K., & Campbell, B. (2010). Emulsifying functionality of enzyme-modified milk proteins in O/W and mayonnaise-like emulsions. *African Journal of Food Science*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Emulsifying-functionality-of-enzyme-modified-milk-O-Gaonkar-Koka/eb20d8194088ce8c729a509cdea978f52102914e>
- Gazi, I., & Huppertz, T. (2015). Influence of protein content and storage conditions on the solubility of caseins and whey proteins in milk protein concentrates. *International Dairy Journal*, *46*, 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.09.009>
- Goodman, B. E. (2010). Insights into digestion and absorption of major nutrients in humans. *Advances in Physiology Education*, *34*(2), 44–53. <https://doi.org/10.1152/advan.00094.2009>
- Gueguen, J. (1983). Legume seed protein extraction, processing, and end product characteristics. *Qualitas Plantarum Plant Foods for Human Nutrition*, *32*(3–4), 267–303. <https://doi.org/10.1007/BF01091191>
- Hoppe, C., Andersen, G. S., Jacobsen, S., Mølgaard, C., Friis, H., Sangild, P. T., & Michaelsen, K. F. (2008). The Use of Whey or Skimmed Milk Powder in Fortified Blended Foods for Vulnerable Groups. *The Journal of Nutrition*, *138*(1), 145S–161S. <https://doi.org/10.1093/jn/138.1.145S>

- Huecker, M., Sarav, M., Pearlman, M., & Laster, J. (2019). Protein Supplementation in Sport: Source, Timing, and Intended Benefits. *Current Nutrition Reports*, 8(4), 382–396.
<https://doi.org/10.1007/s13668-019-00293-1>
- Jalili-Firoozinezhad, S., Filippi, M., Mohabatpour, F., Letourneur, D., & Scherberich, A. (2020). Chicken egg white: Hatching of a new old biomaterial. *Materials Today*, 40, 193–214. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.05.022>
- Kakalis, L. T., & Regenstein, J. M. (1986). Effect of pH and Salts on the Solubility of Egg White Protein. *Journal of Food Science*, 51(6), 1445–1447.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1986.tb13830.x>
- Karaca, A. C., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*, 44(9), 2742–2750.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>
- Kaur, M., & Singh, N. (2007). Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 102(1), 366–374.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.029>
- Keivaninahr, F., Gadkari, P., Zoroufchi Benis, K., Tulbek, M., & Ghosh, S. (2021). Prediction of emulsification behaviour of pea and faba bean protein concentrates and isolates from structure–functionality analysis. *RSC Advances*, 11(20), 12117–12135.
<https://doi.org/10.1039/D0RA09302E>
- Kornet, R., Shek, C., Venema, P., Jan Van Der Goot, A., Meinders, M., & Van Der Linden, E. (2021). Substitution of whey protein by pea protein is facilitated by specific fractionation routes. *Food Hydrocolloids*, 117, 106691.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106691>

- Kumar, P., Sharma, N., Ranjan, R., Kumar, S., Bhat, Z. F., & Jeong, D. K. (2013). Perspective of Membrane Technology in Dairy Industry: A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 26(9), 1347–1358.
<https://doi.org/10.5713/ajas.2013.13082>
- Le, T. T., Bhandari, B., & Deeth, H. C. (2011). Chemical and Physical Changes in Milk Protein Concentrate (MPC80) Powder during Storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(10), 5465–5473. <https://doi.org/10.1021/jf2003464>
- Lee, S., Morr, C. V., & Ha, E. Y. W. (1992). Structural and Functional Properties of Caseinate and Whey Protein Isolate as Affected by Temperature and pH. *Journal of Food Science*, 57(5), 1210–1229. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1992.tb11301.x>
- Lee, W. T., Weisell, R., Albert, J., Tomé, D., Kurpad, A. V., & Uauy, R. (2016). Research Approaches and Methods for Evaluating the Protein Quality of Human Foods Proposed by an FAO Expert Working Group in 2014. *The Journal of Nutrition*, 146(5), 929–932. <https://doi.org/10.3945/jn.115.222109>
- Li, P., Jin, Y., & Sheng, L. (2020). Impact of microwave assisted phosphorylation on the physicochemistry and rehydration behaviour of egg white powder. *Food Hydrocolloids*, 100, 105380. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105380>
- López-Martínez, M. I., Miguel, M., & Garcés-Rimón, M. (2022). Protein and Sport: Alternative Sources and Strategies for Bioactive and Sustainable Sports Nutrition. *Frontiers in Nutrition*, 9.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnut.2022.926043>
- Lowry, Oliver H., Rosebrough, Nira J., Farr, A. L., & Randall, Rose J. (1951). PROTEIN MEASUREMENT WITH THE FOLIN PHENOL REAGENT. *Journal of Biological Chemistry*, 193(1), 265–275. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(19\)52451-6](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(19)52451-6)

