



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

**A FAGYASZTÁS HATÁSAI A TOJÁSLEVEK MINŐSÉGI
JELLEMZŐIRE**

DOI: 10.54598/003230

Hidas Karina Ilona

Budapest

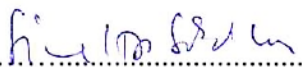
2022


A doktori iskola

megnevezése:	Élelmiszertudományi Doktori Iskola
tudományága:	Élelmiszertudományok
vezetője:	Simonné Dr. Sarkadi Livia, Egyetemi tanár, DSc Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet Táplálkozástudományi Tanszék
Témavezetők:	Nyulasné dr. Zeke Ildikó Csilla Egyetemi adjunktus, PhD Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék Dr. Németh Csaba Címzetes egyetemi docens, PhD Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Capriovus Kft.

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

A jelölt a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, a műhelyvita során elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.


.....
Az iskolavezető jóváhagyása


.....
A témavezetők jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	4
1. BEVEZETÉS	5
2. CÉLKITŰZÉSEK	7
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	8
3.1. A tojás felépítése	8
3.2. A tojásfehérje kémiai összetétele	9
3.2.1. A tojásfehérje fehérjéi	10
3.3. A tojássárgája kémiai összetétele	12
3.3.1. A tojássárgája fehérjéi	13
3.3.2. A tojássárgája lipidjei	14
3.3.3. A tojássárgája egyéb összetevői	15
3.4. A tojás mikrobiológiája	16
3.4.1. A héjas tojás mikrobiológiája	16
3.4.2. A feldolgozott tojástermékek mikrobiológiája	16
3.5. A fagyasztott élelmiszerek mikrobiológiája	17
3.6. Gazdasági vonatkozások	19
3.6.1. Nemkívánatos események a tojáságazatban és az információk gyűjtése	19
3.6.2. A madárinfluenza hatásai a tojástermelésre.....	20
3.6.3. A 2017-es fipronil mérgezés hatásai a tojáságazatra	22
3.7. Élelmiszerek tartósítása fagyasztással	23
3.8. Tojástermékek fagyasztása	26
3.8.1. A tojásfehérje fagyasztása	27
3.8.2. A tojássárgája fagyasztása során bekövetkező gélesedés	28
3.8.3. A tojássárgája gélesedésének gátlása a fagyasztás-felengedtetés során.....	30
3.8.4. A konyhasó, mint krioprotektív anyag hatásmechanizmusa a tojássárgája fagyasztása során	31
3.8.5. A szacharóz, mint krioprotektív anyag hatásmechanizmusa a tojássárgája fagyasztása során	32
3.9. Enzimek használata a tojástermékekben	33
3.10. Folyékony minták reológiai viselkedése	35
3.10.1. A tojáslevek reológiai viselkedése.....	37
3.11. Differenciális pásztázó kalorimetria alkalmazása az élelmiszeriparban	38
3.11.1. Élelmiszerek fagyasztásával kapcsolatos termofizikai jellemzők vizsgálata.....	39
3.11.2. Fehérjék hőstabilitásának vizsgálata.....	40
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	41
4.1. Felhasznált anyagok	41
4.2. Fagyasztás és felengedtetés módszerei	42
4.2.1. Fagyasztás folyékony nitrogén felhasználásával	42
4.2.2. Lassú fagyasztás	42
4.2.3. Felengedtetés	43

4.3. Kísérletek felépítése.....	43
4.3.1. Első rész: A folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás és azt követő fagyasztva tárolás hatásának vizsgálata tojássárgájale esetében	43
4.3.2. Második rész: A lassú fagyasztás és fagyasztva tárolás hatása a különböző tojáslevekre	44
4.3.3. Harmadik rész: A tojáslevek fagyasztás során bekövetkező állományváltozásának megakadályozása különböző krioprotektív kezelésekkel	45
4.3.3.1. <i>A konyhasó krioprotektív hatásának tanulmányozása tojássárgájale esetében</i>	<i>45</i>
4.3.3.2. <i>A szacharóz krioprotektív hatásának tanulmányozása tojássárgájale esetében</i>	<i>46</i>
4.3.3.3. <i>A tojássárgájale és a teljes tojásle fagyasztás-felengedtetés során végbemenő reológiai változásainak megelőzése enzimmészítménnyel</i>	<i>47</i>
4.4. Késztermék készítési vizsgálatok	48
4.4.1. Majonéz készítése	48
4.4.2. Piskóta készítése	48
4.5. Alkalmazott mérési módszerek	49
4.5.1. pH mérése	49
4.5.2. Színmérés	49
4.5.3. Mezofil aerob és fakultatív anaerob mikrobaszám meghatározása	50
4.5.4. Habképző tulajdonságok vizsgálata	50
4.5.5. Turbiditás vizsgálata	50
4.5.6. Tojásle minták reológiai tulajdonságainak meghatározása rotációs reométerrel	51
4.5.7. Majonéz minták reológiai tulajdonságainak meghatározása SMS állománymérő készülékkel	51
4.5.8. Piskóta minták állományának vizsgálata SMS állománymérő készülékkel	52
4.5.9. Fagyásgörbe felvétele és a krioszópos hőmérséklet meghatározása	53
4.5.10. Hőfizikai tulajdonságok meghatározása	54
4.5.10.1. <i>Fehérjék állapotának vizsgálata differenciális pásztázó kaloriméterrel.....</i>	<i>54</i>
4.5.10.2. <i>Az olvadás hőfizikai jellemzőinek vizsgálata differenciális pásztázó kaloriméterrel.....</i>	<i>54</i>
4.5.11. Az eredmények statisztikai értékelése	55
5. EREDMÉNYEK.....	56
5.1. A folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás és fagyasztva tárolás tojássárgájale tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálata	56
5.1.1. A tojássárgájale pH-értékének vizsgálata	56
5.1.2. A tojássárgájale színének vizsgálata	57
5.1.3. A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak vizsgálata.....	58
5.1.4. A tojássárgájale hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata.....	61
5.1.5. A folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás tojássárgájalere gyakorolt hatásának összegzése	63
5.2. A lassú fagyasztás és az azt követő tárolás tojáslevek tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálata	64
5.2.1. Fagyásgörbék bemutatása	64
5.2.2. A tojáslevek pH-jának vizsgálata	65
5.2.3. A tojáslevek színének vizsgálata	65
5.2.4. A tojáslevek reológiai tulajdonságainak vizsgálata	68

5.2.5. A tojáslevek hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata	71
5.2.6. A tojáslevek mezofil összes csíraszámának vizsgálata	73
5.2.7. A tojáslevek felhasználhatóságának vizsgálata	74
5.2.7.1. A tojásfehérjéjé habképző tulajdonságainak vizsgálata	74
5.2.7.2. Tojássárgájale felhasználásával készült majonéz reológiai tulajdonságainak értékelése és a tojássárgájale turbiditásának vizsgálata	75
5.2.7.3. Teljes tojáslebből készült piskóta állományának vizsgálata	77
5.2.8. A lassú fagyasztás tojáslevekre gyakorolt hatásának összegzése	78
5.3. A tojáslevek fagyasztása során bekövetkező állományváltozás mérséklésére alkalmazott krioprotektív kezelések hatásának vizsgálata	79
5.3.1. A só hatása a tojássárgájale tulajdonságaira	79
5.3.1.1. A tojássárgájale pH-jának vizsgálata	79
5.3.1.2. A tojássárgájale színének vizsgálata	79
5.3.1.3. A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak vizsgálata	82
5.3.1.4. A tojássárgájale hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata	84
5.3.1.5. A tojássárgájale mezofil összes csíraszámának vizsgálata	88
5.3.1.6. A tojássárgájale turbiditásának vizsgálata	89
5.3.7. A konyhasó hatásának összegzése tojássárgájale technofunkciós tulajdonságaira	90
5.3.2. A szacharóz hatása a tojássárgájale és a teljes tojásle tulajdonságaira	91
5.3.2.1. A tojássárgájale pH-jának vizsgálata	91
5.3.2.2. A tojássárgájale színének vizsgálata	91
5.3.2.3. A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak vizsgálata	93
5.3.2.4. A tojássárgájale hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata	96
5.3.2.5. A tojássárgájale mezofil összes csíraszámának vizsgálata	98
5.3.2.6. A tojássárgájale turbiditásának vizsgálata	98
5.3.2.7. A szacharóz hatásának összegzése tojássárgájale technofunkciós tulajdonságaira	99
5.3.3. Aminopeptidáz aktivitású Flavorpro™ 750MDP enzimekészítmény krioprotektív hatásának vizsgálata tojássárgájale és a teljes tojásle esetében	101
5.3.3.1. A tojáslevek pH-jának vizsgálata	101
5.3.3.2. A tojáslevek színének vizsgálata	102
5.3.3.3. A tojáslevek reológiai tulajdonságainak vizsgálata	104
5.3.3.4. A tojáslevek hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata	107
5.3.3.5. A tojáslevek mezofil összes csíraszámának vizsgálata	109
5.3.3.6. A tojáslevek turbiditásának vizsgálata	110
5.3.3.7. Az enzimekezelés hatásának összegzése tojássárgájale technofunkciós tulajdonságaira	110
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	112
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	115
8. ÖSSZEFOGLALÁS	116
SUMMARY	119
MELLÉKLETEK	121

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

Rövidítés	Angol megnevezés	Magyar megnevezés
DSC	differential scanning calorimetry	differenciáló pásztázó kalorimetria
L*	lightness	CIELab színtér világossági tényező
a*	chromaticity coordinates red (+) and green (-) in CIE Lab color space	CIELab színtér vörös (+), zöld (-) színtényező
b*	chromaticity coordinates yellow (+) and blue (-) in CIE Lab color space	CIELab színtér sárga (+), kék (-) színtényező
LDL	low density lipoprotein	kis sűrűségű lipoprotein
HDL	high density lipoprotein	nagy sűrűségű lipoprotein
IQF	individual quick freezing	egyedileg gyorsfagyasztott
OIE	World Organisation for Animal Health	Állategészségügyi Világszervezet
WAHIS	World Animal Health Information System	Állategészségügyi Információs Adatbázis
RASFF	Rapid Alert System for food and Feed	Európai Unió élelmiszer- és takarmánybiztonsági riasztási rendszere
AFSCA	Federal Agency for the Safety of the Food Chain	belga Szövetségi Élelmiszerlánc-biztonsági Ügynökség
FF Network	Food Fraud Network	Az Európai Unió élelmiszer csalásért felelős hálózata
PA-PE	polyamide-polyethylene	poliamid-polietilén

1. BEVEZETÉS

A tojás az élelmiszeriparban gyakran alkalmazott élelmiszerösszetevő, főként a tészta-, cukrász-, sütőipar, illetve a közétkeztetés kedvelt alapanyaga. Ez egyrészt annak köszönhető, hogy kiváló tápanyagforrás, hiszen kiváló aminosavösszetétellel rendelkezik, emellett telítetlen zsírsavak, vas, nyomelemek, A, D, E, K és B-vitaminok forrása (COOK és BRIGGS 1995). Ezenkívül habképző, emulgeáló, gélképző, sűrítő, színező és ízesítő tulajdonságait is nap mint nap hasznosítják az élelmiszergyártás különböző területein (UYSAL et al. 2019). Az egyszerűbb kezelés, illetve a mikrobiológiai kockázatok csökkentése miatt az élelmiszeriparban legtöbbször héjas tojás helyett feldolgozott tojástermékeket, például tojásleveket, tojásporokat és főtt tojástermékeket választanak a gyártók, amelyek között megtalálhatók a teljes tojásból, tojássárgájából és tojásfehérjéből készült változatok is (NÉMETH et al. 2011).

A tojás belseje sterilnek tekinthető, azonban tojásrakást követően a héj a fészekből, az ürülékből és a környezetből mikroorganizmusokkal szennyeződik (UYSAL et al. 2017). A tojáslégyártás során a tojás feltörésével megszűnik a fizikai és kémiai védelmi mechanizmus, amely a mikroorganizmusok behatolását és szaporodását megakadályozza, így a mikrobák a tápanyagokban gazdag tojásmelanzsban szaporodni képesek. A tojáslé tartósítás leggyakoribb eszköze az ipari gyakorlatban a hőkezelés. A tojásban található fehérjék hőérzékenysége miatt az alkalmazható hőkezelés nem eredményez kereskedelmileg steril terméket, a tojáslé eltarthatósága néhány hét (DAWSON és MARTINEZ-DAWSON 1998; DELVES-BROUGHTON et al. 1992). A fejlett országokban a tojás könnyen hozzáférhető élelmiszernek számít, azonban előfordulhat rövid idejű tojáshiány, illetve az ár erőteljes ingadozása. Ennek okozója lehet például a madárinfluenza, amely jelentős gazdasági kieséshez vezethet az elpusztult tojóállomány miatt (LOOI et al. 2018). Egy másik példa a 2017 nyarán kezdődő, legalább 40 országot érintő fipronil szennyezés, amely szintén jelentős gazdasági károkat okozott (TU et al. 2019). Az átmeneti tojáshiány áthidalására megoldást jelenthet a tojáslevek fagyasztása, amellyel a tojáslevek eltarthatósága megnövelhető (AU et al. 2015).

Az élelmiszerek eltarthatósági idejének meghosszabbítására számos tartósítási technológiát alkalmaznak (pl. fagyasztás, szárítás, besugárzás, nagy hidrosztatikus nyomású kezelés, pulzáló elektromos mező). A fagyasztás az egyik legelterjedtebben alkalmazott, hatékony és megfizethető tartósítási technológia, amely hosszan eltartható terméket eredményez (FANG et al. 2021). A fagyasztás egy hőelvonáson alapuló fizikai tartósítási mód, amelynek hatására a kémiai folyamatok és a mikroorganizmusok növekedése lelassul vagy gátlásra kerül, ami jelentősen meghosszabbítja az eltarthatósági időt, és számos élelmiszer hosszú távú tartósítására sikeresen alkalmazzák (RAHMAN és VELEZ-RUIZ 2007). Tartósító hatásának alapja, hogy a hőmérséklet

csökkentésével a víz egy része jéggé alakul, amely hatására a termékben maradó oldat koncentrációja megnő, vízakтивitása csökken. A mikroorganizmusok többsége ilyen körülmények között nem képes szaporodni (BALLA és SÁRAY 2002).

Azonban az élelmiszerfagyasztás is rendelkezik hátrányokkal és korlátokkal (FANG et al. 2021). A fehérjékben gazdag élelmiszerek esetén előfordulhat a fehérjék denaturációja, aggregációja. A jégképződés hatására a jéggel érintkező hidrofób fehérjerész gyakran konformáció változást szenved (CHANG et al. 1996). Ezenkívül a fagyasztás hatására bekövetkező oldott anyag koncentráció növekedés is károsíthatja a fehérjét (HATLEY és MANT 1993). Ez a folyamat a pH változásával és a fehérjék denaturációjával, esetleg aggregációjával jár (FANG et al. 2021).

Amíg a tojásfehérjében a fagyasztás során csak kisebb változások mennek végbe, mint például a sűrűfehérje hígulása (COTTERILL 1995), a tojássárgája folyékonyságában irreverzibilis változás következik be, amennyiben -6°C -ra, vagy annál kisebb hőmérsékletre hűtjük. Ennek következtében a tojássárgája pasztaszerűvé lesz, így nehezkessé válik a kezelése, például szállítása és keverése során kihívásokba ütközhetünk (MORAN 1925), a felhasználhatósága pedig csökken (POWRIE et al. 1963). A leggyakoribb magyarázat a tojássárgája fagyasztás során bekövetkező gélesedésére az, hogy a keletkező jégkristályok következtében a tojássárgája komponensei koncentrálnak, és ez a plazma kis sűrűségű lipoproteinjeinek (low density lipoprotein; LDL) felhalmozódását eredményezi.

A gélesedés megakadályozására vagy mértékének csökkentésére a kutatók az elmúlt évtizedekben számos mechanikai és kémiai eljárást alkalmaztak. Köztük szerepeltek a krioprotektív hatású anyagok, amelyek közül főként a szacharózt és a konyhasót vizsgálták, amelyek a legkönnyebben elérhetőek és széleskörben elfogadottak. Ezenkívül a fagyasztási és felengedettési folyamatok optimalizálásával is foglalkoztak, vizsgálták többek között a kriogén fagyasztás hatását is. Tanulmányozták különböző enzimek hozzáadásának hatását (0,05% papain hozzáadásával gátolták a gélesedést) (LOPEZ et al. 1955), illetve különböző mechanikai kezelések hatását (homogenizálás, koloid őrlés, keverés), amelyekkel megelőzhető a jégkristályok kialakulása (LOPEZ et al. 1954; PRIMACELLA 2017). Tesztelték ezeken kívül a hidrolizált karboximetil cellulóz (E469), hidrolizált tojásfehérje, hidrolizált tojássárgája, prolin és polietilén glikol gélesedést gátló hatását is (PRIMACELLA et al. 2018a).

A teljes tojáslé esetében bekövetkező változásokról pedig nagyon kevés információ áll rendelkezésünkre, azok megelőzésére és a fagyasztott-felengedettett minták felhasználhatóságának növelésére pedig nem rendelkezünk megoldással. Doktori dolgozatomban többek között ezzel a témakörrel is foglalkozom.

2. CÉLKITŰZÉSEK

A tojáslevek ipari szintű fagyasztásával nagymértékben megnövelhető a minőségmegőrzési idő.

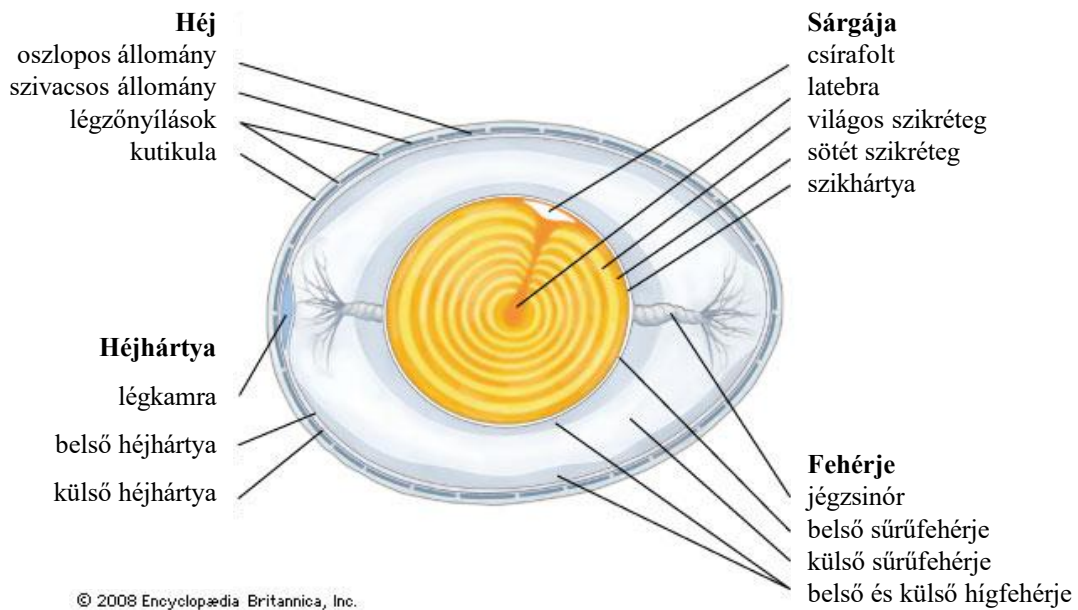
Kísérleteim célkitűzései a következők:

- Célom megvizsgálni, hogy a jelentős üzemeltetési költséggel bíró folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás megoldást jelenthet-e a tojássárgájale esetében bekövetkező gélesedésre. Ezért megvizsgálom, hogy milyen hatást gyakorol a folyékony nitrogénben történő fagyasztás, illetve az azt követő fagyasztva tárolás a tojássárgájale pH-jára, színére, reológiai, hőfizikai és technofunkcionális tulajdonságaira.
- Megvizsgálom, hogy a lassú fagyasztás – amely az ipari gyakorlatban legegyszerűbben kivitelezhető, teremfagyasztás módszerét imitálja – és az azt követő fagyasztva tárolás milyen hatást gyakorol a teljes tojásle, a tojásfehérjelé és a tojássárgájale pH-jára, színére, mikrobiológiai állapotára, reológiai, hőfizikai és technofunkcionális tulajdonságaira.
- Egy-egy kísérletem során foglalkozom a tojássárgájale gélesedésének megakadályozására a kutatásokban leginkább alkalmazott konyhasóval, illetve szacharózzal. Megvizsgálom, hogy milyen koncentrációban alkalmazva fejtik ki kedvező hatásukat a tojássárgájale fagyasztása során bekövetkező gélesedésére. Megvizsgálom, hogy hogyan változik a tojássárgájale pH-ja, színe, mikrobiológiai állapota, reológiai, hőfizikai és technofunkcionális tulajdonságai a konyhasó, illetve a szacharóz hozzáadásának hatására a fagyasztást megelőzően, illetve fagyasztás-felengedtetést követően.
- Célom megvizsgálni, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható különböző enzimek milyen hatást gyakorolnak a tojássárgájale, illetve a teljes tojásle fagyasztás-felengedtetés során bekövetkező nemkívánatos gélesedési folyamataira. Megvizsgálom a különböző enzimek koncentrációkkal kezelt tojássárgájale és teljes tojásle pH-ját, színét, mikrobiológiai állapotát, reológiai, hőfizikai és technofunkcionális tulajdonságait.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. A tojás felépítése

A tojás alapvető feladata az embrió fejlődéséhez szükséges feltételek és tápanyagok biztosítása, amelyről meglehetősen összetett felépítése és összetétele gondoskodik. Belülről kifelé haladva, a kialakulásuk sorrendjében, részei a következők: tojássárgája, szikhártya, fehérje, héjmembránok és héj (NYS et al. 2011). A tojás részletes felépítését az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A tyúktojás felépítése (SINGH 2021)

A tojássárgája tartalmazza a latebrát, az azon elhelyezkedő csírákorongot, illetve a koncentrikusan egymásra épülő világos és sötét rétegeket, a szikhártya pedig körülveszi. A sárgája a teljes tojás tömegének mintegy 30-33%-át teszi ki (STADELMAN 1995). Azonban a tyúktojás különböző részeinek arányát befolyásoló tényezők közé tartozik a tojóállat genetikai eredete, kora, takarmányozása és az állattartás körülményei (NYS és GUYOT 2011). A tojássárgája színét a takarmányból felvett karotinoid, a xantofill adja, amely a vérbe, majd a szikbe jut. A folyamat gyorsan játszódik le, így több színezőanyag jut a szikbe, amikor a tyúk táplálékhoz jut, mint a pihenés időszakában. Ezzel magyarázhatók a világos és sötét rétegek (BOGENFÜRST 1997).

A szikhártya egy 3 rétegből álló fehérjeeredetű extracelluláris membrán, amelynek szerepe a sárgája és a fehérje közötti anyagátmenet mértékének csökkentése (CHAMBERS et al. 2017). Ezenkívül utolsó védőgátként szolgál a baktériumokkal szemben.

A friss tojásban a sárgája közepén helyezkedik el a két spirál alakú jégzsinórnak nevezett szál segítségével, amelyek a sárgája két pólusát a héj két pólusához kötik. A jégzsinór a sárgájához kapcsolódva a tojás formálódása során bekövetkező forgásnak köszönhetően spirál alakot vesz fel (Nys & Guyot, 2011).

A tojásfehérje egy heterogén közeg, amely a tojás körülbelül 60%-át teszi ki. Négy különböző rétegből áll, amelyeket a viszkozitásuk alapján különíthetünk el (STADELMAN 1995). A belső sűrű fehérje a legvékonyabb réteg, mely a szikhártával szomszédos, és a jégzsinórban folytatódik, így kitevő a tojásfehérje 2,7%-át. A belső hígfehérje kb. a tojásfehérje 17,3%-át teszi ki, az ezt körülvevő külső sűrűfehérje pedig az 57%-át. A külső sűrűfehérje közvetlenül érintkezik a tojás két végén a tojáshéjjal, azonban a többi részen a fehérje 23%-át kitevő külső hígfehérje választja el tőle. A híg és sűrű fehérjék aránya a tárolás során változik, ezért a tojás frissességét megállapíthatjuk a hígfehérje vastagságának, vagy a fehérje lapos felületen időegység alatt bekövetkező terjedési távolságának mérésével. A fehérje három fontos feladatot lát el: a tojássárgája fizikai és mikrobiológiai védelmét, a víz- és iontárolást, illetve a fejlődő embrió fehérjeszükségletének kielégítését (NYS és GUYOT 2011). Körülbelül 40 féle fehérje található meg a teljes tojásban. A teljes tojás kb. 7 grammnyi fehérjetartalmának kicsivel több, mint a fele található a tojásfehérjében, míg 44%-a a sárgájában, a maradék néhány százalék pedig a hártákban és a héjban oszlik meg (SUGINO et al., 1996).

A tojásfehérjét a belső (20 μm) és külső (50 μm) héjhártya veszi körül, amelyek 95%-ban fehérjékből épülnek fel (AYGUN 2017; NYS és GUYOT 2011; STADELMAN 1995). A külvilágba kerüléskor a tojás lehül, és a legtöbb pórust tartalmazó részén, a tompa végén, a két héjhártya elválik egymástól, így létrejön az úgynevezett légkamra (BOGENFÜRST 1997).

A tojáshéj a tojás tömegének 9-12%-át adja. Fő alkotóeleme a kristályos kalcium-karbonát, amely a héj szárazanyag-tartalmának mintegy 94%-át teszi ki. Ezt kiegészíti kevés magnézium-karbonát, kalcium-foszfát, nátrium- és káliumsó, illetve szerves anyagok, főként fehérjék. A héjon egyenlőtlen eloszlásban kis nyílások találhatók, amelyek arra szolgálnak, hogy a fejlődő embrió oxigénhez jusson, és a felesleges víz, illetve szén-dioxid kijusson a környezetbe. A frissen tojt tojáson szinte az összes pórus zárt állapotban van, azonban a tárolás során egyre több nyílik ki.

A tojáshéj legkülső rétege a kutikula, amely nagyrészt glikoproteinekből épül fel (STADELMAN 1995). Az egyik fontos szerepe, hogy megkönnyíti a tojás külvilágba kerülését (BOGENFÜRST 1997). Ezenkívül eltömíti a héj pórusait, így fizikai gátat képez a mikroorganizmusok számára. Vízlepergető tulajdonsággal is bír, ami megakadályozza, hogy a pórusok megteljenek vízzel, amikor a fészek nedves (HINCKE 1995).

3.2. A tojásfehérje kémiai összetétele

A tojásfehérje fő összetevői a víz (88%) és a fehérjék (11%). Ezenkívül található benne szénhidrátok, ásványi anyagok és nyomokban lipidek (1%). A szárazanyag-tartalom kb. 90%-át a fehérjék teszik ki, amelyek főként globuláris szerkezetű glikoproteinek. A fehérjék össztömegének 86%-át néhány különböző fehérje teszi ki, azonban a tudomány jelenlegi álláspontja szerint

148 különböző protein található meg a tojásfehérjében (MANN 2007). A főbb fehérjék közé tartozik az ovalbumin az ovotranszferrin, az ovomukoid, a lizozim és az ovomucin, a tojásfehérje kisebb fehérjéinek pedig az avidin, a cisztatin, ovomakroglobulin, ovoflavoprotein, ovoglikoprotein, és ovoinhibitor számítanak (KOVACS-NOLAN et al. 2005). Az egyes fehérjék aránya, izoelektromos pontja és denaturálásának hőmérséklete vízben az 1. táblázatban láthatóak.

1. táblázat: A tojásfehérjét alkotó fehérjék aránya, izoelektromos pontja és vízben történő denaturálásának hőmérséklete (LI-CHAN et al. 1995)

Fehérje	A tojásfehérje fehérjetartalmában előfordulási aránya (%)	Izoelektromos pont (pH)	Denaturálódás vízben (°C)
Ovalbumin	54	4,5	84
Ovotranszferrin	12	6,1	61
Ovomukoid	11	4,1	77
Ovomucin	3,5	4,5-5,0	-
Lizozim	3,4	10,7	75
G2 globulin	4,0	5,5	92,5
G3 globulin	4,0	4,8	-
Ovoinhibitor	1,5	5,1	-
Ovoglikoprotein	1,0	3,9	-
Ovoflavoprotein	0,8	4	-
Ovomakroglobulin	0,5	4,5	-
Cisztatin	0,05	5,1	-
Avidin	0,05	10	85

3.2.1. A tojásfehérje fehérjéi

Az ovalbumin a tojó petevezetékében szintetizálódó fő tojásfehérje, amely a szerpinek közé tartozik (ABDOU et al. 2013; STADELMAN 1995). Az ovalbumin a biokémia egyik legfontosabb referenciafehérjéje. A nagy tisztaságú ovalbumin hordozóként, stabilizátorként, blokkoló anyagként vagy standardként szolgál (ABDOU et al. 2013). A molekulatömege 45 kDa, 386 aminosavat tartalmaz. Az ovalbumin nem rendelkezik klasszikus N-terminális szekvenciával (HUNTINGTON és STEIN 2001), hanem 3 poszt-szintetikus módosítási helye van az N-terminális acetilcsoporton kívül. Az aminosav-összetétele egyedülálló más fehérjékhez képest, az N-terminális aminosav acetilezett glicin, a C-terminális pedig prolin. Az oldatban lévő ovalbumin rázás hatására könnyen denaturálódik, viszont hővel szemben viszonylag ellenálló. A tárolás alatt az ovalbumin azonban egy hőstabilabb fehérjévé, S-ovalbuminná alakul (LI-CHAN et al. 1995). Az ovotranszferrin egy 686 aminosavból álló monomer glikoprotein, amelynek molekulatömege 76 kDa (LI-CHAN et al. 1995). Először konalbuminnak nevezték el, azonban ovotranszferrinre nevezték át, miután megállapították, hogy képes vasat megkötni (WILLIAMS 1968). Ugyanazzal az aminosav szekvenciával rendelkezik, mint a humán szérumban található transzferrin, és 15 diszulfidkötést tartalmaz (OE et al. 1988). Az ovotranszferrin egy molekulája 2 vas-molekulát

képes megkötni és a szervezetben szállítani. Az ovotranszferrin 2 fő formában fordul elő: apo- (vasmentes) és holo- (vashoz kötött) formában. Az ovotranszferrin e 2 formájának kémiai és fizikai tulajdonságai jelentősen különböznek. A holo-forma ellenállóbb a kémiai és fizikai körülményekkel szemben, mint az apo-forma. A vas könnyen kötődik az ovotranszferrinhez pH > 7,0 mellett, de pH < 4,5 mellett felszabadul (ABEYRATHNE et al. 2013; KO és AHN 2008). Az ovotranszferrin hőérzékenysége nagyobb, mint az ovalbuminé, de kevésbé hajlamos a felszíni denaturálódásra. Lineweaver megállapításai alapján 9-es pH-n 62°C-on 3,5 percig melegítve az ovotranszferrin több, mint 50%-a denaturálódik (LINEWEAVER és MURRAY 1947).

Az ovomukoid az egyik legmagasabban glikozilált fehérje, amely a tojásfehérjében található (KOVACS-NOLAN et al. 2000). Az ovomukoid molekulatömege 28 kDa, de SDS-PAGE-n a sáv 30-40 kDa-nál jelenik meg. Jól ismert tripszin inhibitor, és a tojásfehérjében jelen lévő fő élelmiszer-allergénként tartják számon. Minden egyes ovomukoid molekula egy tripszinmolekulát köt meg, és a 3 dimenziós szerkezetét 3 diszulfid kötés biztosítja (OLIVEIRA et al. 2009). Az ovomukoid savas oldatban rendkívül hőstabil, 100°C-on hosszú ideig tartó hőkezelés hatására sem változnak a fiziko-kémiai tulajdonságai (ABDOU et al. 2013).

Az ovomucin egy nagyon viszkózus szulfáttartalmú glikoprotein, amely oldható és oldhatatlan komponensekből áll: az oldható komponens 8,3 kDa, az oldhatatlan komponens pedig 220 és 270 kDa között mozog (OMANA et al. 2010). A nagy molekulatömegű fehérjék közé tartozik, amelyhez szénhidrát kapcsolódik (HIIDENHOVI et al. 1999). Átlagosan 33%-a szénhidrát, tartalmaz galaktózt, galaktózamint és szialsavat (MINE 2008). Ez a fehérje felelős a tojásfehérje gélszerű szerkezetéért és az ovomucin-komplex lebomlásának tulajdonítják a tojásfehérje tárolás során bekövetkező hígulását (KATO et al. 1971). Az oldatban lévő ovomucin hőstabil, 7,1 és 9,4 közötti pH-n, 90°C-os hőhatásra 2 órán keresztül viszkozitása és fényáteresztő képessége nem változik (LI-CHAN et al. 1995).

A lizozim, egy fontos baktériumölő hatással rendelkező fehérje, amely széles körben elterjedt a természetben (WU et al. 2019). A tojásban található lizozim a legjobban oldódó és legstabilabb formája. Ubiquiter enzim, amely képes hidrolizálni az N-acetilneuraminsav és az N-acetilglükózamin közötti β (1-4) kötést a baktériumok sejtfalában (LESNIEROWSKI és KIJOWSKI 2007; LI-CHAN et al. 1995). A lizozim molekulatömege 14,4 kDa, és egyetlen polipeptidláncból áll, amely 129 aminosavat tartalmaz. Hőstabilnak tekinthető fehérje, amely 4 diszulfidhídjának köszönhető (WAN et al. 2006).

A korai vizsgálatokban hat globulinfrakciót véltek felfedezni a tojásfehérjében. Ezek a makroglobulin, az ovoglobulin G1, G2 és G3, valamint két másik globulin. Később azonban a két globulint ovoinhibitoroknak minősítették, az ovoglobulin G1-et pedig lizozimként azonosították. Jelenleg az ovoglobulin elnevezést csak a G2 és G3 ovoglobulinokra alkalmazzák, amelyek

molekulatömege 36, illetve 45 kDa. E fehérjék biológiai funkcióját nem sikerült egyértelműen tisztázni, azonban úgy tűnik, hogy fontos szerepet játszanak a tojásfehérje habképző képességében (ABDOU et al. 2013; LI-CHAN et al., 1995).

Az ovomakroglobulin az ovomucin után a második legnagyobb glikoprotein a tojásfehérjében, molekulatömege 760-900 kDa. Az ovomakroglobulin az ovomucinhoz hasonlóan képes gátolni a hemagglutinációt (SUGINO et al. 1996).

Az ovoflavoprotein 32-36 kDa molekulatömegű savas kémhatású fehérje, amely mannózból, galaktózból és glükózaminokból álló szénhidrát részt (14%), 7-8 foszfát csoportot és 8 diszulfidkötést tartalmaz. Riboflavinkötő proteinnek is nevezik, mivel 1:1 arányban hozzá kötődik a riboflavin (LI-CHAN et al. 1995). Ez a kötőerő megszűnik a fehérje 4,2 izoelektromos pH-értéke alatt. Antimikrobiális tulajdonságát annak köszönheti, hogy megfosztja a mikroorganizmusokat a riboflavintartalmától (ABDOU et al. 2013; IBRAHIM 1996).

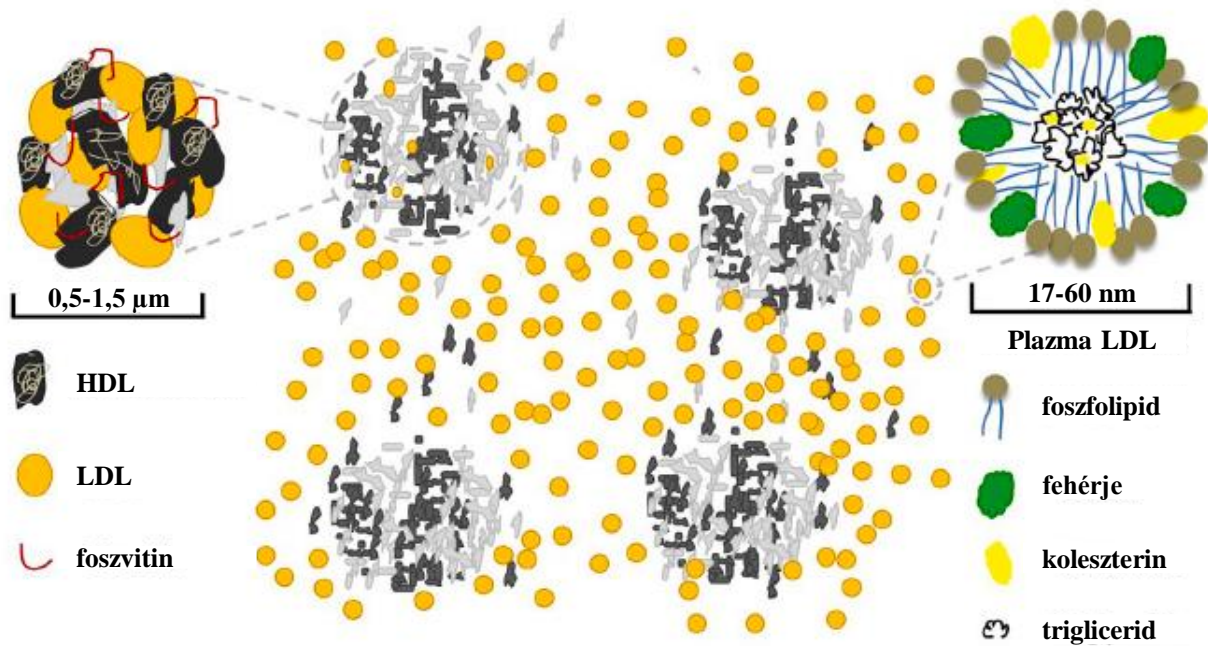
Az avidin egy erősen bázikus glikoprotein. Tetramer fehérje, amely azonos aminosav-összetételű és szekvenciájú alegységekből áll (15,6 kDa és egyenként 128 aminosav). A négy azonos polipeptid alegység diszulfidhíd kötéssel kapcsolódik egymáshoz. Az avidin a tojásfehérje nyomokban előforduló összetevője (0,05%), azonban intenzíven tanulmányozták, mivel képes szoroson és specifikusan megkötni a biotint, amely így hozzáférhetetlenné válik a baktériumok számára (ABDOU et al. 2013; LI-CHAN et al. 1995). Kimutatták, hogy önmagában 70°C-nál irreverzibilisen denaturálódik, de a komplex 100°C-on is stabil marad (PRITCHARD et al. 1966). A cisztatin proteináz-inhibitor. Kis molekula (12,7 kDa), nem tartalmaz szénhidrátokat és nagy hőstabilitású. A szakirodalomban beszámoltak széleskörű alkalmazási lehetőségeiről a gyógyászati kezelésekben.

Az ovoglikoprotein egy savas glikoprotein, amelynek molekulatömege 24,4 kDa. Ez a fehérje 13,6% hexózat, 13,8% glükózamint és 3% N-acetilneuraminsavat tartalmaz. Az ovoglikoprotein biológiai funkciói még mindig nem tisztázottak (ABDOU et al. 2013).

3.3. A tojássárgája kémiai összetétele

A tojássárgája víztartalma kb. 50-51%, szárazanyag-tartalmát főként zsírok és fehérjék alkotják (WU, 2014).

A tojássárgája összetétele és szerkezete összetett és változatos, természetes fehérje-lipid szupramolekuláris felépítéssel rendelkezik (2. ábra) (ANTON 2013). A tojássárgáját két frakció alkotja, az egyik a folyékony plazma frakció, a másik frakciót pedig az ebben elhelyezkedő lipoprotein részecskék (granulátumok) alkotják. Ez a két frakció enyhe centrifugálás hatására szétválasztható a fehérjék denaturálódása nélkül (SIRVENTE et al. 2007).



