

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**Harangozó Mercédesz**

**2025**



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék

**Különböző anyagok hatásának  
összehasonlítása a tojássárgája fagyasztás  
során bekövetkező gélesedési folyamatára**

**Belső konzulensek:** Dr. Hidas Karina  
Ilona, egyetemi adjunktus; Dr. Takács  
Krisztina Mária, tudományos  
főmunkatárs

**Belső konzulens intézete/tanszéke:**  
Élelmiszertudományi és Technológiai  
Intézet/ Állattermék és  
Élelmiszertartósítási Technológia  
Tanszék; Táplálkozástudományi  
Tanszék

**Készítette:** Harangozó Mercédesz

Budapest

2025

# Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés .....	2
2. Szakirodalmi áttekintés .....	4
2.1. A tojás felépítése .....	4
2.2. A tojássárgája összetétele .....	4
2.3. A tojáslevek gyártástechnológiája .....	6
2.4. A tojáslevek felhasználási területei .....	11
2.5. Folyékony élelmiszerek fagyasztása .....	11
2.5.1. A fagyasztás hatása a tojássárgájára .....	13
2.5.2. A tojássárgája fagyasztás során bekövetkező gélesedésének gátlása fizikai módszerekkel .....	14
2.5.3. Technológiai beavatkozások: előkezelés kristálycukorral, konyhasóval; pH- korrekció és fehérjevédelem .....	16
2.5.4. A tojássárgája enzimkezelési lehetőségei a fagyasztás során bekövetkező gélesedés megakadályozására .....	18
3. Anyagok és módszerek.....	21
3.1. Felhasznált anyagok .....	21
3.2. Kísérlet menete.....	21
3.2. Módszerek .....	23
3.2.1. pH mérés.....	23
3.2.2. Színmérés.....	23
3.2.3. Turbiditás mérése .....	24
3.2.4. Reológiai tulajdonságok vizsgálata .....	25
3.2.5. Nátrium-dodecil szulfát gélelektroforézis (SDS-PAGE, Sodium Dodecyl Sulphate- Polyacrylamide Gel Electrophoresis) .....	25
3.2.6. Statisztikai elemzés.....	27
4. Eredmények és értékelésük .....	28

4.1. A szorbitol koncentráció meghatározása - előkísérlet .....	28
4.2. A pH mérések eredményei.....	28
4.3. A színérés eredményei.....	30
4.4. A tojássárgájalevek turbiditásának vizsgálata .....	35
4.5. A tojássárgájalevek reológiai tulajdonságainak vizsgálata.....	36
4.6. A tojássárgájában lévő fehérjék vizsgálata gélelektroforézissel .....	38
5. Következtetések és javaslatok .....	40
6. Összefoglalás.....	42
7. Irodalomjegyzék.....	44
8. Ábrák és táblázatok jegyzéke .....	50
9. Nyilatkozatok .....	53

## 1. Bevezetés és célkitűzés

A tojás az egyik legnépszerűbb és legsokoldalúbban felhasználható alapanyag az élelmiszeriparban. Tápértéke kiváló, azonban gél-, hab-, emulzió képző, illetve színező tulajdonságai miatt közkedvelt alapanyag, mind a háztartásokban, mind az iparban. A tojás tojásfehérjéből és tojássárgájából áll, egyben, illetve külön-külön is értékesek, eltérő technológiai tulajdonságokkal rendelkeznek, így fontos szerepet játszanak az élelmiszerelőállításban.

Jelen diplomadolgozatban a tojássárgája tulajdonságaival foglalkozom. A tojássárgája különösen jelentős szerepet tölt be az emulzióképzésben, ezért elengedhetetlen összetevője olyan termékeknek, mint a majonéz, különféle szószok, dresszingek, valamint a sütőipari készítmények. Az ipari feldolgozás során azonban egyre inkább előtérbe kerül a tojáslé használata, amely a friss tojásnál könnyebben kezelhető, adagolható és tárolható. A tojáslé tartósítása azonban komoly technológiai kihívásokat jelent, mivel a tojás hőérzékeny összetevői korlátozzák a pasztörözés során alkalmazható hőmérsékletet, továbbá a pasztörözött tojáslé viszonylag rövid ideig tárolható, ami korlátozza az ipari felhasználhatóságát. Azonban nagyon fontos a megfelelő tartósítás, hiszen komoly mikrobiológiai kockázatot jelent minden tojástermék.

A fagyasztás, mint alternatív tartósítási módszer ígéretes lehetőséget kínál, mivel alacsonyabb hőmérsékleten hosszabb ideig megőrizhető az alapanyag. Ugyanakkor a tojássárgája fagyasztása során olyan szerkezeti változások következnek be, amelyek jelentősen rontják annak technológiai tulajdonságait. A fagyasztás során vissza nem fordítható gélesedési folyamat indul el, amelyben a felengedtetés után a tojássárgája elveszíti eredeti állagát, nehezen mozgathatóvá válik, és csökkennek az emulgeáló képességei. Ez a gélesedés nemcsak a feldolgozhatóságot nehezíti meg, hanem hátrányosan befolyásolja a végtermék minőségét is, így belátható, hogy szükséges a tojássárgája kezelése.

Korábbi kutatások alapján ismert, hogy bizonyos anyagokkal pl. kristálycukorral, konyhasóval, szorbitollal vagy enzimmal való kezeléssel mérsékelhető a felengedtetés utáni gélesedés mértéke. Ezek az adalékanyagok különböző mechanizmusokon keresztül befolyásolják a tojássárgája szerkezetét, színét, vízmegkötő képességét, fehérjeinterakcióit és pH-értékét, így hatással vannak a fagyasztás utáni állagra és technológiai tulajdonságokra.

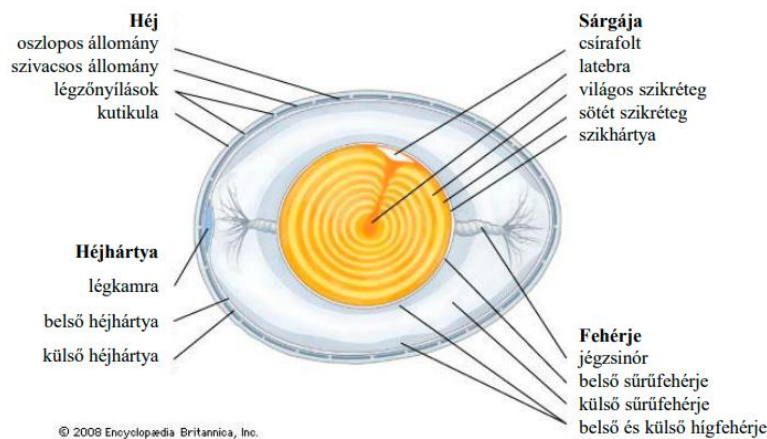
A diplomadolgozatom célja összehasonlítani a különböző anyagokkal (kristálycukor, konyhasó, szorbitol és enzim) kezelt tojássárgája fagyasztás hatására bekövetkező változásait. A vizsgálatok során arra keresek választ, hogy melyik anyag milyen mértékben képes csökkenteni a gélesedést, és hogyan befolyásolja a tojássárgája technofunkciós tulajdonságait. Fő cél a kezeletlen, friss tojássárgájával összehasonlítani a kezelt, fagyasztott, felengedett minták emulzióképző képességét, amire turbiditás mérésével igyekszem következtetni. A reológiai mérés célja, hogy a reológiai (folyási) tulajdonságait vizsgáljuk és próbáljuk meg közelíteni a friss tojássárgájalevet. Továbbá vizsgálom a fehérjeszerkezetet, pH értéket, illetve a színt.

A vizsgálatok eredményei hozzájárulhatnak a tojássárgája fagyasztás előtti kezelésének optimalizálásához, és segíthetnek olyan technológiai megoldások kidolgozásában, amelyek révén a tojássárgájale hosszabb ideig tárolható, miközben megőrzi eredeti funkcionális tulajdonságait. Ez különösen fontos lehet az élelmiszeripar számára, ahol a stabil, jól kezelhető és minőségi alapanyagok iránti igény folyamatosan növekszik.

## 2. Szakirodalmi áttekintés

### 2.1. A tojás felépítése

Az **1. ábra** szemlélteti a tyúktojás szerkezeti felépítését, ami a kialakulás sorrendjében a következő: sárgája, szikhártya, fehérje, kettős pergamenhártya és meszes héj. (Nys, Guyot, 2011)

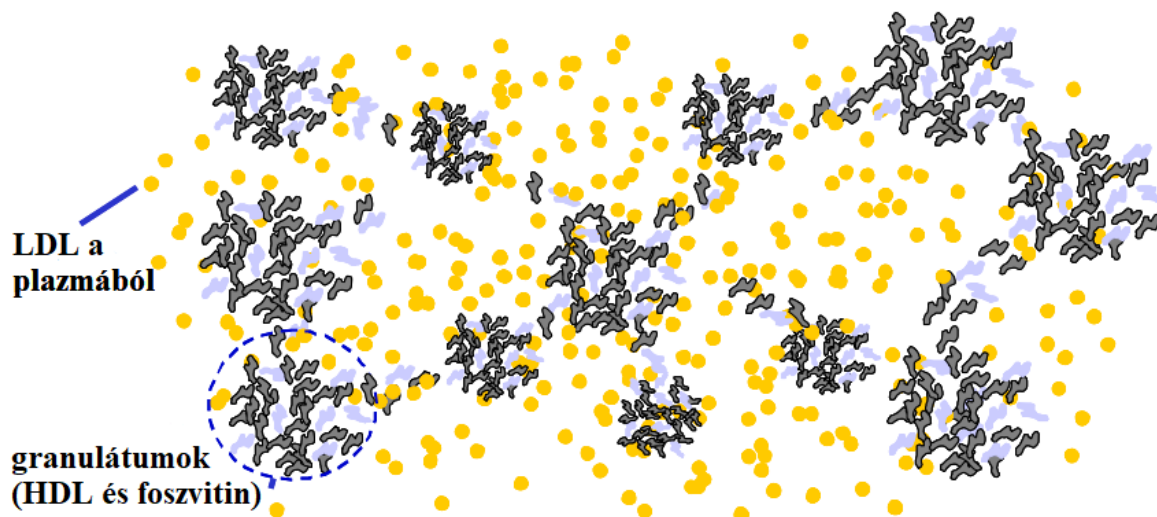


**1. ábra:** A tyúktojás szerkezeti felépítése (Singh, 2021; Hidas, 2022)

### 2.2. A tojássárgája összetétele

A tojásban a tojásfehérje gyakorlatilag zsírmentes, így a tojás zsírtartalma a sárgájában összpontosul. A zsírok arányai nagymértékben függhetnek a takarmányozástól, így a megfelelően kiválasztott takarmány növelheti a telítetlen zsírok arányát, ami egészségesebbé teheti a tojássárgáját (Légrády, 2001).

A tojássárgája egy összetett rendszer, ahogy az a **2. ábrán** látható különböző szerkezeti szintekből áll, nem oldható fehérje aggregátumokból (granulátumok) és egy tiszta sárga folyadékból (plazma). A plazma kis sűrűségű lipoproteineket (low density lipoprotein - LDL) és oldható fehérjéket tartalmaz. Ennek megfelelően a tojássárgája könnyen elválasztható két fő frakciójára (plazma és granulátumok) enyhe centrifugálással (10 000 g / 30 perc) McBee és Cotterill módszere szerint (McBee és munkatársai, 1979).



**2. ábra:** A tojássárgája összetételének sematikus ábrája (Anton és munkatársai, 2008)

A granulátumok a tojássárgája szárazanyag-tartalmának körülbelül 22%-át teszik ki, amely a tojássárgája fehérjéinek körülbelül 50%-át és a zsírok 7%-át tartalmazza (Anton et al., 1997). Elsősorban nagy sűrűségű lipoproteinekből (high density lipoprotein - HDL) (70%) és foszvitinből (16%) állnak, amelyek foszfor-kalcium hidakkal kapcsolódnak össze (Burley és munkatársai, 1961).

A plazma a tojássárgája szárazanyag-tartalmának körülbelül 78%-át teszi ki, és 85%-ban LDL-ből és 15%-ban livetinekől áll. A plazma a tojássárgája zsírtartalmának körülbelül 90%-át (beleértve szinte az összes karotinoidot) és a tojássárgája fehérjéinek 50%-át tartalmazza (Burley és munkatársai, 1961).

A tojássárgája szénhidrátartalma 0,7–1,0%-ra tehető, a szabad glükóz tartalma pedig körülbelül 0,3%. Ezenkívül a szénhidrátok főként fehérjékhez (glikoproteinek) és lipidekhez (glikolipidek, például cerebrozid) kötött formában fordulnak elő. Ásványi anyag tartalma körülbelül 1%, és a legnagyobb mennyiségben foszfort tartalmaz, amelynek 61%-a foszfolipid formában van jelen. Ezenkívül jelentős mennyiségben tartalmaz kalciumot, klórt, káliumot, nátriumot, ként, magnéziumot és mangánt, valamint a tojás vastartalmának nagy része is a sárgájában található. A zsírban oldódó vitaminok mindegyikét tartalmazza, és a vízben oldódó vitaminok közül is magasabb tartalommal bír a tojásfehérjéhez képest. A tojássárgája színe, intenzitása, árnyalata és homogenitása közvetlenül függ a tojó takarmányozásától és a magas karotinoid tartalmú forrásokkal való kiegészítéstől. A karotinoidok adják ugyanis a tojássárgája színét, amelyek zsírban oldódó konjugált izopren

származékok. A tojássárgája ezek közül nagyobb mennyiségben tartalmaz luteint, zeaxantint és  $\beta$ -kriptoxantint, kisebb mennyiségben pedig  $\beta$ -karotint (Nys, Guyot, 2011).

### **2.3. A tojáslevek gyártástechnológiája**

Az élelmiszeripari tojásfeldolgozás kizárólag hatóságilag ellenőrzött, állategészségügyi szempontból jóváhagyott baromfitelepekről származó alapanyagot engedélyez. A tojások beszállítása jellemzően ládába vagy rekeszekbe rendezve történik, többnyire 6 vagy 10 darabos kartoncsomagolásban, illetve 30 darabos tálcákon. Az átvétel alapja lehet az össztömeg vagy a már előosztályozott tojások darabszáma (Sahin-Tóth és munkatársai, 2009).

A tojáslé gyártása során minden olyan tojás felhasználható, amelynek héjszerkezete ép, vagyis sem mechanikai törés, sem héjhártya-sérülés nem áll fenn, továbbá nem mutat romlásra utaló érzékszervi elváltozást. Ennek megfelelően a feldolgozás során nem szükséges minimális tömeghatárt alkalmazni. A nyersanyagok átvételekor szigorú minőségellenőrzési szempontokat kell érvényesíteni, amelyek kiterjednek a tojások külső jellemzőire, csomagolására, valamint frissességi állapotára. A repedt, szennyezett, illetve nem megfelelő frissességű tojások elkülönítése elengedhetetlen, mivel ezek jelentősen növelhetik a mikrobiológiai szennyeződés kockázatát a későbbi feldolgozási fázisok során. A beszállítást követően a tojásokat szabályozott hőmérsékletű és páratartalmú környezetben helyezik el. A tárolás történhet 15 °C-os klimatizált térben, vagy 4 °C-ra hűtött helyiségben, attól függően, hogy milyen gyors feldolgozás várható. A környezeti paraméterek pontos beállítása kulcsfontosságú a nyersanyagok állagmegőrzése és a mikrobiológiai biztonság szempontjából (Nys és munkatársai, 2011).

A tojáshéj mikrobiológiai szennyezettsége nagy mértékben változhat, ami leginkább a tyúk tartási körülményeitől függ. A kutikulának nevezett glikoprotein bevonat lepereghet a héjról, és ezt követően a mikroszkopikus pórusokon keresztül patogén mikroorganizmusok jutnak be a tojásba (Nys és munkatársai, 2011). A potenciális kontamináció megelőzése érdekében a tisztítást és fertőtlenítést a feldolgozási lánc korai szakaszában ajánlott elvégezni.

A fertőtlenítésre alkalmazható módszerek, beleértve a fizikai és kémiai eljárásokat, a következők:

- **Aeroszolos permetezés:** Fertőtlenítőszeres aeroszol alkalmazása a héjon; előnye, hogy a fertőtlenítő a csomagolóanyagon is kifejtheti hatását.
- **Mosásos eljárás:** Többlépcsős folyamat, mely zsíroldó szerrel kezdődik, ezt követi klórtartalmú fertőtlenítővel történő kezelése, majd vízöblítés, szárítás, és opcionálisan a kutikula visszaállítása olajozással a gázcsere fenntartása érdekében.
- **Ultraviola-sugárzás (UV-C):** Fizikai fertőtlenítési módszer, amelyről kimutatták, hogy hatékonyan inaktiválja a héjon található mikroorganizmusokat.
- **Ózonos kezelés:** A mikroorganizmusokat oxidatív módon elpusztító eljárás. Gáznemű vagy mikrobuborékos ózon használata nagy, akár  $\geq 5$  log CFU/g nagyságrendű redukción eredményezett *Salmonella Enteritidis* esetén, különösen UV kombinációban. A módszer elterjedését azonban korlátozhatják magas beruházási költségei és az ózon kezelés biztonsági előírásai. (Huang, 2009)

A tojások feldolgozása a szállítótálcákról történő automatizált kirakodással kezdődik, amelyhez speciális vákuumos átrakóberendezést alkalmaznak. A gép felépítését tekintve egy keretszerkezetből és flexibilis gumiharangokból áll, amelyek egy szívórendszerhez csatlakoznak (3. ábra). A harangok enyhe vákuumhatással ráilleszkednek a tojáshéjra, és a tojásokat biztonságosan megemelik, majd a szállítószalag fölé irányítják. Itt a vákuum megszüntetésével a tojások gravitációs úton a szállítószalagra kerülnek, és haladnak tovább a feldolgozóvonal következő állomása felé (Zayas, 1997).