- Ma, K. K., Greis, M., Lu, J., Nolden, A. A., McClements, D. J., & Kinchla, A. J. (2022). Functional Performance of Plant Proteins. *Foods*, *11*(4), 594.
<https://doi.org/10.3390/foods11040594>
- Ma, Z., Chi, Y., Zhang, H., Chi, Y., & Ma, Y. (2022). Inhibiting effect of dry heat on the heat-induced aggregation of egg white protein. *Food Chemistry*, *387*, 132850.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132850>
- Meena, G. S., Singh, A. K., Arora, S., Borad, S., Sharma, R., & Gupta, V. K. (2017). Physico-chemical, functional and rheological properties of milk protein concentrate 60 as affected by disodium phosphate addition, diafiltration and homogenization. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(6), 1678–1688. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2600-1>
- 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*(6), 1715–1718.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb10572.x>
- O'Regan, J., Ennis, M. P., & Mulvihill, D. M. (2009). Milk proteins. In *Handbook of Hydrocolloids* (o. 298–358). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845695873.298>
- Pelegrine, D. H. G., & Gasparetto, C. A. (2005). Whey proteins solubility as function of temperature and pH. *LWT - Food Science and Technology*, *38*(1), 77–80.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.03.013>
- Pinckaers, P. J. M., Trommelen, J., Snijders, T., & Van Loon, L. J. C. (2021). The Anabolic Response to Plant-Based Protein Ingestion. *Sports Medicine*, *51*(S1), 59–74.
<https://doi.org/10.1007/s40279-021-01540-8>

- Réhault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. *Nutrients*, *11*(3), 684.
<https://doi.org/10.3390/nu11030684>
- Rufián-Henares, J. A., Delgado-Andrade, C., Jiménez-Pérez, S., & Morales, F. J. (2007). Assessing nutritional quality of milk-based sport supplements as determined by furosine. *Food Chemistry*, *101*(2), 573–578.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.02.016>
- Sanvictores, T., & Farci, F. (2023). Biochemistry, Primary Protein Structure. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK564343/>
- Sharif, M. K., Saleem, M., & Javed, K. (2018). Food Materials Science in Egg Powder Industry. In *Role of Materials Science in Food Bioengineering* (o. 505–537). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811448-3.00015-2>
- Tejipari technológia: Tej és tejtermékek a táplálkozásban—REAL - az MTA Könyvtárának Repozitóriuma.* (é. n.). Elérés 2023. szeptember 9., forrás <http://real.mtak.hu/116702/>
- Thompson, J. L., & Manore, M. (2011). *Nutrition: An Applied Approach*. Pearson Higher Education. Benjamin Cummings. <https://research-information.bris.ac.uk/en/publications/nutrition-an-applied-approach-2>
- Tontul, İ., Kasimoglu, Z., Asik, S., Atbakan, T., & Topuz, A. (2018). Functional properties of chickpea protein isolates dried by refractance window drying. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*, 1253–1259.
<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.135>
- Wang, G., & Guo, M. (2019). Manufacturing Technologies of Whey Protein Products. In M. Guo (Szerk.), *Whey Protein Production, Chemistry, Functionality, and Applications* (1. kiad., o. 13–37). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119256052.ch2>

Wu, G. (2016). Dietary protein intake and human health. *Food & Function*, 7(3), 1251–1265.

<https://doi.org/10.1039/C5FO01530H>

Romhányi Zsombor Szakdolgozat

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Hidas Karina Ilonának a támogatását, segítségét. A szakdolgozatom elkészítése során, bármikor fordulhattam hozzá segítségért és ezek mindig megértő fülekre találtak, végig támogatott, segített a munkámat, szaktudásával.

Romhányi Zsombor Szakdolgozat

KONZULTÁCIÓS NYILATKOZAT

Romhányi Zsombor (hallgató Neptun azonosítója: S9N79Y) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Budapest, 2023. október 20.


Hidas Karina Ilona

Romhányi

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Romhányi Zsombor

A Hallgató Neptun kódja: S9N79Y

A dolgozat címe: Állati és növényi eredetű fehérjeporok oldhatóságának vizsgálata

A megjelenés éve: 2023

A konzulens tanszékének a neve: Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek. A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

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

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

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében

Kelt: 2023. év 10. hó 30. nap



Hallgató aláírása