2. ábra: A tojássárgája sematikus ábrája (ZHAO et al. 2021)

A plazma frakció a sárgája szárazanyag-tartalmának 75-81%-át teszi ki, itt található a fehérjék 52-58%-a, és a foszfolipidek 85%-a (SIRVENTE et al. 2007). A tojássárgája mikrostruktúrájában 0,5-1,5 μm átmérőjű sferoidok (gömbszerű alakzatok) láthatóak a folytonos fázisba ágyazva (ANTON 2013; BLUME et al. 2015; HSU et al. 2009; ZHAO et al. 2021). Ezenkívül oldhatatlan aggregátumok szuszpendálódnak a plazmában, amelyek LDL-t (low density lipoprotein; kis sűrűségű lipoprotein) és oldható fehérjét tartalmaznak (PRIMACELLA et al. 2018b). A plazma 85%-ban LDL-t és 15%-ban livetint tartalmaz, amely főként α-, β- és γ- livetinek (ANTON 2013; LACA et al. 2015; STRIXNER és KULOZIK 2013).

A granulátumok pedig a következőket tartalmazzák: 70% HDL (high density lipoprotein; nagy sűrűségű lipoprotein), 16% foszvitin és 12% LDL. Megfigyelhető krio-elektronmikroszkóppal (SEM), hogy a friss tojássárgája granulátumai 50-100 μm átmérőjű, gömb alakú poliéderek, amelyeknek egyenetlen felülettel és kevés éllel rendelkeznek (HSU et al. 2009). Már az 1960-as években megállapították, hogy a sárgája granulátumok két típusba sorolhatók. A sötét granulátumok 25-150 μm átmérőjűek, míg a világos granulátumok 4-75 μm átmérővel rendelkeznek (BELLAIRS 1961).

3.3.1. A tojássárgája fehérjéi

A tojás fehérjetartalmának kb. 44%-a a tojássárgájában található (SUGINO et al. 1996). Az LDL a tojássárgájában a legnagyobb mennyiségben előforduló fehérje, a sárgája szárazanyagának kb. 2/3-át teszi ki. Az LDL a tojássárgája emulgeáló tulajdonságait biztosítja és emellett a sárgája gélesedésében is kiemelkedő szerepet tölt be (ANTON et al. 2001; ANTON 2007a) Az LDL szerkezetét tekintve gömb alakú nanorészecske (17-60 nm átmérőjű), amelyben egy trigliceridből

és koleszterinből álló folyékony lipidmagot vesz körül egy egyrétegű foszfolipid membrán, melyben fehérjék is megtalálhatók (ANTON et al. 2001; JOLIVET et al. 2006). Összetételüket tekintve az LDL molekulák 11-17% fehérjéből és 83-89% lipidből épülnek fel. Két csoportja az LDL₁ (molekulatömege 10⁴ kDa) és az LDL₂ (molekulatömege 3000 kDa) (ANTON 2007a).

A tojássárgájában a második legnagyobb mennyiségben előforduló fehérjetípus a HDL, amely kb. a sárgája szárazanyagának 1/6 részét teszi ki. A HDL-ek dimer globuláris molekulák (7-22 nm átmérőjű), amelyek két monomer molekulából állnak. A HDL szerkezete az LDL-lel ellentétben nem gömbszerű micellaszerkezet, hanem globuláris fehérjékhez hasonlító molekuláris szerkezettel rendelkezik. A nagy sűrűségű lipoproteinek közé tartoznak a lipovitellinek, amelyeknek két típusa az α- és a β-lipovitellin, zsírtartalmuk 21-22% körüli (SUGINO et al., 1996). A lipovitellinek kovalensen kötődnek a mannóz, galaktóz, glükózamin, szíálsav alkotta oligoszacharidokhoz, és viszonylag hőstabil fehérjék. A HDL-eket 75-80%-ban fehérjék és 20-25%-ban lipidek alkotják, molekulatömegük 400 kDa. A HDL-ek foszvitinhez kötődve komplex szerkezetet képeznek (ANTON 2007a).

A foszvitin a tojássárgája szárazanyag-tartalmának 4%-át teszi ki, a granulátumban fordul elő. A foszvitin egy kb. 10% foszfortartalmú glikofoszfoprotein (a tojássárgája foszfortartalmának 80%-a ebben található), ami a természetben előforduló egyik leginkább foszforilált fehérje (LI-CHAN és KIM 2008). Vastartalma kiemelkedő, kb. a tojássárgája vastartalmának 95%-a a foszvitinhez kötött állapotban található. Hosszú, hőstabil molekula, melyet két polipeptid alkot: az α-foszvitin, amelynek molekulatömege 160 kDa, és a β-foszvitin, amelynek molekulatömege 190 kDa. Az LDL és HDL molekuláktól eltérően nem tartalmaz lipideket, csak különböző szénhidrátokat (hexóz, hexozamin, szíálsav) (ANTON et al. 2007; LI-CHAN és KIM 2008).

A plazmafehérjék közé tartozó livetinek egy inhomogén frakciót alkotnak, közéjük tartozik az α-, β-, and γ-livetin, amelyek relatív aránya 2:5:3 (BERNARDI és COOK 1960). A livetinek vízoldhatók és hőérzékenyek, molekulatömegük eltérő (α-livetin: 70 kDa; β-livetin: 45 kDa; γ-livetin: 160 kDa). Az α-livetin, vagy más néven csirke szérum albumin, az ovotranszferrinhez és a lizozimhez hasonlóan a tojásallergia egyik kiváltója (SCHADE és CHACANA 2010).

3.3.2. A tojássárgája lipidjei

Egy átlagos tojás kb. 6 g lipidet tartalmaz, amely kizárólag a tojássárgájában található meg. A sárgája szárazanyag-tartalmának nagyjából 2/3-át zsírok teszik ki. A tojássárgája lipidjei megtalálhatók szabadon is, azonban ahogy a 3.3.1. fejezetben bemutattam, jelentős részük fehérjékhez kötött formában, lipoproteinként van jelen (CSAPÓ és CSAPÓNÉ KISS 2003). Összetételüket tekintve a lipidek 62% trigliceridek, 33% foszfolipidek és kevesebb mint 5% koleszterin (LI-CHAN & KIM 2008; WU 2014).

A trigliceridek az utód fejlődéséhez szolgáltatnak energiát. A trigliceridek felépítése során főként a telített zsírsavak közé tartozó palmitinsav és sztearinsav, illetve a telítetlen zsírsavak közé tartozó olajsav és linolsav vesznek részt (LI-CHAN et al. 1995; SUGINO et al., 1996). A sárgájában található foszfolipidek és a koleszterin elősegítik a szomatikus sejtstruktúráinak és az agyi idegsejtek sejtmembránjának kialakulását (LI-CHAN és KIM, 2008). A foszfolipidek között 73% foszfatidil-kolin (lecitin), 15% foszfatidil-etanolamin, 5,8% lizofoszfatidil-kolin, 2,5% szfingomielin, 2,1% lizofoszfatidil-etanolamin és 0,6% inozitol-foszfolipid található meg (LI-CHAN et al. 1995). A legfőbb ételmiszeripari jelentőséggel bíró lipidje a lecitin, amely a természetben fellelhető egyik legjobb emulgeálószer, amit a benne található erősen apoláros zsírsavaknak és poláros jellegű foszfátrésznek köszönhet (CSAPÓ és CSAPÓNÉ KISS, 2003). A tojássárgája koleszterol-tartalma kb 1,5% (226 mg), ami a lipidek kb 5%-a szabad (85–90%) vagy észterezett (10–15%) formában (LI-CHAN és KIM, 2008). A szabad koleszterin részt vesz az LDL felépítésében (ANTON 2007b).

3.3.3. A tojássárgája egyéb összetevői

A tojássárgája szénhidrát-tartalma 0,7-1,0%-ra tehető, szabad glükóz tartalma körülbelül 0,3%. Ezenkívül főként fehérjékhez (glikoproteinek) és lipidekhez (glikolipidek, mint például cerebrozid) kötött formában fordulnak elő. Ezenkívül a szialinsav főként a szikhátyában van jelen ($13,7 \pm 0,5 \mu\text{g}$), azonban kisebb koncentrációban magában a sárgájában is előfordul ($5,2 \pm 0,4 \mu\text{g}$) (LI-CHAN és KIM 2008; NYS és GUYOT 2011).

A tojássárgája ásványi anyag tartalma 1% körüli. A legnagyobb mennyiségben foszfort tartalmaz, amelynek 61%-a foszfolipid formában van jelen. Ezenkívül jelentős Ca, Cl, K, N, S, Mg és Mn tartalommal bír, illetve a tojás vastartalmának nagy része is a sárgájában található.

A zsírban oldódó vitaminok mindegyike megtalálható a tojássárgájában, illetve a vízben oldódó vitamintartartalma is magasabb a tojásfehérjéhez képest, mely alól a niacin és a riboflavin képez kivételt (NYS és GUYOT 2011).

A tojássárgája színét a tojásban elraktározott karotinoidok adják, amelyek zsírban oldódó konjugált izoprén származékok. Ezek közül nagyobb mennyiségben luteint, zeaxantint és β -kriptoxantint tartalmaz, kisebb mennyiségben pedig β -karotint (LI-CHAN és KIM 2008). A tyúk nem képes a karotinoidok szintézisére, ezért a tojásba kerülő összes karotinoid a tojó táplálékában található karotinoidokból származik. A tyúk elsősorban xantofillokat (hidroxil csoporttal rendelkező karotinoidok) raktároz a testzsírjában és a tojássárgája zsírsavaiban. A tojássárgája színe, intenzitása, árnyalata és homogenitása közvetlenül függ a tojó takarmányozásától, a magas karotinoid tartalmú forrásokkal való kiegészítéstől. A sárgája színét a tojástermelők gondosan ellenőrzik, ugyanis ez a tényező nagyban befolyásolja a fogyasztói elfogadást. A fogyasztók

gyakran a tojássárgája színét azonosítják a termék minőségével. A preferencia azonban függ a földrajzi területtől, a fogyasztók szokásaitól (NYS és GUYOT 2011).

3.4. A tojás mikrobiológiája

3.4.1. A héjas tojás mikrobiológiája

A héjas tojás a peteérés idején lényegében mentes a mikrobiális szennyeződéstől. Ezalól kivétel lehet a *Salmonella enteritidis* transzovariális átvitele a tojássárgájába. Ez a csíramentes állapot azonban gyorsan megváltozik, amint a tojás héja érintkezésbe kerül a fészekkel tojásrakást követően. A por, a talaj és az ürülék a szennyező mikroorganizmusok elsődleges forrásai. A Gram-pozitív mikroorganizmusok dominálnak a jelenlévő mikrobiális szennyeződések között, de kis számban Gram-negatív baktériumok is megtalálhatók (BOARD és TRANTER 1995). A tojás mikrobiótájának tagjai között előfordulhatnak *Proteus*, *Aeromonas*, *Alcaligenes*, *Escherichia*, *Micrococcus*, *Salmonella*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Serratia*, *Enterobacter*, *Flavobacterium* és *Staphylococcus* baktérium fajok. A penészek közül jelen lehetnek *Mucor*, *Penicillium*, *Hormodendron*, *Cladosporium* fajok, és ezenkívül az élesztőgombák közé tartozó *Candida* fajokat is kimutatták (DEÁK et al. 2006). A tojás romlásáért viszonylag kevés Gram-negatív mikroorganizmus felel. A romlás vagy rothadás típusait a romlott tojás színével jellemzik. A fekete rothadás például a *Proteus* és az *Aerobacter* fajok jelenlétével hozható összefüggésbe. A *Serratia* fajok a vörös rothadással, a *Pseudomonas* egyes fajai pedig a zöld és rózsaszín rothadással hozhatók kapcsolatba (BOARD és TRANTER 1995). A patogén baktériumok közül a Gram-pozitív *Staphylococcus aureus* fordul elő gyakran, ugyanis a baromfi bőrének és nyálkahártyájának normál mikrobiótájához tartozik (DEÁK et al. 2006). Gyakori patogénnek számít még az *Enterobacteriaceae* családba tartozó *Salmonella Typhimurium*, illetve *Salmonella Enteritidis*. A legtöbb *Salmonella Enteritidis* járvány tojásnak vagy tojás terméknek köszönhető (JAKOČIŪNĚ et al. 2014).

3.4.2. A feldolgozott tojástermékek mikrobiológiája

A tojáshéj, a héjhártyák és a fehérje mikrobagátló molekulái megvédik a tojásfehérjét és a sárgáját a környezet általános szennyeződéseitől. Amikor azonban a feldolgozás során a héj és a membránok eltávolításra kerülnek, ez a védelem megszűnik. A tojássárgája kiváló táptalaj számos baktérium számára, így akár a teljes tojáslé, akár a tojássárgája kitűnő közeget biztosít a mikrobanövekedéshez. A feldolgozott tojástermékek mikrobiológiai szennyezői általában a tojás héjáról származnak. A feltöréskor ugyanis az apró héj részek, amelyeket később szűréssel elválasztanak a tojásmelanzstól, szennyezhetik a terméket. A tojás kora szintén befolyásolja a mikrobiális szennyeződések szintjét. Ha a tojásokat a feltörés előtt több napig vagy hétig tárolják, egyes mikroorganizmusok áthatoltak a héj membránján (STADELMAN 1994).

A megfelelő minőségű feldolgozott tojástermékek (pasztőrözött vagy fagyasztott) előállításához megfelelően tárolt, alacsony mikrobaszámú, friss héjas tojás szükséges. Ezenkívül a feldolgozás megfelelősége is elengedhetetlen (ZEIDLER 2002). Az Európai Unió szabályozásai alapján a tojás feldolgozása során a centrifugálás és a tojás zúzása nem megengedett, illetve a hőkezelés előtti 4°C-os tárolási idő nem haladhatja meg a 48 órát. Továbbá az európai jogszabályok a *Salmonella* jelenlétének korlátozása mellett (0 CFU / 25 g) az *Enterobacteriaceae* jelenlétét is korlátozzák (max. 10² CFU / g) (Az Európai Bizottság 2073/2005/EK rendelete, 2005). Ezenkívül a magyar szabályozás tojás és tojáskészítmények esetében előírja a maximális *Staphylococcus aureus* (10³ CFU / g), *Escherichia coli* (10 CFU / g), *Enterococcus faecalis* (10⁴ CFU / g) számot, a maximális megengedhető mikrobaszámot (10⁵ CFU / g) és penészgomba számot (10³ CFU / g) (4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet, 1998).

A pasztőrözés paraméterei különbözőek lehetnek, mivel a különböző idő-hőmérséklet kombinációk ugyanazt a pasztőrözési hatást biztosítják. A kiindulási anyag pH-ja befolyásolja a tojáslé pasztőrözésének megfelelőségét. Például a magasabb pH-értékek általában alacsonyabb pasztőrözési hőmérsékletet igényelnek, mivel a 9,0 pH-érték a leghatékonyabb a *Salmonella* törzsek elpusztítására. A sárgája alacsonyabb pH-értékkel és magasabb szárazanyag-tartalommal rendelkezik, mint a teljes tojás. Részben ez az oka annak, hogy a *Salmonella* hőtűrőbb a tojássárgájában, mint a teljes tojásban. Ezért a tojássárgájánál nagyobb hőmérsékletet szükséges alkalmazni a pasztőrözés során, mint a teljes tojáslénél és a tojásfehérjénél. Ezenkívül a tojásfehérje érzékenyebb a magasabb hőmérsékletre, mint az teljes tojás vagy a tojássárgája, a fehérje koagulációjának lehetősége miatt (LAI 2016).

A nyers teljes tojáslé mikrobiológiai minősége általában nem olyan jó, mint a nyers fehérje vagy a nyers sárgája minősége (COTTERILL és McBEE 1995). Ha a kezdeti összes baktériumszám nagyobb, mint 5000/gramm, akkor a feldolgozási körülmények nem optimálisak, és ellenőrizni kell az üzem higiéniáját, a működési eljárásokat és a feltört tojás minőségét. Amennyiben nagyon friss tojásokat törnek fel, akkor a pasztőrözött tojáslé csíraszama 100-nál kisebb (BAKER és BRUCE 1994). Amíg a pasztőrözetlen tojástermékekben a Gram-negatív baktériumok (*Aeromonas*, *Enterobacter*, *Flavobacterium* és *Pseudomonas spp.*) dominálnak, a pasztőrözött tojástermékekben a Gram-pozitív baktériumok (*Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus* és *Coryneform spp.*) található meg túlnyomó részben (DAWSON 2019).

3.5. A fagyasztott élelmiszerek mikrobiológiája

A fagyasztva tárolás során alkalmazott hőmérséklet általában -18°C-nál alacsonyabb. A hőmérséklet mellett a kis vízaktivitásuk is gátló tényező, amelyet a víz jég formájában történő eltávolítása eredményez. Ilyen körülmények között nem szaporodnak a mikroorganizmusok

(ADAMS és MOSS 2008). Azonban a fagyasztás egy olyan stresszhatás, amely különböző hatást gyakorol a mikroorganizmusokra. Egyes sejtekre nem gyakorol káros hatást, egy részük elpusztul, más mikroorganizmusok pedig szubletális vagy metabolikus károsodást szenvednek (GOLDEN és ARROYO-GALLYOUN 1997). A mikrobiális vagy endogén enzimaktivitás, például a lipázok aktivitása fennmaradhat és hatással lehet a termék minőségére. A gyümölcsök és zöldségek esetében a fagyasztás előtti blansírozással inaktíválják az endogén polifenol-oxidázokat, amelyek egyébként a termék elszíneződését okoznák a tárolás során.

A mikroorganizmusok a fagyasztási folyamat minden fázisában sérülhetnek. A fagyasztási hőmérsékletre való lehűtés során a mikroorganizmus populáció egy része hidegsokknak van kitéve. A fagyasztás hőmérsékletén további pusztulás és sérülés következik be. Az extracelluláris jégképződés mechanikusan károsíthatja a sejteket, és a keletkező magas extracelluláris ozmotikus nyomás miatt dehidratálja őket. A vízfázis ionerősségének és pH-értékének bekövetkező változásai számos olyan sejt-komponens és makromolekula szerkezetét és működését is megzavarják, amelyek stabilitása ezektől a tényezőktől függ. A tárolási hőmérsékletre történő lehűtés megakadályozza a további mikrobiális növekedést, amennyiben -10°C -nál kisebb hőmérsékleten történik a tárolás. Végül a tárolás során kezdetben csökken az életképes mikroorganizmusok száma, majd idővel lassú csökkenés következik be. Minél alacsonyabb a tárolási hőmérséklet, annál lassabb a sejtek pusztulása (ADAMS és MOSS 2008).

A fagyasztás utáni túlélési arány a fagyasztás pontos körülményeitől, az élelmiszer-alapanyag jellegétől és a mikrobióta összetételétől függ, a különböző adatok szerint 5 és 70% között van. A baktériumspórákat gyakorlatilag nem érinti a fagyasztás, a legtöbb vegetatív Gram-pozitív baktérium viszonylag ellenálló, a Gram-negatívok mutatják a legnagyobb érzékenységet. Míg a fagyasztva tárolás inaktíválja a magasabb rendű szervezeteket, például a patogén protozoákat és parazita férgeket, az élelmiszer-összetevők (pl. só, szacharóz stb.) gyakran krioprotektív anyagként hatnak a baktériumokra, így a bakteriális kórokozók hosszú ideig túlélhetnek fagyasztott állapotban (ADAMS és MOSS 2008). Fontos figyelembe venni, hogy a fagyasztás és a fagyasztva tárolás mikrobapusztító hatása szelektív, amely azt eredményezheti, hogy a legellenállóbb egyedek maradnak életben és a kompetitív mikroorganizmusok elpusztulnak (BALLA & SÁRAY 2002).

A mikrobák pusztulásának mértékét a fagyasztás sebessége is meghatározza. A maximális pusztulás lassú fagyasztás esetén figyelhető meg, ahol, bár kisebb mértékben éri hidegsokk a mikroorganizmusokat, a magas oldott anyagok koncentrációjának való kitettség elhúzódik. A túlélés nagyobb gyorsfagyasztás esetén.

A felengedtetés időigényesebb folyamat, mint a fagyasztás, és még a közepes méretű termékek esetén sem egyenletes a hőmérsékleteloszlás a terméken belül. Nagyobb felengedtetési

hőmérséklet esetén a mezofilok a termék felszínén növekedhetnek, miközben a termék belseje még fagyos. Ezért kisebb felengedettési hőmérséklet alkalmazása előnyösebb. A kis hőmérsékletű felengedettetés során a mikroorganizmusok hosszabb ideig 0 és 10°C közötti hőmérsékletnek vannak kitéve, ami letális következményt jelenthet a populáció egyes tagjaira. Ezzel egyidőben azonban lehetővé teszi a pszichotrófok növekedését (ADAMS és MOSS 2008).

3.6. Gazdasági vonatkozások

3.6.1. Nemkívánatos események a tojáságazatban és az információk gyűjtése

A baromfiágazatban előforduló nemkívánatos események időről időre befolyásolják a tojás árát, illetve elérhetőségét. A baromfi bármely betegsége közvetve, a madár egészségének befolyásolásával hátrányosan befolyásolhatja a tojástermelést és a tojásmínőséget. A megbetegedéseket okozhatják baktériumok (*Salmonella*, *Mycoplasma*, *Escherichia coli*, *Haemophilus paragallinarum*, *Ornithobacterium*, *Gallibacterium*, spirochaetosis), vírusok (fertőző bronchitis vírus, EDS-76 (Egg drop syndrome '76), duzzadt fej-szindróma, encephalomyelitis, madárinfluenza, Newcastle-betegség, laryngotracheitis), szindrómák (haemorrhagiás zsírmáj szindróma, csontritkulás) és toxikus anyagok is (ROBERTS et al. 2011). A World Organisation for Animal Health (OIE; Állategészségügyi Világszervezet) egy 182 tagállammal rendelkező kormányközi szervezet, amely koordinálja, támogatja és népszerűsíti az állatbetegségek elleni küzdelmet az egész világ területén. Az OIE kiemelt célja a fellépés az állatpopulációkban jelentkező, emberekre is veszélyes járványok ellen. Ezenkívül megteremti a nemzetközi együttműködést az egészségügyi biztonság, az élelmiszer-biztonság és az állatjóllét érdekében, mindenki számára elérhető tudományos információt szolgáltat az állategészségügy területén és célja az állategészségügyi szolgáltatások fejlesztésének előmozdítása (OIE - Who We Are, n.d.).

Az OIE listázza azokat a megbetegedéseket, amelyek megjelenése az állat- és emberi egészségre gyakorolt hatásuk miatt nemzetközi aggodalomra adnak okot. Az OIE tagjai kötelesek értesíteni az OIE-t, ha országukban, övezetükben vagy területi egységükben az OIE jegyzékében szereplő megbetegedést észlelnek. Az OIE továbbítja ezt az információt a többi tagországnak, hogy azok megtehessek a szükséges intézkedéseket ezen állatbetegségek határokon átnyúló terjedésének megakadályozása érdekében. Az OIE listáján 12 olyan megbetegedés szerepel, amely a madarakat érinti. Ezek közé tartozik a chlamydiosis, a fertőző bronchitis vírus, a laryngotracheitis, a madárinfluenza, a *Mycoplasma gallisepticum* és *M. synoviae* által okozott mycoplasmosis, a kacsahépatitis vírus, a baromfitífusz, Gumboro-betegség, a Newcastle-betegség (baromfipestis), a *Salmonella Pullorum* által okozott megbetegedés és a pulyka rhinotracheitis (OIE - Animal Diseases, n.d.).

Az OIE létrehozta a World Animal Health Information System-et (WAHIS; Állategészségügyi Információs Adatbázis), egy átfogó adatbázist, amelyen keresztül a világ állategészségügyi helyzetére vonatkozó információkat jelentik és teszik közzé az egész világon. Az OIE-WAHIS adatai az OIE tagországok, illetve egyéb országok állategészségügyi szolgálatai által a háziállatok és vadon élő állatok OIE-listán szereplő betegségeiről, valamint az újonnan megjelenő betegségekről és zoonózisokról gyűjtött információkat tükrözik. Ezek az információk mindenki számára hozzáférhetőek honlapjukon (OIE-WAHIS-World Animal Health Information System, n.d.).

3.6.2. A madárinfluenza hatásai a tojástermelésre

A madárinfluenza a baromfi ágazatot legnagyobb mértékben sújtó és a legnagyobb esteszámban előforduló megbetegedés (OIE-WAHIS-Quantitative Data, n.d.). A madárinfluenza az *Orthomyxoviridae* vírus családba tartoznak, azon belül az influenzavírus A nemzetségébe sorolhatók. Zoonózisos megbetegedés, vagyis az állatokon kívül bizonyos esetekben embereket is megfertőzhet. A madárinfluenza-vírusok rendkívül változatosak és széles körben elterjedtek a madarak körében. Az influenza A vírusokat két felszíni fehérje, a hemagglutinin (HA) és a neuraminidáz (NA) alapján altípusokba sorolják. Például a HA 7 fehérjével és NA 9 fehérjével rendelkező vírust H7N9 altípusnak nevezik. A madaraktól származó vírusokban legalább 16 hemagglutinin (H1-H16) és 9 neuraminidáz (N1-N9) altípust találtak.

Az madárinfluenza vírus törzseit általában két kategóriába sorolják a baromfi betegség súlyossága szerint:

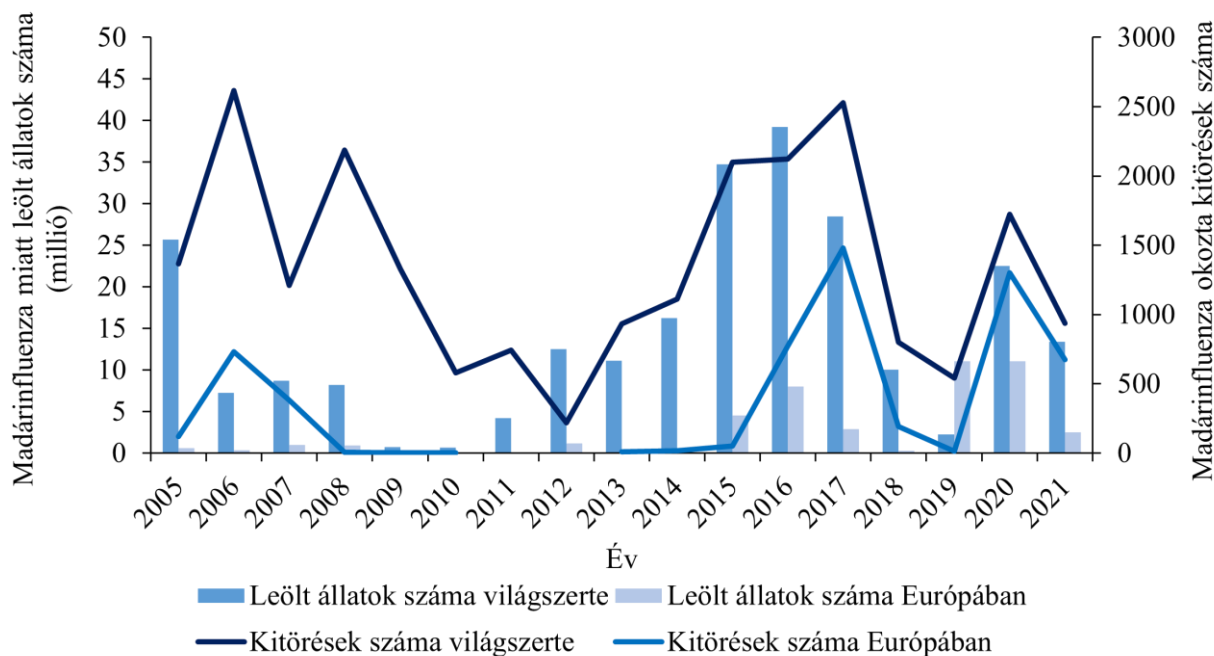
- *Alacsony patogenitású törzsek*, amelyek jellemzően kevés vagy semmilyen klinikai tünetet nem okoznak a baromfiknál, és egyes madárfajoknál a tünetek hiánya miatt észrevétlenek maradhatnak.
- *Magas patogenitású törzsek*, amelyek súlyos klinikai tüneteket és potenciálisan magas elhullási arányt okozhatnak.

Az eddigi magas patogenitású influenza A vírus baromfi fertőzését a H5 és H7 altípusokkal hozták összefüggésbe (Madárinfluenza - Nébih, n.d.; Avian Influenza Portal, n.d.).

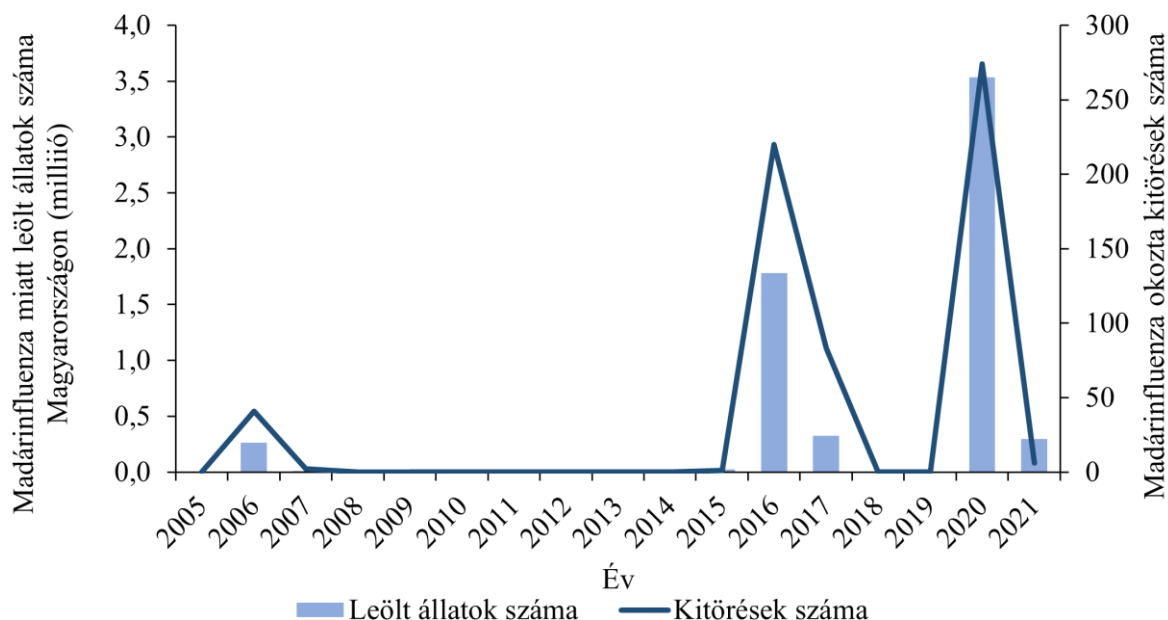
A madárinfluenza kitöréseknek komoly gazdasági következményei lehetnek, amelyek az alábbiak:

- nagyobb, gyakran 50% körüli elhullási arány,
- a munkahelyek megszűnése, amely főként a fejlődő országokat érinti,
- a járványok megfékezése érdekében gyakran leölik az egészséges madarakat, ami kockázatot jelent az állatok és az emberek jólétére, valamint aggodalomra ad okot a fehérjepazarlás és a gazdasági hatások tekintetében,
- a magas patogenitású madárinfluenza jelenléte korlátozza az élőállatok és a baromfihús nemzetközi kereskedelmét,
- az érintett országokról alkotott közvélemény megromolhat, ami csökkentheti az utazási kedvet és a turizmust (Avian Influenza Portal, n.d.).

A madárinfluenza következtében világszerte és Európában is számos kitörést jelentettek be és rengeteg állatot öltek le (3. ábra). A járvány a magyar baromfiágazatot sem kíméli, az utóbbi évtizedben két nagyobb hullámmal néztek szembe az állattartók, 2016-ban kb. 1,78 millió, míg 2020-ban 3,53 millió állatot öltek le (4. ábra).



3. ábra: A magas patogenitású madárinfluenza előfordulása miatt világszerte és Európában leölt állatok száma (oszlopok) és a bejelentett kitörések száma (sávok) 2005-től (OIE-WAHIS-Quantitative Data, n.d. nyomán)



4. ábra: A magas patogenitású madárinfluenza előfordulása miatt Magyarországon leölt állatok száma (oszlopok) és a bejelentett kitörések száma (vonalak) 2005-től (OIE-WAHIS-Quantitative Data, n.d. nyomán)

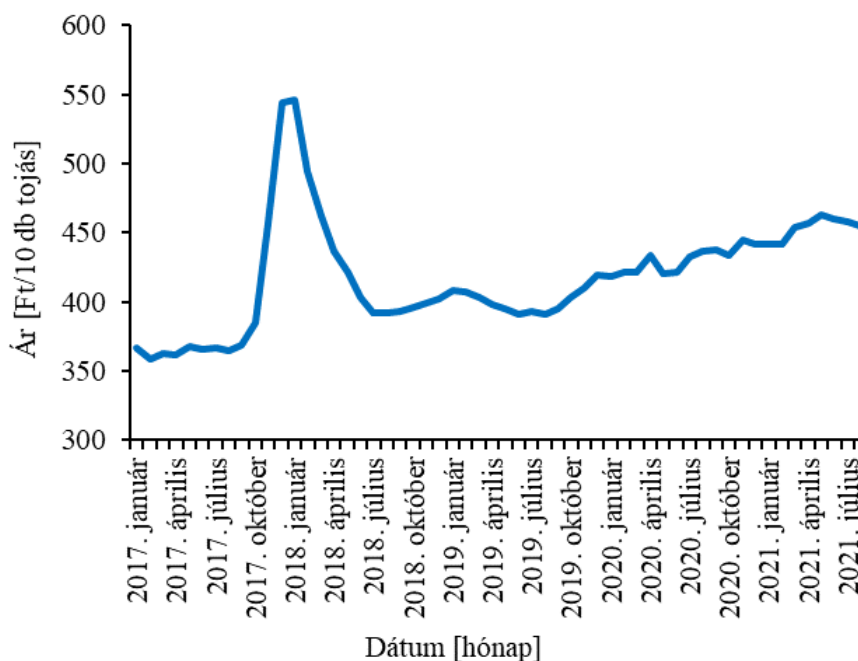
2021-ben szintén kihívások elé állította a baromfityenyésztőket, a november közepétől 2022 január közepéig tartó járvány időszakban 112 kitörést jelentettek (Madárinfluenza Kitörések - Nébih, n.d.), amely a tojás árának növekedésével járt. A 2020-2021-es szezonban 31 európai országban összesen 3777 bejelentett magas patogenitású madárinfluenza (HPAI) kitörés kimutatásával és mintegy 22 900 000 érintett baromfival az egyik legnagyobb HPAI-járványnak tűnik, amely valaha is előfordult Európában. A legutóbbi madárinfluenza szezon 2021 októberében kezdődött és 2022 január 28-i adatok szerint már 1458 vadmadarakkal kapcsolatos kitörést és 861 baromfiállománnyal kapcsolatos esetet regisztráltak Európa területén (Avian Influenza Portal, n.d.).

3.6.3. A 2017-es fipronil mérgezés hatásai a tojáságazatra

Egy további jelentőségteljes eset a 2017-ben történt fipronil mérgezés. A fipronil egy atkaölő szer, amely nem minősül "engedélyezett anyagnak" az élelmiszertermelő állatok esetében állatgyógyászati készítményként történő felhasználásra. A fipronil aktív hatóanyagként (rovarölőszerként) engedélyezett növényvédőszerekben (Az Európai Parlament és a Tanács 1107/2009/EK rendelete, 2009). Továbbá nincs olyan, fipronilt tartalmazó biocid termék, amely az EU egyetlen tagállamában engedélyezett a vörös atkák elleni használatra a baromfiistállóknban (REICH és TRIACCHINI 2018).

2017. június 2-án a belga Szövetségi Élelmiszerlánc-biztonsági Ügynökség (AFSCA) értesítést kapott egy tojástörő üzemtől a fipronil mennyiségére vonatkozó nem megfelelő eredményről (MANNING 2018). Az AFSCA vizsgálatai során a fipronil szennyezés eredetét elsőként két lehetséges forrásra szűkítették. Az egyik lehetséges opció a takarmány szennyeződése volt, illetve vizsgálatokat folytattak azzal kapcsolatban, hogy egy holland baromfiszolgáltató vállalat Dega-16-tal végzett vörös atka elleni kezelése során történt a szennyezés. Később megállapították, hogy a fipronilt a vörös atka elleni kezelés során használták (MANNING 2018). A vörös atka a gazdasági szempontból legjelentősebb parazita, amely negatív hatást gyakorol a tojók egészségi állapotára, jólétére, illetve tojástermelésre és a tojásminőségre (SPARAGANO és GIANGASPERO 2011). Az AFSCA július 6-án értesítette az Európai Unió élelmiszer-csalásért felelős hálózatát (FF Network), majd az FF Network július 20-án értesítette a többi tagállamot az Európai Unió élelmiszer- és takarmánybiztonsági riasztási rendszerén (RASFF) keresztül. Az érintett baromfigazdaságok főként Hollandiában és Belgiumban találhatóak, de négy németországi és egy franciaországi gazdaságban is használták a fipronilt. Az érintett tagállamok illetékes hatóságai azonnal zárolták minden olyan gazdaságot, amelyet 2017 januárja óta a szolgáltató kezelő vállalat kezelt, és az ezekből a gazdaságokból származó tojás/csirkehús forgalmazását megtiltották (European Commission - fipronil, n.d.). Négy hónappal később az eset gazdasági

költségét 65-75 millió Euró-ra becsülték. 1,9 millió szárnyast vágtak le, és 77,4 millió tojást érintett (MANNING 2018; PoultryWorld, n.d.). Az eset legalább 40 országot érintett és több millió tojást hívtak vissza Európa-szerte (REUTERS 2017; TU et al. 2019). A szennyezett tojásokat Hong Kong, Libanon, Libéria, Katar, Oroszország, Szaúd-Arábia és a Dél-afrikai Köztársaság területén is megtalálták (WHITWORTH 2020). A tojáságazatban bekövetkező veszteség több millió dollárra rúg (REUTERS 2017; TU et al. 2019). Az eset hatása a tojás árára egyértelműen kirajzolódik a magyarországi statisztikák alapján is (5. ábra).



5. ábra: A tojás fogyasztói átlagárának változása Magyarországon 2017 és 2021 között (Pénzcentrum, n.d. nyomán)

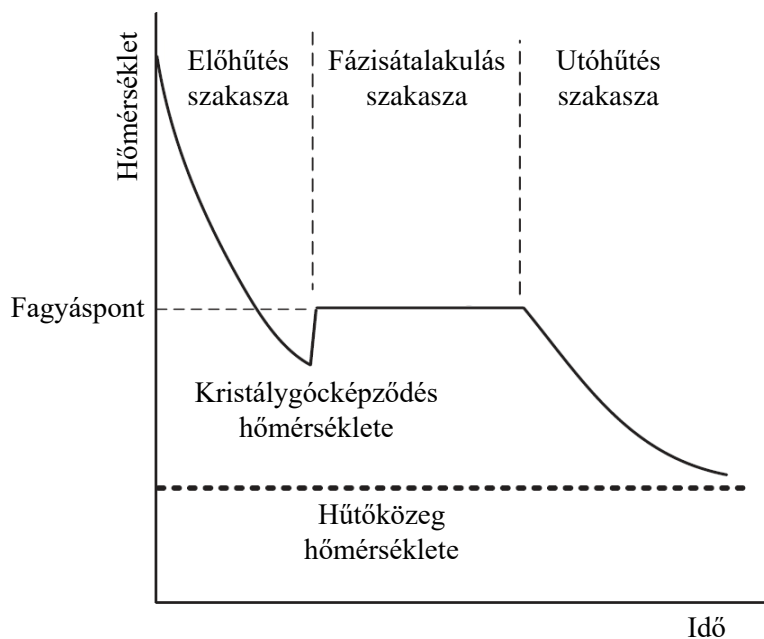
3.7. Élelmiszerek tartósítása fagyasztással

Az élelmiszerek tartósításának céljai közé tartozik, hogy kiküszöböljük a sokszor nem tervezhető alapanyagellátás egyenetlenségét, hozzáadott értékű termékek állítsunk elő és biztosítsuk az étrend változatosságát (RAHMAN 1999). Hatásmechanizmusuk alapján a főbb élelmiszer-tartósítási technikák a következő kategóriákba sorolhatók: kémiai folyamatok és a mikroba növekedés lassítása vagy gátlása; a baktériumok, élesztők penészgombák vagy enzimek közvetlen inaktíválása; illetve a feldolgozás előtti és után az újraszennyeződés elkerülése.