**3. ábra:** Vákuumos átrakóberendezés  
(Internet 1.)

A tojástörés során a feldolgozó sor tompa mechanikai eszközökkel repeszt meg a tojáshéjat, ami elsősorban a vízszintesen pozícionált tojások esetében biztosít optimális eredményt. A feltört tojás tartalmát kis méretű tálcákba vagy csatornába vezetik, ahol a tojáskomponensek – a fehérje és a sárgája – elválasztása történik, ha a végtermék funkcionális különválasztást igényel (tojásfehérjelé vagy tojássárgájale előállítás esetén) (4. ábra). A szétválasztott részek külön tartályokba kerülnek: a héjmaradványokat szállítócsiga továbbítja egy külön gyűjtőegységbe, míg a tojás belső komponenseit szűrési eljárásnak vetik alá. A szűrés

célja a héjtöredékek, membránok és egyéb szilárd szennyezők eltávolítása. A folyamat során gyakran integrálnak homogenizáló egységet is, amely a folyadéksepek méretének csökkentésével elősegíti a keverék egységes szerkezetét. Ez nem csupán a későbbi pasztörözés hatékonyságát javítja, hanem mikrobiológiai szempontból is stabilabb terméket eredményez (Nys és munkatársai, 2011).



**4. ábra:** Tojástörő és szeparátor (Internet 2.)

A feltört tojáslevet a lehető legrövidebb időn belül hőkezelní szükséges. Amennyiben az azonnali pasztörözés nem kivitelezhető, a nyers tojásmasszát legfeljebb 24 órán keresztül, +6 °C alatti hőmérsékleten szükséges tárolni annak érdekében, hogy a mikrobiális szaporodás a legminimálisabb szintet érje el (Huang, 2009).

A tojáslé pasztörözésekor kiemelt jelentősége van a fehérjetartalom hőérzékenységének. Az olyan főbb fehérjék, mint az ovalbumin, ovotranszferrin és lizozim már mérsékelt hőmérsékleti expozíciónál is kicsapódhatnak, ami negatívan befolyásolja a termék állagát és funkcionális tulajdonságait. Éppen ezért az ipari gyakorlatban a kezelés jellemzően 100 °C alatti, 60–75 °C közötti tartományban történik, ahol a cél a *Salmonella* törzsek legalább 6 nagyságrendnyi pusztítása. Az ehhez alkalmazott hőcserélő rendszerek általában cső a csőben (**5. ábra**) vagy lemezes (**6. ábra**) kialakításúak, melyek folyamatos üzemű hőkezelést biztosítanak. Kisebb kapacitású üzemeknél szakaszos, tartályos pasztörözést alkalmaznak. A berendezés kiválasztásakor nemcsak a termelési volumen, hanem az alapanyag (teljes tojáslé, tojásfehérje vagy tojássárgája) összetétele is meghatározó, mivel ezek viszkozitása és hővezető képessége eltérő (Doyle és munkatársai, 2000).



5. ábra: Cső a csőben hőcserélő (Internet 3.) 6. ábra: Lemezes hőcserélő (Internet 4.)

Jelentős befolyással bírnak az adalékok, például kristálycukor vagy konyhasó jelenléte, amelyek megváltoztatják a tojásle reológiai és termikus tulajdonságait. Magasabb koncentráció esetén nőhet a viszkozitás, ami lassíthatja a hőátadást és kiterjedtebb kezelésre lehet szükség a mikrobiális biztonság garantálásához. Ebből kifolyólag az adalékanyagokat gyakorlati tapasztalatok alapján általában a hőkezelés után adagolják a termékhez (Palumbo és munkatársai, 1995).

A 1333/2008/EK rendelet 2. melléklete az élelmiszer adalékanyagok listáját tartalmazza, amely meghatározza, hogy az egyes adalékanyagok milyen élelmiszer-kategóriákban és milyen feltételekkel alkalmazhatók. A tojássárgájale az 10.4-es kategóriába tartozik, amely a „Folyékony tojás, beleértve a tojásfehérjét, tojássárgáját és egész tojást” megnevezés alatt szerepel. Ebben a kategóriában kizárólag az alábbi adalékanyagok használata engedélyezett:

- **E202 – Kálium-szorbát:** Tartósítószerként alkalmazható, legfeljebb 1 000 mg/kg mennyiségben. Hatékonyan gátolja a penész- és élesztőgombák szaporodását, különösen hűtött vagy fagyasztott tojáslevek esetében.
- **E282 – Kalcium-propionát:** Szintén tartósítószer, amely a baktériumok és penészgombák ellen hat. A tojássárgájale esetében legfeljebb 1 000 mg/kg mennyiségben engedélyezett.

- **E330 – Citromsav:** Savanyúságot szabályozó anyagként alkalmazható, segít stabilizálni a pH-t, ezáltal javítja a tojássárgája emulziós tulajdonságait.
- **E331 – Nátrium-citrát:** Szintén pH-szabályozó, emellett kelátképző tulajdonságai révén stabilizálja a tojásban található fémionokat, megelőzve az oxidációt.
- **E415 – Xantángumi:** Sűrítő- és stabilizálóanyagként alkalmazható, különösen fagyasztott tojássárgájában, ahol segít megőrizni a homogén állagot.
- **E466 – Karboximetil-cellulóz (CMC):** Emulgeálószerként és sűrítőanyagként használható, javítja a tojássárgájale viszkozitását és fagyasztás utáni állagát.

Az adalékanyagok használatát minden esetben fel kell tüntetni a termék címkéjén.

A tojássárgájale csomagolása során kiemelt szempont a termék oxidációjának és mikrobiológiai szennyeződésének megelőzése. A leggyakrabban alkalmazott csomagolóanyagok közé tartoznak a polietilén (PE), polipropilén (PP) és PET alapú tasakok, tömlők, valamint műanyag palackok, amelyek jól bírják a hűtést és fagyasztást, és nem lépnek reakcióba a tojássárgájában található lipidekkel. A csomagolásnak légmentesen zárhatónak kell lennie, hogy megakadályozza a levegővel való érintkezést, amely oxidációhoz és minőségromláshoz vezethet. Emellett a csomagoláson fel kell tüntetni a termék származási helyét, a gyártási és lejárati dátumot, valamint a pasztörözés tényét, amely az élelmiszerbiztonság szempontjából elengedhetetlen (EEPA, 2022).

A tojássárgájale kiszerelese az ipari felhasználás céljaitól függően változhat. Nagyüzemi feldolgozás esetén jellemzően 1–5 literes tömlőkben vagy kannákban történik a tárolás, míg kisebb mennyiségű felhasználásra, például cukrászdákban vagy éttermekben, gyakran 250–500 ml-es egységekben kerül forgalomba. A kiszereles módja nemcsak a logisztikai szempontokat befolyásolja, hanem a termék minőségének megőrzését is, mivel a nagyobb egységek esetén a felbontás utáni tárolás során fokozottan fennáll a mikrobiológiai kockázat (Hidas, 2022).

A tojássárgájale tartósítása során a pasztörözés mellett gyakran alkalmaznak hűtést vagy fagyasztást. A fagyasztás során a tojássárgája szerkezete megváltozhat, különösen a lipoproteinek aggregációja miatt, amely gélesedéshez vezethet. Ennek megelőzésére a szakirodalom különféle krioprotektív anyagokat javasol, mint például a konyhasó vagy kristálycukor hozzáadása, amelyek stabilizálják az emulziós rendszert és javítják a fagyasztás utáni állományt. Ugyanakkor a sima tojássárgájale esetében, amely nem tartalmaz

adalékanyagokat, a fagyasztás során bekövetkező minőségromlás továbbra is kihívást jelent, ezért a hűtött tárolás (0–4 °C) az iparban elterjedtebb megoldás (Hidas, 2022)

#### ***2.4. A tojáslevek felhasználási területei***

A tojáslevek – beleértve a létojást, különválasztott tojásfehérjét, kristálycukrozott vagy konyhasózott tojássárgáját – számos élelmiszeripari alkalmazásban funkcionálisan előnyös alapanyagok számítanak. Elterjedésüket egyrészt a könnyű adagolhatóság, másrészt az a tény segítette elő, hogy ezek a termékek pasztörözhetőek, és a minőségi paramétereik (szín, szárazanyag-tartalom) célzottan beállíthatók. A kristálycukrozott tojássárgáját leggyakrabban sütőipari készítményekhez használják, míg a konyhasózott változat elsősorban majonéz és salátaöntetek előállításában terjedt el. A natúr tojássárgája kiválóan alkalmazható bébiételek vagy különféle tésztatermékek komponenseként. Az elmúlt években megjelentek a piacon olyan feldolgozott, főzött és fagyasztott tojás alapú termékek, mint például az omlett, a főtt tojás, amelyek kényelmi termékként szolgálják ki a vendéglátó- és élelmiszeripart. (Internet 5.)

#### ***2.5. Folyékony élelmiszerek fagyasztása***

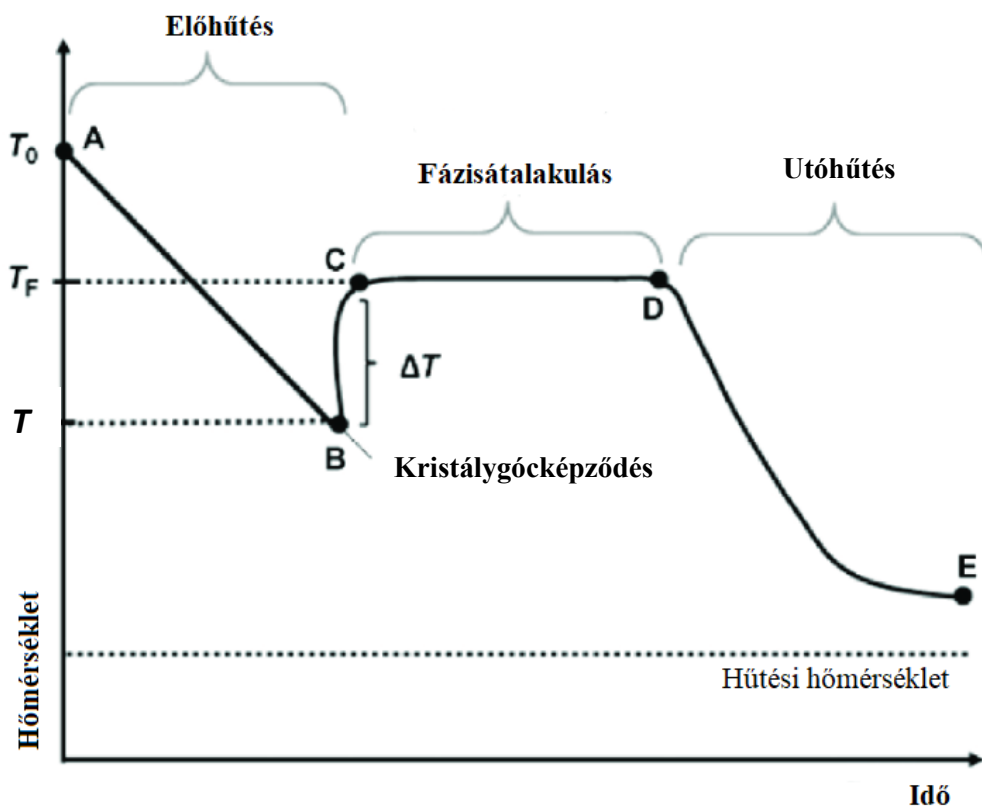
A fagyasztás folyamata 3 fő lépésre osztható, amelyet az **7. ábra** szemléltet. Az előhűtés, a fagyasztás/fázisátalakulás – kristálygócképződés és kristálynövekedés, és az utóhűtés (Parandi és munkatársai, 2022).

**Előhűtés:** A fagyasztási folyamat első lépéseként a termék előhűtése zajlik. A fagyási hőmérséklet elérése után a fázisátalakulás nem indul meg általában azonnal, további hűtés megy végbe, amit túlhűtésnek nevezünk. A jégkristályok kialakulása és az átalakulás csak akkor kezdődik el, ha a túlhűtés mértéke eléri egy bizonyos küszöbértéket. A hűtési sebesség megfelelő beállításával a jégkristályok mérete csökkenthető, ami kevesebb sejtkárosodást eredményez (Maekawa és munkatársai, 2021).

**Fázisátalakulás (Kristálygócképződés és kristálynövekedés):** Ebben a kritikus szakaszban, a túlhűtés egy bizonyos fokán hirtelen jégkristályképződés következik be, miközben a hőmérséklet gyorsan növekszik ( $\Delta T$ ) a termék látens hő leadásának következtében. A folyamat két részre osztható: jégkristályképződés, amikor az első „jégmagok” képződnek, és kristálynövekedés, amikor ezen magok növekednek. A gyors fagyasztás sok, apró jégkristályt eredményez, amelyek kevésbé károsítják a sejtszerkezetet; ellenkező esetben kevesebb,

azonban nagyobb jégkristály alakul ki. A kisebb kristályok kevésbé sértik a sejthártyát, ezáltal a felengedtetés során kevesebb lizált sejt jön létre. (Kiani és munkatársai, 2011)

**Utóhűtés:** A teljes fagyás után a termék hőmérsékletét tovább csökkentik, jellemzően  $-18\text{ °C}$  alá, aminek célja a stabil jégszerkezet kialakítása és a későbbi átkristályosodás minimalizálása. A stabil hőmérséklet csökkenti az ún. Ostwald érési folyamat hatását, amikor a kisebb jégkristályok felolvadnak és átkristályosodnak nagyobb egységekben, melyek roncsolják a termék textúráját. Ez megelőzi, hogy a tárolás során nagyobb jégkristályok alakuljanak ki, ami jelentős minőségromláshoz vezethet. (Park és munkatársai, 2015)



$T_0$ =termék kezdeti hőmérséklete;  $T_F$ =fagyási hőmérséklet;  $T_K$ = kristálygócképződési hőmérséklet;  
 $\Delta T$ =gyors hőmérséklet növekedés, látens hő; A= hűtési folyamat elkezdése; B=túlhűtött állapot,  
 első jégkristályok kialakulása; C=jégkristályok növekedése; D=érzékkelhető hő eltávolítása;  
 E=megfagyott, stabil termék állapota

**7. ábra:** Általános fagyási görbe (Otero, és munkatársai, 2016)

Oldatok esetén, mivel nem rendelkeznek szövetszerkezettel, így például a fehérjék nagyobb fizikai – kémiai hatásoknak vannak kitéve. A fagyasztás során az oldatban lévő víz

jégkristályokká alakul, ami koncentrálna az oldott anyagokat a megmaradó folyékony fázisban. Ez a koncentrációváltás, valamint a jégképződés mechanikai hatása destabilizálhatja a fehérjék szerkezetét, denaturációhoz, aggregációhoz vagy akár kicsapódáshoz vezethet. A fehérjék különösen érzékenyek a fagyasztás okozta stresszre, mivel másodlagos és harmadlagos szerkezetük hidrogénkötésekre, ionos kölcsönhatásokra és hidrofób kapcsolatokra épül. A fagyasztás során ezek a kölcsönhatások megbomolhatnak, ami a fehérje funkcióvesztését eredményezheti. Emellett a fagyasztás utáni felolvasztás során a fehérjék nem feltétlenül térnek vissza eredeti állapotukba, különösen, ha nem alkalmaztak megfelelő stabilizáló anyagokat, amelyek segítenek megőrizni a fehérjék szerkezetét a fagyasztás alatt (Chang és munkatársai, 1992).

### **2.5.1. A fagyasztás hatása a tojássárgájára**

A tojássárgája fagyasztása kiemelkedő jelentőséggel bír az élelmiszeripar számára, mivel lehetőséget teremt a szezonális készletek és előkészített termékek (pl. omlett, keménytojás) hosszú távú, stabil tárolására. Ugyanakkor a fagyasztási folyamat során jelentős szerkezeti átalakulások következnek be, mint például a gélesedés, valamint a makroszerkezeti változások, ideértve a viszkozitás növekedését és a szerkezeti aggregációt. A fagyás során kialakuló jégkristályok mechanikai hatásai károsíthatják a tojássárgája belső szerkezetét, különösen a kristálygöcképződés és kristálynövekedés révén, amelyek vízkiválást és lipoprotein aggregációt idéznek elő (Chi és munkatársai, 2024).

Chi és munkatársai (2024) továbbá rámutattak, hogy a fagyasztás során bekövetkező reológiai változások gyakorlatilag visszafordíthatatlanok: a viszkozitás akár tízszeresére is növekedhet, és a gélesedés – az anyag szilárd halmazállapot felé történő eltolódása – a felengedés után csak részben korrigálható. Ez a jelenség a tojássárgája funkcionális tulajdonságainak, például az emulziós stabilitásnak és a habképző képességnek a tartós romlásával jár. A gélesedés hátterében elsősorban a lipoproteinek és fehérjék közötti irreverzibilis aggregáció áll. A folyamat során a víz kötődési és diffúziós jellemzői is megváltoznak, ami a nedvességtartalom belső átrendeződését eredményezi: nő a mobil víz aránya a makrostruktúrában, különösen a kis pH-értékek mellett.

A fagyasztás hatásait több kutatócsoport is vizsgálta, és eredményeik egymást erősítve mutatják be a lipoprotein aggregáció központi szerepét. Sato és Aoki (1975) igazolták, hogy  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  alatt az LDL frakció mechanikai destabilizációja gélesedést idéz elő, amely szoros

összefüggést mutat a turbiditás és viszkozitás növekedésével – különösen pH 5–5,5 tartományban. Ezt az összefüggést megerősítette Wang és munkatársai (2021) vizsgálata is, amely kimutatta, hogy a fagyasztás során a tojássárgája lipoprotein komplexeinek aggregációja, a lipidfelszabadulás, valamint a részecskeméret közel háromszorosára történő növekedése áll a reológiai paraméterek ( $G'$  és viszkozitás) jelentős emelkedésének hátterében.

A lipoproteinek szerepét tovább részletezte Yuan és munkatársai (2025), akik a legújabb kutatásukban az LDL (low density lipoprotein) és HDL (high density lipoprotein) komponensek hatását vizsgálták a tojássárgája fagyasztás közbeni gélesedésére. A lipoprotein-koncentrációk változtatásával végzett fagyasztás-felengedtetés kísérletek során megállapították, hogy mind az LDL, mind a HDL növeli a tojássárgája látszólagos viszkozitását, amit a rugalmas és veszteségi modulusok ( $G'$  és  $G''$ ) emelkedése, valamint a  $\tan \delta$  értékének csökkenése is alátámasztott. Emellett kimutatták, hogy a lipoproteinszintek növekedésével a fizikailag rögzített víz aránya nő, míg a kémiaiilag kötött és szabad víz mennyisége csökken, ami arra utal, hogy ezek az összetevők aktívan befolyásolják a víz fázisátalakulását és eloszlását a fagyasztási folyamat során. Fluoreszcencia spektroszkópiás vizsgálatokkal igazolták a protein konformációjának változását (tirozin-expozíció), valamint mikroszkópos képeken aggregációs mintázatokat is megfigyeltek – mindez megerősíti, hogy az LDL és HDL közvetlenül hozzájárul a fagyott tojássárgája gélesedéséhez, különösen a HDL esetében, amely erőteljesebb hatást mutatott.

### ***2.5.2. A tojássárgája fagyasztás során bekövetkező gélesedésének gátlása fizikai módszerekkel***

**A fagyasztás sebességének szabályozása:** A gyorsfagyasztás az egyik leghatékonyabb fizikai technológia a tojássárgája szerkezeti integritásának megőrzésére. A módszer lényege, hogy a hőmérsékletet nagyon rövid idő alatt (pl. 30 percen belül) a fagyáspont alá csökkentik, jellemzően  $-30\text{ °C}$  és  $-40\text{ °C}$  közötti levegővel vagy kriogén hűtőközeggel (pl. folyékony nitrogén). A gyors hőmérséklet csökkenés következtében kis méretű jégkristályok alakulnak ki, amelyek kevésbé roncsolják a lipoprotein mátrixot, és nem okoznak jelentős vízkiválást a fagyás során. A Zhang és Ma (2024) által idézett vizsgálatok szerint a gyorsfagyasztással kezelt tojássárgájánál szignifikánsan alacsonyabb volt a viszkozitásnövekedés, és kevésbé jelentkező gélesedés a felengedés után, mint a hagyományosan ( $-18\text{ °C}$ -on, több órán át) fagyasztott minták esetében. Ezzel ellentétben Hidas (2022) kutatásában (kriogén fagyasztás, folyékony nitrogénnel) azt tapasztalta, hogy már az

első napon szignifikáns reológiai változás történt: a gélesedés mértéke nem csökkent, hanem fokozódott. Emellett csökkent a denaturálható fehérje mennyisége, világosodott a szín, és a tárolás során ezek a változások tovább erősödtek.

Ezzel szemben a lassú fagyasztás során nagyméretű, túszerű jégkristályok jönnek létre, amelyek mechanikusan deformálják a tojássárgája mátrixot, repedéseket és aggregációt okozva. Hidas (2022) kutatásában a tojássárgájale lassú fagyasztása hasonló tendenciákat mutatott, mint a kriogén eljárás: világosodás, gélesedés, reológiai paraméterek romlása. A fagyasztott tojássárgájából készült majonéz szilárdabb és viszkózusabb lett. A spektrofotométeres vizsgálatok megerősítették az aggregáció fokozódását. Összességében a fagyasztás jelentős minőségromlást okozott, így a technológiai alkalmazás során valamilyen kiegészítő kezelés szükséges a funkcionális tulajdonságok megőrzéséhez

**A túlhűlés szabályozása:** A túlhűlés egy olyan jelenség, amely során a folyadék hőmérséklete a fagyáspontja alá csökken anélkül, hogy azonnali jégképződés indulna meg. Ez az állapot kihasználható a tojássárgája strukturális stabilizálására, amennyiben a kristályképződés irányított módon indítható el például vibrációval, ultrahangos magindukcióval vagy nyomásváltással. Ennek technológiai jelentősége abban rejlik, hogy az első jégkristályok képződése döntően meghatározza a teljes rendszer kristályszerkezetét. Ha ez a folyamat kontrollálatlan, homogén körülmények között megy végbe, akkor egyenletes méretű és szerkezetű kristályok alakulnak ki, amelyek kevésbé károsítják a lipoprotein mátrixot. Ezt a módszert főként kutatólaboratóriumi körülmények között alkalmazzák, de már megjelentek ipari szintű fejlesztések is, például elektromágneses térrel támogatott szuperhűtési rendszerek, amelyek a tojás-alapú készítmények (pl. bébiételek vagy sütőipari alapok) minőségmegőrzésére szolgálnak (Yuan és munkatársai, 2025).

**Az utóhűtés szabályozása:** Az utóhűtés a teljes fagyás után történő hőmérséklet-stabilizálást – a jégkristály struktúra állandósítását szolgálja. Ennek során a már megfagyott tojássárgáját tovább hűtik  $-18\text{ °C}$  alá, hogy megelőzzék az átkristályosodást. Ez a jelenség – más néven Ostwald érés – akkor következik be, amikor a kisebb jégkristályok idővel összeolvadnak, nagyobb kristályokat alkotva, amelyek roncsolják a szöveti szerkezetet és elősegítik a gélesedést. Az utóhűtési szakasz különösen fontos a hosszú távú tárolás során, mivel a fagyasztott tojássárgája hőmérséklet ingadozásra érzékeny. A stabil alacsony hőmérsékleten tartás (optimálisan  $-20\text{ – }(-25\text{ °C})$ ) jelentősen csökkenti a szerkezeti degradáció kockázatát (Chi és munkatársai, 2024).

**Lemezes és kriogén fagyasztás kombinációja:** Az iparban gyakran alkalmazzák a lemezes fagyasztókat, amelyek közvetlen hőcserével, nagy hatékonysággal hűtik a tojástartályokat vagy tasakokat. A lemezes eljárás nagy előnye, hogy egyenletes hőelvonást biztosít, amelyet tovább lehet fokozni kriogén hűtőközegek (pl. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) alkalmazásával. E kombinált megközelítés tovább csökkenti a kristálynövekedést, gyorsítja a fagyasztást és mérsékli a tojássárgája szövetszerkezetének romlását. A legújabb kutatások (Ma és munkatársai, 2023) szerint a kriogén fagyasztás 30–40%-kal csökkenti a felengedés utáni viszkozitást a hagyományos módszerekhez képest, valamint javítja a gélstabilitást és az emulzióképző tulajdonságokat.

### ***2.5.3. Technológiai beavatkozások: előkezelés kristálycukorral, konyhasóval; pH-korrektió és fehérjevédelem***

A tojássárgája fagyasztása során jelentkező egyik legnagyobb kihívás tehát a gélesedés, amely a lipoprotein frakciók aggregációjával és a fehérjestruktúra részleges denaturációjával jár. E minőségromlás mérséklésére a technológiai gyakorlatban többféle beavatkozási lehetőség áll rendelkezésre. Ezek közül a leghatékonyabbnak bizonyultak a konyhasóval, illetve kristálycukorral történő előkezelés, a pH-beállítás semleges vagy enyhén lúgos tartományba, illetve a krioprotektív hatású anyagok alkalmazása a fehérjeszerkezet védelmére.

A Hidas és munkatársai (2021) által publikált vizsgálatban a fagyasztott-felengedett tojássárgájale gélesedésének mérséklésére több krioprotektív anyagot, köztük kristálycukrot is teszteltek különböző koncentrációkban. A kísérletekben 5%, 10% és 15% (m/m) szacharóz hozzáadását vizsgálták. Az eredmények szerint:

- 5% kristálycukor: mérsékelten csökkentette a viszkozitásnövekedést és a gélesedést, de a reológiai paraméterekben még jelentős változás maradt a kontrollhoz képest.
- 10% kristálycukor: már számottevően javította a felengedett tojássárgájale folyékonyságát, csökkentette a folyáshatárt és a konzisztencia-indexet, miközben az emulziós stabilitás is kedvezőbb maradt.
- 15% kristálycukor: a legerősebb krioprotektív hatást mutatta, a gélesedés szinte teljesen elmaradt, viszont az édes íz és a magas kristálycukortartalom miatt az ipari felhasználásnál receptúramódosításra lenne szükség.

Ezáltal arra a következtetésre jutottak, hogy a 10% körüli kristálycukorkoncentráció jó kompromisszum a technológiai védelem és az érzékszervi tulajdonságok között, mivel jelentősen mérsékli a fagyasztás okozta szerkezetromlást anélkül, hogy túlzottan megváltoztatná az ízt.

A konyhasó hozzáadása (tipikusan 5–10% NaCl) azért bizonyul hatékonynak, mert csökkenti a tojássárgájában található lipoproteinek vízmegkötő képességét, így azok kevésbé hajlamosak a fagyás során fellépő vízkiválás és aggregáció révén gélszerű rendszert alkotni. Ezzel párhuzamosan a konyhasó ozmotikus hatása révén mérsékli a jégkristály-növekedés intenzitását, valamint stabilizálja a víz-olaj emulziós rendszert, amely a tojássárgája alapvető szerkezeti jellemzője. Hidas és munkatársai (2021) kutatásukban a pH változtatásának hatását vizsgálták 5% NaCl hozzáadása mellett. A fagyasztás hatására minden minta pH-ja emelkedett, de a konyhasótartalmú minták pH-növekedése mérsékeltebb volt. A 5% NaCl + pH 6.0 vagy 6.3 kombináció jól megelőzte a nemkívánatos gélesedés kialakulását, és a reológiai értékek hasonlóak maradtak a friss tojássárgájáéhoz. A konyhasó tehát egyszerre befolyásolja a reológiai viselkedést, a vízdisztribúciót és az emulziós stabilitást is, ami kulcsfontosságú például majonéz- vagy tésztaalapú termékek esetében.

A pH-korrekciónak technikailag egyszerű, de tudományosan megalapozott beavatkozás, amellyel megakadályozható a tojássárgája túlzott savasodása, ami elősegítené a lipoproteinek aggregálódását. A kutatások szerint a pH 6,0–6,3 közötti tartomány biztosítja a legjobb kompromisszumot a fehérjék stabilitása és a mikrobiális szaporodás lassítása között (Chi és munkatársai, 2024). Ebben a tartományban az LDL és HDL frakciók konformációja kevésbé hajlamos a szerkezeti változásra, így a fagyás során kisebb a denaturáció és aggregáció kockázata. A pH beállításhoz jellemzően tejsavat, citromsavat vagy nátrium-hidroxidot használnak, a kiindulási kémhatás függvényében.

Az utóbbi években előtérbe kerültek a természetes krioprotektív hatású anyagok (**1. táblázat**), amelyek célja a fehérjeállomány védelme a fagyasztás alatt. Ide tartoznak például a kristálycukoralkoholok (pl. glicerin, szorbitol), amelyek csökkentik a jégkristályok méretét, valamint a kis molekulatömegű peptidok, amelyek stabilizálják a fehérje-lipid komplexeket és megakadályozzák azok összecsapódását. Ezek a komponensek a vízstruktúrát is befolyásolják, meggátolva a szabad víz jéggé alakulását. Ezen beavatkozások alkalmazása az ipari gyakorlatban több szempontból is kritikus: egyrészt segítik a funkcionális tulajdonságok megőrzését (emulzióstabilitás, szín, viszkozitás), másrészt jelentősen megnövelik a fagyasztva

tárolt tojássárgája felhasználási biztonságát és spektrumát. A konyhasó- és pH-kezelés, valamint a fehérjevédelem kombinációja tehát komplex, de jól szabályozható technológiai megoldást kínál a tojássárgája fagyasztás során fellépő szerkezeti és minőségi problémák mérséklésére.

**1. táblázat:** Krioprotektív hatású anyagok vizsgált koncentrációi

Krioprotektív hatású anyagok	Vizsgált koncentráció (m/m%)	Fő hatás a fagyasztás során	Megfigyelt előnyök	Hátrányok	Források
<b>Szorbitol</b>	5–10%	Vízmegekötés, lipoprotein aggregáció mérséklése	Csökkenti a viszkozitás-növekedést, javítja az emulziós stabilitást és a kiolvasztott állapotot	Magasabb koncentrációnál édes íz, receptmódosítás szükséges	Powrie és munkatársai, 1963; Cotterill & Funk, 1963
<b>Kristálycukor</b>	5–15%	Jégkristály-méret csökkentése, fehérje-víz kölcsönhatások stabilizálása	Mérsékli a géledést, javítja a folyékonyságot	>15%-nál túlzott édesség, ízváltozás	Hidas és munkatársai, 2021
<b>NaCl (étkezési konyhasó)</b>	5–10%	Ionikus kölcsönhatások módosítása, fehérjeszerkezet stabilizálása	Mérsékelt géledés csökkentés, ízprofil változtatása	Magasabb koncentrációnál sós íz, ozmotikus hatás	Hidas és munkatársai, 2021

#### **2.5.4. A tojássárgája enzimkezelési lehetőségei a fagyasztás során bekövetkező géledés megakadályozására**

Az enzimátikus kezelések (elsősorban a proteolitikus enzimek alkalmazása) egyre jelentősebb szerepet töltenek be a folyékony tojástermékek minőségének és funkcionális tulajdonságainak javításában. Az enzimkezelés elsődleges célja a tojássárgája összetevőinek

szelektív lebontása, melynek révén a késztermék viszkozitása csökkenthető, homogenitása javítható, valamint emulgeáló és habképző tulajdonságai optimalizálhatók. A proteázokkal történő célzott hidrolízis során keletkező peptidfrakciók a technológiai előnyökön túl bioaktív funkciókkal is rendelkezhetnek, például antioxidáns vagy antimikrobiális aktivitással, amely tovább növeli a tojáslé alkalmazhatóságát funkcionális és célzott élelmiszerekben (Lechevalier és munkatársai, 2011).

Az enzimek alkalmazásához szükséges paraméterek (pH, hőmérséklet, reakcióidő) precíz szabályozhatósága a korszerű feldolgozóüzemekben lehetővé teszi a kedvező hatások maximalizálását a fehérjék denaturációjának minimalizálása mellett. Mindez különösen fontos a fagyasztott, hosszú eltarthatóságú tojáslé esetében, ahol a termék stabilitása és funkcionalitása egyaránt elvárás. (Gautron és munkatársai, 2011).

A tojássárgája foszfolipidekben gazdag, ezek eltávolításával etanollal és hexánnal lipidmentes tojássárgája fehérje nyerhető, amely azonban az alkoholkezelés miatt denaturálódik, így funkcionális tulajdonságai (oldhatóság, hab- és emulzióképzés) romlanak. Bár a tojássárgája fehérje kiváló aminosav-összetételű és jól emészthető, a gyenge technológiai tulajdonságok korlátozzák felhasználását. A kontrollált enzimatis hidrolízis növelheti a fehérje oldhatóságát és javíthatja technofunkciós tulajdonságait, ezért Wang és Wang (2009) vizsgálatában két élelmiszeripari proteázzal (Alcalase®: bakteriális eredetű, széles specificitású proteáz, gyakran használt élelmiszer-fehérjék hidrolízisére; Neutrase®: semleges pH-tartományban működő, *Bacillus subtilis* eredetű proteáz), két hidrolízisfokon (3 és 6%) kezelték az etanollal denaturált tojássárgája fehérjét, majd mérték az oldhatóságot, az emulgeáló- és habképző képességet. A 6%-os fehérje hidrolízis mellett a fehérje oldhatósága jelentősen nőtt (>60%), az emulzióképző kapacitás és emulzióstabilitás is jelentős mértékben javult – olyan mértékben, hogy az emulzióképző kapacitás közel megkétszereződött a kontrollhoz képest. Ez az eredmény jól mutatja, hogy a kontrollált mértékű hidrolízis önmagában elegendő ahhoz, hogy a tojássárgája fehérjéi kiváló emulziós alapanyaggá váljanak.

A tojástermékek hőstabilitásának és reológiai viselkedésének javítása más terület. Az enzimatis hidrolízis során keletkezett peptidek növelik a fehérjék felületi aktivitását és flexibilitását, amelyek alapvető tényezők a folyadék állagának szabályozásában. Deng és munkatársai (2023) tanulmánya arra világított rá, hogy a konjac glükomannánnal kombinált enzimatis hidrolízis fokozza a térhálósodás hőmérsékletét (sol–gel átmenet), stabilabb habot és emulziót eredményez, ezáltal jobb reológiai tulajdonságokat mutat. Eredményük szerint a

megfelelő mértékű hidrolízis és adalékanyagok használata jelentősen csökkentheti a reológiai instabilitást, és jobb textúrát eredményez.

Az enzimátikus hidrolízis nemcsak a fizikális tulajdonságokat javítja, hanem biokémiai előnyöket is ad: specifikus peptidek képződése során antioxidáns és antimikrobiális aktivitás is megfigyelhető. Czelej és munkatársai (2023) vizsgálata szerint a zsírtalanított tojássárgája fehérjéinek emészthetősége és antioxidáns aktivitása nőtt az enzimátikus hidrolízis hatására. Ez a funkcionális előny különösen fontos az élelmiszeripari termékek élettartamának meghosszabbításában és bioaktív összetevők előállításában.

A tojássárgája elsődleges szerepe emulzióképző összetevőként jelentős az élelmiszeriparban (majonéz, öntetek, krémek). Általánosságban az enzimátikus kezelés során keletkező kisebb peptidek megnövelt felületi hidrofób-affinitással rendelkeznek, ami elősegíti a stabil emulziós film kialakulását. Fu és munkatársai. (2020) kettős enzimátikus (neutráz + tripszin) során kimutatták, hogy már 2,2 % fehérje hidrolízis mellett is javul az emulgeálási aktivitás 58,0 %-ra (kontroll: 24,2 %). A felületi feszültség csökkenése, valamint a keletkező emulziós rendszer jobb gázretenciós és térhálósodási képessége levegősebb, lazább szerkezetet eredményez, amely stabilabb emulzióhoz és kedvezőbb habszerkezethez vezet, ez ipari szempontból különösen előnyös például sütőipari termékek és dresszingek esetében.