A fagyasztás egy hőelvonáson alapuló fizikai tartósítási mód, amelynek hatására a kémiai folyamatok és a mikroba növekedés lelassul vagy gátlásra kerül, ami jelentősen meghosszabbítja az eltarthatósági időt, és számos élelmiszer hosszú távú tartósítására sikeresen alkalmazzák (RAHMAN és VELEZ-RUIZ 2007). Tartósító hatásának alapja, hogy a hőmérséklet csökkentésével a víz egy része jéggé alakul, amely hatására a termékben maradó oldat koncentrációja megnő, vízakтивitása csökken. A mikroorganizmusok többsége ilyen körülmények között nem képes szaporodni (BALLA és SÁRAY 2002).

A fagyasztás még mindig az egyik legszélesebb körben alkalmazott élelmiszer-tartósítási módszer, annak ellenére, hogy számos új technológia, mint például a nagy hidrosztatikus nyomás, a besugárzás, a pulzáló elektromos mező alkalmazása és az ultrahang egyre nagyobb jelentőségre tesz szert (RAHMAN és VELEZ-RUIZ 2007).

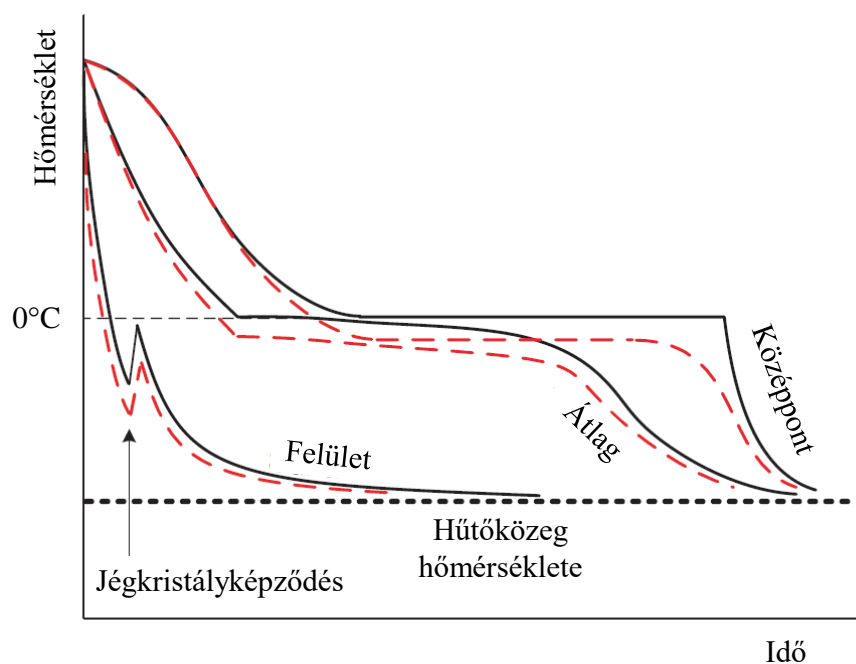
Az élelmiszereink nagy része víz, ezért az élelmiszerek fagyasztásának megismeréséhez elengedhetetlen ismernünk a víz fagyási tulajdonságait. Elsőként vizsgáljuk meg egy fagyáspontnál kisebb hőmérsékletű közegben (levegő) lebegő egyenletes hőmérsékleteloszlással rendelkező vízcsepp fagyásának folyamatát (6. ábra).



6. ábra: Kis vízcsepp fagyásának szakaszai (PHAM 2014)

Ahogy a 6. ábrán látható, a vízcsepp nem fagy meg azonnal, hiszen az azt körülvevő hűtőközeg hővezető képessége véges. A vízcsepp hőmérséklete egy ideig csökken, majd amikor eléri a fagyáspontot, általában fázisátalakulás nélkül tovább csökken - ezt túlhűtésnek nevezzük. A kristálygócképződés és a fázisátalakulás csak több fokos túlhűtést követően zajlik le. Mivel a fagyás nagy mennyiségű látens hőt szabadít fel, amelyet át kell adni a környezetnek, a csepp hőmérséklete a fagyáspontig emelkedik és egy ideig ott is marad, amely alatt a jég és a folyékony víz együtt létezik. A fázisátalakulás befejezése után a hőmérséklet ismét csökken, amíg a jég egyensúlyba nem kerül a külső környezettel. A vízcsepp tehát három szakaszon megy keresztül: előhűtés, fázisátalakulás és utóhűtés (PHAM, 2014).

Azonban a mozdulatlan, nem áramló víz, illetve a szilárd élelmiszerek fagyásának szakaszai némiképp eltérnek a vízcsepp fagyásától (7. ábra).



7. ábra: A fagyasztás szakaszai a mozdulatlan, nem áramló víz (—) és a szilárd élelmiszer (---) esetében (PHAM 2014)

Amennyiben egy csésze mozdulatlan, nem áramló víztömeg fagyásának folyamatát vizsgáljuk meg, megfigyelhetjük, hogy nagyobb mérete miatt hőmérsékletprofil alakul ki. A belső hőátadási ellenállás megjelenik, a felszín így hidegebb lesz, mint a belső terület. A felszínen a kezdeti hőmérsékletcsökkenést követően túlhűlés következik be, majd jégkristályképződés. Ezt követően a felszínhez közeli rétegekben gyorsan a fagyáspontra nő a hőmérséklet, majd jégréteg képződik, amely fokozatosan vastagodik. A fagyott és a nem fagyott területek közötti határfelületet „fagyási front”-nak (freezing front) nevezzük, hőmérséklete a fagyás hőmérséklete. A fagyott régió hőmérséklete fagypont alatt, míg a belső, fagymentes régióé felette van. Mindkét régió tovább hűl, mivel a hő folyamatosan áramlik a belső rétegekből a felszín felé. A fagyási front fokozatosan mélyebbre hatol a termékbe, általában a felszín közelében kialakult kristályok növekedése révén. Hacsak a fagyasztás nem rendkívül gyors, vagy nincsenek a kristálynövekedésnek akadályai, mint például műanyag fóliák vagy légrések, a felületi jégkristályképződés bekövetkezése után a kristálynövekedés lesz a fő vagy egyetlen mechanizmus, és nem következik be további túlhűtés vagy jégkristályképződés.

Amint a fagyási front eléri a középpontot, a fázisátalakulás befejeződik. Ezt követően a hőmérséklet csökken, amíg a jég egyensúlyba nem kerül a külső környezettel. A termék minden egyes pontjában lezajlott az előhűtés, a fázisátalakulás és az utóhűtés három szakasza, a felszíntől való távolságtól függően különböző időpontokban. A középpont hőmérséklete még mindig "plató"-szerűen változik, de ennek fizikai jelentése nem azonos a vízcsepp esetében látottal. Ebben az esetben a plató valamivel a felszínen bekövetkező magképződés után, és a középpontban a

fázisátalakulás megkezdése előtt kezdődik. Mivel a fagyaszthatlan magot egy fagyásponti hőmérsékletű fagyási front veszi körül, a mag lehül és megközelíti ezt a hőmérsékletet, de nem tud tovább hűlni, amíg a fagyási front át nem halad rajta. A termék egészére vonatkozóan nincsenek jól meghatározott előhűtési, fázisváltási és utóhűtési szakaszok.

A fagyás folyamata összetett élelmiszereknél bonyolultabb, ugyanis az élelmiszer víztartalma oldott anyagokat, például sókat vagy cukrokat tartalmaz. A fagyáspont ennek megfelelően csökken. A jég kiválásával a megmaradó oldat koncentráltabbá válik, és az egyensúlyi hőmérséklete (fagyáspontja) tovább csökken. Ennek eredményeként folytatódik a jégképződés, ahogy a helyi hőmérséklet a fagyás kezdeti hőmérséklete alá csökken. A középpontban még mindig lehet egy fagyási plató, mert a még meg nem fagyott mag nem tud a kezdeti fagyáspont alá hűlni, de ennek a platónak a végén a középpont hőmérséklete nem hirtelen, hanem fokozatosan csökken. A fagyási front ebben az esetben nem éles, hanem diffúz (PHAM 2014).

A folyékony élelmiszerek fagyasztása általában a szilárd fázis koncentrációját és a víztartalom jégkristályokká alakulását eredményezi. Amennyiben a folyékony élelmiszer különböző oldott anyagokat (lipid, fehérje, szénhidrát és sók) tartalmaz, a fagyasztás fázisokban történik az egyes komponensek egymást követő szétválásával. A jégkristályok növekedése során a víz az oldatról és a kolloid anyagokról különböző hőmérsékleten válik le. A hőmérséklet, amelyen a szétválás bekövetkezik, fordítottan arányos az egyes komponensek és a víz közötti kötések erősségével. Ez a jelenség a sók és a különböző szerves vegyületek (fehérjék, lipidek, cukrok, sók) koncentrációja miatt az egyes oldatokra jellemző sajátos egyensúlyi helyzetek sorozata, amelyek mindegyike kötődési potenciállal rendelkezik a vízhez (DAWSON 2019).

3.8. Tojástermékek fagyasztása

A fagyasztás tojástermékek minőségére gyakorolt hatása különbözik a húsok és zöldségek minőségére gyakorolt hatásától, mivel a tojáslé nem rendelkezik fizikai sejtstruktúrával és szövetszerkezettel. A tojás viselkedése a fagyasztás során szintén különbözik a tej és a gyümölcslevek fagyasztása során tapasztaltaktól, mivel a tojás magasabb oldottanyag-koncentrációt tartalmaz, mint a legtöbb folyékony élelmiszer (DAWSON 2019).

A tojáslevek fagyasztását főként az Amerikai Egyesült Államokban alkalmazzák. Az előállított tojáslevek több, mint egy negyedét értékesítik fagyasztva, amelyet főként különböző élelmiszerek alapanyagaként használnak fel (COTTERILL és McBEE 1995).

A fagyasztott tojástermékek az alábbi két kategóriába sorolhatók:

1. További feldolgozásra kerülő fagyasztott tojástermékek
2. Kiskereskedelmi forgalomba kerülő fagyasztott tojástermékek

A fagyasztott tojástermékek mennyiségi többsége továbbfeldolgozásra kerül. A kiskereskedelmi tojástermékek azonban magasabb haszonkulccsal rendelkeznek (ZEIDLER 2002). A fagyasztott

tojástermékek eltarthatósági ideje hosszabb, mint a héjas tojásé és a tojásleveké, a fagyasztás nagymértékben csökkenti a tojásleben megtalálható baktériumok számát (BAKER és BRUCE 1994). Azonban a teljes tojáslé és a tojássárgája -6°C -ra vagy annál kisebb hőmérsékletre történő hűtése során irreverzibilis változás következik be a tojássárgája gélesedése következtében (MORAN 1925). Amikor ezeket a termékeket felengedtetik, nem rendelkeznek ugyanazokkal a tulajdonságokkal, mint a héjas tojás vagy a friss tojástermékek. A gélesedés folyamatával a 3.8.3. fejezet foglalkozik bővebben.

A tojáslevek fagyasztására elterjedten alkalmazzák a légkonvekciós fagyasztóberendezéseket, illetve az „egyedileg gyorsfagyasztott” minőséget eredményező (IQF = individual quick freezing) folyékony nitrogénnel történő fagyasztást.

A tojásleveket leggyakrabban műanyag vagy fém tartályokban fagyasztják és tárolják hagyományos típusú légkonvekciós fagyasztókban (DAWSON 2019). Az áramló levegős fagyasztók hideg levegőt használnak közegként a terméktől történő hőelvonásra (ZEIDLER 2002). Ezek a hagyományos fagyasztók nagy mennyiségű tojást képesek lefagyasztani, és a fagyasztás lehet "gyors" vagy "lassú" is. Az áramló levegős fagyasztóberendezések ventilátorokkal növelik a levegő áramlását a tartályok körül, így növelve a hűtési sebességet (DAWSON 2019). A hűtési sebesség és a folyamat hatékonysága függ többek között a levegő és a termék közötti hőátadástól (ZEIDLER 2002). Ez a fagyasztó körülbelül -40°C hőmérsékleten működik. A lassú fagyasztó kényszerített légkonvekció nélkül használható a tojás fagyópont alatti hőmérsékleten, általában -12°C alatt tartására (DAWSON 2019). A további feldolgozásra kerülő tojástermékek esetében általában a teremfagyasztás módszerét alkalmazzák, míg a kiskereskedelmi termékek esetében szalagos fagyasztókat, például spirál-fagyasztót és kontakt fagyasztó berendezéseket alkalmaznak. Az IQF minőséget eredményező folyékony nitrogént alkalmazó módszerrel a tojáslevet egy 1 mm-es fűvőkán keresztül kényszerítik áramlásra, így cseppek keletkeznek, amelyek folyékony nitrogénfürdőbe esnek, ahol pillanatszerű fagyasztás következik be és kis pelleteket alkotnak. Az ilyen módon keletkező pelletek könnyen kezelhetők és gyorsan felengedtetethetők. Ezt a terméket széles körben használják rántotta készítéséhez (ZEIDLER 2002).

3.8.1. A tojásfehérje fagyasztása

A tojásfehérjében fagyasztás hatására csak kisebb változások mennek végbe, mint például a sűrűfehérje hígulása (COTTERILL 1995). Korai kutatásokban beszámoltak a „maszkolt” szulfhidril-csoportok csökkenéséről 10 napig tartó fagyasztva tárolás során. Homogenizált fehérje fagyasztása esetén megfigyelték, hogy a tárolóedény falához közeli részek sűrűsödtek, illetve a középső rétegek zavarossá váltak. Ezek az eltérések a fagyasztás sebességével és a sók vándorlásával hozhatók összefüggésbe. Keverést követően a tojásfehérje visszanyerte az eredeti

konzisztenciáját. (HTJSAINI és ALM 1955). WOOTTON és munkatársai (1981) differenciális pásztázó kalorimetriát alkalmazva arról számoltak be, hogy a denaturációhoz szükséges entalpia csökkenését idézte elő a lassabb fagyasztási sebesség, a nagyobb felengedettési hőmérséklet, a magasabb tárolási hőmérséklet és a hosszabb tárolási idő. A fagyasztás-felengedettési folyamatban nagyobb arányú entalpiavesztés látható az ovotranszferrin esetében, mint az ovalbuminnál. A tojásfehérje viszkozitását és a belőle készített hab instabilitását csökkentette a lassú fagyasztási sebesség, magasabb felengedettési hőmérséklet, hosszabb tárolási idő és alacsonyabb tárolási hőmérséklet.

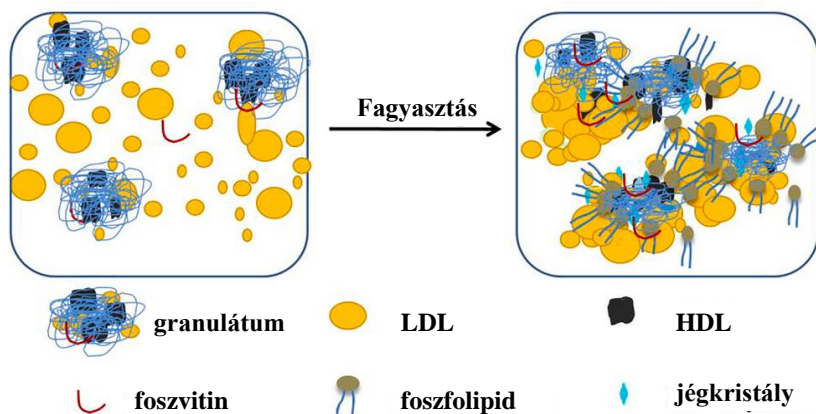
3.8.2. A tojássárgája fagyasztása során bekövetkező gélesedés

A tojássárgája fehérje-lipid szupramolekuláris szerkezete bizonyos körülmények között, például melegítés, sózás, fagyasztás és nagy hidrosztatikus nyomás kezelés hatására szétesik és a fehérje konformációja megváltozik és tojássárgája gél kialakulásához vezet (PRIMACELLA et al. 2019; XU et al. 2019). A gélesedési folyamatban résztvevő fő fehérjék és molekuláris erők a különböző folyamatokban eltérőek (STRIXNER et al. 2013; YANG et al. 2020; ZHAO, 2021).

MORAN (1925), az első kutató, aki a tojássárgája fagyasztás hatására bekövetkező gélesedését publikálta, 1925-ben megállapította, hogy habár a tojássárgája fagyáspontja $-0,65^{\circ}\text{C}$, -6°C -on következik be a folyékonyságában irreverzibilis változás. Ezen vagy ennél kisebb hőmérsékleten a tojássárgája pasztaszerűvé válik, amely hatására nehézkessé válik a kezelése, például szállítása és keverése. A tojássárgája veszít a folyékonyságából, viszkozitása megnő, ami által a felhasználhatósága csökken (POWRIE et al. 1963).

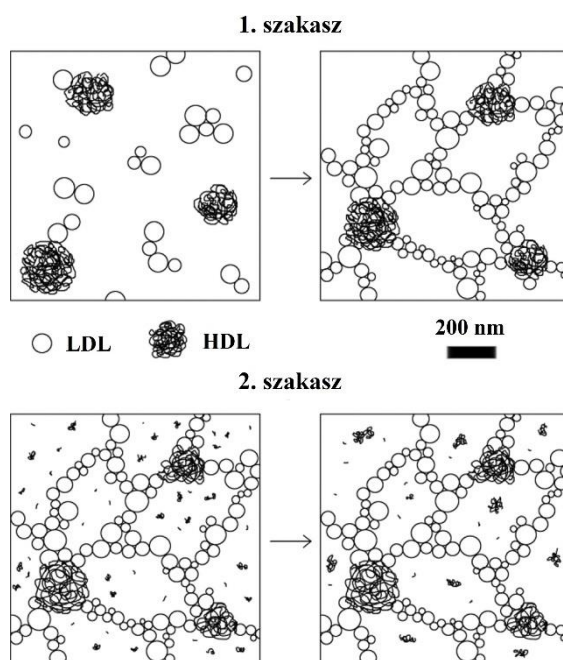
A leggyakoribb magyarázat a sárgája fagyasztás során bekövetkező gélesedésére az, hogy a keletkező nagyméretű jégkristályok következtében a tojássárgája komponensei koncentrálnak, és ez a plazma LDL felhalmozódását eredményezi. Az LDL molekulák fagyasztás hatására bekövetkező aggregációjának mechanizmusát számos kutatócsoport tanulmányozta. KUMAR és MAHADEVAN (1970), illetve MAHADEVAN és munkatársai (1969) azt feltételezték, hogy az LDL-aggregáció a lecitin-fehérje kölcsönhatások megszakadása után kölcsönhatásba kerülő fehérje-fehérje kölcsönhatások következménye. TELIS és KIEKBUSCH (1997) feltételezése szerint az LDL micellák felbomlása után a felületen található fehérjék dehidratációja vezet az LDL molekulák aggregációjához. KURISAKI és munkatársai (1980) azt állapították meg, hogy az LDL aggregációját a részecskék destabilizálódása okozza az LDL részecske jellegét fenntartó felszín megszűnése miatt. Kutatásukban megállapították, hogy az LDL-ből felszabaduló felszíni fragmentumok részt vesznek az aggregációban. WAKAMATU és munkatársai (1982) azonban ezzel nem értettek egyet, szerintük az LDL aggregációja a konformációs változásokból adódik, nem az LDL felületén felszabaduló fragmentumoknak köszönhető.

A kutatások középpontjában főként a plazma LDL szerepelt, azonban néhány tanulmányban granulátumok szerepét is felvetették. POWRIE és munkatársai (1963) szerint a plazma-LDL és a granulátumok közötti kölcsönhatás vezet gélesedéshez. WAKAMATU és munkatársai (1982) nem zárták ki a granulátum LDL aggregációját, ugyanis a plazma és a granulátum LDL összetétele nagyon hasonló. PRIMACELLA és munkatársai (2018a) kutatásai alapján mind a plazma, mint a granulátum komponensei (LDL, HDL és α -livetinek) érintettek a gélesedésben. Kutatásuk eredményei alapján készült a 8. ábra, amely a fagyasztás során bekövetkező gélesedés folyamatát szemlélteti.



8. ábra: A tojássárgája fagyasztás során bekövetkező gélesedési folyamatának sematikus ábrája (ZHAO et al. 2021)

Nemcsak a fagyasztás, a fagyasztva tárolás is befolyásolja a tojássárgája gélesedési folyamatát. AU és munkatársai (2015) megállapításai szerint -20°C -os hőmérsékleten a fagyasztva tárolás során egy 2 szakaszból álló folyamat játszódik le, amelyet a 9. ábra mutat be.



9. ábra: A tojássárgája fagyasztva tárolása során feltételezett kétlépcsős gélesedési folyamat sematikus ábrája (AU et al. 2015)

AU és munkatársai (2015) az első szakaszt az 1. és a 28. nap között figyelték meg, mely alatt a lipoprotein részecskék aggregálódtak és gélstruktúrát alakítottak ki. A második szakasz kezdetének időpontját a 28. és 84. nap között közé teszik. Ebben a szakaszban a gélesedésben részt vevő fehérjék felszabadulnak, amelynek következtében a felület megnövekedett. Így több kötőhely vált szabaddá, és a fehérjék tovább kapcsolódtak a korábban kialakult hálózathoz, így erősítve a gél szerkezetet.

Néhány kutatás szerzői arra a megállapításra jutottak, hogy a gélesedés csak abban az esetben következik be, ha a fagyasztás sebessége lassú (JAAX és TRAVNICEK 1968; MAHADEVAN et al. 1969). A fagyasztás sebességének növelése kriogén fagyasztással érhető el a legegyszerűbben (MULOT et al. 2019). LOPEZ és munkatársai (1954) folyékony nitrogénben történő fagyasztást, illetve 54°C-on történő felengedtetést alkalmaztak, és megállapították, hogy a gélesedés mértéke "közepes" volt. JAAX és TRAVNICEK (1968) egy későbbi kutatás során megállapították, hogy a folyékony nitrogén segítségével történő fagyasztás és a 35°C-on történő felengedtetés megnövelte a tojássárgája látszólagos viszkozitására.

3.8.3. A tojássárgája gélesedésének gátlása a fagyasztás-felengedtetés során

A fagyasztás-felengedtetés körülményeinek változtatásán kívül az elmúlt évtizedekben a tojássárgája gélesedésének mértékének csökkentésére és megakadályozására számos mechanikai és kémiai eljárást alkalmaztak. Az egyik intenzíven kutatott témakör a krioprotektív anyagok alkalmazása erre a célra. A krioprotektív anyagok olyan vegyületek, amelyek javítják a fagyasztott élelmiszerek minőségét és meghosszabbítják azok eltarthatóságát. A krioprotektív kifejezés magában foglal minden olyan vegyületet, amely segít megelőzni az élelmiszerekben a fagyasztási és felengedtetési folyamatok vagy a fagyasztva tárolás által okozott nemkívánatos változásokat (pl. gélesedés, ízváltozás stb.). Ezeket az anyagokat hozzáadhatják az élelmiszerekhez a feldolgozás és a termék gyártása során, vagy természetes módon termeltetik az élő szervezetben, amelyből az élelmiszer származik (MACDONALD és LAINER 1997). Kémiaiilag változatos anyagok, amelyek vízdékványok, képesek H-kötéseket létrehozni és antioxidáns tulajdonsággal rendelkezhetnek. Az intracelluláris krioprotektív anyagok közé tartoznak például a glicerin, a dimetil-szulfid, az etilén-glikol, míg az extracelluláris védőanyagok között megtalálhatjuk például a kis molekulatömegű cukrokat és származékaikat, a nagy molekulatömegű polimereket, az albumint, a keményítőt, a polivinil-pirrolidont és a polietilén-glikolt (BALLA és SÁRAY 2002).

Elsőként MORAN (1925) számolt be a szacharóz tojássárgája gélesedését gátló hatásáról fagyasztás során. Kutatásában megállapította, hogy amennyiben 10 m/m% szacharózt adott a

tojássárgájához, a -11°C hőmérsékletre fagyasztás és a felengedtetés folyamata során nem történt jelentős változás a sárgája folyékonyságában.

LOPEZ és munkatársai (1954) szintén sikeres gélesedést gátló hatást értek el 10 m/m% arabinóz és galaktóz tojássárgájához való hozzáadásával, azonban ugyanilyen koncentrációban alkalmazva más cukrokat (cellobióz, laktóz, maltóz, raffinóz) nem tapasztaltak gátló hatást. Ez arra enged következtetni, hogy a tojássárgája gélesedését a hozzáadott védőanyagok nem csupán a fagyáspont csökkentésével akadályozzák meg vagy mérséklék.

A krioprotektív anyagok hozzáadásán kívül foglalkoztak proteolitikus enzimek hozzáadásával (0,05% papain hozzáadásával gátolták a gélesedést) (LOPEZ et al. 1955), illetve különböző mechanikai kezelésekkel (homogenizálás, kolloid őrlés, keverés), amelyekkel megelőzhető a jégkristályok kialakulása (LOPEZ et al. 1954; PRIMACELLA 2017). Vizsgálták ezeken kívül a hidrolizált karboximetil cellulóz (E469), hidrolizált tojásfehérje, hidrolizált tojássárgája, prolin és polietilén glikol gélesedést gátló hatását is (PRIMACELLA et al. 2018a).

Az ipari gyakorlatban általában 2 – 10 m/m% nátrium-kloridot vagy szacharózt használnak a gélesedés gátlására a hatékonyságuk és az alacsony költségük miatt (AU et al. 2015). Mindkét technológiai segédanyag védi a tojássárgája kolloid jellegét, azonban só és a szacharóz különböző hatásmechanizmussal gátolja a tojássárgája fagyasztása során fellépő gélesedést. Hozzáadásukkal korlátozódik a termék felhasználhatósága. Az alkalmazott segédanyag a végfelhasználó szükségletei szerint kerül kiválasztásra, például majonéz és salátaöntetek gyártása során sózott, míg pékáruk és édesipari termékek gyártása során cukrozott tojássárgáját használnak, megtakarítva ezáltal időt és munkaerőt (ZEIDLER 2002).

3.8.4. A konyhasó, mint krioprotektív anyag hatásmechanizmusa a tojássárgája fagyasztása során

Az iparilag előállított fagyasztva értékesített tojássárgájához általában 2 – 10 m/m% nátrium-kloridot vagy szacharózt adnak a gélesedés gátlására (AU et al. 2015). A konyhasó hatással lehet a vérnyomásra, valamint szív- és érrendszeri betegségeket okozhat (HE és MACFÓGREGOR 2015). A magas só- és cukorkoncentrációjú tojássárgája korlátozott felhasználási lehetőségei, valamint a fogyasztók fokozott tudatossága az alacsony só- és cukortartalmú élelmiszerek egészséges fogyasztása iránt arra ösztönzi a kutatókat, hogy vizsgálják a területet és minimalizálják ezen anyagok hozzáadását (FEI et al. 2021; MA et al. 2021; PRIMACELLA et al. 2020), a megfelelő sókoncentrációról azonban egymásnak ellentmondó eredmények születtek. PRIMACELLA és munkatársai (2018a) megállapították, hogy rövidtávon 10 m/m% nátrium-klorid hatására a felengedtetett tojássárgája keményebbnek bizonyult, mint 5 m/m% nátrium-klorid hatására. BOBKO és munkatársai (2020) egy évig tartó vizsgálatukban arra a

következtetésre jutottak, hogy a 6 m/m%-os sókoncentráció még nem elég a fagyasztás előtti viszkozitás megtartásához, azonban a 9 és 12 m/m% sókoncentráció már megfelelő függetlenül attól, hogy $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on, $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on vagy $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on történik a tárolás (BOBKO et al., 2020). MA és munkatársai (2021) vizsgálták és megállapították, hogy a 180 napig $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on tárolt tojássárgája gélesedésének megakadályozására már a 2 m/m%-ban hozzáadott NaCl és szacharóz is hatékony, de ez a hatékonyság proteáz hozzáadásával fokozható.

FEI és munkatársai (2021) 5 és 10 m/m%-os nátrium-klorid sókoncentrációt alkalmaztak és vizsgálták a fagyasztott-felengedett tojássárgája minták reológiai és termikus viselkedését, illetve mikrostruktúráját konfokális lézer pásztázó mikroszkópiával. A termikus analízis során megfigyelték, hogy a fehérjék denaturációs hőmérséklete a só hozzáadásával jelentősen megnőtt a friss, sőt nem tartalmazó mintához képest. Ezt azzal magyarázták, hogy a só jelenléte egy bizonyos nem rendezett fehérje-koagulációt okoz, amely magasabb hőmérsékletet igényel a rendszer teljes térfogatán átívelő kezdeti hálózat kialakításához, szemben a rendezettebb térhálósodással, amely só hiányában a fehérjék között létrejön. Ezenkívül a tojássárgája reológiai tulajdonságai is megváltoznak, a minta viszkozitása megnő a sózás hatására, amit az LDL-víz-só komplex kialakulásának tulajdonítanak (FEI et al 2021; PRIMACELLA et al., 2020; WAKAMATSU 1994). Az oldatban lévő disszociált ionok taszító hatása lép fel, viszont a vízzel és az LDL-lel komplexet képezve fagyasztáskor gátolja a víz kifagyását, ezáltal a gélesedést is (WAKAMATSU et al., 1983). FEI és munkatársai (2021) megállapították, hogy 10 m/m%-os sókoncentráció mellett jól diszpergált, apró részecskék jellemzik a mintát. Ezeket a finom részecskéket a fehérjék disszociációjának, a fehérje konformáció megváltozásának tulajdonították, amelyet más kutatásokban is megfigyeltek (FEI et al., 2021; PRIMACELLA et al., 2018a; PRIMACELLA et al., 2018b). Ezenkívül a termikus elemzés a szabad víz mennyiségének csökkenését mutatta ki, ami szintén korrelál az LDL-víz-só komplex kialakulásával (FEI et al., 2021).

3.8.5. A szacharóz, mint krioprotektív anyag hatásmechanizmusa a tojássárgája fagyasztása során

A szacharóz más folyamat révén gátolja a tojássárgája fagyasztás során fellépő gélesedését (Fei et al., 2021). A szacharóz is növeli a tojás fehérjéinek kicsapódáshoz szükséges hőmérsékletét, ezáltal jobb textúrát eredményez süteményekben és pudingokban is. Ezt a tulajdonságát a pasztörözés folyamán is felhasználják. A sárgájához hozzáadott szacharóz aggregáció és denaturáció gátló hatását is felfedezték korai kutatásokban (POWRIE et al., 1963).

A szacharóz hozzáadása csökkenti a friss sárgája viszkozitását (PRIMACELLA et al., 2018a). A cukrokat általában stabilizátorként használják, hogy megvédjék a fehérjéket a liofilizálás és a

fagyasztva tárolás során bekövetkező lebomlástól. Két fő hipotézist javasoltak a szacharóz stabilizációs mechanizmusának magyarázatára: a "vízhelyettesítés" hipotézist és az "üvegdinamika" hipotézist. A "vízhelyettesítés" hipotézis szerint a szacharóz hidrogénkötéseket képez a fehérje felszínének meghatározott helyein, és így helyettesíti a víz stabilizációs funkcióját, amely a fagyasztás indukálta dehidratáció során elvész. Az „üvegdinamika” hipotézis szerint a szacharóz egy merev, inert mátrixot képez, amelyben a fehérje molekulárisan diszpergált, korlátozva a fehérje aggregációhoz szükséges mobilitást (PRIMACELLA et al., 2018a; WANG et al., 2009).

FEI és munkatársai (2021) 5 és 10 m/m%-os szacharózkoncentrációt alkalmaztak kísérletükben a fagyasztást megelőzően a fagyasztott-felengedett tojássárgájale esetében. Az előző fejezetben említettekkel megegyező vizsgálatokat hajtottak végre a szacharózt tartalmazó mintákon is. Konfokális lézer pásztázó mikroszkópiával végzett vizsgálataik során megállapították, hogy a fehérjék natív szerkezetét valószínűleg nem befolyásolta a szacharóz, hanem ezek inkább klaszterekbe rendeződtek át. Ez a klaszterképződés összhangban van a javasolt "vízhelyettesítés" és "üvegdinamikai" mechanizmusokkal. A reológiai és termikus analízissel meghatározott folyékonyság és a szabad víz mennyiségének változásának hiánya arra utal, hogy a szacharóz nem indukálta a fehérjék disszociációját, sem a vízzel és a lipoproteinekkal való komplexképződést. Ehelyett a szacharóz, mint stabilizálószer hidrogénkötéseket képezhet a fehérje felszínén, kiszorítva a vizet és ezáltal növelve a folyékonyságot (FEI et al., 2021).

3.9. Enzimek használata a tojástermékekben

A folyékony és a szárított tojástermékek enzimekkel kezelhetők a funkcionalitás javítása érdekében, és sóval, szacharózzal vagy más összetevőkkel is kiegészíthetők, hogy speciális tojástermékeket állítsanak elő, amelyeket speciális alkalmazásokhoz igazítanak (Biocatalysts: Technical Bulletin, n.d.)

A tojást feldolgozása félfolyamatos módon történik. A tojásokat mossák, feltörik és szeparált termék előállításánál a tojássárgáját és a tojásfehérjét szétválasztják (LECHEVALIER et al. 2011). A tojást tartályba szivattyúzzák, amely megfelel különböző enzimkezelések elvégzésére, majd ezt követően a tojásle pasztörözhető (Biocatalysts: Technical Bulletin, n.d.).

A tojásfehérje minősége szempontjából a szeparálás sebessége kritikus fontosságú. Ugyanis minél gyorsabban működik a szeparátor, annál több sárgája kerül a tojásfehérjébe. A tojásfehérjét szennyező kis mennyiségű tojássárgája jelentősen csökkentheti a tojásfehérje habzóképeségét. A sárgájából belekerülő lipidek lebonthatók lipáz enzimek (pl. a Biocatalysts Lipomod™ 34P, Novozymes TL 100L) segítségével. Ez lehetővé teszi a jobb habzóképeségű tojásfehérje

előállítását gyorsabb szeparálás mellett (Biocatalysts: Technical Bulletin, n.d.; HOUDE et al. 2004; YÜCEER és ASIK 2020).

Ezenkívül a tojáslevek mikrobiológiai állapota is javítható enzimek hozzáadásával. Egy nagy tartály feltöltése több órát is igénybe vehet, ezért fontos, hogy a tojást hűtött állapotban tartsák a mikrobák elszaporodásának megakadályozása érdekében. Ha mégis szükséges a tojásleveket hosszabb ideig vagy melegebb hőmérsékleten tárolni, hidrogén-peroxid hozzáadásával a megakadályozható a mikroorganizmusok szaporodása. A hidrogén-peroxidot ezután közvetlenül a pasztörözés előtt kataláz enzimmel (pl. Biocatalysts Catalase 929L) lehet lebontani (Biocatalysts: Technical Bulletin, n.d.).

A tojássárgája rendkívüli emulgeáló tulajdonságokkal rendelkezik (CSAPÓ és CSAPÓNÉ KISS 2003). A tojássárgájában lévő lipidek szerkezetének módosítására enzimeket lehet használni az emulzióképző kapacitás javítása érdekében (DAIMER és KULOZIK 2009; KIM et al. 2001). Az A2 foszfolipáz enzim a glicerin gerincének 2-es pozíciójában vágja el a glicerint, így új, más és jobb emulgeáló tulajdonságokkal rendelkező molekulákat hoz létre. Az enzimkezelt tojássárgájával előállított majonézt hőstabilabbá is teszi, ami azt jelenti, hogy a szétválás veszélye nélkül pasztörözhető. A piacon megtalálhatók sertés hasnyálmirigyből (pl. Biocatalysts Lipomod™ 699L) és mikrobiális úton (Lipomod™ 833L2, Novozymes Lecitase 10L) előállított A2 foszfolipáz enzimek is (Biocatalysts: Technical Bulletin, n.d.).

A tojásfehérje fehérjéinek enzimatiszus kezelése katalázzal (pl. Biocatalysts Flavorpro™ 786MDP) a tojásfehérje fehérjék méretének csökkenését eredményezi, így azok hatékonyabban emészthetők és felszívódhatnak a szervezetben. Ez nagyon hasznos az olyan élelmiszerek esetében, mint például a sportolók által használt szeletek és porított termékek (Biocatalysts: Technical Bulletin, n.d.).

A tojásfehérje körülbelül 4 g dm^{-3} glükózt tartalmaz. Általános gyakorlat a glükóz lebontása a tojásfehérjében a porlasztva szárítás előtt, hogy elkerüljék a termék karamellizáció miatti barnulását. Ezenkívül a glükóz lebontása növeli a termék ellenálló képességét a mikroorganizmusokkal szemben, javítva a tojásfehérjepor tárolási stabilitását. A glükóz lebontására a glükóz-oxidáz enzim használható. A H_2O_2 melléktermék képződése miatt inaktíválódhat a glükóz oxidáz, ezért szükséges, hogy a H_2O_2 -t elbontsák, mégpedig célszerűen egy másik enzimmel, a katalázzal (Novozym 771) (SISAK et al. 2006, SISAK et al. 2007). Néhány enzimek készítmény a két enzimet kombináltan tartalmazza (pl. Novozymes Catazyme 25L).

GARCÉS-RIMÓN és munkatársai (2016) megvizsgálták, hogy a teljes tojásleből, tojásfehérjeléből és tojássárgájából új állományokat lehet-e nyerni enzimatiszus hidrolízissel, amely egy ismert módszer az élelmiszerfehérjék értékének növelésére funkcionális tulajdonságaik módosításával. Egy az *Aspergillus oryzae* által termeltetett élelmiszeripari minőségű

aminopeptidáz enzim, a Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP enzimjének használatával képesek voltak hidrolizálni a tojásfehérjét, a tojássárgáját és a teljes tojást is, hogy számos új textúrát és ízt hozzanak létre. Előállítottak tojásfehérjéből egy krém, egy túró, egy hab és egy joghurt jellegű terméket, teljes tojásléből és tojássárgájából pedig egy-egy puding jellegű terméket.

A hidrolízis módosítja a fehérjék érzékszervi minőségét, a textúrához és az ízhez való hozzájárulásukat - mivel a peptideknek van ízük, és valójában az ismert ízmódosulások teljes skáláját lefedik, beleértve a keserű ízeket is, amelyek az ételmiszer elutasítását okozhatják (TEMUSSI 2012). Azonban a GARCÉS-RIMÓN és munkatársai (2016) által előállított termékek az elvégzett érzékszervi bírálat alapján semleges ízűek, kesernyés íztől mentesek voltak, és nagyon jól keverhetők különböző ízesítőkkal. Kutatásukban megállapították, hogy enzimatis hidrolízissel újszerű gél- és habszerkezeteket lehet előállítani a teljes tojásléből, tojásfehérjéből és tojássárgájából, amelyek megfelelő alternatívát jelenthetnek akár bizonyos tejtermékek helyettesítésére.

A tojássárgája fagyasztás során fellépő gélesedését néhány kutató enzimatis úton is megpróbálta megakadályozni. FEENEY és munkatársai (1954) megállapították, hogy az 1 és 10 mg/ml kroxinnal (lecitináz A) kezelt tojássárgája 10-20%-kal kisebb mértékben gélesedett, mint a kezeletlen sárgája. LOPEZ és munkatársai (1955) szerint a leghatékonyabb proteolitikus kezelés a 0,05% papain hozzáadása volt 15-20 perces inkubációs idő alatt 25°C-on. Azonban a gélesedés mértékéről és egyéb bekövetkező változásokról csak leíró jellegű információt szolgáltattak (gélesedett, nem gélesedett, színváltozás történt/nem történt, mellékillet megjelenése stb.) a korszerű mérési módszerek hiánya miatt. MA és munkatársai (2021) friss kutatásukban megállapították, hogy a neutrális proteáz nagymértékben csökkentette a tojássárgája fagyasztás-felengedetés során bekövetkező gélesedését.