### 3. Anyagok és módszerek

#### 3.1. Felhasznált anyagok

A vizsgálatokhoz pasztőrözött tojássárgájalevet használtam, amelyet különböző adalékanyagokkal kezeltem annak érdekében, hogy feltárjam ezek hatását a minta fizikai-kémiai tulajdonságaira. A pasztőrözött tojássárgájale (Capriovous Kft.) a termékspecifikációja (Internet 6.) alapján friss „A” osztályú tyúktojásból készül, a fehérje elválasztásával. 1 literes PET palackos kiszerelésben kaptam, melynek eltarthatósága 4 nap. A termék pH-ja 6,0 – 7,0 közötti, 26 g zsírt, illetve 13 g fehérjét tartalmaz 100 g termék.

A kísérletek során alkalmazott adalékanyagok a következők voltak: kereskedelmi forgalomban kapható kristálycukor (Koronás), konyhasó, szorbitol (Simply Pure Nutrition), valamint egy komplex Flavorpro™ 750MDP enzimekészítmény (Biocatalysts, Cardiff, Egyesült Királyság).

#### 3.2. Kísérlet menete

Az első fő lépés a kezeléshez szükséges megfelelő koncentrációk meghatározása volt. A kristálycukor és a konyhasó koncentrációját Hidas és munkatársai (2021) tanulmánya alapján választottam ki, amelyben kristálycukor esetén 10 m/m%-os, konyhasó esetén 6 m/m%-os kezelést határoztak meg, hiszen ezen koncentrációkkal kezelt minták reológiai tulajdonságai hasonlítottak a legjobban a kontroll, nem fagyasztott mintához. Továbbá Hidas (2022) értekezése szerint az aminopeptidáz aktivitású Flavorpro™ enzimekészítmény használatát 0,3 m/m%-ban határoztam meg.

Szorbitol esetén a megfelelő koncentráció meghatározásának érdekében előkísérletet végeztem, amelyet a 4.1. fejezetben mutatok be.


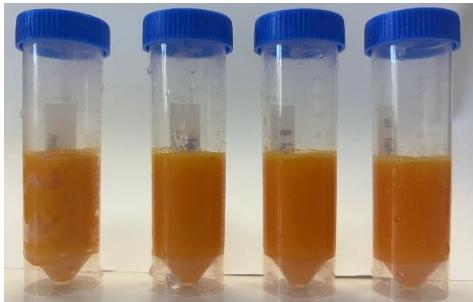
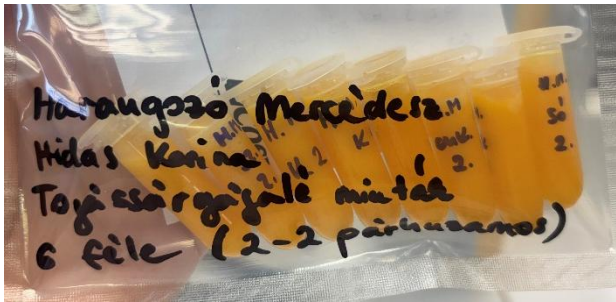
A minták előkészítése során minden adalékot külön-külön adagoltam a tojássárgájalevekhez, majd homogenizáltam őket. A pontos beverési arányt a **2. táblázatban** szemléltetem, továbbá az általam használt csomagolásokat a mérések és fagyasztás praktikussága értelmében, illetve melyik mérést miből végeztem.

Az enzimes kezelés esetén a csomagolás előtt 40°C-os vízfürdőben 2 óra hosszát hőkezeltam, az enzim működésének beindítása érdekében.

A homogenizálást követően a mintákat PA-PE (poliamid-polietilén) tasakokba töltöttem (90 µm: 20 µm PA + 70 µm PE; AMCO Kft., Budapest, Magyarország), majd fóliahegesztővel lezártam. A lassú fagyasztást -18°C-os laboratóriumi fagyasztószekrényben végeztem. A minták 7 napon keresztül -18°C-os fagyasztószekrényben voltak tárolva, majd tárolás után a lassú felengedtetés +4°C-os hűtőszekrényben 24 óra alatt történt meg.

A fagyasztás előtt, illetve felengedtetés után is a következő analitikai módszerekkel végeztem el a méréseket: spektrofotometriás turbiditásmérést a zavarosság változásának nyomon követésére, pH-mérést a sav-bázis viszonyok feltérképezésére, reológiai vizsgálatokat a viszkozitás és áramlási tulajdonságok meghatározására, valamint gélelektroforézist a fehérjeszerkezet esetleges változásainak kimutatására.

## 2. táblázat: Kísérleti előkészületek

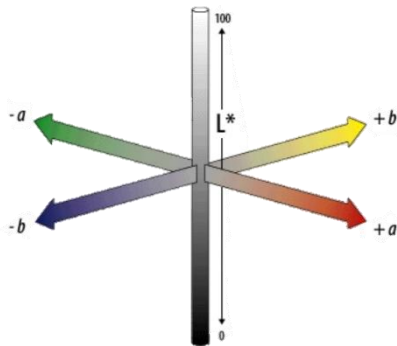
Bekeverési arány	Csomagolás	Miből mit mértem
Kristálycukor: 300 g 10 m/m%	Körülbelül 100 g vákuumfóliákban lezárva 	→ színmérés fólián keresztül → kibontás után pH mérés → reológia → turbiditás
Szorbitol: 300 g 10 m/m%	25 ml minták 	→ fotók készítése, látható tulajdonságok összehasonlítása
Konyhasó: 300 g 6 m/m%	2-2 ml minta 	→ gélelektroforézis

## 3.2. Módszerek

### 3.2.1. pH mérés

A fagyasztás előtt és után is vizsgáltam a pH-t. A mérésekhez Testo (Testo 206-pH2, Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Németország) pH-mérőt alkalmaztam. A műszert minden mérés megkezdése előtt kalibráltam, és az egyes minták pH-értékét három párhuzamos mérésben határoztam meg a mérési pontosság növelése érdekében.

### 3.2.2. Színmérés



**8. ábra:** A CIELAB színingertér  
(Maire és munkatársai, 2008)

A színmérés során reflexiós elven vizsgáltam, hogy a megvilágított minta milyen hullámhosszúságú fényt ver vissza. A méréseket Minolta CR-400 típusú (Konica Minolta, Japán) készülékkel végeztem. A műszer a visszavert fény arányait a CIE XYZ színrendszerben rögzíti, amelyből kiszámíthatók a CIELAB színingertér koordinátái (**8. ábra**). Ez a színtér közel egyenletes eloszlású, így lehetővé teszi olyan színkülönbségek számszerűsítését is, amelyek szabad szemmel alig vagy egyáltalán nem érzékelhetők (Maire és munkatársai, 2008).

A készülék gyártója által biztosított fehér etalon segítségével minden mérés előtt elvégeztem a kalibrálást. Mivel a mintám folyékony volt és vákuum tasakban tudtam a színét megmérni, ezért az etalon csempét is ugyanolyan tasakba húztam és azon keresztül végeztem a kalibrációt. A méréseket azonos fényviszonyok mellett, fehér asztalon, öt ismétlésben hajtottam végre. A CIELAB rendszer három fő paramétert határoz meg:

- **L\*** – világossági tényező, amely a visszavert fény százalékos arányát jelzi; minél magasabb az érték, annál világosabb a minta, míg a nullához közelítve egyre sötétebb.
- **a\*** – vörös–zöld szintényező; a negatív értékek a zöld, a pozitív értékek a vörös irányába tolódást jelzik.
- **b\*** – sárga–kék szintényező; a negatív értékek a kék, a pozitív értékek a sárga irányába mutatnak.

Mérésemben a friss kontroll mintához a kezelt mintákat, a friss kezelt mintákhoz az ugyanolyan kezelésen átesett mintákat, illetve a friss kontroll mintához a fagyasztás utáni kontroll és kezelt mintákat viszonyítottam. A színpontok közötti különbséget a következő képlettel számítottam:

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

ahol:  $\Delta E^*$  = színekülönbség,

$$\Delta L^* = L_1^* - L_2^*,$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_2^*,$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_2^*$$

(Dawson & Acton, 2018)

A számolt színpontok közötti különbségek a **3. táblázatban** látható értékek alapján az emberi szem által is érzékelhetőek.

**3. táblázat:** Emberi szem által érzékelt színekülönbség (Cserhalmi és munkatársai, 2006)

$\Delta E^*$ értéke	Érzékelt különbség
0 – 0,5	nem észrevehető
0,5 – 1,5	alig észrevehető
1,5 – 3,0	észrevehető
3,0 – 6,0	jól látható
6,0 –	magas

**3.2.3. Turbiditás mérése**

A friss, valamint a fagyasztott-felengedett minták turbiditását Wang és munkatársai (2020) módszere alapján határoztam meg. A mintákat 10 m/V%-os NaCl-oldatban oldottam fel 1:100 tömegarányban. A hígított minták abszorbanciáját U-2900 típusú spektrofotométerrel (Hitachi, Tokyo, Japán) mértem 660 nm hullámhosszon, 1 cm-es küvettában. Referenciaként 10 m/V%-os NaCl-oldat szolgált. Minden mintánál hat párhuzamos mérést végeztem a pontosság biztosítása érdekében.

### **3.2.4. Reológiai tulajdonságok vizsgálata**

A friss és fagyasztott minták reológiai tulajdonságait MCR 92 típusú reométerrel (Anton Paar, Graz, Ausztria) vizsgáltam. A méréseket rotációs üzemmódban, koncentrikus henger geometriai elrendezésű mérőrendszerrel végeztem, amelynek paraméterei a következők: edény átmérője 28,920 mm, henger átmérője 26,651 mm, henger hossza 40,003 mm, aktív mérési hossz 120,2 mm, pozícionálási magasság 72,5 mm, valamint a minták térfogata 25 ml volt.

A berendezés vezérlését az Anton Paar RheoCompass szoftverrel hajtottam végre. A vizsgálatok során először növekvő, majd csökkenő nyírási sebesség mellett mértem a nyírófeszültséget, 1 és 1000 1/s közötti tartományban. Mindkét szakaszban 31-31 mérési pontot rögzítettem. A méréseimet 20 °C-on végeztem.

A kapott adatok alapján folyásgörbéket készítettem, amelyek a nyírási sebesség függvényében ábrázolják a nyírófeszültség értékeket, valamint viszkozitásgörbéket, amelyek a látszólagos viszkozitás alakulását mutatják ugyanebben a tartományban. A folyásgörbék kiértékeléséhez a Herschel–Bulkley modellt alkalmaztam Atilgan és Unluturk (2008) módszertani ajánlásai alapján. A modell illesztését a Microsoft Excel 365 Solver bővítményével végeztem, a legkisebb négyzetek összege elvén alapuló optimalizálással, ahol  $\tau_0$ ,  $K$  és  $n$  paraméterek változóként szerepeltek. Minden mintára három párhuzamos mérést végeztem.

$$\text{Herschel–Bulkley modell: } \tau = \tau_0 + K \left( \frac{dy}{dt} \right)^n,$$

Ahol  $\tau$  a nyírófeszültség (Pa),  $\tau_0$ : folyáshatár (Pa),  $K$ : konzisztencia koefficiens (Pa·s<sup>n</sup>),  $dy/dt$  a nyírási sebesség (1/s) és  $n$  a folyásindex (Newtoni folyadékok esetében  $n=1$ ) (Figura és Teixeira 2007).

### **3.2.5. Nátrium-dodecil szulfát gélelektroforézis (SDS-PAGE, Sodium Dodecyl Sulphate-Polyacrylamide Gel Electrophoresis)**

Nátrium-dodecil-szulfát-poliakrilamid gélelektroforézis (SDS-PAGE) módszert alkalmaztam a tojássárgájale minták molekulatömeg szerinti fehérje-eloszlásának meghatározására. Vizsgáltam a különböző technológiai kezelés (konyhasó, enzim, kristálycukor, szorbitol) mátrix hatását a fehérje-eloszlás változására vonatkozóan. Erre a célra vertikális gélelektroforézis rendszert (Bio-Rad Mini Protean 3 Cell) alkalmaztam. BioRad power PAC1000 feszültségadó egység segítségével a beállított paraméterek a következők

voltak: U= 200 V konstans; I=54 mA, P=11W, futtatás idő =60 perc). A vertikális gélelektroforézis során az akrilamid és bisz akrilamid tartalmú futtatógél és a gyűjtógél koncentrációja 15%, illetve 6% volt (Laemmli, 1970) (4. táblázat).

4. táblázat: Gélek összetétele

Gélek (0,75 mm) összetétele	Futtató gél	Gyűjtógél
	15%gél (2 db gélre)	6%gél (2 db gélre)
A-oldat: 30% Acrylamide/Bis Solution, 29:1, 500 ml BioRad 1610156 (Hűtőben tárolandó!)	4 ml	1 ml
B-oldat: Tris (6,05g)/ 25 ml DV (pH 10.00)→ pH 8,8 (1,5 M Tris-HCl-nek felel meg) (Hűtőben tárolandó!)	1,8 ml	-
C-oldat: 10% SDS (5g /50 ml DV) (0,347M-nak felel meg) (NEM-hűtős, mert kikristályosodik!)	50 µl	55 µl
E-oldat: Tris 0,5M (1,31g/20ml DV) pH 6,8 (0,5 M Tris-HCl-nek felel meg) (Hűtőben tárolandó!)	-	0,66 ml
Desztillált víz	2,06 ml	3,2 ml
TEMED	6 µl	6 µl
10% ammónium-perszulfát (100 mg /1 ml desztillált víz)→Mindig frissen/naponta! (0,44M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> -nak felel meg)	50 µl	50 µl

A mintaelőkészítés során 500 mg mintát 10 ml hideg hexánban összeráztam, majd a mintát 15 percig hagytam állni a hexánban, amelyet néha felráztam. Ezután szűrőpapírra öntöttem az oldatot, majd 70 ml hexános (7 ismétlés x 10 ml) atmoszával tovább zsirtalanítottam. A többlépcsős zsirtalanítás után a szűrőpapíron lévő oldószernyomokat elpárologtattam. A minták hígítását 10% 2-beta-merkaptóetanolt tartalmazó Laemmli-féle 2x mintaoldó pufferrel (BioRad) végeztem (2 mg minta /300 µl), majd 5 percig forraltam. A gél zsebeit feltöltöttem először futtató-pufferrel (0,025 M Tris + 0,0035 M SDS + 0,193 M glicin), majd a mintákat a zsebekbe pipettáztam (6-6 µl/zseb). Az elektroforézis befejezése után a szeparált fehérjéket 20 percig fixáltam 20% triklór-ecetsav (TCA) oldatban. A maradék TCA oldat eltávolításához háromszor 15 percig ráztam a géleket PAGE-mosó/differenciáló oldatban (850 ml desztillált víz + 50 ml 96% ecetsav + 100 ml 96% etanol). Ezután 15 percig, 25 °C-on Coomassie Brilliant Blue R-250 festékoldatban (0,2 g Coomassie Brilliant Blue R-250 + 10 ml 96% ecetsav + 50ml 96% etil-alkohol + 50ml desztillált víz) ráztam a gél, majd 10% ecetsav-oldattal távolítottam el a háttérben maradt felesleges festéket. A gélek kiértékelése BIO-RAD Gel Doc 2000 rendszerrel történt.

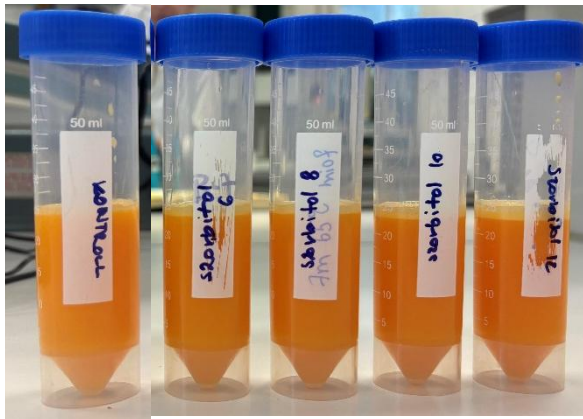
### ***3.2.6. Statisztikai elemzés***

A statisztikai elemzéseket minden mérési sorozat esetében az IBM SPSS Statistics 29.0 verziószámú szoftverrel végeztem, 5%-os szignifikancia szint alkalmazásával ( $p < 0,05$ ). Az adatok statisztikai értékeléséhez egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztam. A normalitást Shapiro–Wilk teszttel, míg a szóráshomogenitás vizsgálatát Levene’s teszttel ellenőriztem. Amennyiben az Levene’s teszt alapján teljesült a szóráshomogenitás, a csoportok közötti különbségek feltárását Tukey HSD teszttel, míg nem teljesülés esetén Games–Howell teszttel végeztem. A dolgozatban bemutatott oszlopdiagramokon az átlagértékeket jelenítettem meg, a szórásokat pedig hibasávokkal tüntettem fel. Az ábrákon szereplő eltérő kisbetűk statisztikailag szignifikáns különbséget jelölnek az egyes csoportok között ( $p < 0,05$ ).

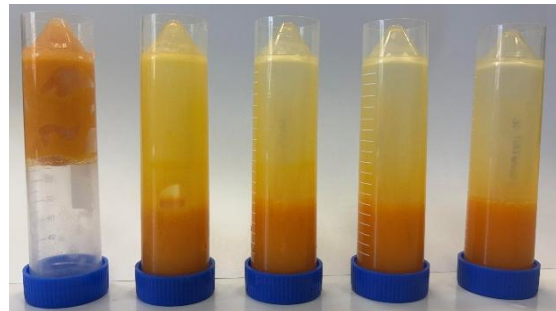
## 4. Eredmények és értékelésük

### 4.1. A szorbitol koncentráció meghatározása - előkísérlet

A szorbitol esetében a szakirodalmi adatok alapján nem volt egyértelmű melyik koncentráció akadályozza meg legjobban a gélesedést a tojássárgája esetében. Ennek érdekében készítettem egy előkísérletet, amelyben a megfelelő szorbitol koncentrációt szerettem volna beállítani, így 8, 10, 12 m/m%-os koncentrációt vizsgáltam (9. ábra).