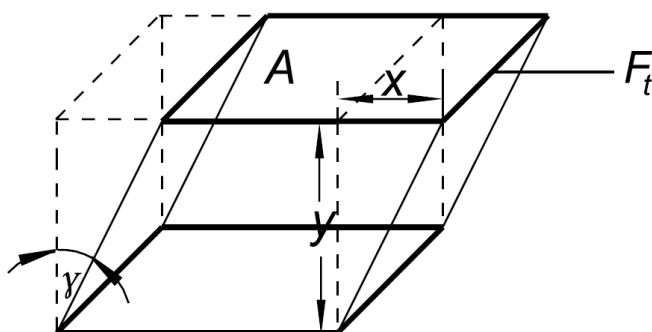
3.10. Folyékony minták reológiai viselkedése

A reológia a fizika azon ága, amelyben azt tanulmányozzuk, hogy az anyagok hogyan deformálódnak vagy áramlanak az alkalmazott erők vagy feszültségek hatására. Azokat az anyagtulajdonságokat, amelyek meghatározzák, hogy ezek a deformációs vagy áramlási viselkedések milyen módon következnek be, reológiai tulajdonságoknak nevezzük. Ezek a tulajdonságok erősen függenek a hőmérséklettől.

A folyadékok alakváltozása folytonos a rájuk ható erő vagy feszültség hatására. A viszkózus folyást a 10. ábrán látható modellel szemléltethetjük a legegyszerűbben. A 10. ábrán szereplő A felületű síklemez, amely egy y vastagságú folyadékfilmen nyugszik. F nyíróerő hatására állandó sebességgel mozog. Az $F/A = \tau$ nyírófeszültség és a $dy/dt = \dot{\gamma}$ nyírási sebesség között az összefüggés:

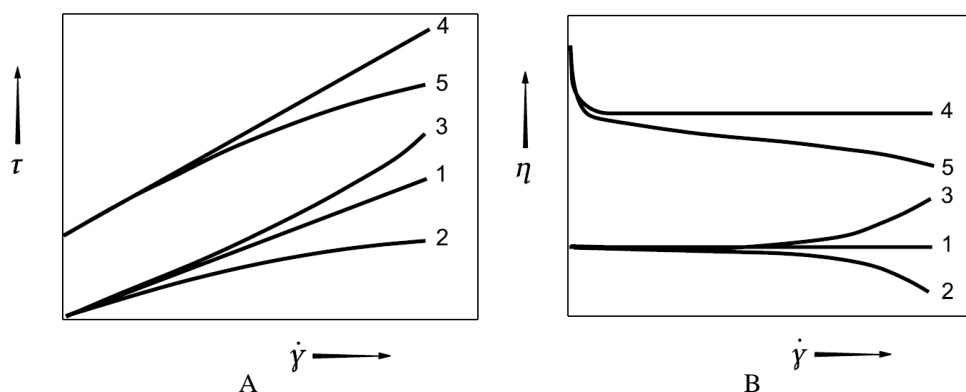
$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad [1]$$

Ahol η a viszkozitás (Pa·s).



10. ábra: A viszkózus folyás szemléltetése: A nyírófeszültség következtében γ deformáció a végtelenségig növekszik, vagyis az áramlás jelenségét mutatja (A – felület [m²], F_t – tangenciális erő [N], γ – deformációs szög [rad], x – A felületű sík lemez elmozdulása [m], y – folyadékfilm vastagsága [m] (FIGURA és TEIXEIRA, 2007)

Azokat az anyagokat, amelyeknél η állandó – nem függ a nyírási sebességtől – Newtoni folyadékoknak nevezzük. Amennyiben a nyírófeszültséget ábrázoljuk a nyírási sebesség függvényében (folyásgörbe), egy origón áthaladó egyenest kapunk (11. A ábra 1. görbe). A nyírófeszültség és a nyírási sebesség diagramján (viszkozitásgörbe) ennek az egyenesnek a meredeksége adja a dinamikus viszkozitást, amely minden nyírási sebesség esetén állandó marad (11. B ábra 1. görbe). Ilyen anyagok például a víz, az olíva olaj és a tej.



11. ábra: A viszkózus folyás típusai. A – Folyásgörbék; B – Viszkozitásgörbék; 1: Newtoni folyadék, 2: pszeudoplasztikus, 3: dilatáló, 4: Binghami plasztikus, 5: pszeudoplasztikus folyáshatárral (FIGURA és TEIXEIRA, 2007)

Pszepodoplasztikus áramlási viselkedésről akkor beszélhetünk, amikor a nyírófeszültség csökkenő ütemben növekszik a nyírási sebesség növekedésével (11. A ábra 2. görbe). A folyásgörbe konvex profilú, amelyen az érintőleges meredekség a nyírási sebesség növekedésével csökken. Ez azt jelenti, hogy a viszkozitás csökken a nyírási sebesség növekedésével (11. B ábra 2. görbe). A pszeudoplasztikus folyadékokra jellemző, hogy a növekvő áramlási ellenállás (nyírófeszültség) csökkenni látszik, amikor a folyadékot nagyobb nyírási sebességgel nyírjuk. Ez a jelenség lehet

reverzibilis vagy irreverzibilis.

Dilatáló áramlási viselkedés akkor fordul elő, amikor a nyírófeszültség a nyírási sebesség növekedésével egyre nagyobb mértékben növekszik (11. A ábra 3. görbe). A folyásgörbe homorú profilú, amelyben az érintőleges meredekség a nyírási sebesség növekedésével növekszik. Ez azt jelenti, hogy a viszkozitás is növekszik a nyírási sebesség növekedésével (11. B ábra 3. görbe). A dilatáló áramlási viselkedés is lehet reverzibilis, illetve irreverzibilis.

Vannak közegek, amelyek plasztikus viselkedést mutatnak, azaz a deformáció akkor jön létre, ha a feszültség nagyobb, mint a folyáshatár (11. A ábra 4. és 5. görbe). A folyásgörbén a folyáshatár a nulla nyírási sebességnél a nyírófeszültség érték. A Bingham anyagok folyásgörbéje a 11. A ábra 4. görbének, illetve viszkozitásgörbéje a 11. B ábra 4. görbének felel meg. A pszeudoplasztikus folyáshatárral rendelkező anyagok folyásgörbéje a 11. A ábra 5. görbének, viszkozitásgörbéje a 11. B ábra 5. görbének felel meg.

3.10.1. A tojáslevek reológiai viselkedése

A tojáslevek reológiai tulajdonságait több kutató is vizsgálta (HAMID-SAMIMI et al. 1984; IBARZ 1993; IBARZ és SINTES 1989; TELIS-ROMERO et al. 2006; TUNG et al. 1970), azonban reológiai viselkedésükről eltérő következtetések születtek. Némely vizsgálat eredményei szerint a tojás newtoni folyadék, mások szerint időfüggő nem-newtoni áramlási viselkedést mutat. A legtöbb kísérletben azonban a tojássárgája reológiai viselkedését tanulmányozták.

ATILGAN és UNLUTURK (2008) átfogó reológiai tanulmányt végeztek a tojássárgájálé, teljes tojáslé és tojásfehérjelé reológiai viselkedéséről, amelyben kitértek a tixotrópiára – állandó nyírási sebességnél a nyírófeszültség csökken –, illetve a különböző tojáslevek folyásgörbéit is felvették a tárolás hőmérsékletén (4°C), szobahőmérsékleten (25°C) és a pasztörözés hőmérsékletén (tojásfehérjelé: 55,6°C; tojássárgájálé és teljes tojáslé 60°C). Kutatásuk során megállapították, hogy az általuk alkalmazott nyírási sebesség tartományban (1,02 és 53,7 1/s között) a teljes tojáslé és a tojásfehérjelé tixotrópiát mutatott 4°C-on, illetve a hőkezelés hőmérsékletén. A tojássárgájálé esetében ez csak a hőkezelés hőmérsékletén volt elmondható.

A tojáslevek felvett folyásgörbéire különböző reológiai modelleket illesztettek (Newton [1. egyenlet], Herschel-Bulkley [2. egyenlet] és Power-law modell [3. egyenlet]). A determinációs együttható és a standard hiba alapján megállapították, hogy mely modellek a legmegfelelőbbek a különböző tojáslevek esetén különböző hőmérsékleteken. Megállapították, hogy a tojáslevek pszeudoplasztikus reológiai viselkedést mutatnak, illetve a tojásfehérjelé és a teljes tojáslé esetében a Herschel-Bulkley modell [2. egyenlet], míg a tojássárgájálé esetében a Power-law modell [3. egyenlet] bizonyult a legmegfelelőbbnek (ATILGAN és UNLUTURK 2008).

$$\tau = \tau_0 + K \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n \quad [2]$$

$$\tau = K \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n \quad [3]$$

Ahol τ a nyírófeszültség (Pa), τ_0 : folyáshatár (Pa), K : konzisztencia koefficiens (Pa·sⁿ), $d\gamma/dt$ a nyírási sebesség (1/s) és n a folyásindex (Newtoni folyadékok esetében $n=1$) (FIGURA és TEIXEIRA 2007).

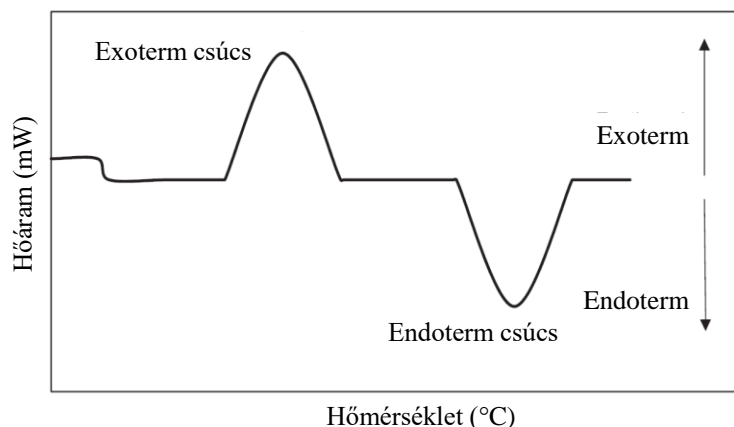
3.11. Differenciális pásztázó kalorimetria alkalmazása az élelmiszeriparban

A gyors, könnyen használható és egyszerű mintaelőkészítést igénylő differenciális pásztázó kalorimetria (differential scanning calorimetry, DSC) a legelterjedtebb termikus analízisen alapuló technika (GHARANJIG et al. 2020). A DSC-vel az anyagban lezajló fázisátalakulással járó folyamatokat vizsgálhatjuk meg (GILL et al. 2010). Széles hőmérséklet-tartományban (−150 és 550°C között) alkalmazható (HÖHNE et al. 2003; LEYVA-PORRAS et al. 2020). Számos iparágban alkalmazzák, például az élelmiszeriparban, a gyógyszeriparban, a kerámiaiparban, a polimerek és az élettudományi anyagok területén, lehetővé téve az anyag gyors termikus elemzését (GHARANJIG et al. 2020).

A technika alapkonceptiója az, hogy egy inert, fázisátalakulást el nem szenvedő referenciaanyaggal együtt történő melegítéssel vagy hűtéssel információt nyerünk a minta fázisátalakulásáról. A berendezésnek két típusát különböztetjük meg, a hőmérséklet-különbség mérésén, illetve a teljesítmény kompenzációja alapján működő berendezéseket. A hőmérséklet-különbség mérésén alapuló berendezésben a mérendő és a referencia mintával ugyanannyi hőt közlünk és mérjük a hőmérsékletüket. Mivel a hőközlés kizárólag hővezetéssel történik, a mérendő minta hőmérsékletének növekedéséhez szükséges hőáram számítható a két minta közötti hőmérsékletkülönbség és egy berendezésre jellemző állandó ismeretében. A hőmérséklet-különbség mérésén alapuló berendezés két fajtáját különböztetjük meg az alapján, hogy a mérendő és referencia minta két külön térben, vagy egy térben, egy platinalemezen helyezkedik el. A platinalemezes berendezés kis mintamennyiség mérését teszi lehetővé (néhány mg), míg a két mintatérrel rendelkező berendezésben nagyobb térfogatú minta is vizsgálható. Ezenkívül létezik még a teljesítmény kompenzációján alapuló módszer, amelyben a két minta külön-külön hűthető és fűthető. Ebben az esetben a mintákkal annyi hőt közöl vagy von el tőlük a rendszer, hogy a hőmérsékletük azonos legyen és méri az egyes minták esetében a szükséges teljesítményt (FIGURA és TEIXEIRA, 2007). A hőáramgörbén a fázisátalakulások negatív vagy pozitív

csúcsként, illetve lépcsőként jelennek meg attól függően, hogy endoterm vagy exoterm reakció, esetleg üvegesedés történik (12. ábra). (PIJPERS és MATHOT 2008).

Az olyan termodinamikai paraméterek, mint az üvegesedési hőmérséklet, az olvadási hőmérséklet, a kristályosodási hőmérséklet, az entalpia és a hőkapacitás vizsgálata fontos információkkal szolgálhat, amelyek felhasználhatók új termékek fejlesztéséhez és a már forgalomban lévő termékek javításához (LEYVA-PORRAS et al. 2020).



12. ábra: DSC görbe (GHARANJIG et al. 2020)

3.11.1. Élelmiszerek fagyasztásával kapcsolatos termofizikai jellemzők vizsgálata

A fagyasztási folyamat a hőmérséklet csökkentésével és a fázisnak a folyadékból szilárdvá válásával jár. Az élelmiszerekben ez a fázisváltás ritkán érinti az élelmiszerhez kapcsolódó összes vizet. Az olyan biológiai anyagok, mint a tojás, különbözően kötött vizet tartalmaznak, amely a szilárd összetevőkhöz kötődik. Ennek a víznek egy kis része olyan szorosan kötődik az élelmiszer-összetevőkhöz, hogy nem fagy meg, hanem nagyon kis hőmérsékleten üveges állapotba kerül. Makroszinten úgy tűnik, hogy a termék szilárd halmazállapotú, azonban molekuláris szinten a megkötött folyékony víz továbbra is létezik. A tojássárgáját használva példaként, az eredeti teljes víz mintegy 5,8%-a nem kifagyasztható. Ahogy a hőmérséklet csökken, a "kifagyasztható" víz kikristályosodik, és az oldott anyagok (fehérjék, lipidek, szénhidrátok, ásványi anyagok és sók) egyre koncentráltabbá válnak a visszamaradó vízben. A megnövekedett oldott anyag koncentráció hatására nehezebben fagy ki a még nem fagyott szabad víz. A fagyasztási folyamatnak ez a leírása minden élelmiszerre alkalmazható, mivel mindegyik tartalmaz "kötött" vizet (DAWSON 2019).

A ki nem fagyasztható víztartalom számítható a megfelelő hőmérséklettartományban felvett hőáramgörbe segítségével a 4. egyenlet alapján.

$$UFW\% = 100 - \left[\frac{\Delta H_{minta}}{\Delta H_{viz} \cdot \frac{W}{100}} \cdot 100 \right] \quad [4]$$

Ahol UFW – a ki nem fagyasztható víztartalom (g/100 g); W – a minta víztartalma (g/100 g); ΔH_{minta} – a minta olvadási entalpiája (J/g); ΔH_{viz} – a víz olvadási entalpiája (J/g) (ZEKE 2015).

A DSC mérésekkel ezenkívül meghatározható az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete (onset temperature), amelynek segítségével a különböző minták olvadási tulajdonságai hasonlíthatók össze (NAGY et al. 2013).

PRIMACELLA és munkatársai (2018a) tanulmányozták a hozzáadott anyagot nem tartalmazó, illetve az 5 és 10 m/m% konyhasót és szacharózt tartalmazó tojássárgájalevek ki nem fagyasztható víztartalmát és az olvadás során detektált csúcshőmérséklet értékeit. Megállapították, hogy a tojássárgája csúcshőmérséklete 0,3°C, azonban 5 és 10 m/m% szacharóz hatására ez az érték -0,8 és -1,9°C-ra csökken. Ugyanilyen koncentrációjú konyhasó mellett pedig -8,2 és -21,2°C értékeket mértek. Emellett vizsgálták a kifagyasztható víztartalmat, amely szignifikánsan csökkent mindkét segédanyag hozzáadásával, az erőteljesebb csökkenés a konyhasó hozzáadásának hatására következett be.

3.11.2. Fehérjék hőstabilitásának vizsgálata

A fehérjék esetében a DSC profilok információt nyújtanak a hőstabilitásról, és szerkezeti ujjlenyomatként is használhatók, ami hasznos lehet a fehérjék szerkezeti konformációinak megkülönböztetésére. A denaturációs hőmérséklet (T_m) és a denaturációs entalpia (ΔH) fontos termodinamikai paraméterek a fehérjék termikus stabilitásának meghatározásához. A denaturációs hőmérséklet a fázisváltozás csúcshőmérséklete, ahol a fehérje natív és denaturált állapota egyensúlyban van. Minél magasabb egy adott fehérje denaturációs hőmérséklet értéke, annál nagyobb termikus stabilitással rendelkezhet (GHARANJIG et al. 2020). A denaturációs hőmérséklet meghatározásával következtetéseket vonhatunk le a meglévő károsodásról (HÖHNE et al. 2003).

Általánosságban elmondható, hogy a globuláris fehérjék nagyobb hőstabilitást mutatnak, mint a lineáris fehérjemolekulák (GHARANJIG et al. 2020). A tojásfehérje vizsgálatakor 2 nagyobb és 1 kisebb csúcs jelenik meg. Az ovalbumin denaturációs csúcsa 80-85 °C között, az ovotranszferrin (konalbumin) pedig 60-65°C között található. Közöttük jelenik meg a kisebb csúcs, amely a lizozimhoz tartozik. Az ovalbumin egy hőstabilabb formává, S-ovalbuminná alakul át a tárolás során. A denaturációs hőmérsékletek függenek ezenkívül a pH-tól, különböző hozzáadott anyagoktól, és a mérés közben alkalmazott fűtési sebességtől is. (DONOVAN et al. 1975).

A tojássárgája nagy mennyiségű lipoproteint tartalmaz, amelyet a DSC nem tud frakciókra szétválasztani. A tojássárgája hőáramgörbéin egyetlen endoterm csúcs van. CORDOBÉS és munkatársai (2004) kutatásai alapján 3; 5 és 10°C/perces fűtési sebesség esetén a csúcshőmérséklet 81,8 és 86,2°C között változik.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Felhasznált anyagok

A kísérleteim során felhasznált tojásleveket a Capriovus Kft. (Szigetcsép, Magyarország) biztosította számomra. A tojáslevek ketreces tartású tojóállománytól származó „A” osztályú, friss tyúktojásból készültek. A Capriovus Kft. szigetcsépi feldolgozóüzemében a tojások fertőtlenítésre kerültek, majd megtörtént a feltörésük, tojássárgája és tojásfehérje levek esetében a szeparálás. Minden tojáslé homogénezésre és a hőkezelésre került. A tojássárgájalevet 65°C-on 10 percig, a tojásfehérjelevet 56°C-on 3 percig, a teljes tojáslevelet pedig 70°C-on 3 percig pasztörözték. A tojássárgájából óránként 600 kg-ot, míg a másik két tojáslehből egy óra alatt 2000 kg-ot hőkezelték. A termékeket 1 liter térfogatú PET (polietilén-tereftalát) palackokba töltötték, 0 és 4°C között tárolták, majd a gyártás napját követő napon szállították a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszékének laboratóriumába. A beérkező tojáslevekkel kísérleteimet minden esetben a szállítás napján elkezdtem.

Egyik kísérletemben hűtőközegben történő fagyasztást alkalmaztam. Ebben az esetben hűtőközeggént folyékony nitrogént választottam, amelyet szigetelt Dewar-edényben a Messer Hungarogáz Kft. (Budapest, Magyarország) biztosított számomra. A nitrogén (N₂) színtelen, szagtalan, íztelen inert gáz, amely a levegő mintegy 78%-át alkotja, előállítása levegőszétválasztással történik. Forráspontja légköri nyomáson -196°C, párolgáshője pedig 199 kJ/kg (FÜLÖP et al. 2007). A cseppfolyós gázt a fagyasztótérbe engedve a hőterhelés mértékének megfelelően hevesen forr. A halmazállapot-változáshoz szükséges energiát a fagyasztandó élelmiszertől vonja el. Az így keletkező gáz hőmérséklete még -196°C. A hideg gáz felmelegedéséhez szükséges hőt szintén az élelmiszertől vonja el. Az apró jégkristályok gyors képződése nagymértékben csökkentheti a termék károsodását, megőrizve a színt, a textúrát, az ízt és a tápértéket (RAHMAN és VELEZ-RUIZ 2007).

Kutatásaim során a tojássárgájához különböző anyagokat adtam, hogy vizsgáljam a gélesedést gátló hatásukat. A mintákhoz kereskedelmi forgalomban kapható kristálycukrot, jódozatlan konyhasót, illetve különböző enzimek készítményeket adtam. A felhasznált enzimek készítmények, illetve azok gyártója, típusa, eredete, optimális pH és hőmérséklet tartománya, megjelenése az M2 mellékletben láthatóak. Egy előkísérlet elvégzését követően kiválasztottam a megfelelő enzimek készítményt, amely az aminoszertej (kazein proteáz) aktivitással rendelkező FlavorproTM 750MDP (Biocatalysts, Cardiff, Egyesült Királyság) készítmény.

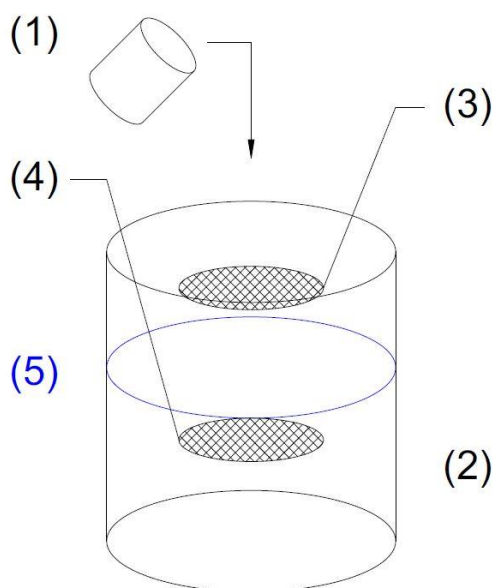
Az optikai denzitás vizsgálata során analitikai tisztaságú NaCl-ot (Lachner, Neratovice, Csehország) használtam. A tojássárgájale mintákból készített majonézek készítéséhez kereskedelmi forgalomban kapható kristálycukrot, jódozatlan konyhasót, finomított napraforgó

étolajat és 10%-os ételecetet használtam. A teljes tojáslé minták felhasználásával piskóta mintákat sütöttem, amelyekhez a tojáslén kívül kereskedelmi forgalomban kapható BL-55 búzafinomlisztet és kristálycukrot használtam.

4.2. Fagyasztás és felengedtetés módszerei

4.2.1. Fagyasztás folyékony nitrogén felhasználásával

Az általam elsőként alkalmazott fagyasztási módszer a folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás volt, amelynek menetét a 13. ábra szemlélteti.



13. ábra: A kriogén fagyasztás kísérleti kivitelezése; (1) minta adagolása, (2) polisztirol edény, (3) acél szűrő a mintacseppek formálásához, (4) acél szűrő a fagyott minta eltávolítására a hűtőközezből, (5) a folyékony nitrogén szintje (HIDAS et al. 2021a)

Egy expandált polisztirol edénybe folyékony nitrogént öntöttem, majd a tojáslé mintákat rozsdamentes acél szűrő (lyukátmérő: 1,5 mm) segítségével cseppekké formáztam. A minta cseppek a hűtőközegeben pillanatszerű fagyasztáson estek át a folyékony nitrogén -196°C -os forrásponti intenzív hőelvonásának köszönhetően. A fagyasztási folyamat során a hűtőközeg térfogatát közel állandó értéken tartottam ($10 \pm 0,5$ liter), a tojáslé mintákat pedig 100 ml-es részletekben adagoltam. A tartózkodási idő a hűtőközegeben 60 s volt, ezt követően egy másik szűrő segítségével távolítottam el a fagyott mintát a folyékony nitrogénből. A mintákat azonnal PA-PE (poliamid-polietilén) tasakokba ($90 \mu\text{m}$: $20 \mu\text{m}$ PA + $70 \mu\text{m}$ PE; AMCO Kft, Budapest, Magyarország) helyeztem, fóliahegesztővel lezártam, majd $-24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ -on tároltam.

4.2.2. Lassú fagyasztás

A lassú fagyasztás során a célom a technológiába beilleszthető teremfagyasztás modellezése volt. 100 ml térfogatú mintát PA-PE tasakokba öntöttem, majd fóliahegesztővel lezártam úgy, hogy

minél kevesebb levegő kerüljön a tasakokba. Ezt követően a mintákat $-24 \pm 1^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletű fagyasztószekrénybe helyeztem.

4.2.3. Felengedtetés

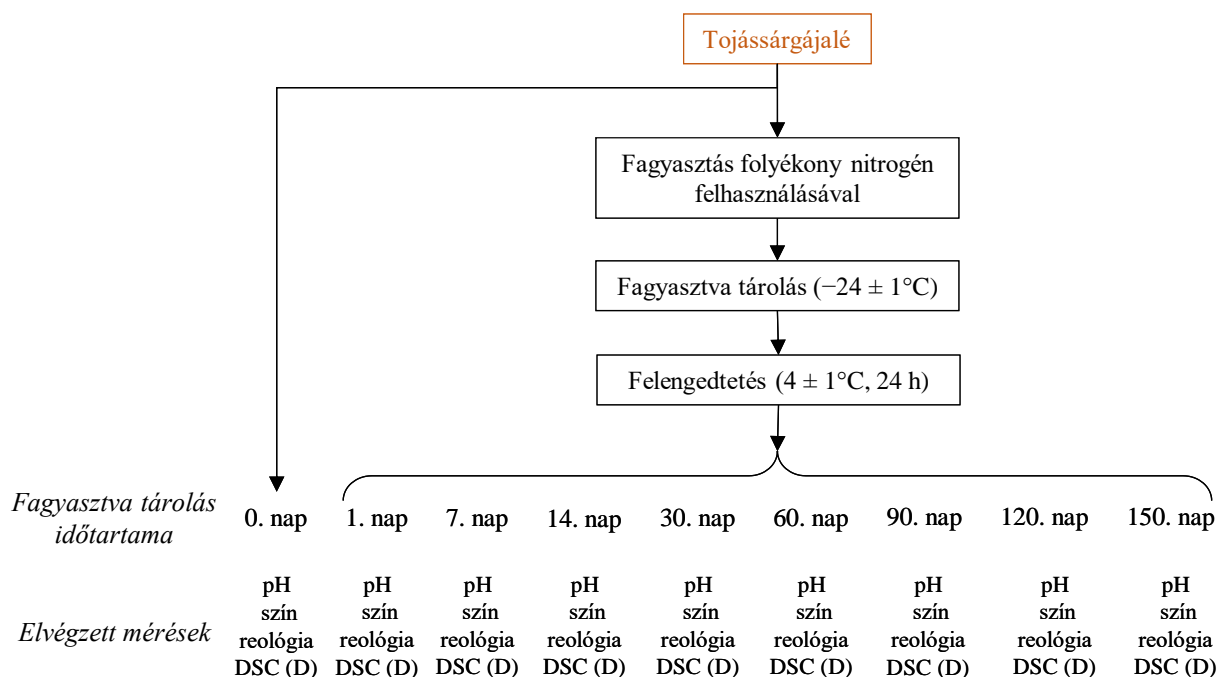
A lassú felengedtetés során a mintákat 24 órával a vizsgálatok elvégzése előtt a fagyasztószekrényből $4 \pm 1^\circ\text{C}$ -os laboratóriumi hűtőszekrénybe helyeztem.

4.3. Kísérletek felépítése

A dolgozatomban 3 egymásra épülő részben vizsgálom meg a tojássárgájalek fagyasztása során bekövetkező változásokat.

4.3.1. Első rész: A folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás és azt követő fagyasztva tárolás hatásának vizsgálata tojássárgájalek esetében

Az első részben azt vizsgáltam, hogy a folyékony nitrogénnel végzett fagyasztás milyen hatást gyakorol a tojássárgájalek minták különböző tulajdonságaira. A kísérlet felépítését a 14. ábra mutatja be.

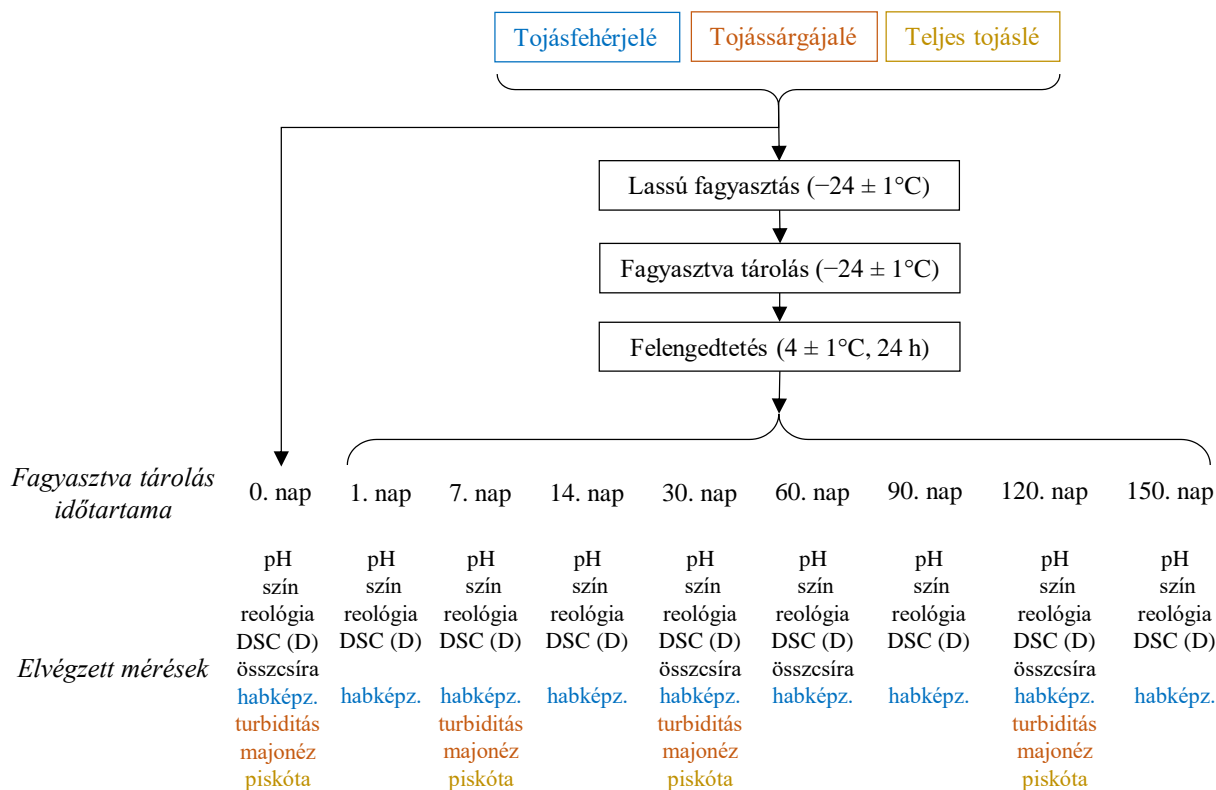


14. ábra: A folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás és azt követő -24°C -on végzett fagyasztva tárolás hatását vizsgáló kísérlet felépítése (A DSC (D) jelölés a minta fehérjéinek hődenaturálhatóságának vizsgálatát jelzi)

A fagyasztást a 4.2.1. fejezetben leírtak alapján, míg a felengedtetést a 4.2.3. fejezetben láthatóak szerint végeztem el. A 14. ábrán szemléltetett méréseket az ábrán látható időpontokban végeztem el. Minden mérési napon 3 db, egyenként kb. 100 g tömegű minta adagot vizsgáltam. Kontroll mintaként a frissen beérkező nem fagyasztott minta szolgált (0. nap).

4.3.2. Második rész: A lassú fagyasztás és fagyasztva tárolás hatása a különböző tojáslevekre

A második részben vizsgáltam a lassú fagyasztás hatását a teljes tojáslé, tojásfehérjélé és tojássárgájálé különböző tulajdonságaira. A kísérlet felépítését a 15. ábra szemlélteti.



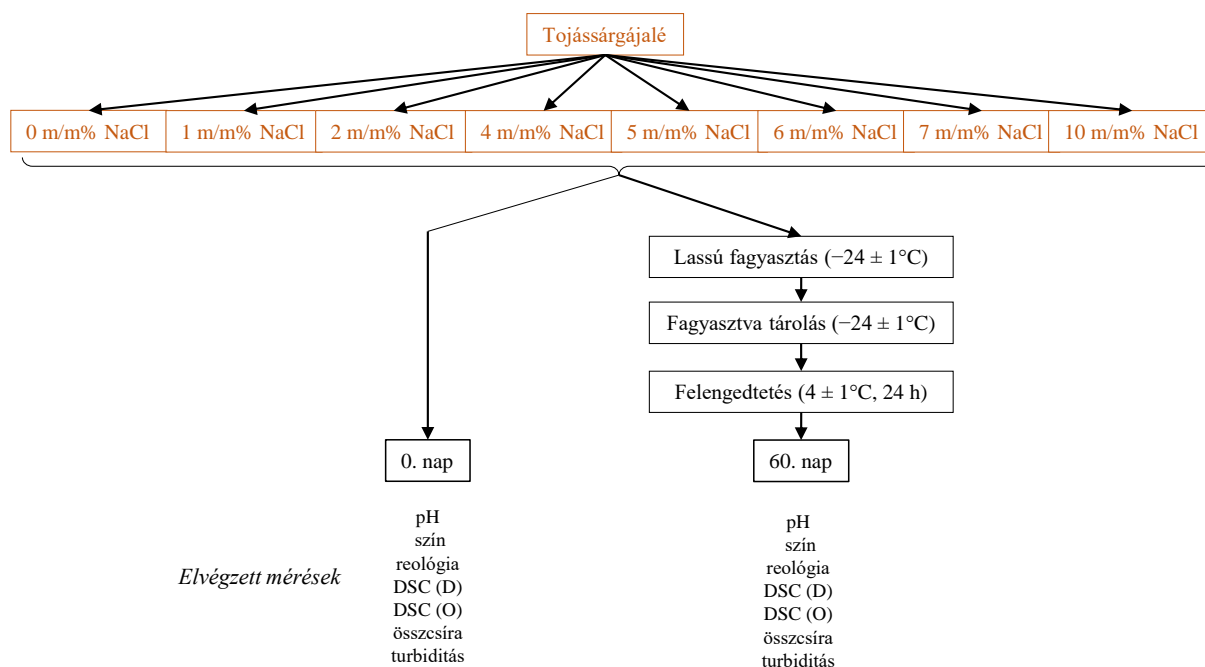
15. ábra: A -24°C -on végzett lassú fagyasztás és azt követő fagyasztva tárolás hatását vizsgáló kísérlet felépítése (A DSC (D) jelölés a minta fehérjéinek hődenaturálhatóságának vizsgálatát jelzi; az elvégzett vizsgálatok színekódolása: fekete – mindhárom tojáslé, kék – tojásfehérjélé, narancs – tojássárgájálé, arany – teljes tojáslé esetében elvégzett vizsgálatok)

A fagyasztást a 4.2.2. fejezetben leírtak alapján, míg a felengedtetést a 4.2.3. fejezetben láthatóak szerint végeztem el. A 15. ábra szemlélteti, hogy mely mérési napon milyen méréseket végeztem el. Kontroll mintaként a frissen beérkező nem fagyasztott minta szolgált (0. nap). Néhány vizsgálatot minden mérési napon elvégeztem, az összcsíraszámot csak meghatározott napokon vizsgáltam. Ezenkívül a felhasználhatóság tanulmányozására minden tojáslé esetében különböző módszereket alkalmaztam. A tojásfehérjélé minták esetében a habképző tulajdonságok vizsgálatát végeztem el, a tojássárgájálé minták esetében a 660 nm-en mért optikai denzitást (turbiditást) vizsgáltam, illetve felhasználásukkal készítettem majonéz mintákat, amelyek reológiai tulajdonságainak változását is nyomon követtem. A teljes tojáslé minták esetében a friss és fagyasztott mintából piskótát készítettem, és megfigyeltem a piskóta állományának változását. Minden mérési napon 3 db, egyenként kb. 100 g tömegű minta adagot vizsgáltam minden tojáslé mintából. A mikrobiológiai vizsgálatához 3-3 db, egyenként kb. 100 g tömegű mintát készítettem az egyes vizsgálati napokra a tojáslé mintákból.

4.3.3. Harmadik rész: A tojáslevek fagyasztás során bekövetkező állományváltozásának megakadályozása különböző krioprotektív kezelésekkel

4.3.3.1. A konyhasó krioprotektív hatásának tanulmányozása tojássárgájale esetében

Ebben a kísérletben a tojássárgájával foglalkoztam, ugyanis ebben volt a legkifejezettebb állományváltozás. A kísérlet során a konyhasó hozzáadásának hatását vizsgáltam a tojássárgájaleben bekövetkező gélesedésre. A szakirodalom alapján 2-10 m/m% közötti konyhasó koncentrációt alkalmaznak a fagyasztott tojássárgájale minták gélesedésének megakadályozására a fagyasztás során (AU et al., 2015). Kísérletemben különböző konyhasó koncentrációjú tojássárgájale mintákat készítettem 1 és 10 m/m% közötti koncentrációkban, hogy megállapítsam, hogy melyik koncentrációval érhető el a legkedvezőbb krioprotektív hatás. A kísérlet felépítését a 16. ábra szemlélteti.



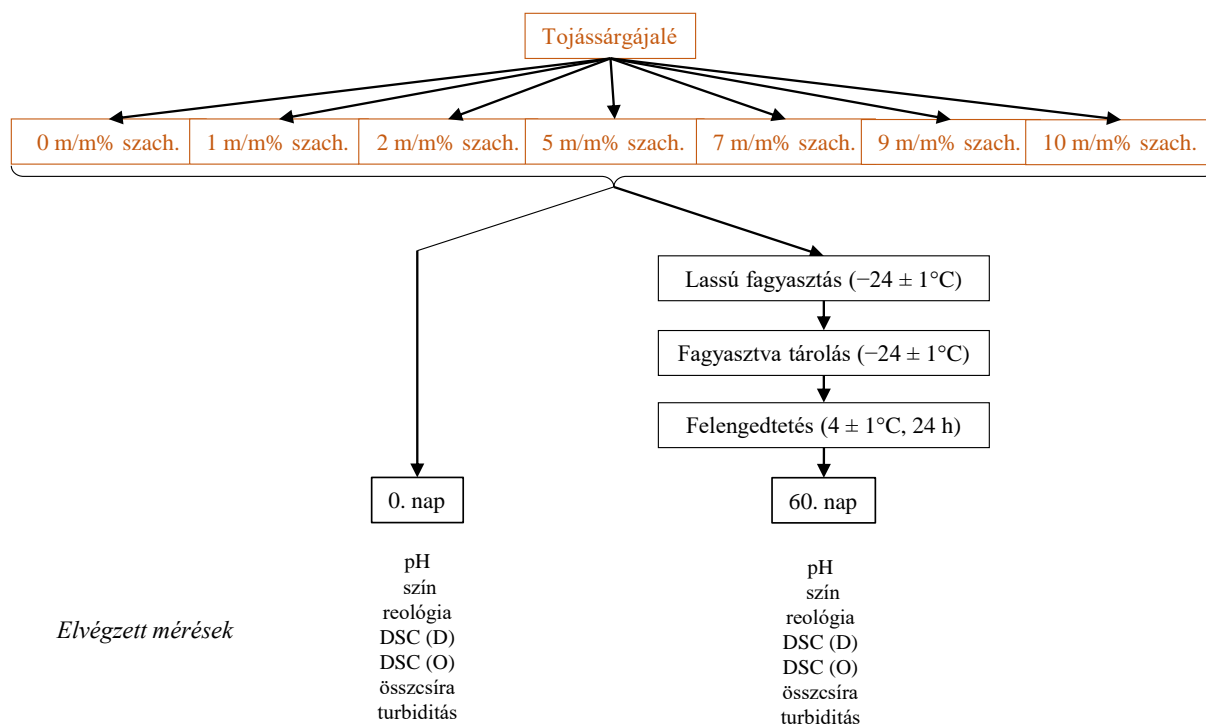
16. ábra: A konyhasó krioprotektív hatásának tanulmányozására irányuló kísérlet felépítése (A DSC (D) jelölés a minta fehérjéinek hődenaturálhatóságának vizsgálatot jelzi; a DSC (O) az olvadás során vizsgált hőfizikai jellemzők mérése)

A tojássárgájalehez konyhasót adtam úgy, hogy az egyes minták tömege 700 g legyen, majd legalább 2 percen keresztül üvegbottal homogenizáltam őket, amíg csomómentessé váltak. A mintákat PA-PE tasakba töltöttem, hogy 6-6 db, egyenként kb. 100 g töltőtömegű csomagot képezzek, majd 3-3 tasakot $-24 \pm 1^\circ\text{C}$ -os fagyasztóba helyeztem. A fagyasztott minták felengedtetését a 60. napon a 4.2.3. fejezetben láthatóak szerint végeztem el. A friss és fagyasztott mintákat a 16. ábrán bemutatott vizsgálatoknak vettem alá. Kontroll mintaként konyhasót nem tartalmazó mintát (0 m/m%) alkalmaztam, amelyet szintén megvizsgáltam a fagyasztást megelőzően és azt követően is. A PA-PE tasakokba töltött mintákon kívül centrifugacsövekbe is adagoltam az egyes mintákból 20-20 ml-t, amelyek felengedtetését a 60. napon a 4.2.3. fejezetben

leírtak szerint végeztem el. A fagyasztás-felengedtetést követően a 4°C hőmérsékletű mintákat tartalmazó centrifugacsöveket kupakjukkal lefelé fordítottam, majd 10 másodperc elteltével vizuálisan értékeltem őket, illetve fényképet készítettem, foly ellenőriztem a minták folyékonyságát.

4.3.3.2. A szacharóz krioprotektív hatásának tanulmányozása tojássárgájale esetében

Ebben a kísérletben a szacharóz hozzáadásának hatását vizsgáltam a tojássárgájale fagyasztás-felengedtetés során tapasztalt gélesedési folyamatára. A szakirodalom alapján a konyhasó mellett a szacharóz a másik leggyakrabban alkalmazott krioprotektív anyag a fagyasztott tojássárgájale termékekben, amelyet szintén 2-10 m/m% között alkalmaznak (AU et al., 2015). Kísérletemben ezen okból kifolyólag különböző szacharóz koncentrációjú tojássárgájale mintákat készítettem 1 és 10 m/m% közötti koncentrációkban, hogy megállapítsam, hogy melyik koncentrációval érhető el a legkedvezőbb krioprotektív hatás. A kísérlet felépítését a 17. ábra szemlélteti.



17. ábra: A szacharóz krioprotektív hatásának tanulmányozására irányuló kísérlet felépítése (A DSC (D) jelölés a minta fehérjéinek hődenaturálhatóságának vizsgálatot jelzi; a DSC (O) az olvadás során vizsgált hőfizikai jellemzők mérése)

Fagyasztást megelőzően különböző koncentrációkban (17. ábra) szacharózt tartalmazó mintákat készítettem úgy, hogy az egyes minták 700 g tömegűek legyenek. A homogenizálást pedig üvegbottal végeztem legalább 2 percig, ellenőrizve a minták csomómentességét. A mintákat PA-PE tasakokba töltöttem (6-6 db), majd 3-3 tasakot $-24 \pm 1^\circ\text{C}$ -os fagyasztóba helyeztem, míg a felengedtetést a 60. napon a 4.2.3. fejezetben láthatóak szerint végeztem el. A friss és fagyasztott mintákat a 17. ábrán bemutatott vizsgálatoknak vettem alá. Kontroll mintaként szacharózt nem

tartalmazó mintát (0 m/m%) alkalmaztam, amelyet szintén megvizsgáltam a fagyasztást megelőzően és azt követően is. A centrifugacsőbe töltött fagyasztott-felengedett mintákról a 4.3.3. fejezetben ismertettek alapján fényképet is készítettem.

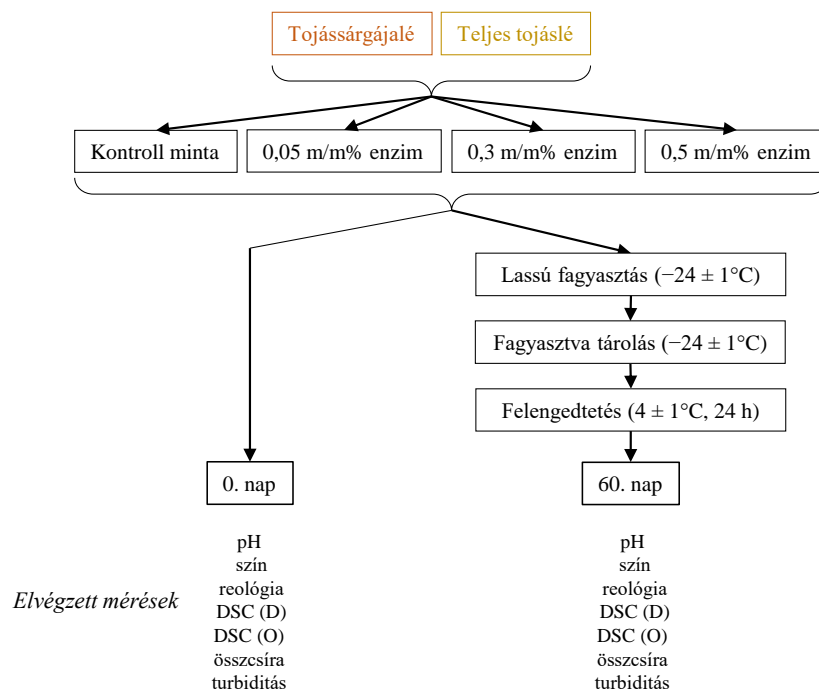
4.3.3.3. A tojássárgájale és a teljes tojásle fagyasztás-felengedtetés során végbemenő reológiai változásainak megelőzése enzimkészítménnyel

Előkísérlet

Elsőként végeztem egy előkísérletet, amelyben tojássárgájalevet és teljes tojáslevet vettem alá különböző enzimkészítményekkel történő enzimkezelésnek. Az alkalmazott enzimkészítményeket és tulajdonságaikat az M2 melléklet tartalmazza. A por állagú készítményeket a gyártói előírásnak megfelelően vízben oldva, a folyékony termékeket pedig enélkül adtam a tojáslevekhez 0,05; 0,3 és 0,5 m/m%-os koncentrációban. A minták homogenizálását üvegbotlal végeztem 2 percen keresztül, majd centrifugacsövekbe töltöttem őket és 40°C-os vízfürdőben 120 percen keresztül kezeltem őket. Ezt követően a mintákat olvadó jégben hűtöttem 60 percen keresztül, majd $-24 \pm 1^\circ\text{C}$ -os fagyasztószekrénybe helyeztem úgy, hogy álló helyzetben maradjanak. A felengedtetést a 7. napon a 4.2.3. fejezetben láthatóak szerint végeztem el. A fagyasztott-felengedett mintákról a 4.3.3. fejezetben ismertettek alapján fényképet is készítettem, amelyeket az M3 és M4 mellékletben helyeztem el. Az elvégzett vizuális értékelés alapján mind a tojássárgájale, mind a teljes tojásle esetében az aminopeptidáz aktivitású enzimkészítmény (Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP) bizonyult megfelelőnek, a kísérlet további részében így ezzel dolgoztam.

Az aminopeptidáz aktivitású Flavorpro™ 750MDP enzimkészítmény krioprotektív hatásának vizsgálata a tojássárgájale és a teljes tojásle esetében

A kísérlet következő részében az aminopeptidáz aktivitású Flavorpro™ 750MDP enzimkészítményt alkalmaztam mindkét tojásle esetében. A por készítményt vízben oldottam, majd a tojáslevekhez adagoltam a 18. ábrán látható koncentrációkban úgy, hogy 600-600 g-os mintákat képezek. Az előkísérletben ismertetett módon homogenizáltam a mintákat, majd kb. 100 ml-es adagokat készítettem belőlük PA-PE tasakokban. Az enzimkezelést az előkísérletben leírtak szerint végeztem el, majd a minták felét $-24 \pm 1^\circ\text{C}$ -os fagyasztószekrénybe helyeztem. Kontroll mintaként enzimet nem tartalmazó mintát alkalmaztam, amelyet az enzimet tartalmazó mintákkal együtt hőkezelttem, hűtöttem és fagyasztottam. Fagyasztást megelőzően és azt követően a 18. ábrán látható vizsgálatokat végeztem el, illetve a fagyasztott-felengedett mintákról a 4.3.3. fejezetben ismertetett módon fényképet készítettem.



18. ábra: Az aminopeptidáz aktivitású FlavorproTM 750MDP enzimekészítmény krioprotektív hatásának vizsgálatára irányuló kísérlet felépítése (A DSC (D) jelölés a minta fehérjéinek hődenaturálhatóságának vizsgálatot jelzi; a DSC (O) az olvadás során vizsgált hőfizikai jellemzők mérése)

4.4. Késztermék készítési vizsgálatok

4.4.1. Majonéz készítése

A friss és a fagyasztott-felengedtetett tojássárgájalé minták felhasználásával majonéz mintákat készítettem HUANG és munkatársainak (2016) módosított módszere alapján. A tojássárgájalevet és az étolajat előzetesen 4°C-ra temperáltam. A tojássárgájalevet, étkezési sót és a kristálycukrot 4 percen keresztül kevertem kézi mixer maximális fokozatán (Hand Blender set, 600W, SilverCrest, Cseh Köztársaság, Prága). Eközben egy mérőhenger segítségével egyenletesen adagoltam az étolajat. Ezt követően további 1 percig tartó keverés mellett az ételecetet adagoltam a majonéz mintákhoz. Az összetevők mennyiségét az 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat: Friss és fagyasztott-felengedtetett tojássárgájalé minták felhasználásával készített majonéz minták összetevői és azok mennyisége

Összetevők	Mennyiség (g / 100 g)
finomított napraforgó étolaj	71,5
friss vagy fagyasztott-felengedtetett tojássárgájalé	17,9
ételecet (10%)	7,1
kristálycukor	2,3
étkezési só	1,2

4.4.2. Piskóta készítése

Friss és fagyasztott-felengedtetett teljes tojáslé minták felhasználásával piskóta mintákat készítettem LOSTIE és munkatársainak (2002) módszere alapján, melyen módosításokat hajtottam végre. A piskótatésztákat 35% BL-55 búzafinomlisztből, 35% kristálycukorból és 30%

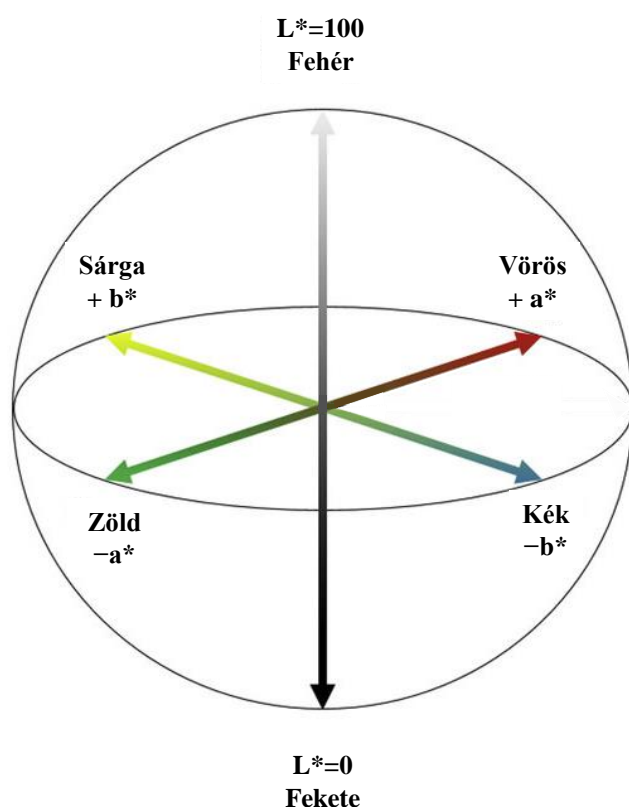
teljes tojásleből állítottam össze. A teljes tojáslevet a kristálycukorral habosra kevertem 3 perc alatt kézi mixer maximális fokozatán (Hand Blender set, 600W, SilverCrest, Cseh Köztársaság, Prága), majd hozzáadagoltam 3 részletben a lisztet is. A keveréket 18 cm átmérőjű kapcsos kivitelű henger tortaformába öntöttem, majd 180°C-on 20 percig sütöttem Lainox VE 051P típusú (Lainox, Vittorio Veneto, Olaszország) kombinált sütő-pároló berendezésben gőzös legkeveréses üzemmódban. A készre sült mintákat szobahőmérsékletűre temperáltam az elvégzett állománymérés előtt.

4.5. Alkalmazott mérési módszerek

4.5.1. pH mérése

A friss, illetve a fagyasztott-felengedett minták pH-jának meghatározásához szűrőelektródás pH mérőt (Testo 206-pH2, Testo SE & Co. KGaA, Titisee-Neustadt, Németország) alkalmaztam. A méréseket 4°C-on végeztem el 3 párhuzamos méréssel.

4.5.2. Színmérés



3. táblázat: Az emberi szem által érzékelhető színekülönbségek (CSERHALMI et al. 2006)

ΔE^* 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 – 12,0	nagy

19. ábra: A CIE Lab színrendszer sematikus ábrázolása (LY et al. 2020)

A friss és a fagyasztott-felengedett minták színének mérését Konica Minolta CR400 (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japan) típusú tristimulusos színmérő készülékkel végeztem, amely reflexiós színmérésre alkalmas. A tristimulusos készülékek az emberi szem működését modellezik, a színek bontását szemünkéhez hasonló jellegű színszűrőkkel valósítják meg. A

mintát méréskor rövid ideig (1 s) egy szabályozott xenon villanófény világítja meg. A mérőfej rekesznyílása 8 mm átmérőjű, a megvilágítási rendszer diffúz megvilágítással működik d: 0°-os megvilágítási szöggel és „C” típusú fényforrással (D65) (Specifications - KONICA MINOLTA Europe, n.d.).

A CIELAB tristimulusos színingertérben (19. ábra) az L^* a világossági tényező, az a^* a vörös/zöld színtényező (pozitív előjel esetén vörös színezet, negatív előjel esetén zöld színezet), a b^* pedig a sárga/kék színtényező (pozitív előjel esetén sárga színezet, negatív előjel esetén kék színezet).

Két minta színének összehasonlításához a színinger különbség (ΔE^*_{ab}) használható [5. egyenlet] (FULLERTON et al. 1996).

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad [5]$$

Ahol ΔL^* , Δa^* és Δb^* a két vizsgált minta színtényezői közötti különbséget jelölik.

A színinger különbség értékek bizonyos tartományai megfeleltethetők az emberi szem által érzékelt különbségek mértékének (3. táblázat).

A műszert a mérések megkezdése előtt a minták csomagolásához használt PA-PE fólián keresztül kalibráltam a műszerhez tartozó fehér etalon segítségével, majd a minták színét a csomagolóanyagon keresztül mértem. Mintánként 5 párhuzamos mérést végeztem.

4.5.3. Mezőfil aerob és fakultatív anaerob mikrobaszám meghatározása

Az aerob mezofil és fakultatív anaerob élőcsíraszámot az MSZ EN ISO 4833-1:2014 szabvány alapján határoztam meg lemezöntéses módszerrel. Vizsgáltam a friss, illetve a 4.2.2. fejezetben leírtak alapján fagyasztott és 4.2.3. fejezetben bemutatottak alapján felengedett tojáslevek mikrobaszámát. A vizsgálathoz telepszámláló agar használtam. A mintákból tizedelő hígítási sort készítettem, majd leoltást követően a Petri-csészéket 30°C-on 72 órán keresztül inkubáltam. Minden esetben 3-3 párhuzamos oltást végeztem.

4.5.4. Habképző tulajdonságok vizsgálata

A habképző tulajdonságokat a friss és fagyasztott-felengedett tojásfehérjélé minták esetében vizsgáltam. A tojásfehérjélé mintákból 50 ml-t a kézi mixerhez tartozó edénybe öntöttem, majd a mixer maximális fokozatán (Hand Blender set, 600W, SilverCrest, Cseh Köztársaság, Prága) stabil habbá vertem. A habot 100 ml-es műanyag mérőhengerbe töltöttem, majd szobahőmérsékleten 1 napig pihentettem. A pihentetést követően a lékiválást leolvastam a mérőhenger beosztásáról. Mintánként 3 párhuzamos mérést végeztem.

4.5.5. Turbiditás vizsgálata

A friss és fagyasztott-felengedett minták turbiditását (zavarosságát) WANG és munkatársainak (2020) módszere alapján vizsgáltam. A mintákat 10 m/V%-os NaCl oldatban oldottam fel

(1:100 tömegarányban). A hígított minták abszorbanációját U-2900 spektrofotométerrel (Hitachi, Tokyo, Japan) mértem 660 nm hullámhosszon 1 cm-es küvettában, összehasonlító mintaként 10 m/V%-os NaCl oldatot használtam. Mintánként 6 párhuzamos mérést végeztem.

4.5.6. Tojáslé minták reológiai tulajdonságainak meghatározása rotációs reométerrel

A friss és fagyasztott minták reológiai viselkedését MCR 92 reométerrel (Anton Paar, Graz, Ausztria) vizsgáltam. A berendezést rotációs módban használtam koncentrikus henger geometriai elrendezésű mérőrendszerrel (edény átmérő: 28,920 mm; henger átmérő: 26,651 mm; henger hossza: 40,003 mm, aktív hosszúság: 120,2 mm; pozícionálási magasság: 72,5 mm; minta térfogata: 25 ml).

A berendezés vezérlését az Anton Paar RheoCompass szoftverrel végeztem. A mérések során a először 1 és 1000 1/s között növekvő, majd csökkenő nyírási sebesség mellett mértem a nyírófeszültséget. A növekvő és a csökkenő nyírási sebességű szakaszokban 31-31 mérési pontot rögzítettem. Az első kísérletben a reológiai tulajdonságokat 5°C-on vizsgáltam, azonban a további kísérletekben 20°C-os hőmérsékleten, ugyanis a mérés időtartama jóval hosszabbnak bizonyult az 5°C-os vizsgálat során. Ebben az esetben nem a minta temperálása okozta a problémát, hanem a mérőrendszer hőmérsékletének fenntartása a mintacsere és tisztítás során.

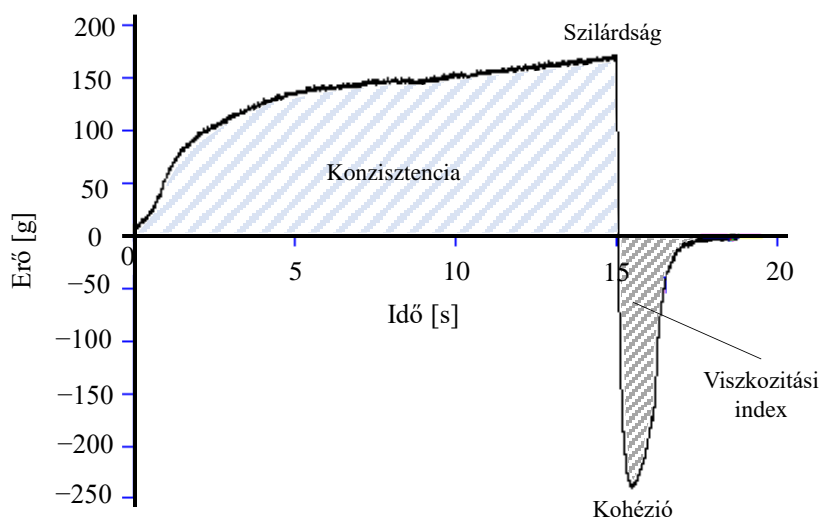
A mért adatok segítségével folyásgörbékét vettem fel, amely a nyírási sebesség függvényében ábrázolja a nyírófeszültség értékeket, illetve ábrázoltam a viszkozitásgörbékét, amelyen a látszólagos viszkozitás kerül feltüntetésre a nyírási sebesség függvényében. A folyásgörbék kiértékeléséhez a Herschel-Bulkley modellt [2. egyenlet] alkalmaztam ATILGAN és UNLUTURK (2008) megállapításai alapján. A modell illesztést Microsoft Excel 365 Solver bővítményével végeztem, a legkisebb négyzetek összege illesztési módszerrel, ahol τ_0 , K és n a változtatható értékek. A szoftverrel a mért és számolt adatpontok különbségének négyzetének az összegét minimalizáltam. Mintánként 3 párhuzamos mérést végeztem.

4.5.7. Majonéz minták reológiai tulajdonságainak meghatározása SMS állománymérő készülékkel

A majonéz minták reológiai tulajdonságainak vizsgálatát 500 N-os erőmérő cellával felszerelt TA.XT Plus állománymérő készülékkel (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, Egyesült Királyság) „back extrusion” mérő feltéttel végeztem WANG és munkatársainak (2020) módszere alapján. A műszer vezérlését és a kapott adatok kiértékelését a Texture Exponent 32 szoftver segítségével hajtottam végre. A mérés a back extrusion, azaz „vissza vagy hátrafele préselés” elvén alapul. A mérő feltétthez tartozó henger alakú mintatartót (belső átmérő: 50 mm) a mérési pozícióba helyeztem és a kompressziós koronggal (külső átmérője: 35 mm, vastagság: 5 mm) ellátott mérőfejet a mintatartó közepére pozícionáltam. A mérőfejet a mérőpohártól 65 mm-re kalibráltam.

A kalibrációt követően a mintatartót megtöltöttem a 4°C-ra temperált mintával (80 ml), majd a mérőfej 1 mm/s állandó mérési sebesség mellett a minta felszínének megérintésétől számított 15 mm-t haladt a mintában. A mérés során 5,0 g trigger erőt alkalmaztam, ami azt jelenti, hogy a mérés akkor kezdődik, amikor a készülék 5 g erőt érzékelt azon a ponton, ahol a dugattyú alsó része érintkezik a mintával. A beállított behatolási mélység elérését követően a mérőfej visszatért a kiinduló helyzetébe. Az angolszász mértékegység szerint az 1 g erő az 1 g tömegű test súlya, amely 0,01 N-nak felel meg.

A mérés során felvett idő-erő diagramot a 20. ábra szemlélteti.



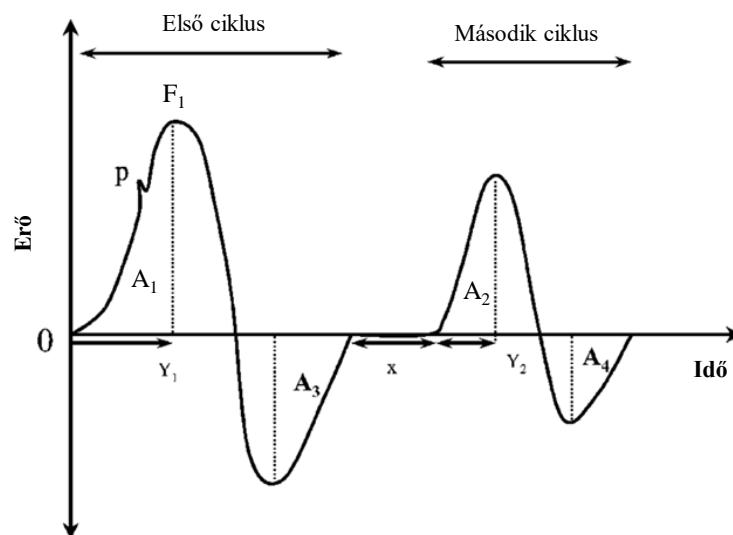
20. ábra: Majonéz minta back extrusion mérő feltétellel végzett mérése során felvett idő-erő diagram

A maximális behatolási mélységnél felvett maximális erő értéke adja a minta szilárdságát (g), míg a görbe alatti terület eddig a pontig a konzisztenciát (g·s). Amikor a mérőfej a kiinduló helyzetébe tér vissza, a diagramon negatív erő érték látható. A visszafelé haladás közben mért maximális erő a kohézió (g), az ehhez a szakaszhoz tartozó görbe alatti terület pedig a viszkózitási indexet (g·s) adja. Mintánként 6 párhuzamos mérést végeztem.

4.5.8. Piskóta minták állományának vizsgálata SMS állománymérő készülékkel

A piskóta minták állománymérését szintén SMS TA.XT Plus (Stable Micro Systems Ltd. Godalming, Surrey, UK) berendezéssel végeztem. Ebben az esetben az állományprofil analízis (Texture Profile Analysis, TPA) módszerét alkalmaztam, mely az emberi harapás imitálásán alapszik. A mérés során egy próbatestet kétszer összenyomnak úgy, hogy a belső szerkezete megroppanjon. A mérés során a 21. ábrán láthatóhoz hasonló jelleggörbét kapunk, amelyből következtetni tudunk a próbatest állományának milyenségére.

A piskótákat szobahőmérsékletűre temperáltam, majd 20 mm átmérőjű és 20 mm magasságú henger alakú próbatesteket készítettem belőlük. A méréseket egy 35 mm átmérőjű, hengeres, sík nyomófelszínű alumínium mérőfejjel végeztem 50%-os összenyomásig. A nyomófej sebessége 2 mm/s, a két összenyomás közötti relaxáció időtartama pedig 10 s volt.



21. ábra: Állományprofil analízis (TPA) jelleggörbéje (RAHMAN 2005)

A Texture Exponent 32 szoftverrel felvett és kiértékelt erő-idő görbe (21. ábra) segítségével az alábbi paramétereket határoztam meg leolvasással vagy számolással:

- A_1 és A_2 terület: Az első és második kompressziós ciklus erő-idő görbéje alatti terület a mérés kezdetétől a maximális erő értékig, illetve a második összenyomás kezdetétől a második ciklusban mért maximális erő értékéig, az egyenletes mozgás miatt az idő deformációra átszámítható és a terület értékek megfeleltethetők az első és második „rágással” a mintán végzett kompressziós munkának.
- Keménység (hardness; F_1 , [N]): Az első harapási ciklus során mért maximális deformáló erő.
- Kohézió (cohesiveness; A_2/A_1): Dimenzió nélküli paraméter, az alaktartósság mértéke.
- Rugalmasság (springiness; S , [mm]): a második kompresszió során mérhető deformáció
- Gumisság (gumminess; G , [g]): a keménység és a kohézió szorzata: $G = F_1 \cdot C$ (BOURNE 2002).

Mintánként 6 párhuzamos mérést végeztem.

4.5.9. Fagyásgörbe felvétele és a kriozkópos hőmérséklet meghatározása

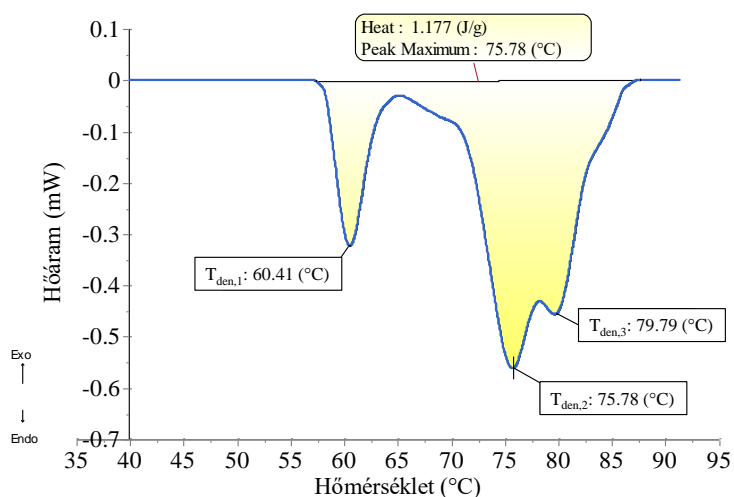
A második kísérletben felvettem a minták fagyásgörbéit E-Val ProTM (Ellab Validation & Monitoring Solutions, Hillerød, Dánia) termoelemes rendszerrel, amelyhez STC32-TF T típusú szenzorokat használtam. A rendszert a Valsuite® (Ellab Validation & Monitoring Solutions, Hillerød, Dánia) szoftverrel vezéltem. 50 ml-es centrifugacsövekbe öntöttem 50-50 ml tojásfehérjelevet, tojássárgájalevet és teljes tojáslevet, majd a kilyukasztott kupakon keresztül belevezettem 1-1 szenzort a minták közé. A mintákat állítva behelyeztem a -24°C -os fagyasztószekrénybe, elindítottam a szoftverrel a hőmérséklet regisztrálását másodpercenként és megvártam, amíg eléri a fagyasztó hőmérsékletét. A kriozkópos hőmérséklet meghatározása

során egyenest illeszttem folyásgörbe hűtési és a fagyasztási szakaszaira, a krioszkopos hőmérsékletet pedig a metszéspontjukként számoltam ki.

4.5.10. Hőfizikai tulajdonságok meghatározása

4.5.10.1. Fehérjék állapotának vizsgálata differenciális pásztázó kaloriméterrel

A friss és fagyasztott-felengedett tojáslé minták fehérjéinek hő által történő denaturálhatóságának vizsgálatát Micro DSC III differenciáló pásztázó kaloriméterrel (Setaram, Calurie, Franciaország) végeztem. A berendezéshez tartozó alumínium mintatartóba 210 ± 5 mg mintát mértem, referencia mintaként desztillált vizet alkalmaztam. A berendezést a SetSoft2000 szoftverrel kaloriméterrel (Setaram, Calurie, Franciaország) vezéltem. A mérési program fűtési szakasza 20°C -ról indult, és $1,5^\circ\text{C}/\text{perc}$ fűtési sebességgel 95°C -ig melegítette a mintákat. A hűtési szakaszban 95°C -ról $3,0^\circ\text{C}/\text{perces}$ hűtési sebességet alkalmaztam a 20°C -os hőmérséklet eléréséig. A mérés során a minta hőmérsékletének függvényében rögzítettem a hőáram változást. A kiértékelés során a 22. ábrán látható módon a Calisto Processing 7.6 szoftvert alkalmaztam (Setaram, Caluire, Franciaország).



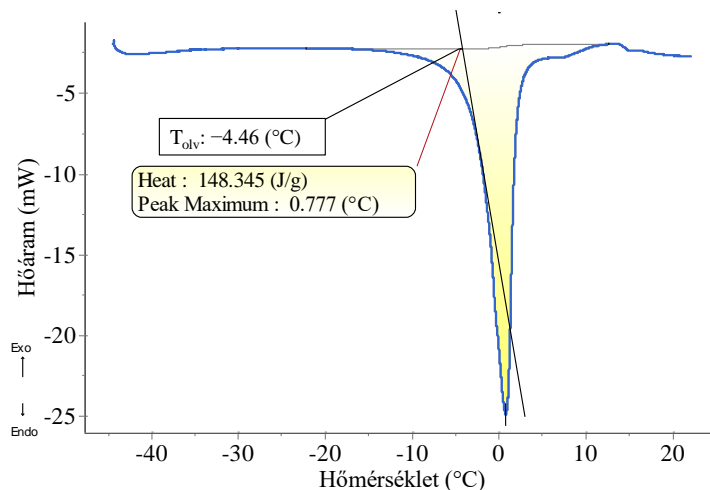
22. ábra: Tipikus hődenaturációs hőáramgörbe (friss tojásfehérjelé) és kiértékelése

Egyenes alapvonalat illeszttem a felfűtési szakaszban felvett termogramokra, és megállapítottam a fehérjék denaturálásához szükséges entalpiaváltozás (ΔH_{den} , J/g) értékét a görbe alatti terület meghatározásával (a 22. ábrán Heat-ként szerepel), illetve a denaturációs hőmérsékletet (T_{den} , $^\circ\text{C}$) a csúchoz tartozó hőmérséklet meghatározásával. Mintánként 3 párhuzamos mérést végeztem.

4.5.10.2. Az olvadás hőfizikai jellemzőinek vizsgálata differenciális pásztázó kaloriméterrel

A friss tojáslé minták intenzív olvadásának kezdeti hőmérsékletét és a ki nem fagyasztható víztartalmát Setaram DSC 131 evo típusú műszer (Setaram, Caluire, Franciaország) segítségével határoztam meg. $100 \mu\text{l}$ -es alumínium mintatartóba 25-30 mg mintát mértem, referencia mintaként pedig üres lezárt mintatartót alkalmaztam. A berendezést a Calisto Acquisition szoftverrel

(Setaram, Caluire, Franciaország) vezéreltem. A mérési program hűtési szakasza 30°C-ról indult, és 5,0°C/perc hűtési sebességgel –50°C-ig hűtötte a mintákat. Ezt követte egy állandó hőmérsékletű szakasz, amely 15 percig tartott, majd a felfűtési szakaszban –50°C-ról 2,0°C/perces fűtési sebességet alkalmaztam 30°C-os hőmérséklet eléréséig. A mérés során a minta hőmérsékletének függvényében rögzítettem a hőáramváltozást.



23. ábra: Tipikus olvadás során felvett hőáramgörbe (friss teljes tojáslé vizsgálata) és kiértékelésének módja

A kiértékelés során a Calisto Processing 7.6 szoftvert alkalmaztam a 23. ábrán látható módon (Setaram, Caluire, Franciaország). Tangenciális szigmoid típusú alapvonalat illesztettem a fűtési szakaszban felvett termogramokra (23. ábra), és megállapítottam a minta felolvasáshoz szükséges entalpiaváltozás (ΔH_{olv} , J/g) értékét a görbe alatti terület (a 23. ábrán Heat-ként szerepel) meghatározásával. Ezenkívül megállapítottam az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletét (T_{olv} , °C) az intenzív olvadási szakaszra illesztett egyenes és az alapvonal metszéspontjaként. A ki nem fagyó víztartalmat a felolvasáshoz szükséges entalpia segítségével a 4. egyenlet alapján számoltam. Mintánként 3 párhuzamos mérést végeztem.

4.5.11. Az eredmények statisztikai értékelése

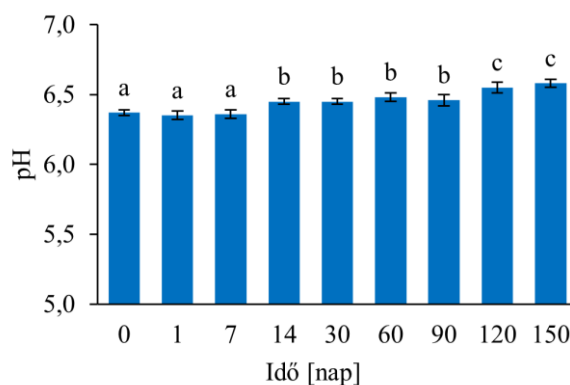
A statisztikai vizsgálatot minden mérési sorozat esetén IBM Statistics 24 szoftverrel végeztem 5%-os szignifikancia szinten ($p < 0.05$). A hibatagok normalitását Shapiro-Wilk teszttel, a szóráshomogenitást pedig Levene's teszttel ellenőriztem. A statisztikai analízist egytényezős ANOVA segítségével hajtottam végre. Amennyiben az ANOVA szignifikánsnak bizonyult, a különböző csoportok elkülönítésére a szóráshomogenitás feltételének teljesülése esetében Tukey HSD tesztet, a szóráshomogenitás sérülése esetében Games-Howell tesztet végeztem. A dolgozatban szereplő oszlopdiagramokon az átlagot ábrázoltam, a szórást pedig hibásávként tüntettem fel. Az oszlopdiagramokon különböző kis betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek ($p < 0,05$).

5. EREDMÉNYEK

5.1. A folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás és fagyasztva tárolás tojássárgájale tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálata

5.1.1. A tojássárgájale pH-értékének vizsgálata

A tojássárgájale pH-ját fagyasztás előtt, illetve a kriogén fagyasztást és különböző időtartamig tartó fagyasztva tárolást követően a 24. ábra mutatja be.



24. ábra: Tojássárgájale pH-jának változása folyékony nitrogénben történő fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

A tojássárgájale esetében a kiindulási pH $6,37 \pm 0,02$ volt, azonban a szakirodalmi adatok alapján a friss tojás sárgájának pH-ja 6,0 körüli. Ez azzal magyarázható, hogy feldolgozott tojássárgájalevet vizsgáltam, amely a technológia során hígulhat tojásfehérjével (FRONING, 2008). Kísérletem eredményei alapján a pH a fagyasztást követő 1. napon nem változott szignifikánsan. Megfigyelhető, hogy a hosszabb távú fagyasztva tárolás során a pH szignifikánsan változott, egy enyhén emelkedő tendencia látható. Először a 14. napon bizonyult szignifikánsnak a különbség a pH-értékek között, majd a 120. napon. A 150 napos tárolási idő alatt a pH 0,2-es növekedést mutatott. Eredményeim összhangban állnak HUANG és munkatársainak (1997) megállapításaival, akik 60 napig tárolták -15°C hőmérsékleten a tojássárgáját. Vizsgálatukban a pH a fagyasztva tárolás 7. napjáig csökkent, majd azt követően a 60 nap alatt 0,15-tel nőtt. A kutatócsoport a pH emelkedését romlást előre jelző folyamatnak tekintette.

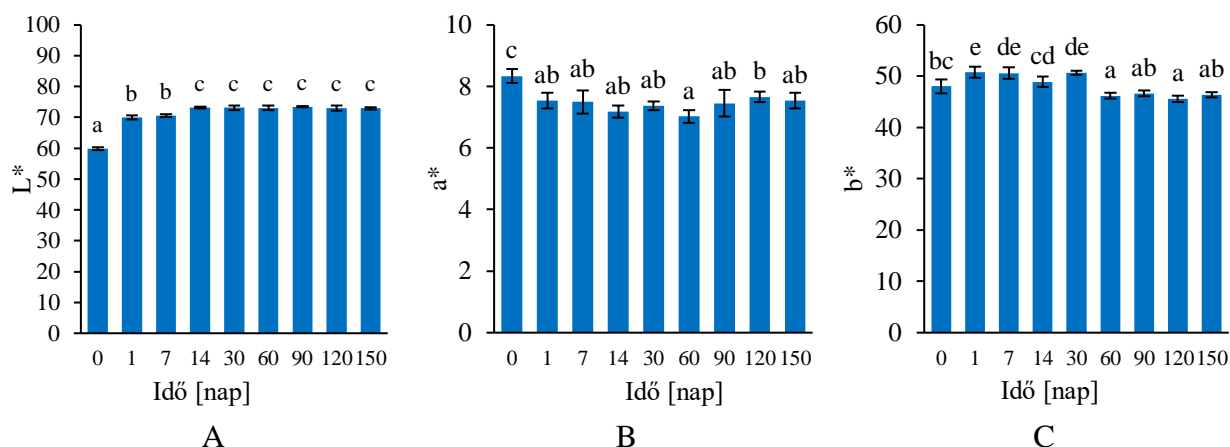
Azonban a pH-változás háttérben fizikokémiai folyamatok is állhatnak. VAN DEN BERG (1966) különböző fagyasztott élelmiszerek pH-ját vizsgálta. Vizsgálatai során megállapította, hogy a nagy fehérjetartalmú élelmiszer minták (hús és hal) esetében a pH nőtt a fagyasztás során. Zselatin oldattal végzett vizsgálataiban megállapította, hogy a pH növekedése annak köszönhető, hogy a ki nem fagyó víztartalomban megnő a fehérjekoncentráció. Tejjel végzett kísérleteiben megállapította, hogy a pH a lassú fagyasztás során csökkent, gyorsfagyasztás esetén azonban nem. Ezenkívül megállapította, hogy a tárolás során fellépő pH változás attól függ, hogy milyen az élelmiszer sóösszetétele és a pufferkapacitása. A tejnek és a tőkehalnak, amelyek magas nátrium

és kalcium-foszfát tartalommal rendelkeznek, a fagyasztva tárolás során az első néhány hétben csökkent a pH-ja. A bekövetkező pH-változások annak köszönhetőek, hogy a fehérjékhez kötött vagy nagy mennyiségben jelen lévő kalciumsók oldatba kerültek, és ezt követően kicsapódtak az oldatban már jelen lévő sókkal együtt. A néhány hétig tartó csökkenő tendenciát követően a tejben, illetve a tökehalban pH növekedés következett be, amely viszonylag kismértékűnek tekinthető (0,2 - 0,3 értéknyi). A pH növekedés oka a további só kicsapódás, valamint a fehérjék tulajdonságainak megváltozása (VAN DEN BERG 1966).