**9. ábra:** kontroll (kezeletlen tojássárgájálé), illetve sorrendben 6, 8, 10, 12 m/m%-os szorbitollal kezelt tojássárgájálé fagyasztás előtt (Forrás: saját fénykép)



**10. ábra:** kontroll (kezeletlen tojássárgájálé), illetve sorrendben 6, 8, 10, 12 m/m%-os szorbitollal kezelt tojássárgájálé fagyasztás és felengedtetés után (Forrás: saját fénykép)

A 10. ábrán látható, hogy ez a kezelés sikeresnek mondható, fagyasztás után a kontroll mintához képest jobban megtartották a friss mintára jellemző állományukat a kezelt minták. A 6, illetve 8 m/m%-os minták még géles állományúak voltak, a 10 m/m%-os sokkal könnyebben folyt és jobban elvált az edény falától. A 12 m/m%-os minta vált el a leggyorsabban az edény falától, azonban Su és munkatársai (2022) is leírták, hogy a 12 m/m%-os minta esetén már jelentős ízbeli változás történik. Funkcionalitását tekintve a 10 m/m%-os eredményt fogadtam el, hiszen tulajdonságait már közel egyezőnek találtam a friss tojássárgájálével, így a kísérlet további részében ezzel a 10 %-kal dolgoztam tovább.

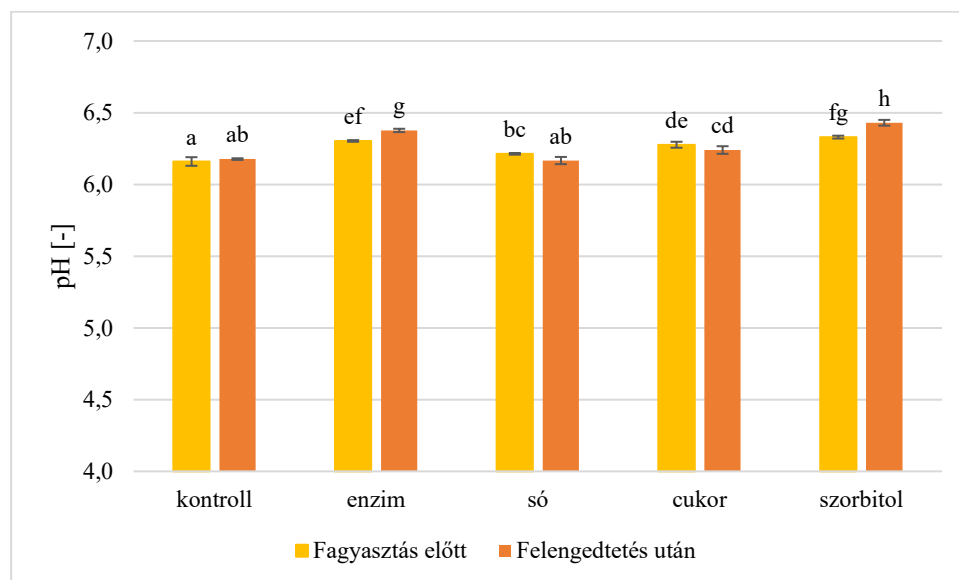
### 4.2. A pH mérések eredményei

A különböző kezelések, illetve a fagyasztás befolyásolhatja a pH-t, ezért a fagyasztás előtt, illetve utána is pH mérést végeztem. Az eredményeket a 11. ábra mutatja be.

A kontroll tojássárgájale pH-ja 6,1 és 6,2 közé esett a fagyasztás előtt és felengedtetés után is, ez az érték megfelelt a gyártó termékspecifikációjának, ahol 6,0 – 7,0 értéket adtak meg (Internet 6.). A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy valamennyi alkalmazott kezelés a fagyasztást megelőzően a tojássárgája pH-értékét a semleges tartomány irányába toltta el. A legkisebb mértékű változást a konyhasó alkalmazása eredményezte, míg a kristálycukor ennél kifejezettebb hatást mutatott. A legnagyobb pH-emelkedést a szorbitollal és az enzimes kezeléssel előkészített minták esetében tapasztaltam. Habár ezek a változások szignifikánsak, mégsem jelentősek. Az enzimek specifikus fehérje- vagy lipidbontó aktivitással rendelkeznek, ami szerkezeti átalakulást idéz elő, és lúgos melléktermékek keletkezhetnek.

A felengedtetést követően a pH-értékek alakulása kezelésenként eltérő tendenciát mutatott. A kontrollminták, konyhasós és kristálycukros kezelés esetén a fagyasztás nem változtatta meg szignifikánsan a pH értékeket. Az enzimes és szorbitolos kezelések esetében további pH-emelkedés volt megfigyelhető, ami az enzimkezelés esetén az enzimaktivitás fennmaradásával, és a fehérjék további lebontásával magyarázható (Hidas, 2022).

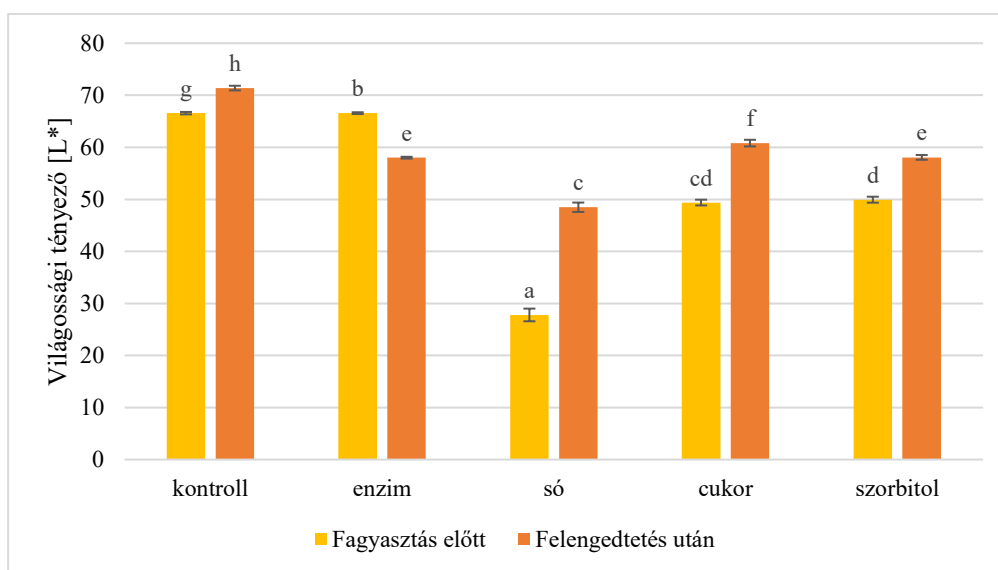
Fogyaszthatósági, vagy minőségmegőrzési idő szempontjából a kezelés hatására semleges tartomány felé való eltolódás nem előnyös, viszont a különböző kezelésekkel gátló hatást érhetünk el a romlás szempontjából releváns mikroorganizmusokra nézve.



**11. ábra:** A kontroll (kezeletlen), illetve a különböző krioprotektív hatású anyagokkal kezelt tojássárgájale pH-ja fagyasztás előtt és felengedtetés után. (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

### 4.3. A színérés eredményei

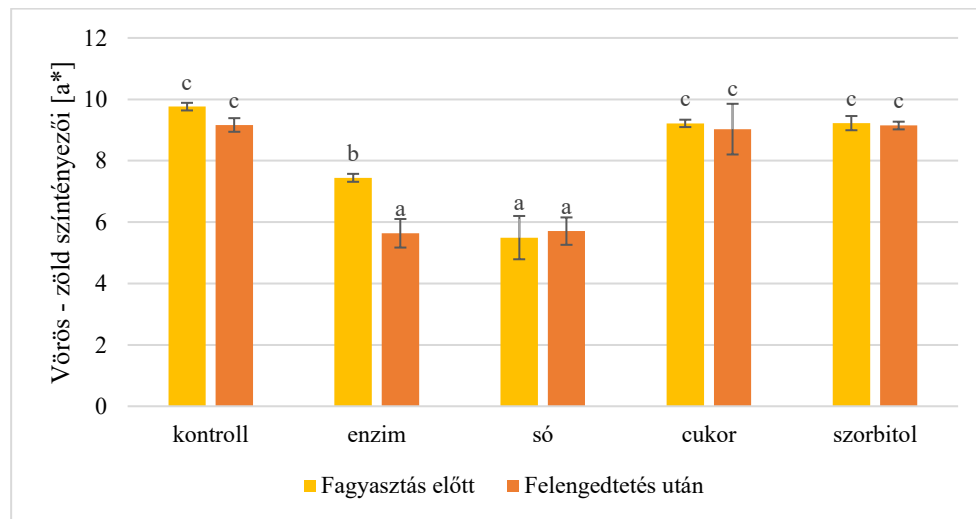
A különböző adalékanyagokkal való kezelések, illetve maga a fagyasztás is befolyásolja a minták színét. Ezen változás feltérképezése érdekében végeztem színmérést a kontroll, illetve kezelt mintákon is, fagyasztás előtt és felengedtetés után is. A világossági tényező vizsgálatokor a **12. ábra** szerinti értékeket kaptam fagyasztás előtt és felengedtetés után. A kontroll minta esetén mértem a legmagasabb értéket, ami a legvilágosabbat jelentette. Látszik, hogy a fagyasztás után még világosabb lett a kontroll minta, amit a **18. ábrán** is látunk, ez fakóbb színt is eredményezett. Különböző kezelések hatására szignifikáns változás történt, legnagyobb mértékben a konyhasós kezelés sötétítette a mintát fagyasztást megelőzően. Fagyasztás után a legtöbb esetben szignifikánsan világosodtak a minták, kivételt képez az enzimes kezelés. A minták világossági tényezőjének növekedése feltehetően annak tudható be, hogy a fagyasztás hatására az LDL molekulák aggregálódnak, ami a fény szóródásának megváltozását és ezáltal világosabb megjelenést eredményez (Eunice és munkatársai, 1995). A friss, kezeletlen mintától mindegyik világossági tényező szignifikánsan eltér, azonban fagyasztott minták közül a szorbitollal kezelt minta áll legközelebb, a **18. ábrán** is ez látható.



**12. ábra:** A kontroll (kezeletlen) és a különböző kriptektív hatású anyagokkal kezelt minták fagyasztás előtt és felengedtetés után mért világossági tényezői (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

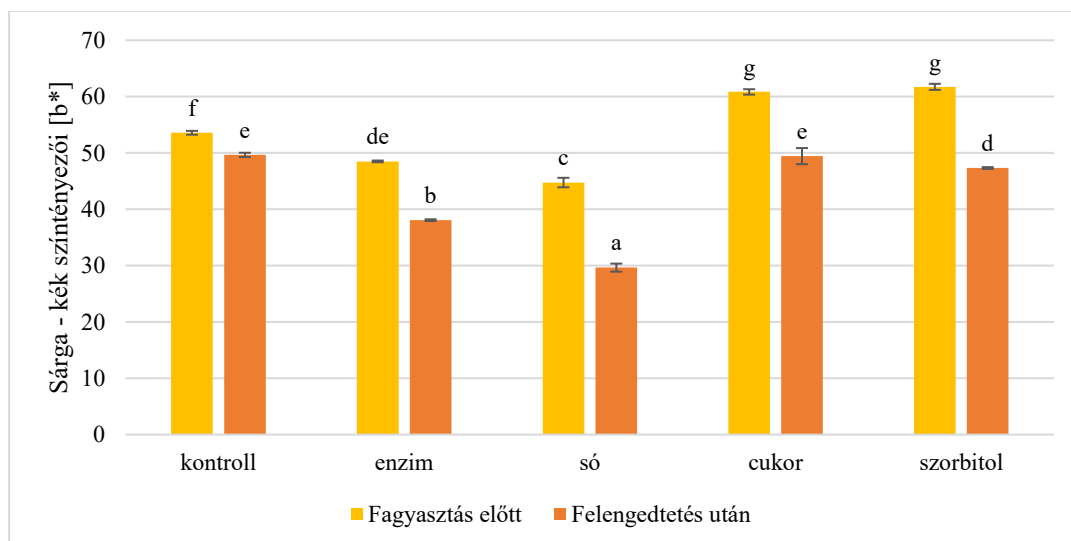
A vörös – zöld szintényező vizsgálata esetén minden esetben pozitív tartományban maradt az érték, tehát a vörös szín dominált, amit a **13. ábra** szemléltet. A friss, kezeletlen

tojássárgájához képest az enzim, illetve a konyhasós kezelés mutat szignifikáns eltérést. A kristálycukorral és szorbitollal kezelt minták nem mutatnak különbséget fagyasztás előtt és felengedtetés után sem, se a kontroll mintához képest, se a kezelt, fagyasztás előtti önmagukhoz képest. A konyhasóval kezelt minta ugyan szignifikánsan eltért már a fagyasztás előtt is, azonban a színtényező stabilitása fagyasztás során fennáll. Ezzel ellentétben az enzim kezelés esetén nem stabilizálódott a szín és a fagyasztás után szignifikánsan eltér az érték.



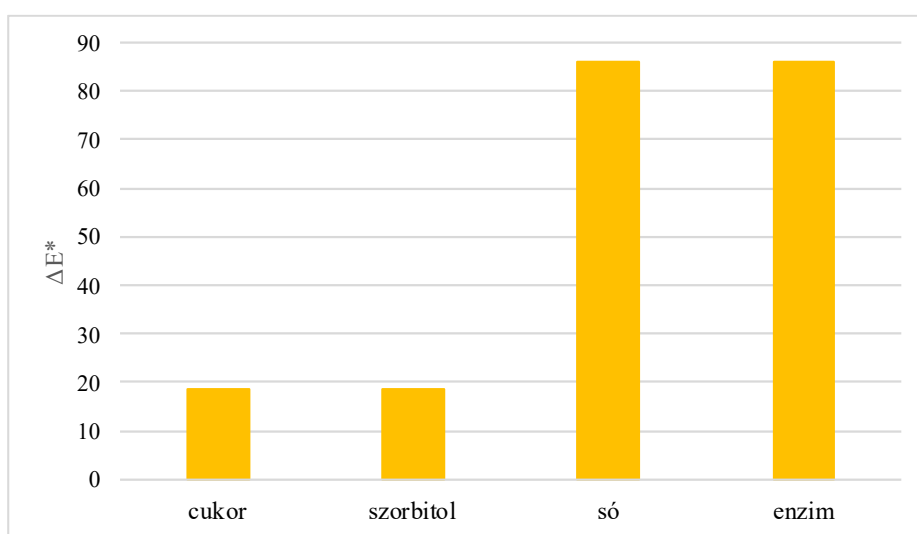
**13. ábra:** A kontroll (kezeletlen) és a különböző kriprotektív hatású anyagokkal kezelt minták fagyasztás előtt és felengedtetés után mért vörös – zöld színtényezői (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

A tojássárgája színét leginkább a nagy mennyiségben lévő karotinoidok adják, aminek természetesen sárga színű van. Ebből adódóan várjuk, hogy a sárga – kék színezet esetén inkább a sárga szín domináljon. Ezen paraméter mérésének értékei oszlopdiagrammal való szemléltetése látható a **14. ábrán**. A friss, kontroll tojássárgájához képest a kristálycukorral és szorbitollal kezelt minták fagyasztás előtt szignifikánsan sárgábbak voltak. A sárga színtényező a fagyasztás hatására elveszti stabilitását, a friss, kontroll tojássárgájához képest mindegyik minta fagyasztás utáni értéke szignifikánsan kisebb, azaz kevésbé sárga. Minden esetben a fagyasztás előtti és a felengedtetés utáni minták is szignifikánsan kisebbek, tehát fagyasztás hatására az oxidációra érzékeny karotinoidok koncentráció és színtabilizációja csökken. Amit alátámaszt Delia kézikönyve (2001), amelyben különböző analitikai módszerekkel méri a pigmentek stabilitását és kiemeli, hogy a zsírdékony karotinoidok oxidációra és izomerizációra hajlamosak, főleg amennyiben a sejtszerkezet sérül, ami a fagyasztás során bekövetkezik.



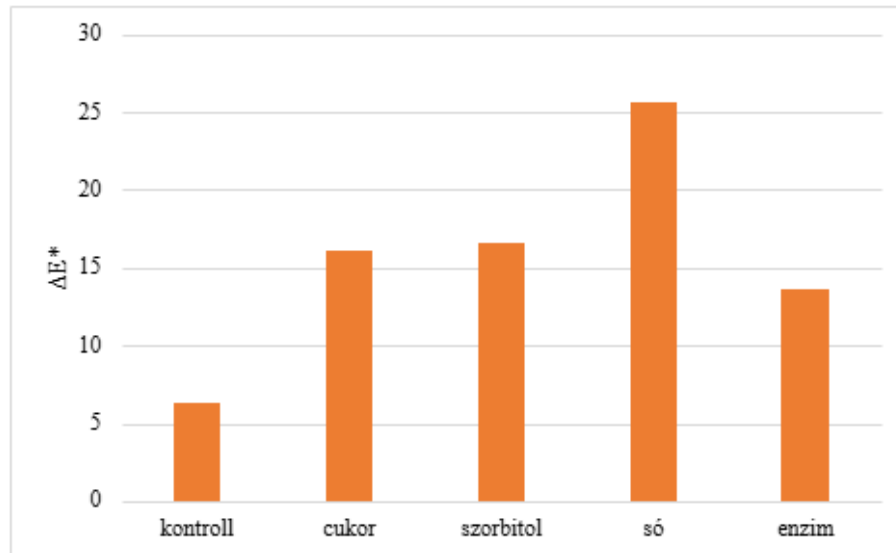
**14. ábra:** A kontroll (kezeletlen) és a különböző kriprotektív hatású anyagokkal kezelt minták fagyasztás előtt és felengedtetés után mért sárga – kék színtényezői (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

A számolt színkülönbségek az emberi szem számára látható színkülönbség értékeit határozzák meg. A **15. ábrán** láthatjuk a még fagyasztás előtt álló, kezelt minták látható színkülönbségét a kontroll mintához képest. Mindegyik érték a „magas” érzékelt különbségbe tartozik. A kristálycukros és szorbitolos kezelés esetén kisebbek az értékek, viszont közel azonosak, azaz kevésbé eltérőek a kontrollhoz képest, ezáltal kevésbé érzekelhetőek. Azonban a konyhasós és enzimes kezelések színkülönbségei ugyanúgy egymáshoz hasonlóak, viszont magasabb értékeket vesznek fel, hiszen nagyobb az eltérés a kontrollhoz képest, amit a **18. ábra** is szemléltet.



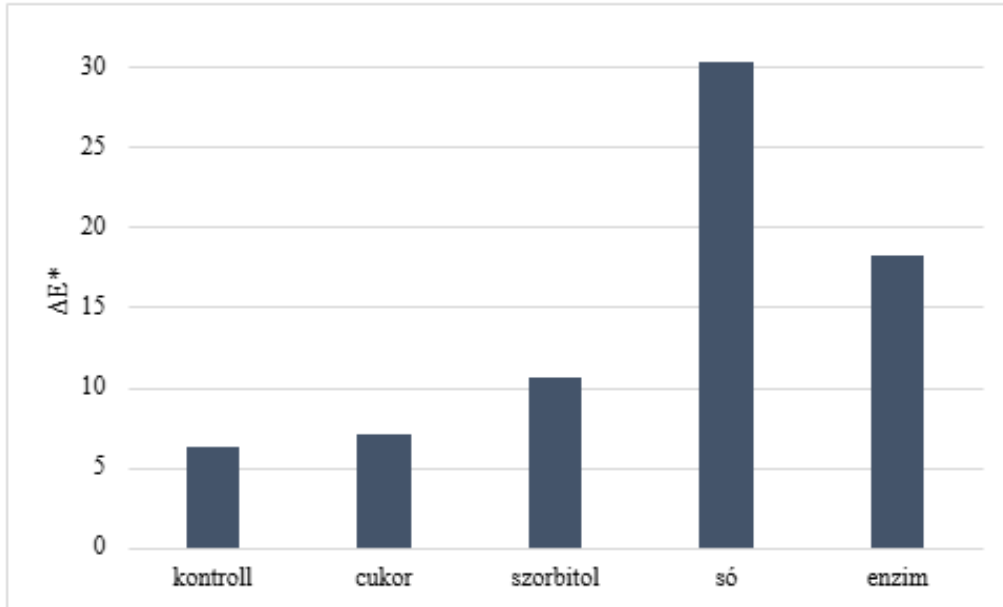
**15. ábra:** A különböző kriprotektív hatású anyagokkal kezelt minták színkülönbsége a kontroll mintához képest fagyasztás előtt (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

**16. ábrán** látható színekülönbségek a fagyasztás előtti és felengedtetés utáni kezeletlen, illetve azonos kriprotektív anyagokkal kezelt tojássárgájalevek számolt értékeit ábrázolják. A kontroll minta esetén a határértéken van, ami a „jól látható” érzékelt különbség, még a többi pedig a „magas” érzékelt különbség tartományba került.



**16. ábra:** Számolt színekülönbségek a kontroll (kezeletlen), illetve az azonos kriprotektív anyagokkal való kezeléseket fagyasztás előtti és felengedtetés utáni állapotukban (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

A **17. ábra** a fagyasztás előtti kontroll mintához képest hasonlítja az összes fagyasztás utáni mintát. Céлом volt, hogy ezek minél kisebb értékek legyenek, hiszen abban az esetben nem tudná a fogyasztó megkülönböztetni a friss tojássárgájától a kezelt, fagyasztott tojássárgáját. Ebben az esetben is a kontroll minta a „jól érzékelt”, még a többi a „magas” tartományba került. A kezeletlen tojássárgája fagyasztás után fakóbb lesz, és látjuk, hogy a fogyasztók a minél mélyebb narancssárga színt hozzák összefüggésbe a minőséggel. Ebből kifolyólag, még ha a szín változik is, akkor is az intenzívebb narancssárga színt tudjuk elfogadni, ami kedvező érzékszervi benyomást kelt, különösen olyan termékek esetében, mint a dresszingekek vagy piskóták, ahol a szín közvetlenül befolyásolja a fogyasztói megítélést. Mindegyik kezelt minta esetén narancssárgább színű lett a minta a kontrollhoz képest.



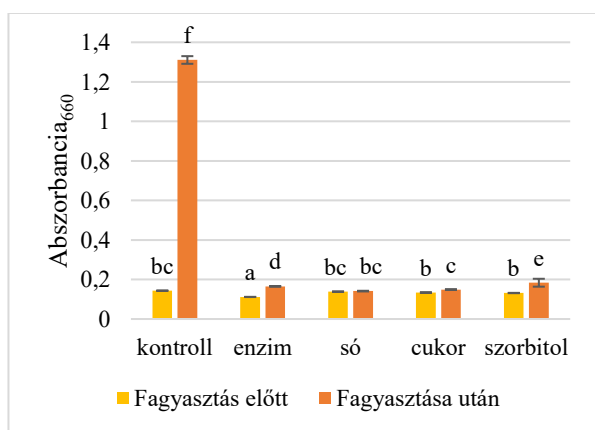
**17. ábra:** Számolt színelkülbségek a felengedtetés utáni kontroll (kezeletlen), illetve kriprotektív hatású anyagokkal kezelt minták a friss, kontroll (kezeletlen) mintához viszonyítva (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)



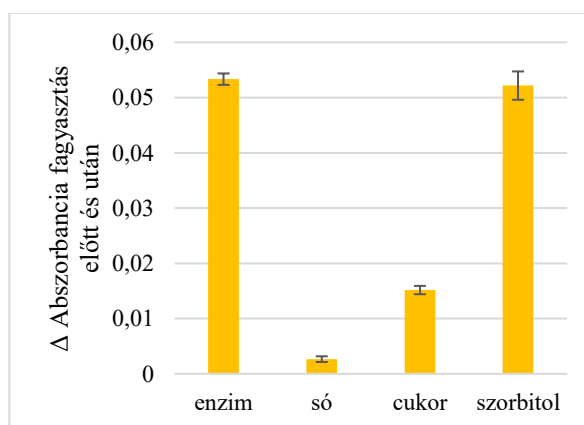
**18. ábra:** A fenti képen a fagyasztás előtti, az alsón pedig felengedtetés után láthatóak a minták (Forrás: saját fénykép)

#### 4.4. A tojássárgájalevek turbiditásának vizsgálata

A tojássárgája fagyás során bekövetkező szerkezeti károsodása nyomon követhető a turbiditás vizsgálatával. A turbiditás vizsgálatokor a minták zavarosságát állapítottam meg, amiből szakirodalmi adatok alapján következtetni tudtam a minták emulzióképző tulajdonságaira, mert amikor a turbiditás értéke nagyobb, az emulzió képző tulajdonság rosszabb. Az UV–VIS spektroszkópia segítségével mérhető optikai denzitás értéke jól tükrözi a tojássárgájában lejároló aggregációs folyamatokat, mivel a fagyás hatására megváltozó részecskeméret és eloszlás befolyásolja a fényelnyelést (Wang és munkatársai, 2020; De Souza és munkatársai, 2009). A mért eredményeket a **19. ábra** mutatja, azonban mivel a kontroll minta esetén az eltérés fagyasztás előtt, illetve felengedtetés után kiugró, ezért a **20. ábrán** a kezelt minták fagyasztás előtti és felengedtetés utáni értékeinek differenciáját jelöltem eltérő nagyságrendű tengely osztásközzel. Fagyasztás előtt mindegyik kezelt minta hasonló, mint a kontroll, kivétel az enzimes kezelés, ahol szignifikánsan kisebb eredmény jött ki. A fagyasztás nagyon erősen befolyásolja a kontroll mintát, felengedtetés után rossz emulzió képző tulajdonsággal rendelkezik. Ezzel szemben a kezelt minták eredményei kevésbé térnek el, tehát a kezelések csökkentik az aggregáció mértékét. Legjobban a konyhasós és a kristálycukros kezelés hatott, hiszen nem térnek el szignifikánsan a friss, kontroll mintától, azaz ez hasonlít a legjobban hozzá. A felengedtetés utáni enzimes és szorbitolos kezelésű minták szignifikánsan eltérnek a friss kontroll mintától, illetve a fagyasztás előtti, azonos kezelésű mintáktól is, de a mérték még így is sokkal kisebb, mint a friss és fagyasztott kontroll minta eltérése.



**19. ábra:** 660 nm-en mért optikai denzitás fagyasztás előtt és felengedtetés után a kontroll és kezelt mintákon (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

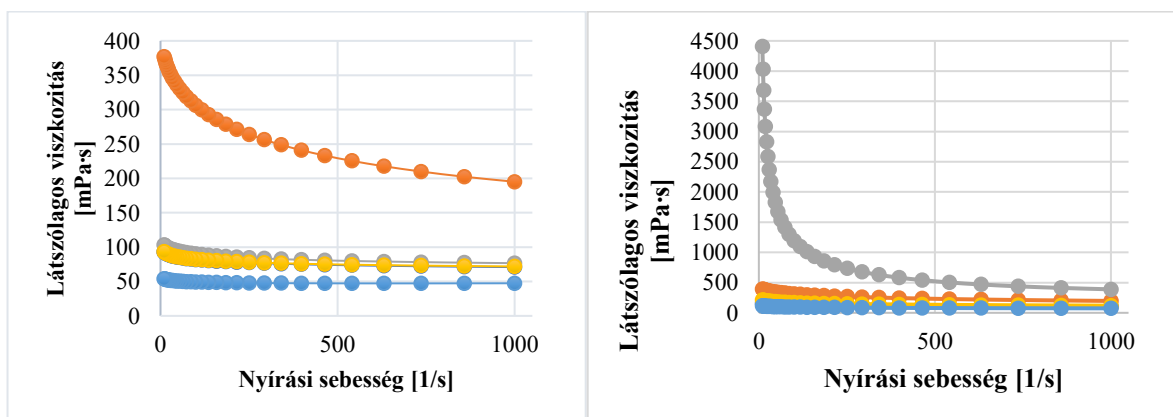


**20. ábra:** 660 nm-en mért optikai denzitás változásának értéke fagyasztás előtt és felengedtetés után a kezelt mintákon (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

#### 4.5. A tojássárgájalevek reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A reológia az anyagok mechanikai viselkedésének tudományával foglalkozik, különös tekintettel arra, hogy az anyagok hogyan deformálódnak és folynak külső erőhatásra. Olyan anyagokat is vizsgál, amelyek viselkedése nem illeszkedik az ideális modellekhez. Ilyen például a nem-Newtoni viselkedéssel rendelkező tojássárgájalevél, melynek viszkozitása nem állandó, hanem függ a nyírósebességtől. A **21. ábrán** megfigyelhető, hogy a tojássárgája a nem-Newtoni folyadékok közé tartozik, és pszeudoplasztikus áramlási viselkedést mutat, amelyre jellemző, hogy a viszkozitása a nyírósebesség növekedésével csökken. Ez a tulajdonság konvex alakú folyásgörbében jelenik meg, amely jól szemlélteti az anyag nyírásra híguló jellegét, amit majd a **22. ábrán** mutatok be (Severa et al., 2010). Mindegyik minta esetén látható, hogy kezdetben nagyobb a látszólagos viszkozitás, a nyírás csökkenti a molekula összetartó erőt, így a folyamat során a látszólagos viszkozitás is csökken. A konyhasós kezelés növelte a látszólagos viszkozitást a legnagyobb mértékben. Fagyasztás előtt a szorbitolos és a kristálycukros kezelésű minta úgy viselkedik, mint a kontroll minta. Az enzim kezelés látszólagos viszkozitás csökkenést eredményezett, ami a fehérje hidrolíziséből adódhat (Damrongsakkul és munkatársai, 2008).

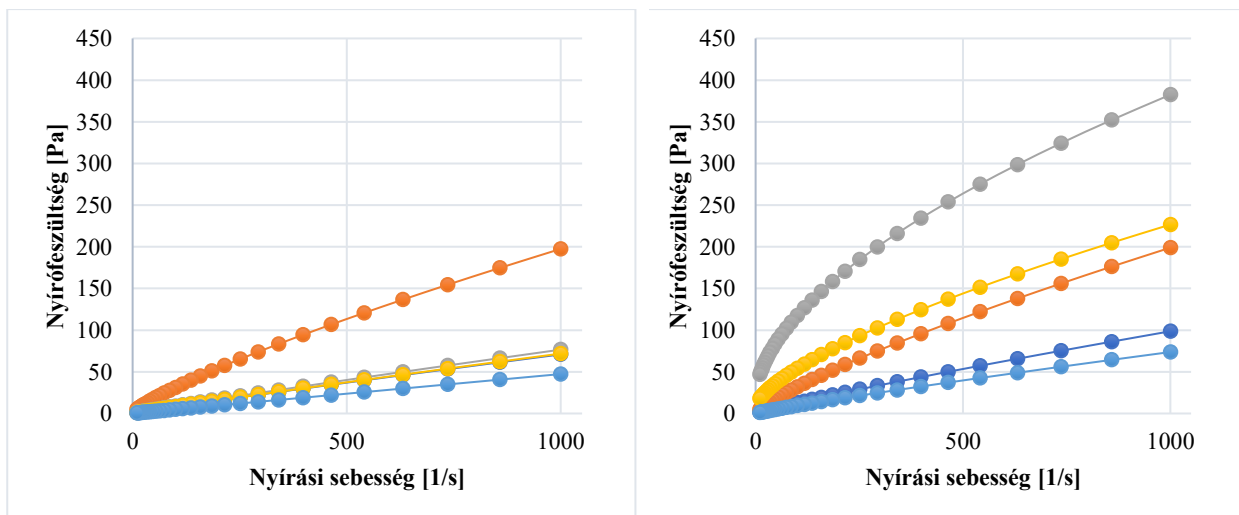
Fagyasztás hatására megfigyelhető a kontroll minta nagy mértékű kezdeti látszólagos viszkozitás értéke. Mivel a kontroll minta nagyon kiugró értéket vett fel, így a két ábrán a tengely osztásközök eltérnek egymástól. Maximális nyírási sebesség mellett is kb. hatszorosára nőtt a kontroll látszólagos viszkozitása. A kezelt minták esetén nem látható jelentős különbség a fagyasztás előtti és a felengedtetés utáni látszólagos viszkozításban.



**21. ábra:** különböző anyagokkal kezelt tojássárgája viszkozitásgörbéje fagyasztás előtt (bal oldali ábra) és felengedtetés után (jobb oldali ábra) (kontroll, konyhasó, kristálycukor, szorbitol, enzim) (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

A viszkozitásgörbékhez hasonlóan a folyásgörbékét is ábrázoltam, ami a **22. ábrán** látható. Annak bal oldalán a fagyasztás előtti, jobb oldalán a felengedtetés utáni görbék. A görbék lefutásából, illetve a **5. táblázat** értékeiből megállapítható, hogy az enzimes kezelést leszámítva, minden minta pszeudoplasztikus konvex profillal rendelkezik. A tendencia hasonló, mint a látszólagos viszkozitásnál, fagyasztás előtt a konyhasóval kezelt mintánál volt nagyobb nyírófeszültségre szükség. A többi minta közel azonosan viselkedett, mint a kontroll, nem volt szükség nagyobb nyírófeszültségre ahhoz, hogy folyni kezdjenek a minták. A folyáshatár értékek a görbe ismeretében, illetve az **5. táblázat** értékei alapján elhanyagolhatóak. A konzisztencia koefficiens a konyhasós kezelés estén szignifikánsan nagyobb, ami a nagyobb látszólagos viszkozitás, illetve a nagyobb nyírófeszültség szükséglet is alátámaszt.

Fagyasztás után a kontroll minta esetén megjelent egy kezdeti folyáshatár érték, nagyobb nyírófeszültségre volt szükség ahhoz, hogy a folyás meginduljon, ami összhangban áll pl. Hidas kutatásával (2022). A Herschel-Bulkley modell illesztésével számolt folyáshatár is szignifikánsan különbözik a többi mintáétól. A fagyasztás előtti és utáni ábrát, illetve a Herschel-Bulkley modell paramétereit vizsgálva a fagyasztás előtti kontroll mintához az enzimes, illetve a kristálycukros kezelésű felengedtetés utáni minták állnak a legközelebb.