A kriogén fagyasztás és az azt követő fagyasztva tárolás hatására a tojássárgájában bekövetkező pH változás tendenciája hasonló ahhoz, amit VAN DEN BERG (1966) megfigyelt a tej esetében. A tojássárgájale pH-ja a folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás miatt nem csökkent az 1. napon, azonban a hosszabb tárolás hatására kismértékű emelkedés következett be.

5.1.2. A tojássárgájale színének vizsgálata

A tojássárgájale esetében mért szintényezők értékeit fagyasztást megelőzően, illetve a fagyasztás-felengedetést követően a 25. ábra mutatja be.



25. ábra: Tojássárgájale szintényezőinek (L^* , világossági tényező (A); a^* (B) és b^* (C)) változása folyékony nitrogénben történő fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedetés következtében

Megfigyelhető, hogy a világossági tényező (25. A ábra) a fagyasztást követő 1. napon jelentősen megnőtt, majd a 14. napon ismét nagyobb értéket vett fel, a többi mérési napon stagnálás látható. A 150 napos fagyasztva tárolási időtartam alatt a kezdeti $59,8 \pm 0,46$ értékről 73 körüli értékre növekedett. A minták világossági tényezőjének növekedése valószínűleg az LDL molekulák fagyasztás hatására bekövetkező aggregációjának köszönhető.

A vörös színezeti tényező értéke a fagyasztást követő 1. napon csökkent (25. B ábra), ami azt jelenti, hogy a fagyasztás és felengedetés hatására csökkent a tojássárgájale vörös színezete. Ez a csökkenés azonban kismértékű, mindössze 0,8 értéknyi. A fagyasztva tárolás során számottevő

változás nem tapasztalható, egyedül a 60. napi minta a^* értéke különbözik szignifikánsan a 120. napi mintáétól.

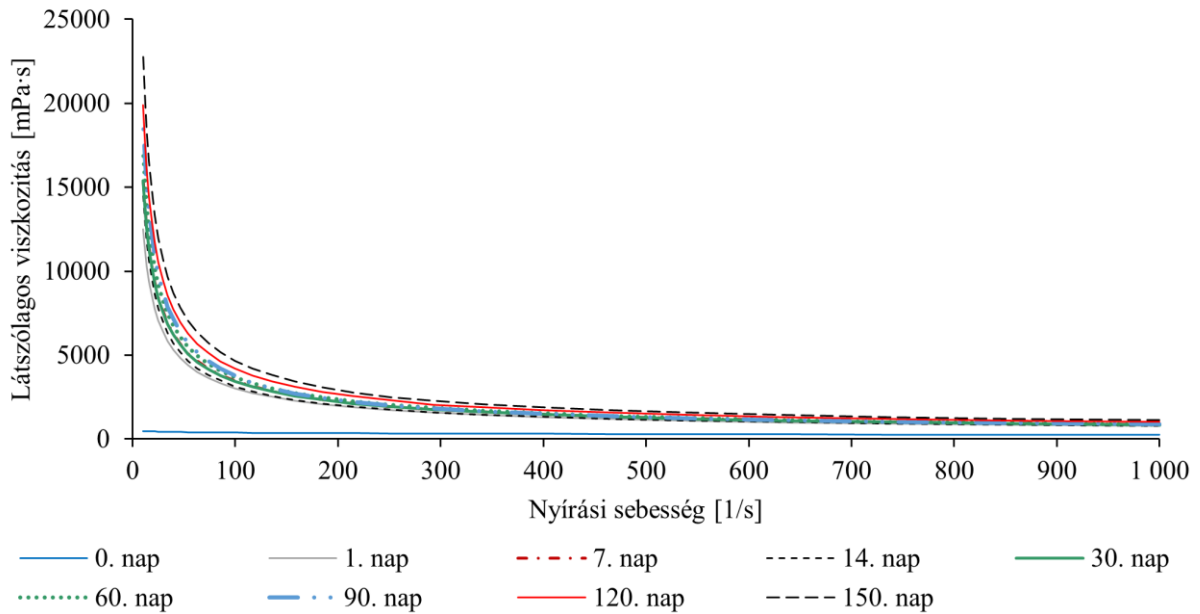
A sárga színezeti tényező értéke a fagyasztást és felengedtetést követően nőtt (25. C ábra), ami erősebb sárga színt jelent. A hosszú távú tárolás során a 60. napra a b^* értékek a kiindulási érték alá csökkentek.

A fagyasztott-felengedtetett minták színe minden esetben nagymértékben különbözik a friss tojássárgájale mintától, amelyet az M5 mellékletben elhelyezett ΔE^* értékek szemléltetnek. A színekülönbség értékek minden minta esetében a „nagy” kategóriába sorolhatók. A nagy színekülönbségért egyértelműen a minták világossági tényezőjének növekedése tehető felelőssé, amely a fagyasztás során végbemenő lipoprotein molekulák aggregációjának köszönhető.

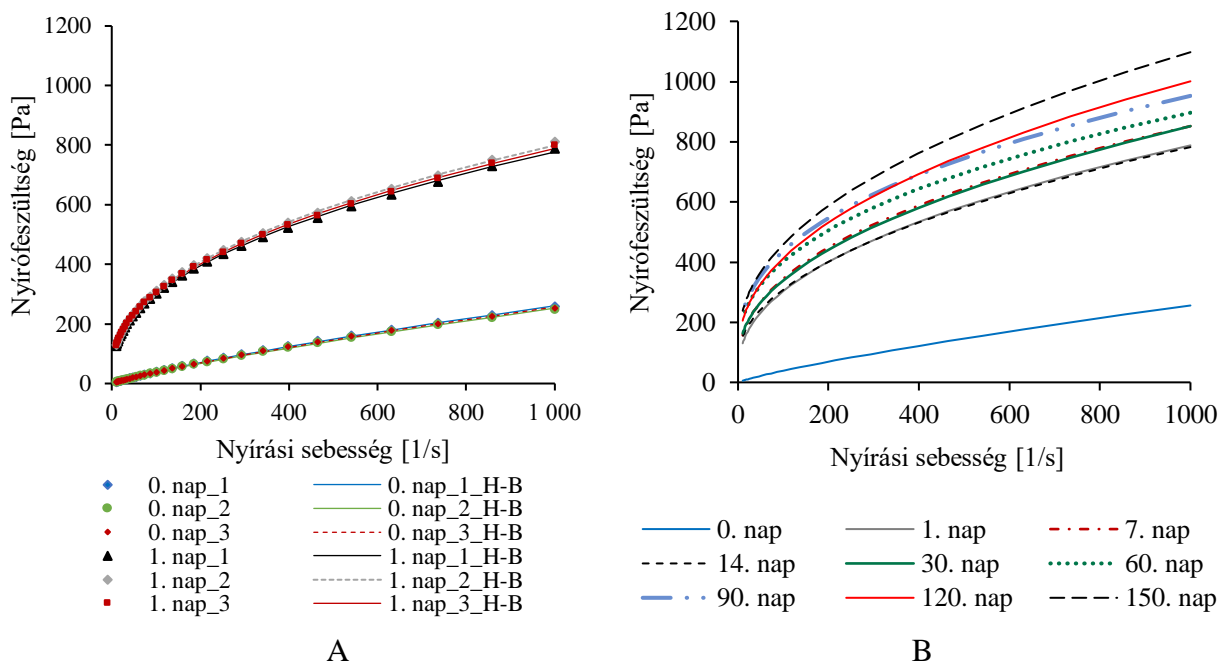
5.1.3. A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A friss (0. nap) és a fagyasztott-felengedtetett tojássárgájale minták rotációs reométerrel felvett viszkozitásgörbéit a 26. ábra, folyásgörbéit a 27. ábra szemlélteti. A 27. A ábrán példaként a friss, illetve a fagyasztott, 1 nap után felengedtetett minták párhuzamos mérésekből származó folyásgörbéi láthatók. Az ábrán jelölőkkel ábrázoltam a mért nyírófeszültség értékeket, vonalakkal pedig a mért adatokra illesztett Herschel-Bulkley modell segítségével felvett görbéket. Ahogy a 27. A ábrán látható, minden párhuzamos mérés esetében elvégeztem a modell illesztését, amellyel számoltam a folyáshatár (τ_0), a konzisztencia koefficiens (K) és a folyásindex (n) értékeket. Az illesztés a dolgozatban bemutatott folyásgörbék esetében minden esetben 0,99-nél nagyobb R^2 (korrelációs együttható) értékkel rendelkezett. Ezért a következőkben csak a Herschel-Bulkley modell illesztésével kapott görbék átlagolásával kapott görbéket, illetve az illesztések során kapott folyáshatár, konzisztencia koefficiens és folyásindex értékek átlagos értékeit mutatom be. A viszkozitásgörbék esetében szintén a párhuzamos mérésekhez tartozó görbék átlagos értékei kerülnek bemutatásra, amelyek a következő kísérletek esetén a mellékletekben kerültek elhelyezésre.

A 26. és 27. ábrákon látható, hogy a tojássárgájale minták minden mérési napon nem-newtoni áramlási viselkedést mutatnak. Ez azt jelenti, hogy nem állandó viszkozitással rendelkeznek, hanem az áramlási körülményektől függő látszólagos viszkozitás és nyírófeszültség értékekkel, ahogy a 26. ábrán is látható (FIGURA és TEIXEIRA 2007). A nem-newtoni folyadékok közül a tojássárgája pszeudoplasztikus áramlási viselkedést mutat, amelyet konvex profilú folyásgörbe jellemez (SEVERA et al. 2010). Az ilyen anyagokban a növekvő nyírófeszültség értékeknél a viszkozitás csökken, így a folyásgörbe meredeksége is csökken. Ennek az lehet az oka, hogy a molekulák közötti kölcsönhatás csökken (FIGURA és TEIXEIRA 2007).



26. ábra: Tojássárgájale viszkozitásgörbéjének változása folyékony nitrogénben történő fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében



27. ábra: A Herschel-Bulkley modell illesztésének szemléltetése (A) és a tojássárgájale folyásgörbéjének változása folyékony nitrogénben történő fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében (B)

Méréseim alapján megállapítható, hogy a friss tojássárgájale és a fagyasztott-felengedtetett minták folyásgörbéje egyértelműen elkülönül egymástól. Amíg a friss minta esetében a folyásgörbe kezdeti pontja az origóhoz közeli értéket vesz fel, a fagyasztott-felengedtetett minták esetében magasabb nyírófeszültség értéknél jelenik meg. A nyírófeszültség értékek a nyírási folyamat során végig jóval magasabbnak bizonyultak a fagyasztott-felengedtetett minták esetében. A nagyobb

nyírófeszültség értékekkel együtt a tojássárgájale minták látszólagos viszkozitása is nő a fagyasztás-felengedtetés, illetve a fagyasztva tárolás hatására.

A Power-law modell a leggyakrabban alkalmazott modell a tojássárgájából készült termékek reológiai viselkedésének értékelésére (DE SOUZA és FERNÁNDEZ 2013; IBARZ 1993; JAEKEL et al. 2008; PRIMACELLA et al. 2020), azonban a Herschel-Bulkley-modell jobban leírja a fagyasztás következtében gélesedési folyamatban részt vevő mintákat. Ezért a folyásgörbékre Herschel-Bulkley-modellt illesztettem, ennek eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Tojássárgájale reológiai tulajdonságainak (Herschel-Bulkley modell illesztésével számolt folyáshatár (τ_0), konzisztencia koefficiens (K) és folyásindex (n)) változása folyékony nitrogénben történő fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

Idő [nap]	τ_0 [Pa]	K [$\text{Pa}\cdot\text{s}^n$]	n
0	$0,00 \pm 0,00^a$	$0,92 \pm 0,04^a$	$0,81 \pm 3,8\text{E-}03^f$
1	$33,22 \pm 1,45^b$	$34,26 \pm 0,73^c$	$0,44 \pm 3,7\text{E-}03^{cd}$
7	$48,44 \pm 2,13^c$	$41,14 \pm 1,50^d$	$0,43 \pm 2,4\text{E-}03^{bc}$
14	$71,91 \pm 3,23^d$	$26,17 \pm 2,48^b$	$0,48 \pm 9,6\text{E-}03^e$
30	$73,51 \pm 3,32^d$	$31,60 \pm 2,74^c$	$0,46 \pm 7,7\text{E-}03^{de}$
60	$88,92 \pm 1,77^e$	$46,88 \pm 1,18^e$	$0,42 \pm 1,0\text{E-}03^{ab}$
90	$91,09 \pm 1,78^e$	$55,55 \pm 0,89^f$	$0,40 \pm 1,1\text{E-}03^a$
120	$92,64 \pm 3,34^e$	$40,25 \pm 1,35^d$	$0,45 \pm 9,1\text{E-}03^{cd}$
150	$121,20 \pm 2,64^f$	$41,07 \pm 1,89^d$	$0,45 \pm 8,0\text{E-}03^{cde}$

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

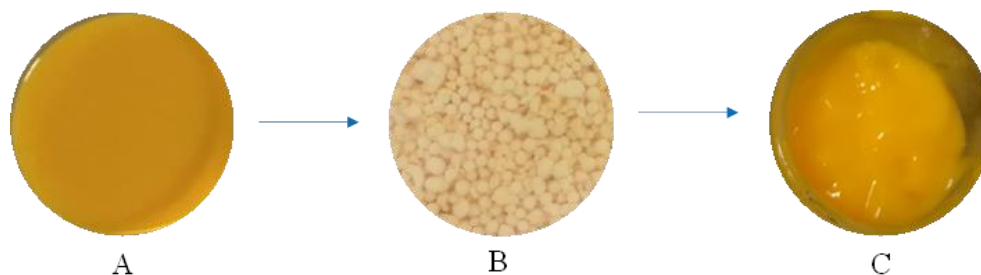
A modellben szereplő folyáshatár (τ_0) érték azt jelzi, hogy mennyi az a minimális nyírófeszültség érték, amely szükséges ahhoz, hogy a minta folyni kezdjen (LARSSON és DUFFY 2013). A folyásgörbén a folyáshatár érték az y-tengely metszeteként jelenik meg. Ennek a paraméternek a meghatározása különösen fontos a feldolgozás és a szállítás szempontjából (PRIMACELLA et al. 2020). A 4. táblázatban látható, hogy a friss tojássárgájale minta esetében a folyáshatár értéke 0 Pa, tehát a minta folyékony. Azonban fagyasztott-felengedtetett minták esetében minden esetben megjelenik a folyáshatár, amely a fagyasztva tárolás időtartamának növelésével növekvő tendenciát mutat. A növekvő tendencia során nem látható minden esetben szignifikáns különbség a mérési időpontok között. A folyáshatár értékek növekvő tendenciát mutatnak a 0. naptól a 14. napig. A 14. és a 30. nap között nem figyelhető meg szignifikáns különbség, illetve a 60. és 120. nap között sem. A mérés végén, a 150. napon látható a legnagyobb érték.

Látható, hogy kísérletemben a friss minta konzisztencia koefficiense egyértelműen különbözik a fagyasztott-felengedett mintákétól (4. táblázat). A fagyasztva tárolás során a 7. napig emelkedő tendencia figyelhető meg, majd a 14. napon csökkenés következik be. A 14. naptól a 90. napig az értéke ismét emelkedik, majd a 120. napon csökken. AU és munkatársai (2015)

szintén beszámoltak a -20°C -on fagyasztva tárolt és 25°C -on felengedett tojássárgája ingadozó reológiai viselkedéséről.

A folyásindex (n) értékek megerősítik korábbi megállapításomat, miszerint a friss és a fagyasztott-felengedett minták is pszeudoplasztikus reológiai viselkedést mutatnak, ugyanis minden esetben 1 alattinak bizonyultak ($0 < n < 1$). Azt is megfigyelhetjük, hogy a fagyasztott minták erőteljesebb pszeudoplasztikus viselkedést mutatnak, mint a friss minta. Ez azt jelenti, hogy nagy látszólagos viszkozitás értékkel rendelkeznek a mérés kezdetén, amely sokkal nagyobb mértékben csökken a nyírás során, mint a friss tojássárgájale viszkozitása. A fagyasztás során a folyásindex értékek ingadozó tendenciát mutatnak, a legmagasabb érték a fagyasztást követő 14. napon látható.

A folyékony nitrogénnel történő fagyasztás következtében a minták egyértelmű reológiai változáson estek át, amely a nyírófeszültség értékek és a konzisztencia koefficiens értékek növekedésében, a folyáshatár megjelenésében, illetve a folyásindex értékének csökkenésében nyilvánul meg. A bekövetkező reológiai változás mértéke szemmel is jól megfigyelhető. A 28. ábrán látható a friss tojássárgájale (28. A ábra), a folyékony nitrogén felhasználásával fagyasztott tojássárgájale (28. B ábra), illetve a felengedett tojássárgájale (28. C ábra).



28. ábra: Tojássárgájale fagyasztás előtt (A), folyékony nitrogén felhasználásával fagyasztva (B), illetve -24°C -on 7 napig tárolva és 4°C -on 24 óra alatt felengedtetve

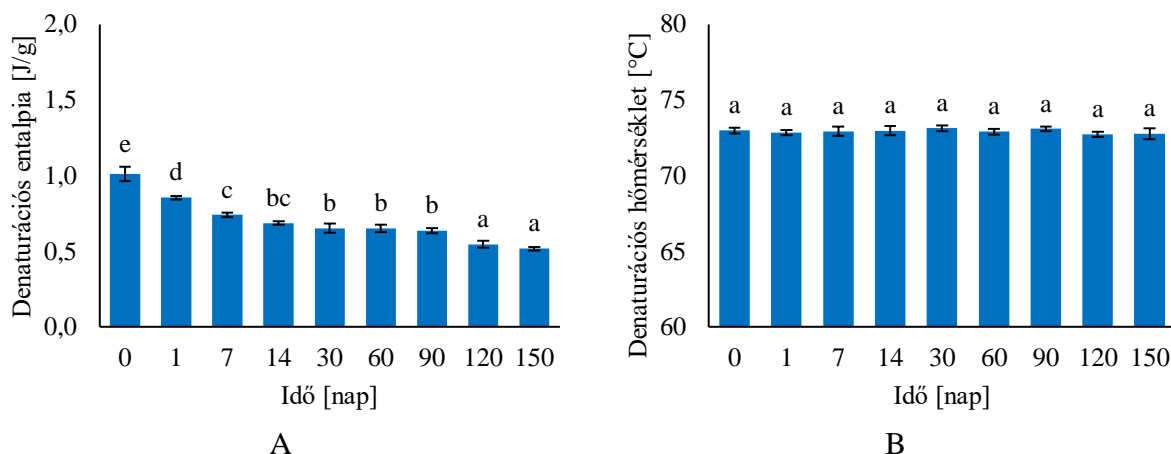
A 28. ábrán is jól látható, hogy a felengedett minta gélesedett. A bekövetkező reológiai változások alapján egyértelmű, hogy a folyékony nitrogénben történő fagyasztás nem őrizte meg a tojássárgája eredeti tulajdonságait, a gélesedett tojássárgájale kevertetése, szivattyúzása, töltése nem oldható meg a technológiai paraméterek jelentős megváltoztatása nélkül.

5.1.4. A tojássárgájale hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata

A tojássárgájale fehérjéinek állapotát differenciális pásztázó kaloriméterrel vizsgáltam, amellyel megállapítható, hogy a mintában jelen lévő fehérjék hődenaturációjához mennyi hő szükséges. Ha ismerjük a kontroll minta fázisváltásához szükséges entalpia mennyiségét, a minta vizsgálata során szükséges entalpia mennyiségének mérésével megállapítható, hogy milyen mértékben sérültek a fehérjéi az elvégzett tartósító eljárás során.

A differenciális pásztázó kalorimetriás méréseim során a tojássárgájale esetében egyetlen endoterm csúcs jelent meg. Ez a csúcs a HDL, az LDL és a foszvitin együttes denaturációja során

keletkezik (DE SOUZA és FERNÁNDEZ 2013; IBANOGLU és ERÇELEBI 2007). A tojássárgája nagy mennyiségű lipoprotein tartalmát ugyanis a DSC nem tudja frakciókra szétválasztani (CORDOBÉS et al. 2004). A denaturációs entalpia és denaturációs hőmérséklet értékeit a 29. ábra szemlélteti.



29. ábra: Tojássárgájale denaturációs entalpiájának (A) és denaturációs hőmérsékletének (B) változása folyékony nitrogénben történő fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

A denaturációs hőmérséklet esetében nem látható szignifikáns különbség, azonban a denaturációs entalpia már a fagyasztás-felengedtetést követő 1. napon nagymértékben csökkent (29. ábra). A fagyasztási folyamat során a víz egy része kifagy, amelynek hatására a még folyékony halmazállapotú frakciónak megnő az ionerőssége. A megnövekedett ionerősség hatására a natív állapotban lévő fehérjék kitekerednek, majd oldhatatlan aggregátumokat képeznek, és akár ki is csapódhatnak (FANG et al. 2021). A kitekeredett, aggregálódott és kicsapódott fehérjék a DSC mérés során már nem kimutathatóak, nem denaturálhatóak. A denaturációs entalpia csökkenése, a minta világossági tényezőjének és a látszólagos viszkozitásának növekedése a fehérjék denaturációjára utal, amelynek következtében a tojássárgája funkcionális tulajdonságai is nagymértékben romlanak. A denaturált tojássárgája emulzióképző képessége és emulzióstabilitása csökken (LAI 2016), ezenkívül nemkívánatos megjelenéssel rendelkezik és nehezen keverhető. A 29. ábrán látható, hogy a 150 nap időtartamú tárolás során a fagyasztott-felengedtetett sárgája denaturációs entalpiája a felére csökkent a friss mintához képest. A denaturációs entalpiában bekövetkező csökkenés üteme az első két hétben nagyobb mértékű volt, majd azt követően a tárolás során lassult. A tojássárgája denaturációs entalpiájában a fagyasztva tárolása során bekövetkező változások ütemének megváltozása magyarázható az AU és munkatársai (2015) kutatásában bemutatott két szakaszban lezajló fehérjevaltozással. Kutatásuk alapján az első szakasz a fagyasztást követő 1. és 28. napok közötti időtartamra tehető, amely alatt a lipoprotein részecskék aggregálódnak. A második szakasz kezdeti időpontját a 28. és a 84. nap közé tették. Ebben a szakaszban a gélesedésben részt vevő fehérjék felszabadulnak, amelynek következtében

a felület megnövekszik. Ennek következtében több kötőhely válik szabaddá és a fehérjék tovább kapcsolódnak a korábban kialakult hálózathoz, így létrehozva egy erősebb gélszerkezetet. Kísérletemben szintén megfigyelhető ez a kétlépcsős folyamat. Az első szakasz feltehetőleg a 14. napig tart, majd a második szakasz kezdete a 90. nap utánra tehető.

5.1.5. A folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás tojássárgájájára gyakorolt hatásának összegzése

A tojássárgájájé folyékony nitrogénnel történő fagyasztása során megállapítottam, hogy már a fagyasztást követő 1. napon is szignifikáns változás következett be a reológiai tulajdonságokban, a denaturációs entalpiában, illetve a tojássárgájájé színe is megváltozott. A reológiai tulajdonságokban bekövetkező változás főként a folyáshatár értékének megjelenésével érzékeltethető, ugyanis megjelent egy olyan minimális nyírófeszültség érték, amely szükséges ahhoz, hogy a minta folyni kezdjen. Azonban a konzisztencia koefficiens és a folyásindex értékének megváltozása sem elhanyagolható, ugyanis a konzisztencia koefficiens csaknem 37-szeresére növekedett, a folyásindex pedig felére csökkent. Ezek a megállapítások némiképp ellent mondanak LOPEZ és munkatársai (1954) kutatásának, amelyben megállapították, hogy a kriogén fagyasztás során a tojássárgája csak közepes gélesedésen megy keresztül. A két kutatás eredményeinek összehasonlítására azonban nincs lehetőség, ugyanis kutatásukban nem rendelkeztek a korszerű reológiai vizsgálatokhoz szükséges berendezésekkel. A színtényezők közül a legnagyobb mértékű változást a világossági tényező esetén figyelhetjük meg, ami a denaturációs entalpia csökkenésével összevetve arra utal, hogy a tojássárgája fehérjéi a fagyasztás során a jég kifagyásának köszönhetően kialakuló nagyobb koncentráció és ionerősség hatására kitekerednek, majd aggregátumokat képeznek.

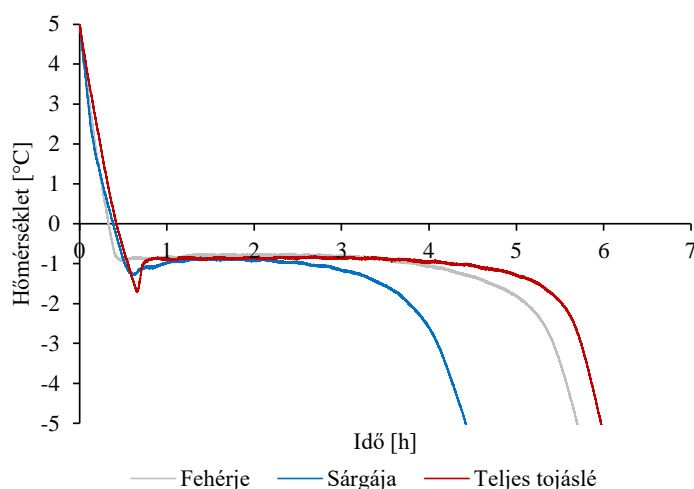
A fagyasztva tárolás időtartama alatt megfigyelhető, hogy a fagyasztás során végbemenő változások erősödtek, azonban a változások kisebb mértékűek, mint a fagyasztás hatására végbemenőek. A minták világosabbá váltak, a folyáshatár egyre nagyobb értékeket vett fel, a denaturációs entalpia pedig csökkent. Azonban megfigyelhető, hogy a legtöbb tulajdonság a tárolási időszak első részében (1-14. napig) változott a legnagyobb mértékben.

A folyékony nitrogén felhasználásával történő fagyasztás nem őrizte meg a tojássárgája eredeti tulajdonságait, a gélesedett tojássárgájájé kevertetése, szivattyúzása, töltése nem oldható meg a technológiai folyamatok nagymértékű megváltoztatása nélkül.

5.2. A lassú fagyasztás és az azt követő tárolás tojáslevek tulajdonságaira gyakorolt hatásának vizsgálata

5.2.1. Fagyásgörbék bemutatása

A kriogén fagyasztás során a fagyasztási folyamat tulajdonképpen pillanatszerűen ment végbe, ugyanis a minta cseppjei nagy felületen érintkeztek a -196°C hőmérsékletű nagy hőelvonó képességű folyékony nitrogénnel. A lassú fagyasztás azonban, amely az iparban folyékony termékek esetében gyakran alkalmazott teremfagyasztás modellezésére szolgál, egy ennél jóval hosszabb folyamat. A lassú fagyasztás során felvettem a tojásfehérjé, a tojássárgájáé és a teljes tojásle fagyásgörbéit, ezeknek az 5°C és -5°C közötti tartományát 30. ábra szemlélteti.



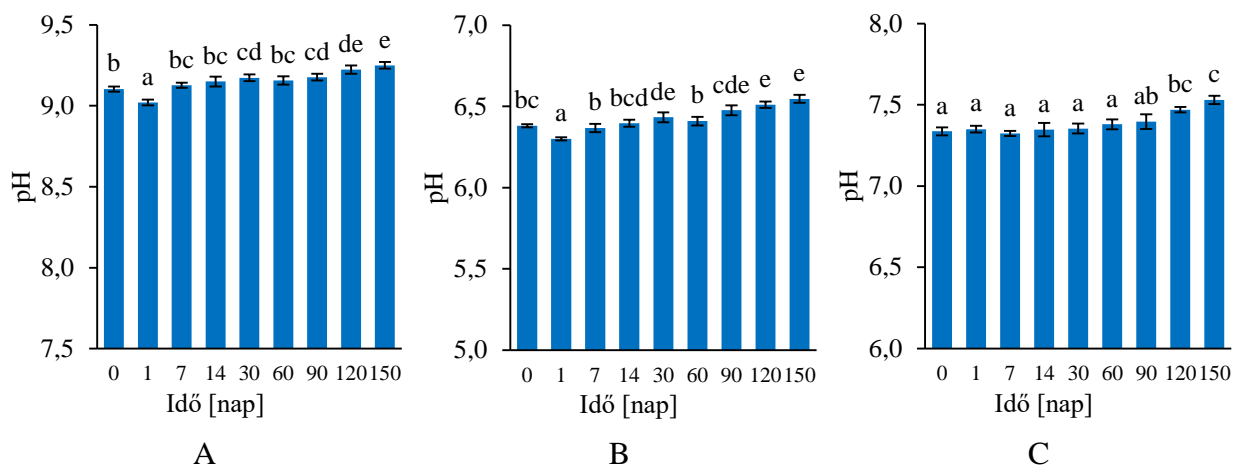
30. ábra: Tojáslevek fagyásgörbéi a lassú fagyasztás során

Mind a három tojáslénél megfigyelhetők a fagyasztási folyamat jellegzetes szakaszai. A gyors hűtési szakaszt követően a fagyásgörbéken a teljes tojáslé és a tojássárgájáé esetében megfigyelhető a túlhűlés folyamata. Ezt követi az állandó hőmérsékletű szakasz, amely a jégkristályképződéssel jár, majd a minta hőmérséklete tovább csökken egészen addig, amíg a fagyasztó hőmérsékletét el nem éri.

A hűtési és a fagyási szakaszra illesztett egyenesek metszéspontjaként meghatároztam a minták kriozkópos hőmérsékletét. Ennek menetét az M6 melléklet szemlélteti. A számítás során a két-két szakaszra illesztett egyenesek egyenletét egyenlővé tettem, majd kifejeztem belőlük az x -et, amit visszahelyettesítve az egyik egyenletbe, megkaptam a fázisváltás hőmérsékletét. A fagyás hőmérséklete a tojásfehérje esetében $-0,77^{\circ}\text{C}$, a tojássárgája esetében $-0,87^{\circ}\text{C}$, teljes tojáslé esetében pedig $-0,90^{\circ}\text{C}$. A tojásalkotók kriozkópos hőmérsékletét tekintve a szakirodalmi adatok alapján nincs egyetértés. A tojássárgája esetében MORAN (1925) $-0,65^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletről számolt be, JAAX és TRAVNICEK (1968) kutatásában -3°C körül történt meg a jégkristályképződés, SUCCAR és HAYAKAWA (1990) pedig számítással $-0,12^{\circ}\text{C}$ -nak határozták meg.

5.2.2. A tojáslevek pH-jának vizsgálata

A lassú fagyasztás és a fagyasztva tárolás tojáslevek pH-jára gyakorolt hatását a 31. ábra szemlélteti.



31. ábra: Tojáslevek (tojásfehérje (A); tojássárgája (B) és teljes tojáslé (C)) pH-jának változása lassú fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

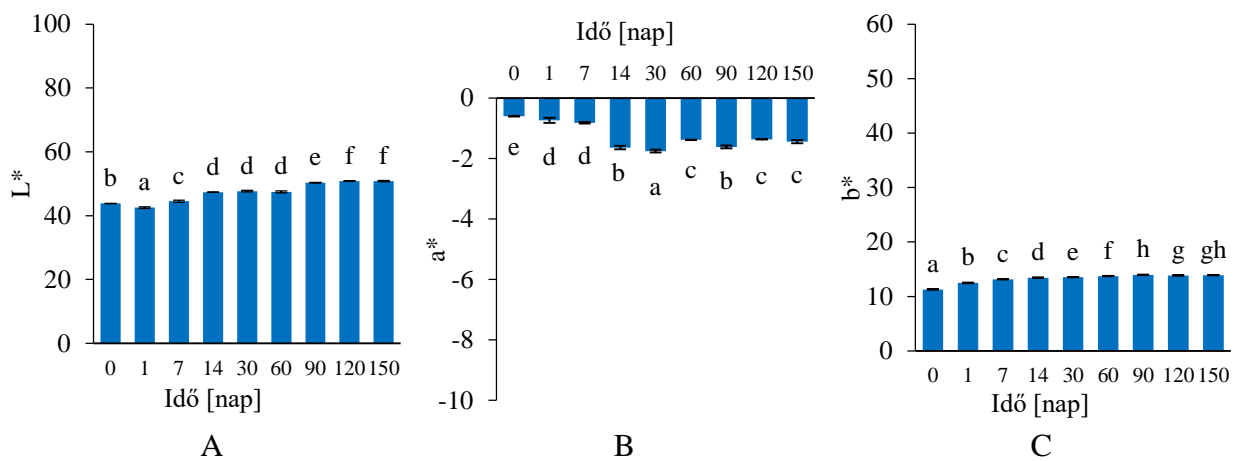
A tojásfehérjelé kiindulási pH-ja $9,10 \pm 0,02$. A tojásfehérje pH-ja a szakirodalom alapján 7,6 és 9,4 közötti, amit a tojás kora befolyásol. A tárolási idő elteltével nő a tojás pH-ja, ugyanis a héj pórusai lehetővé teszik, hogy a CO_2 távozzon (FRONING, 2008). A tojássárgája kiindulási pH-ja az első kísérletben mérthez hasonló ($6,38 \pm 0,01$). A teljes tojáslé pH-ja a két tojásalkotó pH-ja közötti. Hasonló pH-t figyeltek meg HERALD és munkatársai (1989) pasztörözött és fagyasztott teljes tojáslé esetében.

Megfigyelhető, hogy a tojásfehérjelé, illetve a tojássárgájálé esetében a fagyasztást követő 1. napon szignifikánsan csökkent a pH, azonban a teljes tojáslé esetében ez nem látható. Az első napon jelentkező pH csökkenést figyelte meg VAN DEN BERG is (1966) a tej minták esetében lassú fagyasztást követően.

A tojásfehérjelé és a tojássárgájálé esetében az 1. napi csökkenést követően a 7. napon a kiindulási mintától szignifikánsan nem különböző eredményt kaptam, majd ezt követően mindkét mintánál a 30. napon látható szignifikáns különbség. Ez mindkét esetben pH emelkedést jelez. A 60. napon csökkent a pH, majd a tárolás végén ismét növekvő tendencia figyelhető meg. A teljes tojáslé esetében egészen a 120. napig nem látható szignifikáns változás, csak a 120. és a 150. napi értékek térnek el a kezdeti pH-tól szignifikánsan. A teljes tojáslé pH-jának stabil értékét figyelték meg Herald és munkatársai (1989) is a pasztörözés és fagyasztva tárolás során.

5.2.3. A tojáslevek színének vizsgálata

A tojásfehérjelé színtényezőinek fagyasztás és fagyasztva tárolás során végbemenő változását a 32. ábra mutatja be.

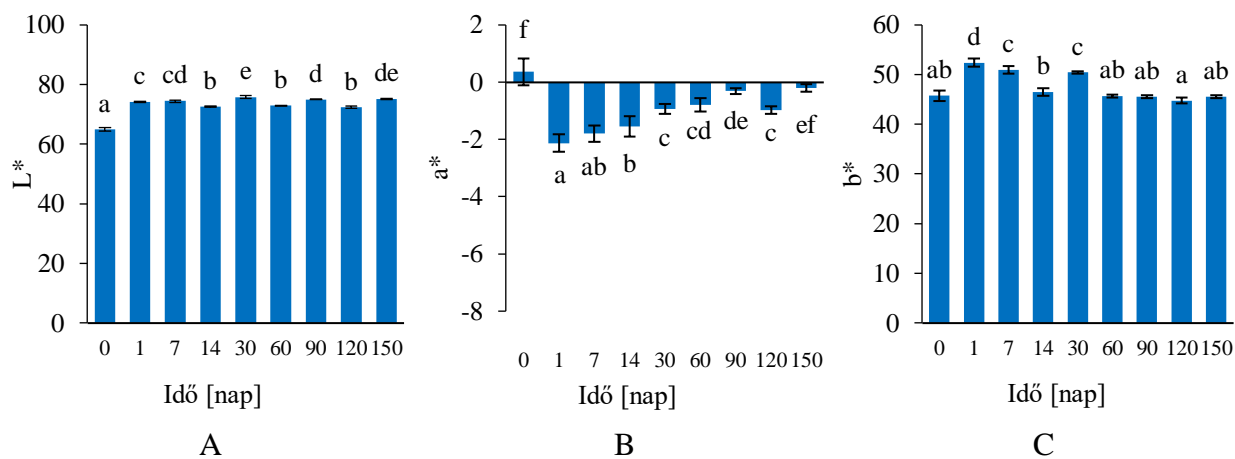


32. ábra: Tojásfehérjé színtényezőinek (L^* (A); a^* (B) és b^* (C)) változása lassú fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

A 32. A ábrán látható, hogy a világossági tényező a fagyasztás hatására az 1. napon csökkent, majd a fagyasztva tárolás során enyhén emelkedett. A 14. napig egyértelmű és gyorsan növekvő tendencia látható, ami később lassul. A 90. és a 120. napon látható ismételt szignifikáns változás. A tojásfehérjé vörös-zöld színezeti tényezője (32. B ábra) a negatív tartományban mozog, enyhén zöld színezet jellemzi a mintát. Az egyhe zöld színezet a fagyasztást követően, illetve a fagyasztva tárolás 30. napjáig erősödött, majd hullámzó tendenciát mutatott. Azonban az a^* értékekben bekövetkező változás elhanyagolható, a kis szórás értékek miatt bizonyult szignifikánsnak a változás a tárolás során.

A sárga-kék színezeti tényező (32. C ábra) a pozitív tartományban enyhén sárga színezetre utal a tojásfehérjé esetében. A fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására egy enyhén növekvő trend figyelhető meg, azonban ennek mértéke az a^* értékekhez hasonlóan elhanyagolhatónak mondható. A tojásfehérjé esetében bekövetkező színváltozás az M5 mellékletben elhelyezett ΔE^* értékek alapján az 1. és a 7. napon az „észrevehető”, a 14. és 30. napon a „jól látható”, ezt követően pedig a „nagy” kategóriába sorolható, amelyért főként a világossági tényező megváltozása a felelős. A világossági tényező megváltozásának oka a bekövetkező fehérjedenaturáció és/vagy aggregáció, mivel a tojás fehérjéi kicsapódásuk során világosodnak, fehér színűvé válnak.

A tojássárgájáé esetében megfigyelhető, hogy a fagyasztás hatására bekövetkező változás hasonló, mint a kriogén fagyasztás hatására bekövetkező változás. Mindkét fagyasztási módszer esetében hasonló mértékben nőtt a világossági tényező, a folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás során 58,8-ről 70,0-re, míg a lassú fagyasztás esetében 64,9-ről 74,4-re. A fagyasztva tárolás során ebben az esetben hullámzó tendencia figyelhető meg, amely azonban a szignifikáns különbségek ellenére sem mondható nagy különbségnek (33. A ábra).