**22. ábra:** különböző anyagokkal kezelt tojássárgája folyásgörbéje fagyasztás előtt (bal oldali ábra) és felengedtetés után (jobb oldali ábra) (kontroll, konyhasó, kristálycukor, szorbitol, enzim) (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból)

**5. táblázat:** Tojássárgájale fagyasztás előtti, illetve felengedtetés utáni kontroll és kezelt minták reológiai tulajdonságainak változása (Herschel-Bulkley modell illesztésével számolt folyáshatár ( $\tau_0$ ), konzisztencia koefficiens (K) és folyásindex (n))

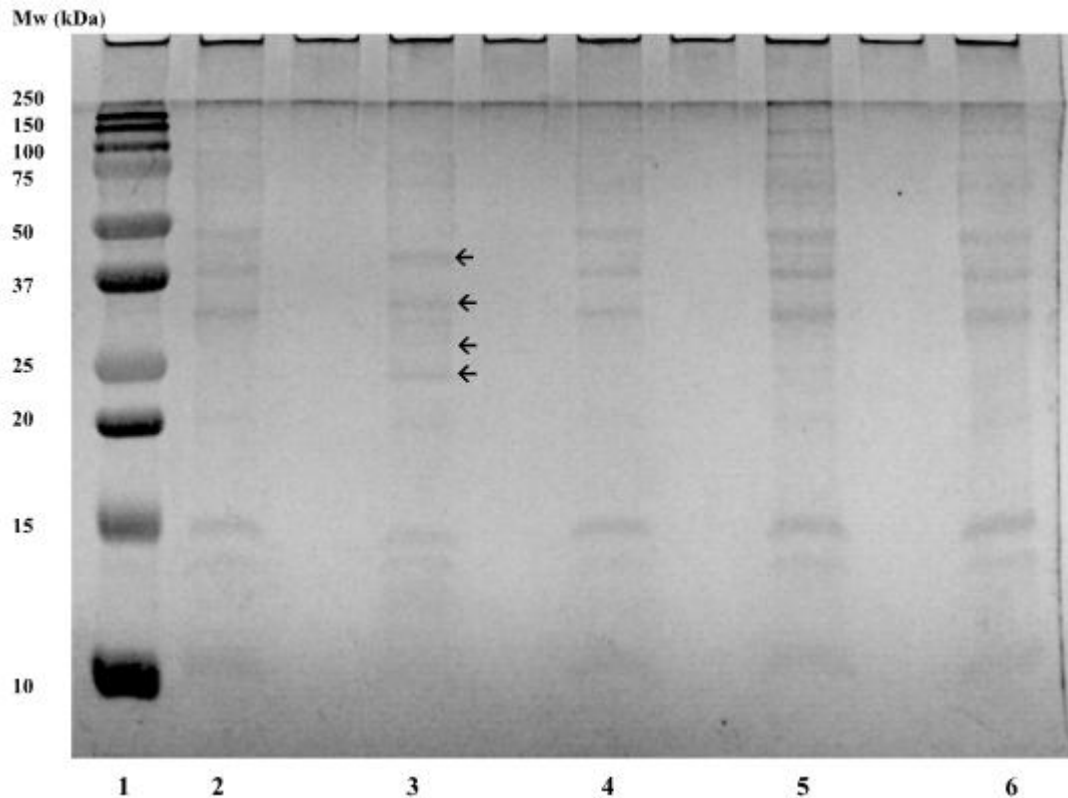
Fagyasztás előtt	$\tau_0$ [Pa]	K [Pa·sn ]	n
kontroll	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,12±0,00 <sup>bc</sup>	0,93±0,00 <sup>e</sup>
szorbitol	0,02±0,03 <sup>a</sup>	0,11±0,00 <sup>bc</sup>	0,94±0,00 <sup>f</sup>
kristálycukor	0,01±0,01 <sup>a</sup>	0,11±0,00 <sup>bc</sup>	0,94±0,00 <sup>ef</sup>
enzim	0,13±0,01 <sup>b</sup>	0,05±0,00 <sup>ab</sup>	1,00±0,00 <sup>g</sup>
konyhasó	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,78±0,02 <sup>e</sup>	0,80±0,00 <sup>a</sup>
<b>Felengedtetés után</b>			
kontroll	21,25±0,94 <sup>i</sup>	6,84±0,29 <sup>h</sup>	0,57±0,00 <sup>d</sup>
szorbitol	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,34±0,00 <sup>e</sup>	0,85±0,00 <sup>b</sup>
kristálycukor	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,22±0,00 <sup>d</sup>	0,89±0,00 <sup>c</sup>
enzim	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,15±0,00 <sup>cd</sup>	0,89±0,00 <sup>d</sup>
konyhasó	0,00±0,00 <sup>a</sup>	0,82±0,08 <sup>f</sup>	0,80±0,01 <sup>a</sup>

<sup>a,b,c,d,e,f,g,h,i</sup>: A különböző betűk szignifikánsan ( $p < 0,05$ ) különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül

#### 4.6. A tojássárgájában lévő fehérjék vizsgálata gélelektroforézissel

A különböző kezeléseknek kitett tojássárgájalevek fehérje-eloszlását SDS-PAGE vizsgálatokkal követtem nyomon (**23. ábra**). A fagyasztott – felengedtetett minták esetén vizsgáltam, hogy a különböző kezelések hogyan változtatják meg a tojássárgájafehérjék fehérje-eloszlását (fehérjemintázatát). A minták magas zsírtartalma miatt szükséges volt a tojáslé mintákat zsírtalanítani. A zsír eltávolítása után a minta alkalmassá vált a gélelektroforetikus vizsgálatok elvégzésére. A **23. ábrán** jól látható, hogy az exopeptidáz preparátummal tojássárgájale esetében csak kismértékben történt meg a fehérjelebomlás, amely azt jelentette, hogy egyes fehérjesávok a kezelés hatására eltűntek, míg újabb fehérjesávok megjelentek (←). A konyhasó, kristálycukor és szorbitol alkalmazása nem változtatott a

tojássárgájale fehérjemintázatán, a kontroll minta fehérje-lefutásával megegyezett a mintázatuk. Raikos és munkatársai tanulmányai alapján a livetinnel kb. 40-70 kDa, foszfitinnel 35-45 kDa, LDL-hez kötött fehérjéknek 20-30 kDa a mérete. Ezekkel az adatokkal összevetve az enzimmel kezelt minta kivételével mindegyik mintában megtalálhatóak. Az enzim ezeket a fehérjéket részlegesen lebontotta, így a méretük sem azonos.



**23. ábra:** Fagyasztás utáni kezeletlen tojássárgájale, illetve különböző kezelések hatásának vizsgálata a fehérje-eloszlásra vonatkozóan 6%/15% SDS-PAGE-val (1. Mw, 2. Kontroll (kezeletlen tojássárgájale), 3. 0,3% Flavorpro® 750MDP exopeptidáz preparátummal (eredet: *Aspergillus* sp., *Bacillus* spl) kezelt (55 U/g kazein; 40 °C, 2 óra) tojássárgájale, 4. 6% konyhasóval kezelt tojássárgájale, 5. 10% kristálycukorral kezelt tojássárgájale, 6. 10% szorbitollal kezelt tojássárgájale) (Forrás: BIO-RAD Gel Doc 2000 rendszerrel készült felvétel)

## 5. Következtetések és javaslatok

A tojássárgájale könnyen folyó anyag, jó emulgeáló képességgel. A fagyasztás rontja ezeket a paramétereket, így különböző kezelésekkel igyekszünk a felengedés utáni állapotot a friss mintához közelíteni. A konyhasó, kristálycukor és szorbitol hozzáadása a tojássárgájalehez funkcionális és stabilizáló célokat szolgálnak az élelmiszeriparban. A konyhasó hozzáadásával a fehérjék közötti kölcsönhatások befolyásolhatóak. 6m/m% konyhasóval kezeltem a mintámat, ami a többi mintához képest a legjobban változtatta meg a tojássárgájale színét. Mélyebb, sárgább színt tapasztaltam, ami előnyös lehet a fogyasztók számára, akik a sárgább színt a jobb minőséggel hozzák összefüggésbe. Az optikai denzitás mérés folyamán a konyhasós kezelés bizonyult azonosnak a friss tojássárgájalehez, ami az emulzióképző tulajdonságaik azonosságát mutatja. A látszólagos viszkozitása fagyasztás előtt a legjobban eltért a kontroll mintához képest, ennek volt a legnagyobb nyírófeszültségre szüksége ahhoz, hogy folyni kezdjen. Azonban fagyasztás után már ugyanannyira volt szüksége, mint előtte, a kontroll mintával ellentétben, aminek felengedtetés után sokkal nagyobbra nyírófeszültségre volt szüksége. A fehérjemintázaton nem változtatott a kezelés.

A kristálycukor és a szorbitol hozzáadásának is a célja a fehérjék tekintetében a natív szerkezet megtartása, az aggregáció (denaturáció, kicsapódás) csökkentése. Mindkét esetben azonos 10 m/m% koncentrációt használtam, színváltozásnál nagyon hasonló eredményt kaptam. Ezek a kezelt minták álltak a legközelebb a kontroll minta színéhez, kisebb mértékben tértek el a kontrollhoz képest, mint a konyhasós kezelés esetén, de egymástól két mintát szemmel nem lehetett megkülönböztetni. Látszólagos viszkozitásuk is közel megegyezők, a friss kontroll mintához leginkább hasonlóak. A szorbitolos kezelés esetén nagyobb nyírófeszültségre volt szükség fagyasztás után, azonban a kristálycukorral kezelt minta szükséglete közel azonos volt a friss, kontroll mintáéval. A fehérjemintázaton ezek a kezelések sem változtattak a kontroll mintához képest.

A fehérjék funkcionális tulajdonságainak módosítása peptidáz enzimmel is előállítható. Az exopeptidáz kis mértékű részleges hidrolízist végezhet, aminek következménye lehet, hogy megváltozik a töltéseloszlás, így javulhat az emulgeáló képesség, kisebb peptidláncok keletkeznek. Ennek hatására ezek felületaktívabbak, illetve a fehérje szerkezet „fellazul”, így könnyebben denaturálódik szabályozott hőkezeléskor (pl. pasztörözés során homogénebb hőreakció). Az enzimmel kezelt minta színe jobban hasonlít a konyhasós kezelésen átesett minta színéhez, mint a kontroll mintáéhoz, azonban így is az előnyösebb

sárgább szín felé tolódott a színe. Az enzimés kezelés esetén szignifikánsan nagyobb lett az optikai denzitás értéke, azonban még így is közelebb van a friss, kontroll értékhez, mint a fagyasztás utáni kontroll minta értékéhez. Ennek a mintának volt a legkisebb és legstabilabb a látszólagos viszkozitása, a nyírófeszültség szükséglete is fagyasztás előtt és után is. A gélelektroforézis kiértékelése alátámasztotta az enzim működését, a nagyobb fehérjemolekulák, kisebb fragmentekre darabolódtak.

Mindegyik kezelés csökkenti a tojássárgájale fagyasztás során bekövetkező gélesedését, azonban attól függően, hogy mire szeretnénk felhasználni a tojássárgájalevet, ahhoz mérten kell kezelést választani. A legjobb kezelésnek a konyhasós és kristálycukros kezelést mondhatjuk, a gazdaságosság szempontjából, hiszen ezek olcsó, könnyen hozzáférhető adalékanyagok. Azonban mivel a termék ízét befolyásolják, így meg kell választani milyen termékeket készítünk belőlük. A szorbitolos kezelés esetén is magas koncentrációt kell alkalmazni, drágább alapanyag. Azonban ez is egy jó alternatíva lehet a feltörekvő édesítőszeres termékek piacán. Enzimés kezelés esetén kisebb koncentráció szükséges, azonban sokkal drágább és nehezebben hozzáférhető adalékanyag. Előnye viszont, hogy az enzimmel kezelt tojássárgájale mind a sós, mind az édes késztermékekhez felhasználható.

Ahhoz, hogy az élelmiszeriparban alkalmazható kezeléseket állítsunk elő, további méréseket javasolt elvégezni. A különbözően kezelt tojássárgájalevet egyszerű mátrixú késztermékekben lehetne vizsgálni, pl. majonézben, süteményekben, tésztákban. Egy-egy kezelés magas koncentrációval történik, így azok a késztermék ízeire is hatással lehetnek, ezért a különböző kezelések kombinálását is vizsgálni lehetne, a koncentrációk csökkentése érdekében. Nem elhanyagolható a tojássárgája tápértéke, így az emészthetőségét, hasznosulását, illetve aminosav összetételét is lehetne vizsgálni. Továbbá mivel a fagyasztás az eltarthatóság meghosszabbítása miatt szükséges, ezért mikrobiológiai vizsgálatot is lehetne végezni, különböző hosszúságú tárolási idővel.

## 6. Összefoglalás

A tojássárgájale fagyasztása, mint alternatív tartósítási módszer ígéretes lehetőséget kínál, mivel alacsonyabb hőmérsékleten hosszabb ideig megőrizhető az alapanyag. Ugyanakkor a tojássárgája fagyasztása során olyan szerkezeti változások következnek be, amelyek jelentősen rontják annak technológiai tulajdonságait. A fagyasztás során vissza nem fordítható gélesedési folyamat következik be, amelyben a felengedtetés után a tojássárgája elveszíti eredeti állományát, nehezen mozgathatóvá válik, és csökken az emulgeáló képessége. Ez a gélesedés nemcsak a feldolgozhatóságot nehezíti meg, hanem hátrányosan befolyásolja a végtermék minőségét is, így belátható, hogy szükséges a tojássárgája kezelése.

Pasztőrözött tojássárgájával dolgoztam, amit a kísérletek során adalékanyagokkal kezeltem. A kristálycukor és konyhasó koncentrációját Hidas és munkatársai (2021) tanulmánya alapján választottam ki, amelyben kristálycukor esetén 10 m/m%-os, konyhasó esetén 6 m/m%-os kezelést határoztak meg, hiszen ezen koncentrációkkal kezelt minták reológiai tulajdonságai hasonlítottak a legjobban a kontroll, nem fagyasztott mintához. Továbbá Hidas (2022) értekezése szerint az aminosavak aktivitású Flavorpro<sup>TM</sup> enzimekészítmény használatát 0,3 m/m%-ban határoztam meg. A szorbitol koncentrációjának meghatározása esetén előkísérletet végeztem, és 10 m/m%-ban állapítottam meg a megfelelő koncentrációt. A fagyasztás előtt, illetve felengedtetés után is a következő analitikai módszerekkel végeztem el a méréseket: spektrofotometriás turbiditásmérést a zavarosság változásának nyomon követésére, pH-mérést a sav-bázis viszonyok feltérképezésére, reológiai vizsgálatokat a viszkozitás és áramlási tulajdonságok meghatározására, valamint gélelektroforézist a fehérjeszerkezet esetleges változásainak kimutatására.

A különböző kezelések nem voltak nagymértékű hatással a pH-ra. A friss, kontroll tojássárgájalehez képest a konyhasós kezelés esetén lett a legnagyobb a színeltérés, utána az enzimmel kezelt, végül a kristálycukros és szorbitolos kezelésem átesett minták voltak a leghasonlóbbak. A turbiditás vizsgálatok az emulzióképző tulajdonságra következtettem, amelyben nem állapítottam meg jelentős különbséget a friss kezeletlen, illetve a fagyasztott kezelt minták között. A reológiai vizsgálatok folyamán megállapítottam, hogy a konyhasós kezelés hatására viszkózusabb lesz a minta. A többi kezelés fagyasztás utáni mintája hasonló viszkozitással rendelkezik, mint a friss, kezeletlen minta, mind közül az enzimkezelésű minta hasonlít a legjobban rá. A fehérjék vizsgálatával bebizonyosodott, hogy az enzimkezelés hatására kisebb fehérjefrakciók jönnek létre, ami befolyással lehet fagyasztás utáni

állományára, azonban a többi kezelt minta esetén nincs eltérés a kezeltlen mintához képest a fehérjeösszetételben.

Mindegyik kezelés hatásosan csökkentette a tojássárgájale fagyasztása során bekövetkező állományváltozást. A kristálycukor, konyhasó olcsóbb és könnyen hozzáférhető alternatívák, amelyek célzottan, a végtermék típusához igazítva hatékonyak lehetnek: édes termékekhez a cukros, míg sós készítményekhez a konyhasós kezelés előnyös, ráadásul ízprofiljukba is jól illeszkednek. A szorbitol esetén is nagy koncentráció szükséges, már drágább alapanyag, azonban jó alternatíva lehet a feltörekvő édesítőszeres termékek piacán. Az enzimes kezelés kis anyagigénye és semleges ízhatása miatt univerzálisan alkalmazható, ugyanakkor költséges és nehezen hozzáférhető anyag. Az ipari alkalmazás optimalizálásához további vizsgálatok és kezelési kombinációk szükségesek.

## 7. Irodalomjegyzék

Antón, M., & Gandemer, G. (1997). Composition, solubility and emulsifying properties of granules and plasma of egg yolk. *Journal of Food Science*, 62(3), 484-487.

<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04411.x>

Atilgan, M. R., Unluturk, S. (2008): Rheological Properties of Liquid Egg Products (LEPS). In: International Journal of Food Properties, 11(2), 296–309.

<https://doi.org/10.1080/10942910701329658>

Buchlová, K., Buňka, F., Pavlínek, V., & Rop, O. (2022). Effect of selected preservatives on the microbiological stability of pasteurized liquid whole egg. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 16, 324–331. <https://doi.org/10.5219/1701>

Burley, R. W., & Cook, W. H. (1961). Isolation and composition of avian egg yolk granules and their constituent  $\alpha$ - and  $\beta$ -lipovitellins. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 39(8), 1295-1307. <https://doi.org/10.1139/o61-136>

Brazinskiene, R., Leskauskaite, D., & Cizeikiene, D. (2014). The influence of natural preservatives on microbial contamination and quality parameters of pasteurized liquid egg products. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(1), 115–122.

<https://doi.org/10.1590/S0101-20612014005000013>

Chang, B. S., & Randall, C. S. (1992). Use of subambient thermal analysis to optimize protein lyophilization. *Cryobiology*, 29(5), 632-656. [https://doi.org/10.1016/0011-2240\(92\)90067-C](https://doi.org/10.1016/0011-2240(92)90067-C)

Chi, Y., Ma, Z., Wang, R., & Chi, Y. (2024). A comprehensive review on freeze-induced deterioration of frozen egg yolks: Freezing behaviors, gelation mechanisms, and control techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(5), e70019.

<https://doi.org/10.1111/1541-4337.13021>

Cotterill, O. J., & Funk, E. M. (1963). The freezing of egg yolk and the effect of various carbohydrates on gelation. *Poultry Science*, 42(3), 684–693.

Cserhalmi, ZS., Sass-Kiss, Á., Tóth-Markus, M., Lechner, N. (2006): Study of pulsed electric field treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 7(1), 49–54.