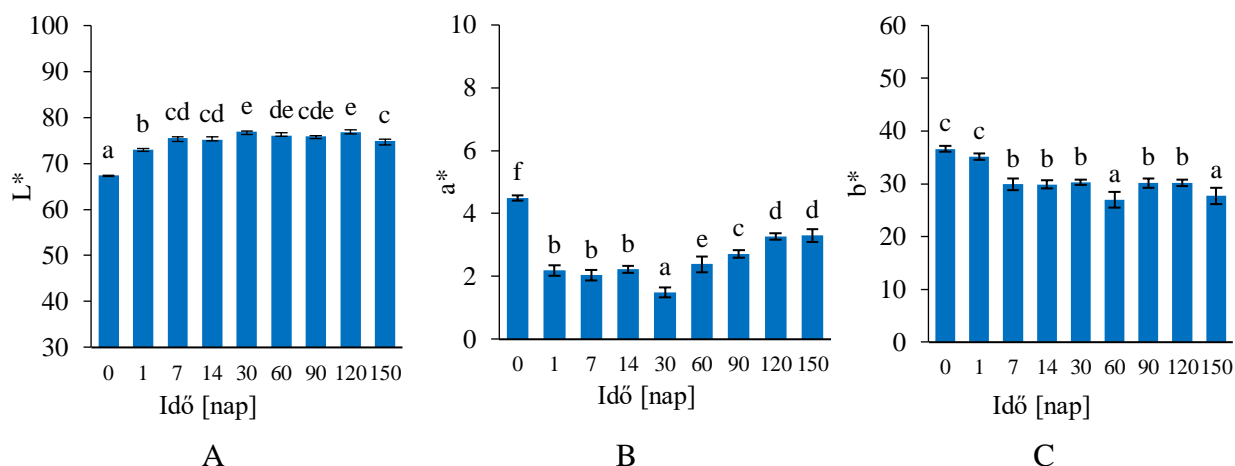
33. ábra: Tojássárgájale szintényezőinek (L^* (A); a^* (B) és b^* (C)) változása lassú fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

A vörös-zöld szintényező a friss mintában még a pozitív tartományban, a fagyasztást követően pedig a negatív tartományban található (33. B ábra). Ez azt jelenti, hogy a nagyon enyhe vörös színezet a fagyasztás után szintén enyhe zöld színezetté változott. A fagyasztást követő 1. naptól kezdve azonban a zöld színezet csökkenő tendenciát mutat. Ha összevetjük az a^* értékeket az 1. kísérletben tapasztaltakkal, megfigyelhető, hogy az 1. kísérletben szereplő tojássárgájale egyértelműbb vörös színezettel rendelkezett. A tojássárgájale színe a halványsárgától a sötét narancssárgáig terjedő skálán változhat. Legnagyobb mértékben attól függ, hogy mennyi az a karotinoid, főként xantofillin, lutein, zeaxantin és β -karotin, amely a tojóttyúk takarmányából felszívódik (BOVŠKOVÁ et al. 2014).

A sárga szintényező esetében a kriogén fagyasztást követő tendenciához hasonló rajzolódik ki a lassú fagyasztás és az azt követő tárolás esetében is (33. C ábra). A fagyasztást követő napon sárgább színezettel rendelkezett a tojássárgájale, majd a 14. napig csökkenő tendencia látható. A 30. napon ismét egy nagyobb érték, majd azt követően a kiindulási értékhez hasonló sárga szintényező értékek láthatóak.

A fagyasztott-felengedtetett minták színében bekövetkező változás minden esetben a „nagy” színekülönbség kategóriába sorolható (M5 melléklet). A nagy színekülönbségért főként a minták világossági tényezőjének növekedése tehető felelőssé, amely ismét a fehérjék denaturációjával és/vagy aggregációjával hozható összefüggésbe. A tojástermékek esetében a világossági tényező növekedése más tartósító eljárások, például hőkezelés vagy nagy hidrosztatikus nyomáskezelés esetében (TÓTH et al. 2017) is megfigyelhető.

A teljes tojáslé színében a fagyasztás és fagyasztva tárolás hatására bekövetkező változásokat a 34. ábra mutatja be.



34. ábra: Teljes tojáslé színtényezőinek (L^* (A); a^* (B) és b^* (C)) változása lassú fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

A világossági tényező a teljes tojáslé esetében is nőtt a fagyasztás hatására (34. A ábra). A növekvő tendencia a fagyasztást követő két hétben figyelhető meg, utána enyhén hullámzó tendencia látható. A teljes tojáslé minták vörös színezettel rendelkeztek, ami a fagyasztást követően csökkent (34. B ábra). Azonban a tojássárgájával ellentétben ennél a mintánál a fagyasztást követően stagnált a b^* érték, majd a hosszabb tárolás során látható először csökkenés, majd emelkedő tendencia. A sárga színtényező a fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására csökkent a friss mintához képest (34. C ábra). Ebben az esetben intenzív csökkenés látható az első héten, azt követően pedig hullámzó tendencia.

A teljes tojáslé esetében a fagyasztást követően minden mérési napon a “nagy” kategóriába sorolható a színkülönbség a friss mintához viszonyítva (M5 melléklet). Ennél a mintánál a világossági tényező mellett a sárga színtényező értéke is jelentősen változott. Szintén a világossági tényező növekedését, a vörös és a sárga színezet csökkenését figyelték meg TÓTH és munkatársai (2017) nagy hidrosztatikus nyomáskezelés hatására teljes tojáslé esetében.

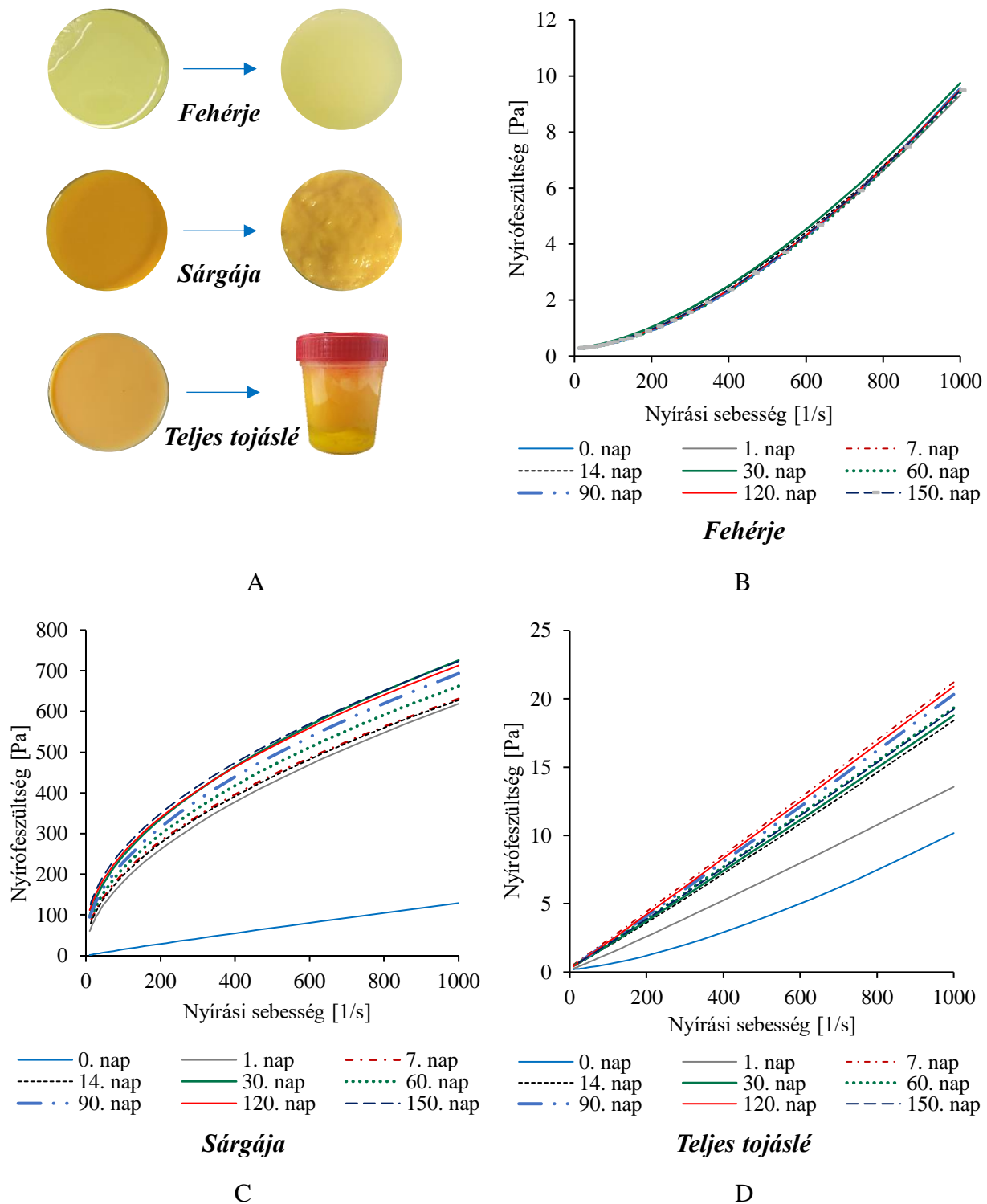
5.2.4. A tojáslevek reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A tojáslevek folyásgörbéit a 35. ábra, viszkozitásgörbéit az M7 melléklet, illetve a Herschel-Bulkley modell paramétereit az M8 mellékletben elhelyezett táblázat szemlélteti.

A tojásfehérjelé a folyásgörbe (35. B ábra) és a viszkozitásgörbe (M7 melléklet) alapján szintén a nem-newtoni folyadékok közé tartozik. A nem-newtoni áramlási viselkedések közül a dilatáló áramlási viselkedés jellemzi, amely homorú profilú folyásgörbével jellemezhető. A nyírófeszültségen kívül a tojásfehérjelé látszólagos viszkozitása is nő nagyobb nyírási sebesség mellett (Figura & Teixeira, 2007).

Ha megfigyeljük a Herschel-Bulkley modell illesztésével kapott reológiai paramétereket (M8 melléklet), látható, hogy a tojásfehérjelé egy minimális folyáshatár értékkel rendelkezik. A konzisztencia koefficiens értéke megegyezik a RAZI és munkatársai (2020) által számolt értékkel.

Kísérletemben a folyásindex megerősíti, hogy a tojásfehérjelé dilatáló reológiai viselkedéssel jellemezhető, ugyanis értéke $n > 1$.



35. ábra: A tojáslevek reológiai tulajdonságainak változása lassú fagyasztás hatására. A tojáslevek fagyasztás előtt, illetve -24°C -on tárolva és 4°C -on felengedtetve (A); Tojásfehérjelé (B), tojássárgájale (B) és teljes tojáslé (C) folyásgörbéinek változása fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

A 35. B ábrán látható, hogy a tojásfehérjelé folyásgörbéje a fagyasztás és a fagyasztva tárolás során nem változott jelentősen, az egyes időpontokban felvett görbék fedik egymást. A Herschel-Bulkley modell illesztésével kapott paraméterek is megerősítik, hogy nem következett be számottevő változás a reológiai tulajdonságokban. Egyetlen esetben látható szignifikáns különbség, a fagyasztást követő 30. és 60. napon számolt folyáshatár értékek között. A tojásfehérjelé reológiai tulajdonságainak állandósága fagyasztást követően ellentmond WOOTTON és munkatársai (1981) megállapításainak. Az ő kutatócsoportja ugyanis megvizsgálta, hogy hogyan alakul a tojásfehérjelé Höppler-féle viszkoziméterrel felvett viszkozitása különböző fagyasztási sebességek alkalmazása mellett. Megállapították, hogy háztartási fagyasztószekrényben fagyasztva nő a fagyasztás-felengedtetés után mérhető viszkozitás. Kísérletükben pasztörözetlen, feltört tojás fehérjéjét használták. A friss tojás fehérjéje nagyobb viszkozitással rendelkezik, majd a hosszabb tárolás során a tojásfehérje hígul, amely a viszkozitás csökkenésével jár. Kísérletemben azonban kiindulási alapanyagként homogenizált, pasztörözött tojásfehérjével dolgoztam. A pasztörözés, illetve a homogenizálás egységes, csomómentes, illetve kisebb viszkozitású tojásfehérjelevet eredményez.

A tojássárgájale folyásgörbéinek lefutása (35. C ábra) megegyezik az 1. kísérletben felvett folyásgörbékével. A minták pseudoplasztikus reológiai viselkedést mutatnak. A megfigyelhető tendenciák hasonlóak a két kísérletben, a tojássárgájale egyértelműen gélesedett a fagyasztás-felengedtetés során, ami a 35. A ábrán is látható. A számszerű értékek azonban nem összehasonlíthatóak a folyékony nitrogénben történő fagyasztásnál felvettekkel. Az első kísérletben ugyanis 5°C-on vizsgáltam a reológiai tulajdonságokat, ebben a kísérletek pedig 20°C-os hőmérsékletre temperáltam a mintákat a mérőrendszer hőmérsékletének állandó értéken tartása szempontjából.

A friss mintára ebben az esetben is jellemző, hogy nem rendelkezik folyáshatárral, ami a fagyasztás-felengedtetés hatására megjelenik (M8 melléklet). Értéke a tárolási kísérlet során növekvő tendenciát mutat, amelyet azonban ingadozások szakítanak meg a 14. és 60. napokon. A konzisztencia koefficiens két nagyságrenddel magasabb értéket vesz fel a fagyasztás-felengedtetés hatására, ami az első kísérletben is megfigyelhető. A fagyasztva tárolás hatása is szignifikánsnak bizonyult, azonban számottevő változás nem tapasztalható a tárolás során. A folyásindex értéke nagymértékben csökkent a fagyasztást követően, tehát erősödött a minta pseudoplasztikus jellege. Ebben a kísérletben is megfigyelhető az AU és munkatársai (2015) által javasolt mechanizmussal magyarázható két szakaszra osztható gélesedés, az első két hétben ugyanis, amikor sűrűbb mintavételezés zajlott, nagyobb mértékű változás látható a folyáshatár értékekben.

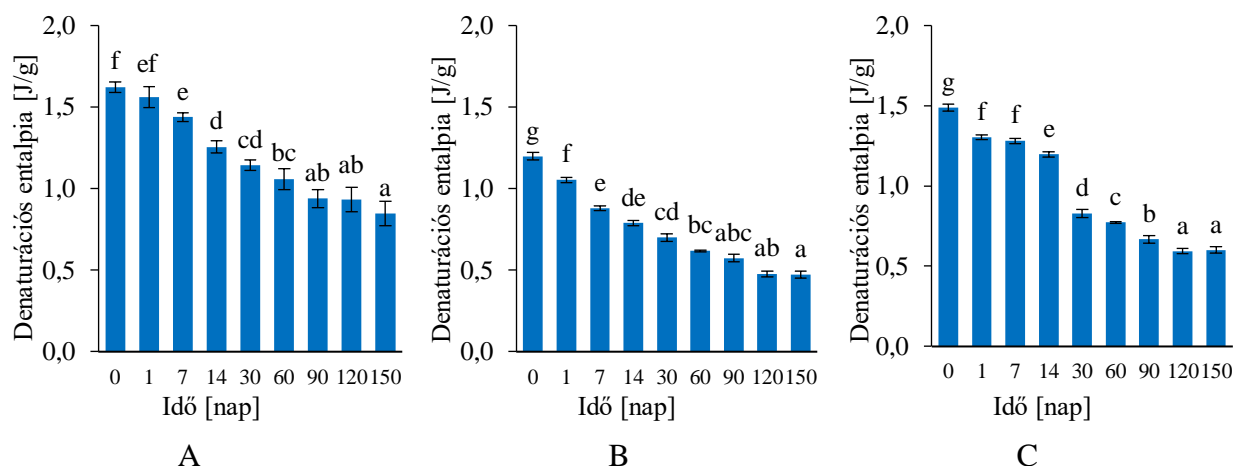
A friss teljes tojásle minta nyírófeszültsége a nyírési sebesség emelésével egyre nagyobb ütemben nőtt és homorú profilú görbe rajzolódott ki (35. D ábra). Ez azt jelenti, hogy a teljes tojásle is a

nem-newtoni, azon belül a dilatáló folyadékok közé tartozik. Azonban a fagyasztás-felengedtetés hatására a folyásgörbe “kiegyenesedett”, egy newtonihoz hasonló folyásgörbe rajzolódott ki. Ezt a változást a viszkozitásgörbék (M7 melléklet) és a folyásindex értékek is alátámasztják, amelyek 1-hez közeli értékek fagyasztást követően (M8 melléklet). Megfigyelhető még, hogy fagyasztás hatására a nyírófeszültség értékek nőnek, amely növekedés főként az 1. és a 7. napon számottevő. A nyírófeszültség növekedéséről számolt be HERALD és munkatársai (1989) a pasztörözetlen és a különböző hőmérsékleteken hőkezelt minták esetében. Kísérletemben a nyírófeszültség növekedése mellett a Herschel-Bulkley modell konzisztencia koefficiensének növekedése is megfigyelhető. Azonban a folyáshatár értéke a fagyasztást követő 1. napon szignifikánsan különbözik a mérés többi napján számolttól, ezen a napon kisebb értéket kaptam.

A teljes tojáslének a fagyasztás-felengedtetés hatására megváltoznak a reológiai tulajdonságai. Habár a reológiai mérések alapján a változás mértéke nem olyan nagymértékű, mint a tojássárgájale esetében, a teljes tojáslében bekövetkező változások is meghatározóak. Ez a minta is gélesedéssel ment keresztül, mely során kivált belőle egy vízszerű, átlátszó halványsárga folyadék (35. A. ábra). Miután a fagyasztott-felengedtetett teljes tojáslevet alaposan összekevertem, egy inhomogén, aludttejhez hasonlító állományú mintát kaptam. Ennek oka a tojássárgájaleben bekövetkező változásokhoz hasonlóan az, hogy a kifagyó víz hatására a még folyékony halmazállapotú frakciónak megnő az ionerőssége. A megnövekedett ionerősség miatt a natív állapotban lévő fehérjék kitekerednek, majd oldhatatlan aggregátumokat képeznek (FANG et al. 2021).

5.2.5. A tojáslevek hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata

A hőfizikai tulajdonságok vizsgálatának eredményeit a 36. ábra és az 5. táblázat összegzi. A felvett hőáramgörbék az M9 mellékletben kerültek elhelyezésre. Differenciális pásztázó kaloriméterrel végzett vizsgálatom során a tojásfehérjé esetében 3 csúcs különült el. Az első csúcs csúcshőmérséklete 60-61°C-on található, és a csúcs az ovotranszferrin denaturálódásának köszönhető. Körülbelül 75-77°C és 80-81°C-on egy kettős csúcs található, amely az ovalbumin denaturációját jelenti. A kettős csúcs nem meglepő jelenség, több tanulmányban is megfigyelhető (DONOVAN et al. 1975; FERREIRA et al. 2005). Azzal magyarázható, hogy az ovalbumin a tárolás során részben átalakul egy hőstabilabb formává, S-ovalbuminná (DONOVAN et al. 1975; ROSSI és SCHIRALDI 1992). A teljes tojáslé esetében azonban egyetlen jól kivehető csúcs látható, mint a tojássárgájale hőáramgörbéje esetében, amelynek hőmérséklete azonban néhány °C-kal kisebb.



36. ábra: Tojáslevek (tojásfehérjé (A); tojássárgájá (B) és teljes tojás (C)) denaturációs entalpiájának változása lassú fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

5. táblázat: A tojáslevek denaturációs hőmérsékleteinek változása lassú fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében ($T_{\text{den},F,1}$, $T_{\text{den},F,2}$ és $T_{\text{den},F,3}$ – Tojásfehérjéle frakciók denaturációs hőmérsékletei; $T_{\text{den},S}$ – Tojássárgájále denaturációs hőmérséklete, $T_{\text{den},T}$ – Teljes tojáslele denaturációs hőmérséklete)

Idő [nap]	$T_{\text{den},F,1}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{den},F,2}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{den},F,3}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{den},S}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{den},T}$ [$^{\circ}\text{C}$]
0	$60,89 \pm 0,08^{bc}$	$76,00 \pm 0,14^{bc}$	$80,16 \pm 0,16^{bc}$	$78,62 \pm 0,16^a$	$75,41 \pm 0,08^b$
1	$60,83 \pm 0,07^{bc}$	$76,13 \pm 0,17^{bcd}$	$80,04 \pm 0,10^{abc}$	$78,96 \pm 0,37^a$	$75,27 \pm 0,02^b$
7	$60,59 \pm 0,04^{ab}$	$75,57 \pm 0,25^{ab}$	$79,61 \pm 0,04^a$	$78,39 \pm 0,71^a$	$75,19 \pm 0,14^b$
14	$60,41 \pm 0,07^a$	$75,24 \pm 0,12^a$	$79,73 \pm 0,10^{ab}$	$78,09 \pm 0,45^a$	$75,42 \pm 0,10^b$
30	$60,85 \pm 0,22^{bc}$	$75,95 \pm 0,18^{bc}$	$79,94 \pm 0,21^{abc}$	$77,93 \pm 0,50^a$	$74,59 \pm 0,19^a$
60	$61,01 \pm 0,12^c$	$76,06 \pm 0,20^{bc}$	$80,06 \pm 0,10^{abc}$	$78,31 \pm 0,76^a$	$74,72 \pm 0,10^a$
90	$61,04 \pm 0,10^c$	$76,24 \pm 0,24^{cde}$	$80,56 \pm 0,33^d$	$78,17 \pm 0,55^a$	$74,45 \pm 0,22^a$
120	$61,08 \pm 0,11^c$	$76,64 \pm 0,26^{de}$	$80,37 \pm 0,13^{cd}$	$78,51 \pm 0,74^a$	$74,65 \pm 0,06^a$
150	$61,04 \pm 0,10^c$	$76,74 \pm 0,21^e$	$80,57 \pm 0,21^d$	$78,61 \pm 0,05^a$	$74,66 \pm 0,17^a$

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

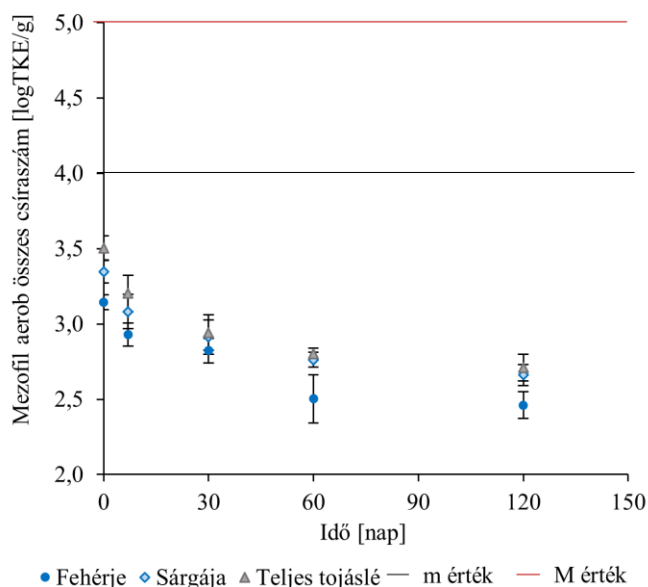
Mind a három tojáslele esetében (36. A, B és C ábra) megfigyelhető a denaturációs entalpia érték szignifikáns változása a fagyasztás, a rövid távú fagyasztva tárolás, illetve a hosszabb távú fagyasztva tárolás hatására. Csökkenő tendencia figyelhető meg minden esetben. A denaturációs entalpia értékek csökkenését tapasztalták WOOTTON és munkatársai (1981) is tojásfehérjével végzett vizsgálatukkor. A csökkenés mértéke a fagyasztást követő két héten belül a legintenzívebb a tojásfehérjéle és a tojássárgájále esetében, ezt követően lelassul. A teljes tojáslele esetében pedig a 14. napig egy enyhe csökkenő tendencia figyelhető meg, majd a 30. napon ugrásszerűen csökken a denaturációs entalpia értéke. A 150 napos tárolás során a tojásfehérje fehérjéinek hődenaturációjához szükséges entalpia 48%-kal csökken, míg a tojássárgájále és a teljes tojáslele esetében mintegy 60%-kal.

A denaturációs hőmérsékletek (5. táblázat) a tojásfehérjéle és a teljes tojáslele esetében szignifikánsan változtak a hosszú távú fagyasztva tárolás során, azonban a változás egyik csúc

esetében sem mondható jelentősnek. A tojássárgájale esetében ebben a kísérletben sem bizonyult szignifikánsnak a csúcshőmérséklet változása.

5.2.6. A tojáslevek mezofil összes csíraszámának vizsgálata

A tojáslevek kiindulási mikrobaszáma a vonatkozó jogszabálynak megfelelő (4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet, 1998), ugyanis mind a három tojásle esetében 10^4 TKE/g sejtszámnál kisebb. A fagyasztás-felengedtetést követően minden tojásle esetében csökkenő tendencia figyelhető meg, amely a hosszabb tárolás során már kisebb léptékű (37. ábra).



37. ábra: Tojáslevek mezofil összes csíraszámának változása lassú fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

A fagyasztást követő első hónap végére 52-72%-kal csökkent a mezofil összes csíraszám a különböző tojáslevek esetében. A 150 napos fagyasztva tárolás során pedig a tojásfehérjelé és a tojássárgájale mikrobaszáma 79%-kal, míg a teljes tojásle mikrobaszáma 84%-kal csökkent. Ez a mikrobaszám csökkenés szignifikáns (M10 melléklet), azonban kevesebb, mint egy nagyságrendnyi, ezért minimális változásnak tekinthető. WINTER és munkatársai (1951) ipari körülmények között előállított tojáslevek mikrobaszámát vizsgálták fagyasztás előtt, illetve hosszú, akár 540 napig tartó fagyasztva tárolás során. Megállapították, hogy a tárolás kezdeti szakaszában, az első 30 napban átlagosan 62%-kal csökken a tojáslevek mikrobaszáma. Ezt követően megfigyelték, hogy a csökkenés mértéke egyre kisebb, a 60. és a 200. nap között érte el a 90%-ot. SHAFI és munkatársai (1970) kereskedelemben kapható fagyasztott tojáslevek mikrobiológiai állapotát vizsgálták. Megállapításaik szerint a fagyasztott tojásfehérjelé átlagosan 220, a tojássárgájale 500, míg a teljes tojásle 630 TKE/g mikrobaszámmal rendelkezett. Kísérletemben a fagyasztott termékek mikrobaszáma szintén 1000 alatti a fagyasztást követő 30. naptól a kísérlet végéig. Az egyes tojáslevek között pedig ugyanez a tendencia látható, a

tojásfehérjéjé rendelkezik a legkisebb, illetve a teljes tojáslé a legnagyobb mikrobaszámmal az egész kísérlet során.

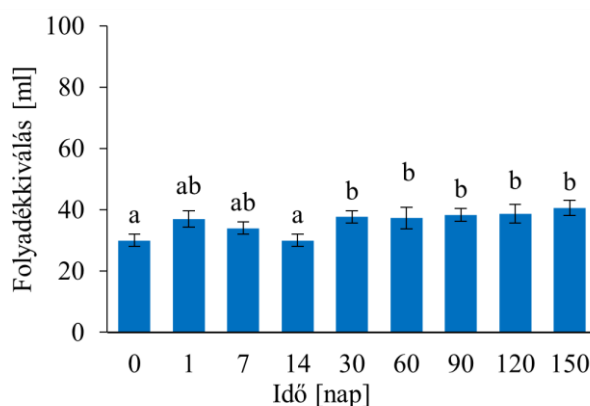
Mindkét kísérletben megfigyelhető a lassú fagyasztás és felengedtetés során a mikrobaszám csökkenése, amely a magas oldott anyagok koncentrációnak, alacsony hőmérsékletnek és kis vízáktivitásnak köszönhető. Azonban mindenféleképpen megemlítendő, hogy a pusztulás mértéke egy nagyságrendnél kisebb, így önmagában, hőkezelés nélkül a fagyasztás nem rendelkezik megfelelő tartósító hatással. Nem megfelelő felengedtetési körülmények között (5°C-os hőmérséklet felett) a baktériumok könnyedén elszaporodhatnak és elérhetik a nem-megfelelőséget eredményező mikrobaszámot. Ezenkívül a kísérlet során nem került vizsgálatra a szaporodási görbe, a vizsgálatokat a 24 óráig tartó felengedtetést követően végeztem el.

5.2.7. A tojáslevek felhasználhatóságának vizsgálata

5.2.7.1. A tojásfehérjéjé habképző tulajdonságainak vizsgálata

A habzás, vagyis a levegő felvétele és stabil hab képzése a fehérjék fontos funkciója számos termékben (sütemények, habcsók, szuflé, különböző habos bevonatok, cukormázak, cukorkák stb.). Ez a tulajdonság egy kritikus egyensúlytól függ a fehérjék azon képessége között, hogy korlátozott intermolekuláris kohéziót tudnak kialakítani, ami egy stabil rugalmas film kialakításához szükséges, illetve a túlzott önasszociációra való hajlam között, ami aggregációhoz és a hab széteséséhez vezetne (DU et al. 2002; LOMAKINA és MÍKOVÁ 2006).

A tojásfehérjéjé habstabilitását a kemény habbá verést követő lékiválással vizsgáltam, ugyanis ez a paraméter bizonyult reprodukálhatónak (38. ábra).



38. ábra: Tojásfehérjéjé habstabilitásának vizsgálata során kivált folyadék mennyiségének alakulása fagyasztás, -24°C-os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

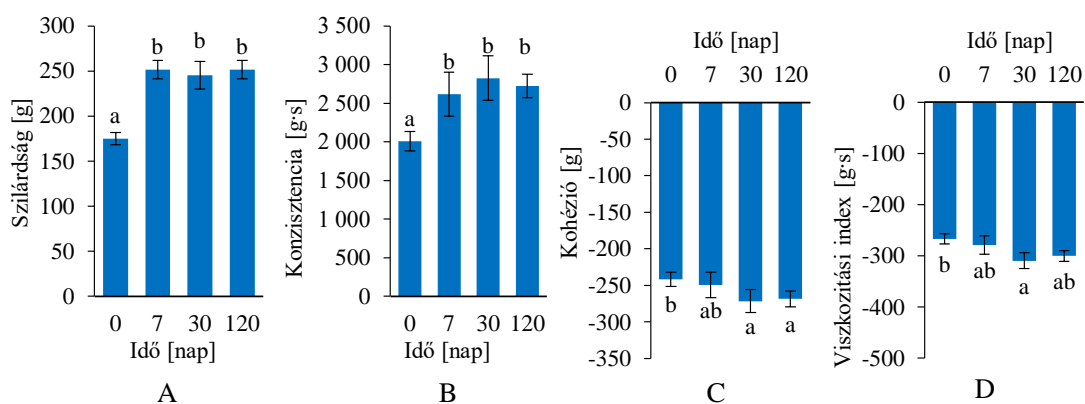
Megfigyelhető, hogy a fagyasztást követő 14 napon belül nem változott szignifikánsan a tojásfehérjéből kiváló lé térfogata, azonban a 30. naptól szignifikánsan különbözik ez a mutató az első napon mérttől (38. ábra). A 30. naptól kismértékben romlott a tojásfehérjéjé habstabilitása, ugyanis nagyobb mértékű lékiválás látható. DUAN és munkatársai (2017) egymást követően több ciklusban tették ki a tojásfehérje fehérjéit fagyasztási és felengedtetésnek. Kísérletükben

megállapították, hogy az egyes fehérjék habképző tulajdonságai és habstabilitása eltér, illetve a nem szeparált minta esetében javuló tendenciát figyeltek meg a többszöri fagyasztás-felengedtetés hatására. A kutatócsoportjuk a habstabilitást a visszamaradó hab térfogatával jellemezte, azonban a kiváló lé mennyiségéről nem szolgáltatott információt. Eredményeik alapján megállapították, hogy a többszörös fagyasztás-felengedtetési folyamat módosíthatja az albuminfehérjék molekuláris elrendeződését és kölcsönhatásait a felületi hidrofóbitás megváltoztatásán keresztül. Ezek a szerkezeti változások a fehérjék denaturációját, disszociációját és esetleg aggregációját eredményezik.

Amennyiben a fagyasztott-felengedtetett tojásfehérjelevet olyan termékben szeretnénk felhasználni, amelyben elsődleges szempont a kiváló habstabilitás, nem ajánlom a 14 napnál hosszabb ideig fagyasztva tárolt, habképzést elősegítő adalékanyagot nem tartalmazó tojásfehérjélé felhasználását.

5.2.7.2. Tojássárgájale felhasználásával készült majonéz reológiai tulajdonságainak értékelése és a tojássárgájale turbiditásának vizsgálata

A majonéz az egyik legszélesebb körben használt szósz és ételízesítő a világon. Egy olaj a vízben típusú emulzió, amely tojássárgájából, ecetből, olajból és egyéb opcionálisan alkalmazható fűszerekből készül.

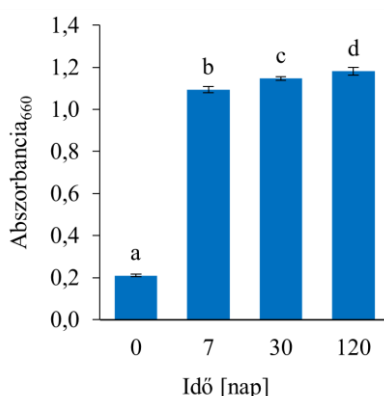


39. ábra: A friss és a fagyasztott-felengedtetett tojássárgájaleből készített majonéz reológiai tulajdonságai. Szilárdság (A), Konzisztencia (B), Kohézió (C) és Viszkózitási index (D)

A 39. ábra szemlélteti a friss és fagyasztott-felengedtetett tojássárgájaleből készített majonéz minták állományának jellemzőit. Megfigyelhető, hogy a „back extrusion” módszer pozitív szakaszában, tehát a mérőfej lefelé irányuló mozgása során meghatározott szilárdság és konzisztencia értékek nagyobbak a fagyasztott-felengedtetett tojássárgájalevet tartalmazó minták esetében (39. A és B ábra). Ezeknél a jellemzőknél a fagyasztás időtartama nem okozott szignifikáns különbséget. A visszahúzás során meghatározott kohézió és viszkozitási index értékek esetében negatív előjellel szerepelnek az eredmények, azonban az abszolútértékek növekedéséből arra következtethetünk, hogy a kohézió és a viszkozitás is nőtt a fagyasztás-felengedtetés hatására (39. C és D ábra). Ennél

a két tényezőnél azonban csak a 30. és a 120. napon látható szignifikáns különbség a friss mintából készült majonézhez képest. Az eredmények összhangban állnak korábbi kutatások eredményeivel, amelyekben szintén megállapították, hogy a fagyasztott-felengedett tojássárgájából készült majonéz minták keményebbek, mint a friss tojássárgájából készültek (HUANG et al. 2016; MILLER és WINTER 1951). A fagyasztott tojássárgája felhasználásával készült majonéz állománya, emellett színe és pH-ja is különbözik a friss tojássárgájából készült majonézétől (HIDAS et al. 2021b). HUANG és munkatársai (2016) megállapították, hogy a fagyasztott tojássárgájából készült majonéz érzékszervi tulajdonságai nem maradnak el a friss tojássárgájából készült majonézétől, azonban hőstabilitása kisebb. Ezt azzal magyarázták, hogy a fagyasztott-felengedett tojássárgájából készült majonézben az olajcseppek mérete és eloszlása nem egyenletes.

A majonéz minták állományában szignifikáns változás következett be, amely számottevő, azonban a tojássárgájában végbemenő aggregáció mértékétől nem ad számot. A tojássárgája fagyási károsodása kimutatható a belőle készített oldat zavarosságának megváltozásával. Az UV-VIS spektroszkópia használatával mérhető az optikai denzitás, amely megváltozása a tojássárgája aggregációs állapotának változását tükrözi (DE SOUZA et al. 2009; WANG et al. 2020). A 40. ábrán látható a friss és a fagyasztott-felengedett tojássárgájale optikai denzitása.

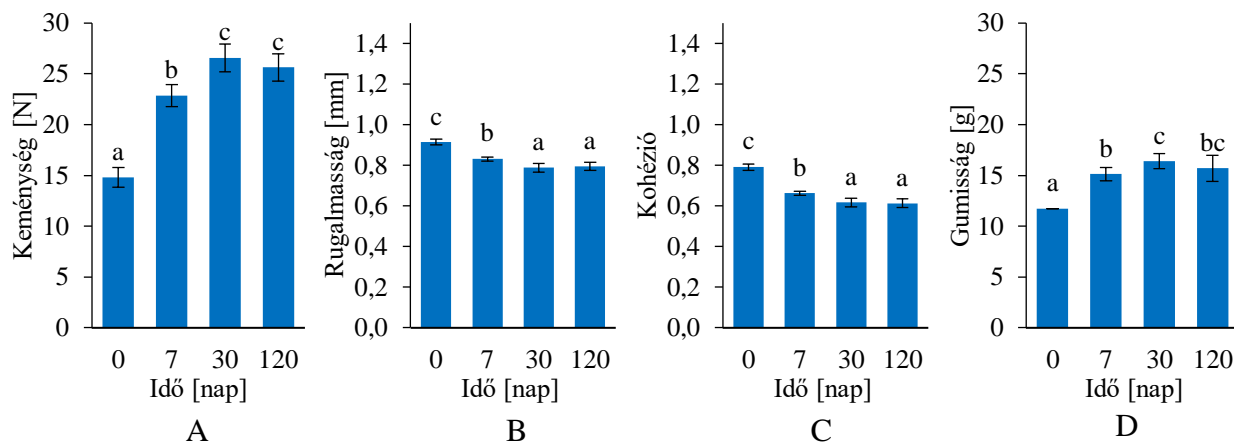


40. ábra: A tojássárgájale 660 nm-en mért optikai denzitásának változása lassú fagyasztás, -24°C -os tárolás és különböző időpontokban végzett felengedtetés következtében

Megfigyelhető, hogy az optikai denzitás értéke a vizsgált napokon szignifikánsan eltér egymástól, növekvő tendencia figyelhető meg. A friss, illetve a fagyasztott-felengedett minták között jelentős különbség látható, a 7. napon mért optikai denzitás érték mintegy 5,5-szöröse a friss mintáénak. A 120. napon az optikai denzitás értéke $1,18 \pm 0,02$, ami megközelíti a WAKAMATU és munkatársai (1983) által mért 1,2 eredményt. Ez azt jelzi, hogy a sárgája fagyasztás okozta károsodása a molekulák aggregációját eredményezte. Eredményeim összhangban állnak korábbi kutatások eredményeivel, amelyekben hasonló tendenciát írtak le a sárgája oldatok zavarosságában az optikai denzitás alapján (CHANG et al. 1977; WANG et al. 2020).

5.2.7.3. Teljes tojásléből készült piskóta állományának vizsgálata

A teljes tojáslé esetében az ipari felhasználhatóságot egy belőle készített késztermék, a piskóta állományának vizsgálatával jellemeztem.



41. ábra: A friss és a fagyasztott-felengedett teljes tojásléből készített piskóta állományának jellemzői. Keménység (A), Rugalmasság (B), Kohézió (C) és Gumisság (D)

A 41. A ábrán megfigyelhető, hogy a teljes tojáslé felhasználásával készített piskóta állománya a fagyasztás-felengedtetést követően keményebbé vált, tehát nagyobb deformáló erőre volt szükség a fagyasztott-felengedett tojássárgájalevet tartalmazó piskóta összenyomásakor. A kohézió, vagyis az alaktartósság mértéke azonban kisebb volt, amennyiben fagyasztott-felengedett tojássárgáját használtam a piskóta készítéséhez (41. C ábra). A rugalmasság, amely a második kompressziós ciklus során mérhető deformáció mértéke, csökkent (41. B ábra). Ez azt jelenti, hogy a két kompressziós ciklus között a minta kevésbé nyerte vissza az eredeti magasságát. A keménység és a kohézió szorzataként számítható gumisság érték nagyobb volt a fagyasztott-felengedett tojássárgájából készült minták esetében (41. D ábra), ugyanis a keménységben bekövetkező változások nagyobb mértékűnek bizonyultak, mint a kohézió esetében. A fagyasztott-felengedett tojáslével elkészített piskóta a sütés során nem vett fel annyi levegőt, mint a friss tojáslevet tartalmazó, amelynek köszönhetően egy ragacosabb, gumisabb, tömör állagú tészta készült belőle. Egy hónapig tartó fagyasztva tárolás hatására a változások felerősödtek, minden mért és számolt paraméter esetében szignifikáns különbség látható a 7. naphoz tartozó adatokhoz képest, azonban a 4. havi eredmények nem különböznek szignifikánsan a 30. napi eredményektől. JORDAN és munkatársai (1952) szintén megállapították, hogy a fagyasztott-felengedett tojássárgáját tartalmazó sütemény tésztája kisebb térfogatú, mint a friss tojást tartalmazóból készült. Ezenkívül érzékszervi tulajdonságai is sokkal kedvezőtlenebbek.