<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2005.07.001>

- Czelej, M., Czernecki, T., Garbacz, K., Wawrzykowski, J., Jamioł, M., Michalak, K., ... & Waško, A. (2023). Egg yolk as a new source of peptides with antioxidant and antimicrobial properties. *Foods*, 12(18), 3394. <https://doi.org/10.3390/foods12183394>
- Damrongsakkul, S., Ratanathampan, K., Komolpis, K., Tanthapanichakoon, W. (2008): Enzymatic hydrolysis of rawhide using papain and neutrase. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 14(2), 202–206. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2007.09.010>
- Dawson, P. L., Acton, J. C. (2018): Impact of proteins on food color. *Proteins in Food Processing*, 599-638. p. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100722-8.00023-1>
- Delia B. Rodriguez-Amaya (2001): *A guide to carotenoid analysis in foods*, USA, ILSI Press
- Deng, L., Gao, Y., Zhong, G., Song, Q., Peng, Y., & Zhu, Z. (2023). Effects of konjac glucomannan on physicochemical and rheological properties of whole egg liquid and in vitro fermentation of egg curd. *International Journal of Biological Macromolecules*, 246, 125695. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125695>
- De Souza, H. K. S., Bai, G., Gonçalves, M. Do P., Bastos, M. (2009): Whey protein isolate–chitosan interactions: A calorimetric and spectroscopy
- Doyle, M. E., & Mazzotta, A. S. (2000). Review of studies on the thermal resistance of Salmonellae. *Journal of food protection*, 63(6), 779-795. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.6.779>
- Dr. Légrády Péter (2001): *Tojás – Táplálkozás – Egészség*. Budapest: E. P. E. Kft. - Maecenas Könyvkiadó
- EEPA (2022): Útmutató az élelmiszer-összetevőként használt tojástermékek helyes gyártási gyakorlatához. Európai Tojásfeldolgozók Szövetsége. Utolsó letöltés: 2025. 09. 14. [https://food.ec.europa.eu/system/files/2022-04/biosafety\\_fh\\_guidance\\_guide\\_good-practice-haccp-eeпа\\_hu.pdf](https://food.ec.europa.eu/system/files/2022-04/biosafety_fh_guidance_guide_good-practice-haccp-eeпа_hu.pdf)
- Eunice C. Y. Li-Chan, William D. Powrie, Shuryo Nakai (1995): *Egg science and technology* Egyesült Államok, Taylor & Francise, CRC Press
- Európai Parlament és Tanács (2008): 1333/2008/EK rendelet az élelmiszer-adalékanyagokról. Utolsó letöltés: 2025. 09. 14 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?uri=CELEX:32008R1333>

- Figura, L., Teixeira, A. A. (2007): Food Physics: Physical Properties - Measurement and Applications. Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34194-9>
- Fu, X., Huang, X., Jin, Y., Zhang, S., & Ma, M. (2020). Characterization of enzymatically modified liquid egg yolk: Structural, interfacial and emulsifying properties. *Food Hydrocolloids*, 105, 105763. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105763>
- Gautron, J., Réhault-Godbert, S., Nys, Y., Mann, K., & Righetti, P. G. (2011). *Use of high-throughput technology to identify new egg components*. In Y. Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Eds.), *Improving the safety and quality of eggs and egg products, Volume 1: Egg chemistry, production and consumption* (pp. 133–147). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.133>
- Hidas, K. I., Nyulas-Zeke, I. Cs., Visy, A., Baranyai, L., Nguyen, L., P., L., Tóth, A., Friedrich, L., Nagy, A., Németh, Cs. (2021). *Effect of Combination of Salt and pH on Functional Properties of Frozen-Thawed Egg Yolk*. *Agriculture*, 11(3), 257. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030257>
- Hidas, K. I., Németh, Cs., Visy, A., Barkó, A., Horváth-Mezőfi, Zs., Tóth, A., Nguyen, L., & Nyulasné Zeke, I. Cs. (2021). *Krioprotektív anyagok alkalmazásának hatása fagyasztott-felengedett tojássárgájából készült majonézek technofunkciós tulajdonságaira*. *Acta Agronomica Óváriensis*, 62(Különszám 3), 46–61.
- Hidas, K. I. (2022): *A fagyasztás hatásai a tojáslevek minőségi jellemzőire* [PhD értekezés] Budapest: Élelmiszertudományi Doktori Iskola DOI: 10.54598/003230
- Huang, C. Egg sanitizing method and apparatus. Egyesült Államok szabadalma, US7491417. Kiadás éve: 2009. Utolsó letöltés: 2025. 09. 14. <https://patentimages.storage.googleapis.com/f5/f6/12/d7b83361f5bfda/US7491417.pdf>
- Kiani, H., & Sun, D. W. (2011). Water crystallization and its importance to freezing of foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 22(8), 407-426. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.04.011>
- Laemmli, V. K. (1970): Cleavage of structural proteins during the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227,680–685.

Szöllősi, L., Molnár, Sz., Molnár, Gy., Horn, P., Sütő, Z. (2017). A tojás, mint alapvető és funkcionális élelmiszer táplálkozás-élettani jelentősége. *Táplálkozásmarketing*, 4(1-2), 7. <https://doi.org/10.20494/TM/4/1-2/2>

Lechevalier-Datin, V., Anton, M., & Nau, F. (2009). Egg proteins. *Handbook of hydrocolloids*, 173(2. édition), 948-p.

Lechevalier, V., Croguennec, T., Anton, M., & Nau, F. (2011). *Processed egg products*. In Y. Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Eds.), *Improving the safety and quality of eggs and egg products, Volume 1: Egg chemistry, production and consumption* (pp. 538–570). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.4.538>

Maekawa, R., Watanabe, M., Poudyal, R. L., & Suzuki, T. (2021). Is it effective to pre-cool close to the freezing point temperature before freezing?. *International Journal of Refrigeration*, 132, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.09.023>

Maire, M., Arbeláez, P., Fowlkes, C. Malik, J. (2008) Using Contours to Detect and Localize Junctions in Natural Images. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Anchorage*, 23-28 June 2008, 1-8. DOI: 10.1109/CVPR.2008.4587420

Mc Bee, L. E., & Cotterill, O. J. (1979). Ion-exchange chromatography and electrophoresis of egg yolk proteins. *Journal of Food Science*, 44(3), 656-667. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1979.tb08469.x>

Nys, Y., & Guyot, N. (2011). Egg formation and chemistry. *Improving the safety and quality of eggs and egg products* (pp. 83-132). Woodhead publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.83>

Otero, L., Rodríguez, A. C., Pérez-Mateos, M., & Sanz, P. D. (2016). Effects of magnetic fields on freezing: Application to biological products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(3), 646-667. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12202>

Palumbo, M. S., Beers, S. M., Bhaduri, S., & Palumbo, S. A. (1995). Thermal resistance of *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes* in liquid egg yolk and egg yolk products. *Journal of Food Protection*, 58(9), 960-966. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-58.9.960>

Parandi, E., Pero, M., & Kiani, H. (2022). Phase change and crystallization behavior of water in biological systems and innovative freezing processes and methods for evaluating crystallization. *Discover Food*, 2(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s44187-021-00004-2>

- Park, S. H., Jo, Y. J., Chun, J. Y., Hong, G. P., Davaatseren, M., & Choi, M. J. (2015). Effect of frozen storage temperature on the quality of premium ice cream. *Korean journal for food science of animal resources*, 35(6), 793. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2015.35.6.793>
- Powrie, W. D., Little, R. J., & Lopez, A. (1963). Some effects of freezing on egg yolk and the influence of additives. *Poultry Science*, 42(2), 409–417.
- Sahin-Tóth, G., Farkas, J., Friedrich, L., & Tömösközi, S. (2009). *Élelmiszer-feldolgozás és minőségbiztosítás*. Mezőgazda Kiadó.
- Sato, Y., & Aoki, T. (1975). Influences of various salts on gelation of low density lipoprotein (egg yolk) during its freezing and thawing. *Agricultural and Biological Chemistry*, 39(1), 29-35. <https://doi.org/10.1080/00021369.1975.10861568>
- Severa, L., Nedomová, Š., Buchar, J. (2010): Influence of storing time and temperature on the viscosity of an egg yolk. *Journal of Food Engineering*, 96(2), 266–269. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.07.020>
- Singh, R. P. (2021): Egg. *Encyclopedia Britannica*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/egg-food>
- Su, Y., Gao, J., Chang, C. et al. Study on functional improvement of freeze–thaw egg yolk pellet by enzymatic hydrolysis. *J Food Sci Technol* 59, 4362–4369 (2022). <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05511-3>
- Wang, G., & Wang, T. (2009). Egg yolk protein modification by controlled enzymatic hydrolysis for improved functionalities. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(4), 763-769. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01894.x>
- Wang, R., Ma, Y., Ma, Z., Du, Q., Zhao, Y., Chi, Y. (2020): Changes in gelation, aggregation and intermolecular forces in frozen-thawed egg yolks during freezing. *Food Hydrocolloids*, 108, 105947. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105947>
- Wang, R., Ma, Y., Zhang, L., Zhang, Z., Chi, Y., & Chi, Y. (2021). Changes in egg yolk gelation behaviour and mechanisms during freezing. *Lwt*, 151, 112223. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112223>

Yuan, J., Lin, S., Liu, K., Guo, F., & Bao, Z. (2025). Effect of Low-Density Lipoprotein (LDL) and High-Density Lipoprotein (HDL) on Frozen Gelation of Egg Yolk. *Foods*, 14(3), 522. <https://doi.org/10.3390/foods14030522>

Zayas, J. F. (1997). *Functionality of Proteins in Food*. Springer Science & Business Media.

Zhang, J., & Ma, Y. (2024). Formation mechanism and inhibition methods of frozen egg yolk gelation: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 148, 104491. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104491>

Internet 1.: Reids weboldala, Utolsó letöltés: 2025.06.28. <https://www.reidsequipment.co.uk/egg-lifters/>

Internet 2.: Eggs unlimited weboldala, Utolsó letöltés: 2025. 06. 28. <https://www.eggsunlimited.com/products/egg-products/>

Internet 3.: Hexonic weboldala, Utolsó letöltés: 2025.06.26. <https://hexonic.com/hu/termek/cskoteges-hocserelok/st/>

Internet 4.: Coolsys weboldala, Utolsó letöltés: 2025.06.26. [https://coolsys.hu/termek/hocserelo/lemezes\\_hocserelo.html](https://coolsys.hu/termek/hocserelo/lemezes_hocserelo.html)

Internet 5.: USDA, Food Safety and Inspection Service. Egg products and food safety., Utolsó letöltés: 2025.06.26. <https://www.fsis.usda.gov/food-safety/safe-food-handling-and-preparation/eggs/egg-products-and-food-safety>

Internet 6.: Pasztőrözött tojássárgájale termékspecifikáció, Capriovus Kft., Utolsó letöltés: 2025.10.01. [https://capriovus.eu/wp-content/uploads/2024/09/sargajale\\_spec\\_hu\\_v2\\_4.pdf](https://capriovus.eu/wp-content/uploads/2024/09/sargajale_spec_hu_v2_4.pdf)

## **8. Ábrák és táblázatok jegyzéke**

- 1. ábra:** A tyúktojás szerkezeti felépítése (Singh, 2021; Hidas, 2022) *4. oldal*
- 2. ábra:** A tojássárgája összetételének sematikus ábrája (Anton és munkatársai., 2008) *5. oldal*
- 3. ábra:** vákuumos átrakóberendezés (Internet 1.) *7. oldal*
- 4. ábra:** Tojástörő és szeparátor (Internet 2.) *8. oldal*
- 5. ábra:** Cső a csőben hőcserélő (Internet 3.) *9. oldal*
- 6. ábra:** Lemezes hőcserélő (Internet 4.) *9. oldal*
- 7. ábra:** Általános fagyási görbe (Otero, és munkatársai, 2016) *12. oldal*
- 8. ábra:** A CIELAB színingertér (Maire és munkatársai, 2008) *23. oldal*
- 9. ábra:** kontroll (kezeletlen tojássárgájale), illetve sorrendben 6, 8, 10, 12 m/m%-os szorbitollal kezelt tojássárgájale fagyasztás előtt (Forrás: saját fénykép) *28. oldal*
- 10. ábra:** kontroll (kezeletlen tojássárgájale), illetve sorrendben 6, 8, 10, 12 m/m%-os szorbitollal kezelt tojássárgájale fagyasztás és felengedtetés után (Forrás: saját fénykép) *28. oldal*
- 11. ábra:** A kontroll (kezeletlen), illetve a különböző krioprotektív hatású anyagokkal kezelt tojássárgájale pH-ja fagyasztás előtt és felengedtetés után. (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) *29. oldal*
- 12. ábra:** A kontroll (kezeletlen), illetve a különböző krioprotektív hatású anyagokkal kezelt minták fagyasztás előtt és felengedtetés után mért világossági tényezői (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) *30. oldal*
- 13. ábra:** A kontroll (kezeletlen), illetve a különböző krioprotektív hatású anyagokkal kezelt minták fagyasztás előtt és felengedtetés után mért vörös – zöld szintényezői (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) *31. oldal*
- 14. ábra:** A kontroll (kezeletlen), illetve a különböző krioprotektív hatású anyagokkal kezelt minták fagyasztás előtt és felengedtetés után mért sárga – kék szintényezői (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) *32. oldal*

**15. ábra:** A különböző krioprotektív hatású anyagokkal kezelt minták színkülönbsége a kontroll mintához képest fagyasztás előtt (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) 32. oldal

**16. ábra:** Számolt színkülönbségek a kontroll (kezeletlen), illetve az azonos krioprotektív anyagokkal való kezeléseket fagyasztás előtti és felengedtetés utáni állapotukban (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) 33. oldal

**17. ábra:** Számolt színkülönbségek a felengedtetés utáni kontroll (kezeletlen), illetve krioprotektív hatású anyagokkal kezelt minták a friss, kontroll (kezeletlen) mintához viszonyítva (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) 34. oldal

**18. ábra:** A fenti képen a fagyasztás előtti, az alsón pedig felengedtetés után láthatóak a minták (Forrás: saját fénykép) 34. oldal

**19. ábra:** 660 nm-en mért optikai denzitás fagyasztás előtt és felengedtetés után a kontroll és kezelt mintákon (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) 35. oldal

**20. ábra:** 660 nm-en mért optikai denzitás változásának értéke fagyasztás előtt és felengedtetés után a kezelt mintákon (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) 35. oldal

**21. ábra:** különböző anyagokkal kezelt tojássárgája viszkozitásgörbéje fagyasztás előtt (bal oldali ábra) és felengedtetés után (jobb oldali ábra) (kontroll, konyhasó, kristálycukor, szorbitol, enzim) (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) 36. oldal

**22. ábra:** különböző anyagokkal kezelt tojássárgája folyásgörbéje fagyasztás előtt (bal oldali ábra) és felengedtetés után (jobb oldali ábra) (kontroll, konyhasó, kristálycukor, szorbitol, enzim) (Forrás: saját szerkesztés a mért adataimból) 37. oldal

**23. ábra:** Fagyasztás utáni kezeletlen tojássárgájálé, illetve különböző kezeléseket hatásának vizsgálata a fehérje-eloszlásra vonatkozóan 6%/15% SDS-PAGE-val (1. Mw, 2. Kontroll (kezeletlen tojássárgájálé), 3. 0,3% Flavorpro® 750MDP exopeptidáz preparátummal (eredet: Aspergillus sp., Bacillus spl) kezelt (55 U/g kazein; 40 °C, 2 óra) tojássárgájálé, 4. 6% konyhasóval kezelt tojássárgájálé, 5. 10% kristálycukorral kezelt tojássárgájálé, 6. 10% szorbitollal kezelt tojássárgájálé) (Forrás: BIO-RAD Gel Doc 2000 rendszerrel készült felvétel) 39. oldal

## **Táblázatok:**

- 1. táblázat:** Krioprotektív hatású anyagok vizsgált koncentrációi *18. oldal*
- 2. táblázat:** Kísérleti előkészületek *22. oldal*
- 3. táblázat:** Emberi szem által érzékelt színekülönbség (Cserhalmi és munkatársai, 2006) *24. oldal*
- 4. táblázat:** Gélek összetétele *26. oldal*
- 5. táblázat:** Tojássárgájale fagyasztás előtti, illetve felengedtetés utáni kontroll és kezelt minták reológiai tulajdonságainak változása (Herschel-Bulkley modell illesztésével számolt folyáshatár ( $\tau_0$ ), konzisztencia koefficiens (K) és folyásindex (n)) *38. oldal*

## 9. Nyilatkozatok

### NYILATKOZAT

#### a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Harangozó Mercédesz
A Hallgató Neptun kódja:	SL35AC
A dolgozat címe:	Különböző anyagok hatásának összehasonlítása a tojássárgája fagyasztás során bekövetkező géjesedési folyamatára
A megjelenés éve:	2025.
A konzulens intézetének neve:	Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológiai Tanszék, Táplálkozástudományi Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlant 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: 2025. év 11. hó 02. nap



Hallgató aláírása

## NYILATKOZAT

Harangozó Mercédesz (hallgató Neptun azonosítója: SL35AC) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A diplomadolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom<sup>1</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*<sup>2</sup>

Kelt: Budapest, 2025. 11. 02.



Dr. Hidas Karina Ilona  
belső konzulens



Dr. Takács Krisztina  
belső konzulens

## Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

### 1. Általános adatok

Hallgató neve:	Harangozó Mercédesz
Neptun-kódja:	SL35AC
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: .....
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomamunka 2./ELTUD044N
A munka címe:	Különböző anyagok hatásának összehasonlítása a tojássárgája fagyasztás során bekövetkező gélesedési folyamatára

\* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

### 2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

*(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)*

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

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

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

### 3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

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

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

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

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

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

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

	verziója, elérhetősége		bejegyzésének sorszám

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

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

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

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

### 4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

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

**Kelt:** Budapest, 2025. 11. 02.

.....  
*[Handwritten signature]*

**Hallgató aláírása**

.....  
*[Handwritten signature]*

**Dr. Hidas Karina Ilona**

**Konzulens aláírása**

.....  
*[Handwritten signature]*

**Dr. Takács Krisztina**

**Konzulens aláírása**