A teljes tojáslé funkcionális tulajdonságai romlottak a fagyasztás hatására. Az egy hétig fagyasztva tárolt, majd felengedett tojáslé felhasználásával készített piskóta 54%-kal keményebbé és 29%-kal gumisabbá vált. UYSAL és munkatársai (2019) hőkezelt teljes tojáslével végzett kísérletük

során megfigyelték, hogy a részben denaturált fehérjét tartalmazó teljes tojásléből készült piskóta állománya kevésbé porózus, illetve kisebb a térfogata, mint a friss tojásból készülté.

5.2.8. A lassú fagyasztás tojáslevekre gyakorolt hatásának összegzése

A tojáslevek lassú fagyasztása és fagyasztva tárolása során megfigyeltem, hogy a pH a fagyasztást követő 1. napon a tojásfehérjelé és a tojássárgájale esetében csökkent. A hosszabb tárolás hatására pedig minden tojáslé esetében növekedett.

A tojáslevek színében szintén szignifikáns változás következett be. A színváltozás háttérében a tojásfehérjelé és a tojássárgájale esetében a világossági tényező növekedése áll, a teljes tojáslé esetében azonban a sárga színtényező csökkenése is jelentős.

A tojásfehérjelé méréseim alapján dilatáló reológiai viselkedéssel bírt, a reológiai tulajdonságai a fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására nem változtak. A pszeudoplasztikus reológiai viselkedésű tojássárgájale gélesedése megfigyelhető a felvett folyásgörbéken, jelentős változás következett be a reológiai tulajdonságaiban a fagyasztást követően. Ebben a kísérletben is megfigyelhető a folyáshatár megjelenése, a nyírófeszültség, a folyásindex és a konzisztencia állandó jelentős növekedése. A változások üteme ebben az esetben is alátámasztja a két szakaszból álló gélesedés elméletét, amelyet AU és munkatársai (2015) állítottak fel. A teljes tojáslé a tojásfehérjéhez hasonlóan dilatáló folyadéknak bizonyult, a fagyasztás-felengedtetés hatására a newtoni folyadékokhoz hasonlóan viselkedett. Vízszerű, átlátszó halványsárga folyadék vált ki belőle, amely alapos keverést követően darabossá vált.

A vizsgált tojáslevek denaturációs entalpia értékeiben csökkenő tendencia figyelhető meg, amely a fehérje és sárgája leveknél az első 14 napban intenzívebb, azt követően lelassul. A teljes tojáslénél ellenben a 30. napon látható ugrásszerű csökkenés.

A fagyasztás és 5 hónapig tartó fagyasztva tárolás során a tojáslevek mezofil összesírászáma 75-81%-kal csökkent a magas oldott anyagok koncentrációnak, alacsony hőmérsékletnek és kis vízáktivitásnak köszönhetően, ami összhangban áll a gyorsfagyasztott termékeknel tapasztalható tendenciával.

A felhasználhatóság vizsgálata során megállapítottam, hogy a stabil habbá vert tojásfehérjeléből a fagyasztást követő 30. naptól több folyadék válik ki, tehát a habstabilitása csökken. A tojássárgájaleből készült majonéz szilárdabbnak és viszkózusabbnak bizonyult, illetve megnövekedett a konzisztencia és a kohézió értéke is, amennyiben fagyasztott tojássárgájából készült. A fagyasztás során végbemenő aggregáció mértékét azonban szemléletesebben mutatja be a spektrofotométerrel vizsgált optikai denzitás, amely jelentősen megnő a fagyasztott tojássárgájale esetében. A teljes tojásléből készült piskóta keményebb, gumisabb lett, amennyiben fagyasztott tojáslevet tartalmazott, a rugalmasság és kohézió értéke azonban csökkent.

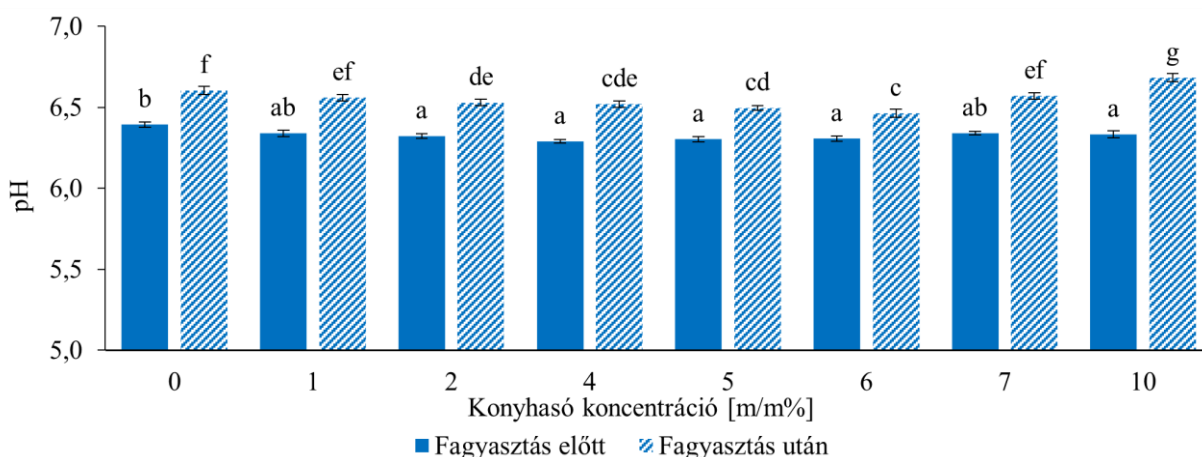
5.3. A tojáslevek fagyasztása során bekövetkező állományváltozás mérséklésére alkalmazott krioprotektív kezelések hatásának vizsgálata

5.3.1. A só hatása a tojássárgájale tulajdonságaira

A fagyasztás során a tojáslevek közül legnagyobb mértékben a tojássárgájale kémiai és technofunkciós tulajdonságai változnak. A tojássárgájale fagyasztás-felengedtetés során végbemenő gélesedésének megakadályozására vagy mértékének csökkentésére a kutatásokban és bizonyos országokban az ipari előállítás során is leggyakrabban a konyhasót és a szacharózt alkalmazzák. A következő két kísérletben ezért ezekkel a krioprotektív anyagokkal foglalkozom, a gélesedést gátló hatásukat vizsgálom. Az említett technológiai segédanyagokat széles koncentráció-tartományban alkalmaztam, hogy megfigyeljem a koncentráció növelésének hatását a tojássárgájale egyes tulajdonságaira, és megállapítsam, hogy mely koncentráció a megfelelő az eredmények, főként a reológiai tulajdonságok alapján.

5.3.1.1. A tojássárgájale pH-jának vizsgálata

A méréseket ebben a kísérletben két hónapos tárolási időt követően végeztem el, ugyanis technológiai jelentőséggel a hosszabb tárolási időtartam bír.

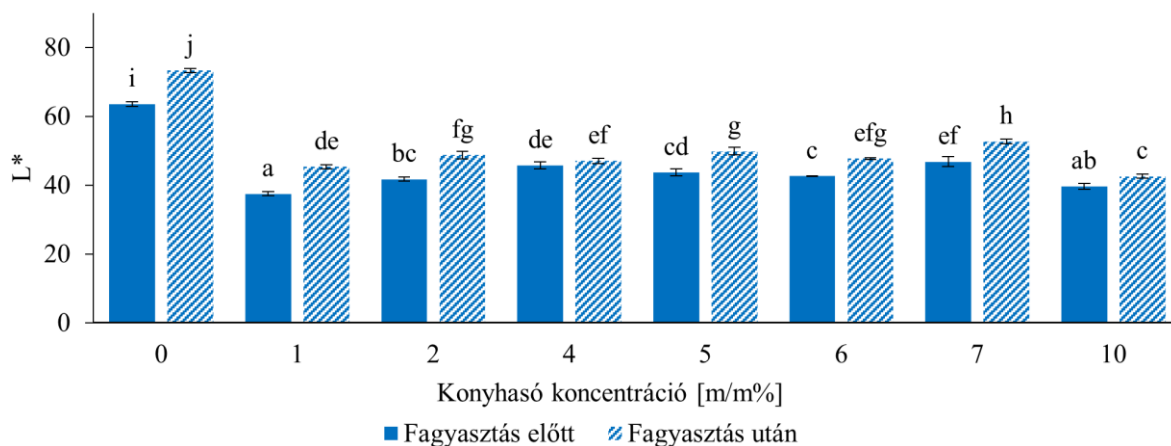


42. ábra: A tojássárgájale pH-jának változása konyhasó hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására

A 42. ábrán megfigyelhető, hogy a friss tojássárgájale pH-ja csökkent a konyhasó hozzáadásának hatására, azonban a különböző konyhasó koncentrációjú minták pH-ja között nem látható szignifikáns különbség. JAAX és TRAVNICEK (1968) 6,5 m/m% konyhasót adagoltak tojássárgájalehez és kisebb pH-t mértek, mint a sót nem tartalmazó mintánál. A pH csökkenés mértéke kísérletben nem minden sókoncentráció esetében szignifikáns. A tojássárgájale pH-ja a fagyasztás-felengedtetés hatására nőtt, amely megegyezik az előző kísérletekben tapasztaltakkal.

5.3.1.2. A tojássárgájale színének vizsgálata

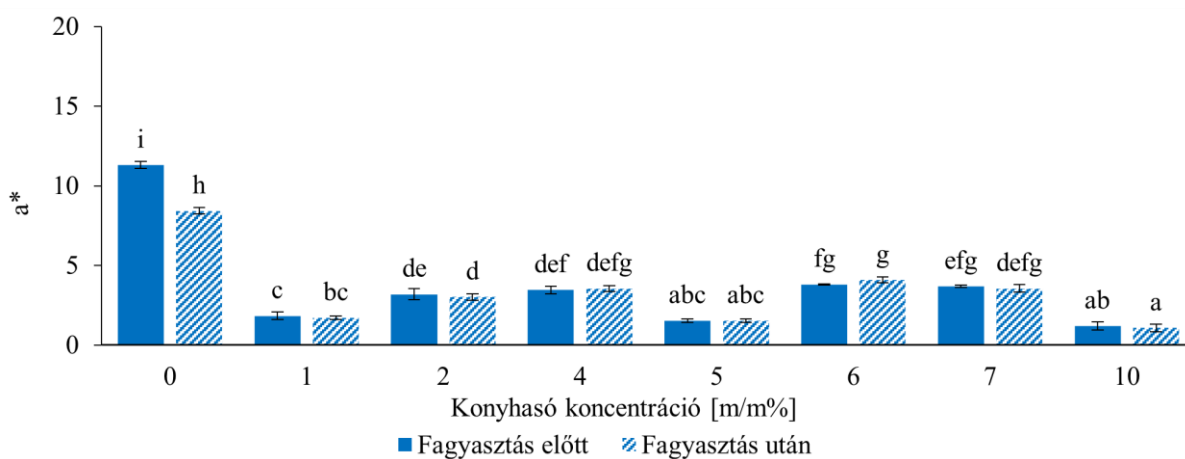
A 43-45. ábrák szemléltetik, hogy milyen mértékben változott a tojássárgájale színe a só hozzáadásának, illetve a fagyasztás és 60. napon történő felengedtetés hatására.



43. ábra: A tojássárgájale világossági tényezőjének változása konyhasó hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására

Amennyiben megfigyeljük a fagyasztás előtt hozzáadott só hatását a tojássárgájale világossági tényezőjére, láthatjuk, hogy a sót nem tartalmazó, illetve a sózott minták világossági tényező értékei között számottevő különbség látható (43. ábra). A tojássárgájale minták már 1 m/m% NaCl hozzáadásának hatására is sokkal sötétebbé váltak, a világossági tényező értéke 63,5-ről 37,5-re csökkent. A sókoncentráció növelésével nem következett be fokozatos csökkenés a világossági tényező értékében, enyhén hullámzó tendencia figyelhető meg. A friss, sót nem tartalmazó mintához legközelebbi értéket a 7 m/m% konyhasót tartalmazó minta világossági tényezője esetében figyelhetünk meg. JAAX és TRAVNICEK (1968) is hasonló mértékű csökkenést figyeltek meg a 6,5% sót tartalmazó minta esetében.

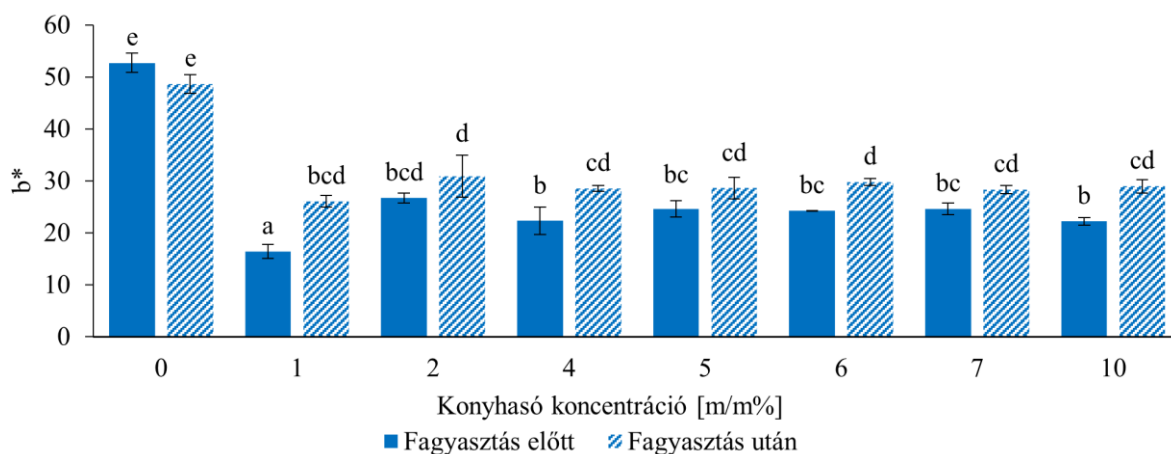
A fagyasztás-felengedtetés hatására azonban, mint ahogy az előzőekben bemutatott, tojássárgájale fagyasztásával foglalkozó kísérletekben is megfigyelhető, minden minta világossági tényezője magasabb lett, mint fagyasztást megelőzően volt, tehát a minták világosodtak. Általánosságban elmondható, hogy a sót tartalmazó minták esetében kisebb volt a világosodás mértéke, mint a kontroll minta esetében. Fontos azonban megjegyezni, hogy a konyhasót tartalmazó fagyasztott-felengedett minták világossági tényezője fagyasztás-felengedtetést követően is kisebb maradt, mint a friss tojássárgájale kiindulási világossági tényezője. Tehát a sózott minták még fagyasztást követően is sötétebbnek bizonyultak, mint a friss, sót nem tartalmazó tojássárgájale. A sózás hatására bekövetkező sötétedés magyarázható azzal, hogy LDL-víz-só komplex alakul ki, a vízkötési formák megváltoznak (FEI et al. 2021; PRIMACELLA et al. 2020; WAKAMATSU 1994), kevés szabad víz marad a rendszerben. A só hatása elősegítheti a tojássárgája lipoproteinek felszakadását és a lipidek felszabadulását. A magas sókoncentráció hatására a vízmolekulák átrendeződnek a fehérjék körül és a nátrium ionhoz kötődnek, ami a hidrofób kölcsönhatások erősödését okozza. Ezért ez a jelenség azt okozhatja, hogy a fehérje-fehérje kölcsönhatások erősebbek, mint a fehérje-oldószer, így a fehérjemolekulák aggregálódnak (ZHAO et al 2021).



44. ábra: A tojássárgájale vörös-zöld szintényezőjének változása konyhasó hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására

A vörös-zöld szintényező értékei a pozitív tartományban mozogtak a kísérletben (44. ábra), tehát a felhasznált tojássárgájale minta vörös színezettel rendelkezett. A só hozzáadásának hatására azonban a vörös színezet csökkent, ami megegyezik a JAAX és TRAVNICEK (1968) által megfigyeltekkel.

Ezenkívül megfigyelhető, hogy habár a sót nem tartalmazó minta vörös színezete csökkent fagyasztás-felengedtetés hatására, azonban a sót tartalmazó minták esetében egyik koncentrációnál sem látható szignifikáns különbség a fagyasztás előtt és a fagyasztva tárolást követően mért értékek között.



45. ábra: A tojássárgájale sárga-kék szintényezőjének változása konyhasó hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására

A konyhasó hozzáadásának hatására határozott mértékű csökkenés látható a harmadik szintényező értékében is, a sárga színezet tehát a só hozzáadásának hatására csökken (45. ábra). A legnagyobb mértékű csökkenés az 1 m/m% konyhasót tartalmazó minta esetében figyelhető meg, amely szignifikánsan különbözik a kontroll mintától és a nagyobb sókoncentrációval rendelkező mintáktól is. A sárga színezet csökkenését figyelte meg JAAX és TRAVNICEK (1968) is 6,5 m/m% sót tartalmazó tojássárgája esetében. A fagyasztás-felengedtetés hatása a sárga

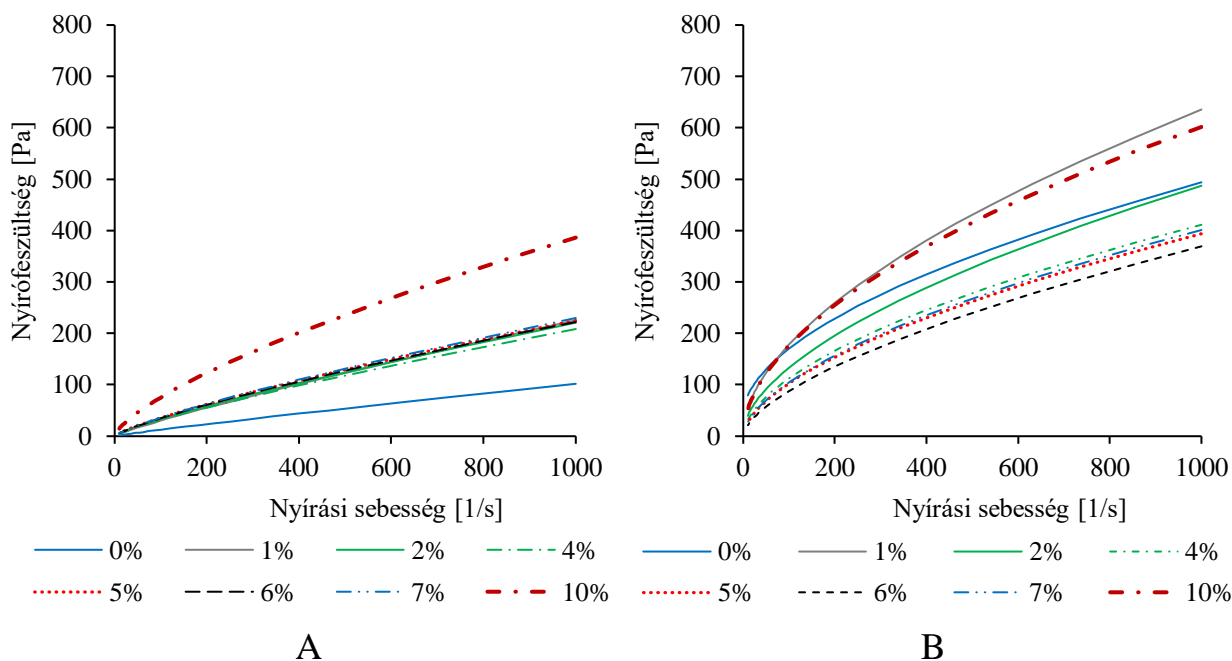
színtényező csökkenésével járt a só nem tartalmazó mintában, azonban a konyhasó hozzáadásával készült minták esetében ellentétes tendencia figyelhető meg. Mindegyik alkalmazott sókoncentráció esetében erősödött a sárga színezet a fagyasztás-felengedetést követően.

A konyhasó hozzáadására a tojássárgájale színe igen nagymértékben változott, amit mi sem szemléltet jobban, mint az M11 mellékletben elhelyezett színkülönbség értékek. Látható, hogy fagyasztást megelőzően a kontroll minta, illetve a só tartalmazó minták közötti színkülönbség 36-45 értéknyi, amely egyértelműen a “nagyon nagy” színkülönbség kategóriába sorolható. A 42-45. ábrákon látható, hogy a színkülönbség mind a három színtényező értékének köszönhető, hiszen a minták sötétebbek lettek, illetve csökkent a vörös és a sárga színezetük is. A jelentős színváltozás háttérében a fehérjekonformáció, illetve a vízkötési formák megváltozása tehető felelőssé, amely a sózás hatására bekövetkezett.

A fagyasztás hatására kisebb mértékben változik meg a minták színe, mint a sózás hatására, azonban minden esetben “nagy” színkülönbség látható a fagyasztás előtt és után vizsgált minták között. Ebben főként a világossági tényező növekedése játszik kulcsszerepet.

5.3.1.3. A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A konyhasó, mint krioprotektív hatású anyag gélesedést gátló vagy csökkentő hatása főként a reológiai tulajdonságok vizsgálatával jellemezhető. A 46. ábra szemlélteti az 1-10 m/m% konyhasót tartalmazó, illetve a só nem tartalmazó minták fagyasztás előtt (46. A ábra) és után (46. B ábra) felvett folyásgörbéit, a viszkozitásgörbéket az M12 melléklet szemlélteti. Az M13 mellékletben elhelyezett táblázat pedig a Herchel-Bulkley modell illesztésével kapott reológiai tulajdonságokat tartalmazza.



46. ábra: A különböző koncentrációban konyhasót tartalmazó és a kontroll tojássárgájale minták folyásgörbéje fagyasztás előtt (A), illetve fagyasztva tárolást és felengedetést követően (B)



47. ábra: Különböző konyhasó koncentrációjú fagyasztott-felengedett tojássárgájale minták

A tojássárgájalevek az előző kísérletekben megfigyeltekkel megegyezően pszeudoplasztikus reológiai viselkedéssel rendelkeztek. A fagyasztás előtt felvett folyásgörbéken megfigyelhető, hogy a konyhasó hozzáadásával megváltoztak a tojássárgája reológiai tulajdonságai. A sót nem tartalmazó mintához képest a sót tartalmazó minták minden koncentráció esetében nagyobb nyírófeszültség értékekkel rendelkeztek, amely nagyobb látszólagos viszkozitás értékekre is utal. A nyírófeszültség értékekkel párhuzamosan látható (M13 melléklet), hogy a konzisztencia koefficiens értékek is nőttek. A minták a sózás hatására viszkózusabbá váltak, azonban nem történt gélesedés, ugyanis nem jelent meg folyáshatár érték. Korábbi kutatásokban szintén beszámoltak a tojássárgája viszkozitásának jelentős növekedéséről a só hozzáadásának hatására (IBARZ 1993; PRIMACELLA et al. 2018a; XU et al. 2019). Ennek oka az LDL-víz-só komplex kialakulása (FEI et al. 2021; WAKAMATSU 1994).

A konyhasó koncentráció növelésével azonban nem emelkedett fokozatosan a nyírófeszültség és a konzisztencia állandó, illetve nem csökkent a folyásindex. A konzisztencia állandó szerint elkülönül a 0 m/m% konyhasót tartalmazó minta, amely nem különbözik szignifikánsan az 1; 2 és 4 m/m% konyhasót tartalmazó mintáktól, a nagyobb koncentrációjúaktól azonban igen. Az 5; 6 és 7 m/m%-os koncentrációjú minták a 0 és a 10 m/m%-os mintáktól térnek el.

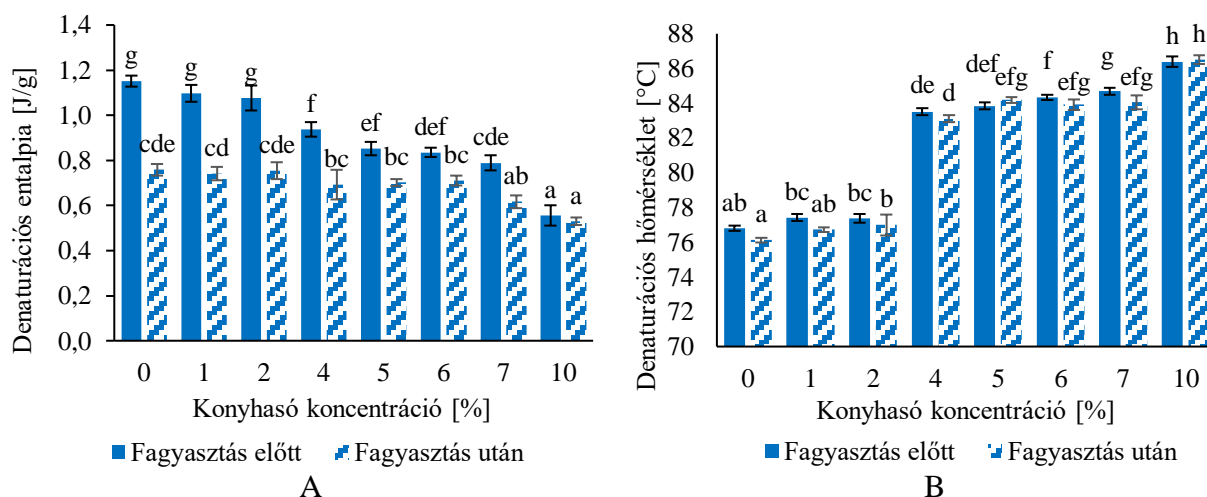
A fagyasztást, a 2 hónapig tartó fagyasztva tárolást, illetve a felengedett követően azonban egészen más tendencia figyelhető meg, ugyanis bizonyos koncentrációk esetén érvényesült a konyhasó erőteljes krioprotektív hatása. A konyhasót nem tartalmazó minta esetében megfigyelhető, hogy a nyírás során mért nyírófeszültség értékek nagymértékben nőttek a friss mintához képest, amelynek köszönhetően a Herschel-Bulkley modell konzisztencia koefficiense is nőtt a 2. kísérletben növekedés mértékével megegyező mértékben. Emellett megjelent a folyáshatár, vagyis a minta folyásához szükséges minimális nyíróerő, illetve nagymértékű

csökkenés következett be a folyásindex értékében is. A minta gélesedése a 47. ábrán szemmel látható, a minta külső nyíróerő befektetése nélkül nem folyik.

A két legalacsonyabb sókoncentrációjú (1 és 2 m/m%) minta esetében megfigyelhető, hogy habár csökkent a folyáshatár értéke, továbbra is jellemzi a mintát, ezenkívül a 47. ábrán is látható, hogy ezen koncentrációk alkalmazása nem elegendő a gélesedés megakadályozására. A 4 és 10 m/m% sókoncentráció közötti mintáknál a folyáshatár megszűnt, illetve a minták a centrifugacsövek lefordítását követően nyíróerő alkalmazása nélkül is folyásra voltak képesek. A minták nyírófeszültség értékei, konzisztencia állandói és folyásindex értékei alapján optimális sókoncentráció rajzolódik ki. A friss mintához legközelebb álló, tehát a legkisebb nyírófeszültség és konzisztencia állandó értékekkel, illetve a legnagyobb folyásindex értékekkel a 6 m/m% sót tartalmazó minta rendelkezett. Ezenkívül a 47. ábrán is megfigyelhető, hogy a 6 m/m% konyhasó koncentrációjú mintát tartalmazó centrifugacső belső felületén található a legkisebb mennyiségű minta, ez a minta folyt le legnagyobb mértékben a 10 másodperc alatt, amely a centrifugacső lefordítása és a fénykép készítése között eltelt. Eredményeim PRIMACELLA és munkatársainak (2018a) eredményeivel csengenek össze, akik azt állapították meg, hogy az 5 m/m% NaCl koncentrációnak erőteljesebb gélesedést gátló hatása van, mint a 10 m/m%-os koncentrációnak.

5.3.1.4. A tojássárgájale hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata

Az 1. és a 2. kísérletben megállapítottam, hogy a hozzáadott anyagot nem tartalmazó mintában denaturálható fehérjék mennyisége csökken, míg a denaturációs hőmérséklet nem változik a fagyasztás és a fagyasztva tárolás során. Ebben a kísérletben pedig a konyhasó hozzáadásának hatását vizsgáltam a hőfizikai tényezőkre, amelynek eredményeit a 48. ábra szemlélteti.



48. ábra: A különböző koncentrációban konyhasót tartalmazó és a kontroll tojássárgájale minták denaturációs entalpia (A) és denaturációs hőmérséklet (B) értékei fagyasztás előtt, illetve fagyasztva tárolást és felengedtetést követően

A denaturációs entalpia értéke 4-10 m/m% konyhasó hozzáadásának hatására szignifikánsan változott, csökkenő tendencia figyelhető meg a konyhasó koncentráció növelésével. A 4-10 m/m%

koncentrációjú mintákban kisebbnek bizonyult a denaturálható fehérjék mennyisége, mint az 1 és 2 m/m% koncentrációjú és a sót nem tartalmazó minták. Ennek oka a ZHAO és munkatársai (2021) által megfigyelt jelenség, miszerint magas sókoncentráció hatására a fehérje-fehérje kölcsönhatás erősödik és a fehérjemolekulák aggregálódnak. Ez a fehérjeaggregáció 1 és 2 m/m%-os sókoncentrációk esetében még nem következik be, 4 m/m%-os és annál nagyobb koncentrációk esetében már megfigyelhető.

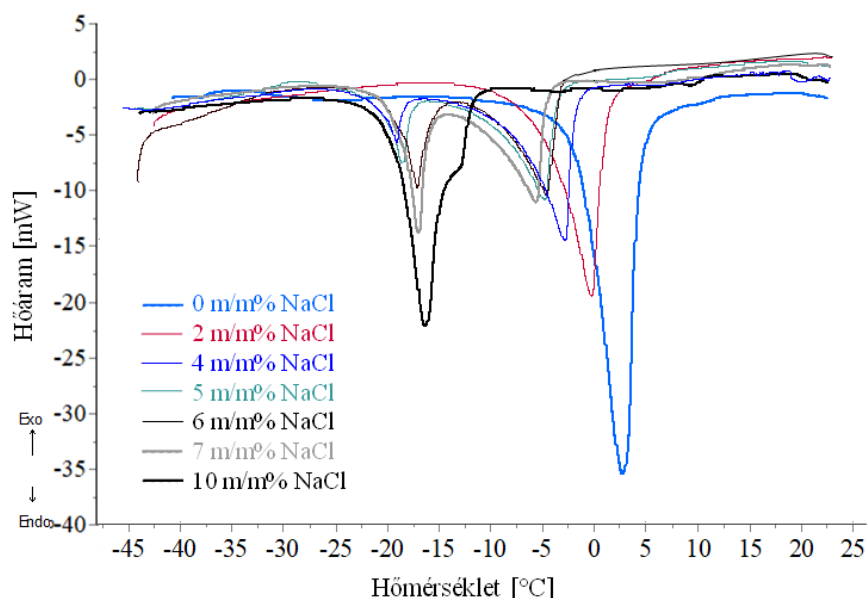
A fagyasztás hatására a kontroll minta mellett a sót tartalmazó minták esetében is csökkent az entalpia értéke. A 10 m/m%-os sókoncentráció esetében látható a legkisebb denaturációs entalpia érték mind fagyasztást megelőzően, mint azt követően, a fagyasztás csak kismértékben okozott csökkent denaturációs entalpiát ennél a mintánál.

A denaturációs hőmérséklet, amely a fázisátalakulás 50%-át jelzi, szintén nagymértékű változáson ment át a kísérletben a sókoncentráció változtatásának hatására. Amennyiben a fagyasztás előtt mért csúcshőmérséklet értékeket megvizsgáljuk, látható, hogy itt is 4-10 m/m% sókoncentráció hatására következett be szignifikáns változás. A kontroll minta esetében mért $76,8 \pm 0,1^\circ\text{C}$ -os csúcshőmérséklet 4 m/m% só hozzáadásának hatására $83,5 \pm 0,2^\circ\text{C}$ -ra emelkedett. A sókoncentráció növelésével a csúcshőmérséklet további növekedése látható. A konyhasónak a tojássárgájale denaturációs hőmérsékletére gyakorolt hatása jelentős a technológiai paraméterek megválasztásánál, ugyanis magasabb pasztörözési hőmérsékletet tesz lehetővé, amennyiben a hőkezelést megelőzően adagolják a tojáshoz a konyhasót.

WANG és munkatársai (2020) arról számoltak be, hogy a sózott tojássárgája plazmájának denaturációs hőmérséklete magasabb, mint a natív tojássárgájáé. PRIMACELLA és munkatársai (2020) pedig megállapították, hogy 10 m/m% só hozzáadása $91,5^\circ\text{C}$ -ra növelte a denaturációs hőmérsékletet a friss sárgája $76,8^\circ\text{C}$ -os denaturációs hőmérsékletéhez képest. Ez arra utal, hogy a sózás növelheti a tojássárgája plazmafehérjéinek hőstabilitását. Ennek oka RAIKOS és munkatársai (2007) szerint az, hogy a só „rendezetlen” fehérje koagulációt okoz.

A denaturációs hőmérséklet értékek a fagyasztást megelőzően és azt követően nem különböznek egymástól szignifikánsan, ami megegyezik FEI és munkatársainak (2021) megfigyelésével, akik 30 napos fagyasztva tárolás során végezték méréseiket.

A sókoncentráció növelése nemcsak a denaturációs hőmérsékletet változtathatja meg, hanem a fagyasztási folyamatra is hatást gyakorol. Ezért megvizsgáltam, hogy milyen hatással bír a sókoncentráció növelése az olvadás során fellépő fázisváltozás entalpiájára, az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletére és a ki nem fagyasztható víztartalomra. A friss tojássárgájale sókoncentrációjának beállítását követően felvettem -50 és 30°C között a minták hőáramgörbéit. Ennél a mérésnél bemutatok néhány kiválasztott hőáramgörbét is a 49. ábrán, ugyanis a görbék alakjának megváltozása meghatározó.



49. ábra: Különböző konyhasó koncentrációjú tojássárgájale minták hőáramgörbéi -50 és 30°C közötti hőmérséklettartományban

A tojássárgájale -50°C -ról 30°C -ra történő felfűtése során egyetlen jól definiált csúcs látható (49. ábra), amely a tojássárgája kifagyasztható víztartalmának fázisváltását mutatja be. Amennyiben a tojássárgájához $1\text{ m/m}\%$ (nem szerepel az ábrán), illetve $2\text{ m/m}\%$ konyhasót adtam, továbbra is egy kivehető csúcs rajzolódott ki a hőáramgörbén. Ennek a csúcsnak a görbe alatti területe, illetve ebből adódóan a minta kifagyasztható víztartalma is csökkent. Ezenkívül megfigyelhető az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletének nagymértékű csökkenése. Nagyobb sókoncentrációk alkalmazásánál ($4\text{--}7\text{ m/m}\%$) két egymással átfedésben lévő csúcs látható a hőáramgörbén, ami azt jelenti, hogy két részletben zajlik le az endoterm reakció a felengedtetés során. Ezeknél a mintáknál még inkább eltolódik az eredeti csúcs intenzív olvadásának hőmérséklete és csökken a görbe alatti terület, így a kifagyasztható víz mennyisége is. A $10\text{ m/m}\%$ koncentrációjú mintánál szintén egy csúcs rajzolódik ki, azonban az eredetileg a tojássárgájára jellemző csúcs eltűnik.

A 6. táblázatban láthatóak a fázisváltásokhoz tartozó kezdeti hőmérséklet értékek, a fázisváltás entalpiája és a ki nem fagyasztható víztartalom értékek.

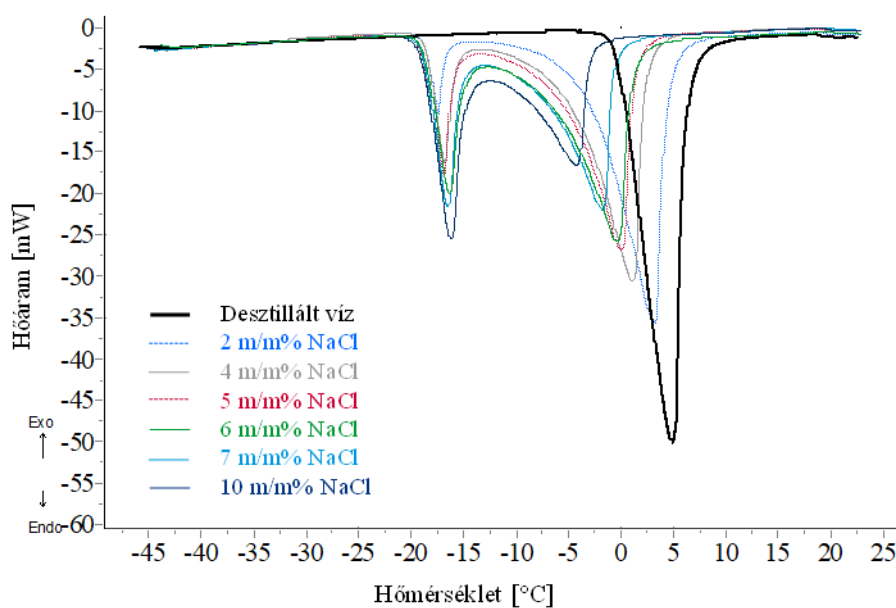
6. táblázat: Különböző konyhasó koncentrációjú tojássárgájale minták hőfizikai tényezői

Konyhasó koncentráció [m/m%]	$T_{\text{olv},1}$ [$^{\circ}\text{C}$]	$T_{\text{olv},2}$ [$^{\circ}\text{C}$]	Olvadási entalpia [J/g]	Ki nem fagyasztható víztartalom [%]
0	$-2,79 \pm 0,26^e$	–	$131,67 \pm 6,43^c$	$12,37 \pm 4,28^a$
2	$-7,51 \pm 0,16^d$	–	$122,68 \pm 10,42^{bc}$	$15,25 \pm 7,20^a$
4	$-11,05 \pm 0,66^c$	$-22,41 \pm 0,31^a$	$117,55 \pm 4,55^{bc}$	$16,00 \pm 3,27^a$
5	$-13,29 \pm 0,07^b$	$-22,30 \pm 0,56^a$	$109,15 \pm 6,50^{abc}$	$19,75 \pm 4,78^a$
6	$-13,50 \pm 0,24^{ab}$	$-21,73 \pm 0,15^a$	$107,62 \pm 10,75^{ab}$	$19,25 \pm 8,07^a$
7	$-14,41 \pm 0,43^a$	$-20,32 \pm 0,49^b$	$107,54 \pm 9,96^{ab}$	$17,61 \pm 7,63^a$
10	–	$-20,61 \pm 0,25^b$	$88,06 \pm 6,28^a$	$27,98 \pm 5,13^a$

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

Megfigyelhető, hogy az 1. csúcs esetében 0 és 5 m/m% sókoncentráció között minden esetben szignifikáns változás látható, az olvadási hőmérséklet egyre alacsonyabb a sókoncentráció növelésével. A második csúcs esetében a 4, 5 és 6 m/m%-os minták, illetve a 7 és 10 m/m%-os minták különülnek el egymástól. A fázisváltás entalpia értéke folyamatosan csökkent a só hozzáadásával, azonban szignifikánsan csak a 6-10 m/m%-os sókoncentrációjú minták entalpiája tér el a kontroll mintáétól. A ki nem fagyasztható víztartalom értéke a kontroll minta esetében méréseim alapján a víztartalom 12,4%-a, ami a PHAM (1987) által számoltaknak megfelelő. Ő megállapította, hogy az 50%-os szárazanyag-tartalmú tojássárgája esetében -40°C -ig a víztartalom 11,6%-a nem fagy ki. A ki nem fagyasztható víztartalom értékek között a statisztikai analízis alapján nem volt szignifikáns különbség, azonban az értékek növekedtek. A ki nem fagyasztható víztartalom érték növekedését FEI és munkatársai (2021) is megfigyelték. A jelenség hátterében megállapításaik szerint az LDL-víz-só komplex kialakulása áll, amelynek köszönhetően a víztartalom egy része kötött formában lesz jelen a rendszerben.

A tojássárgájale minták intenzív olvadási hőmérsékletének csökkenése nem meglepő, hiszen a só hozzáadásával a kriozkópos hőmérséklet csökkenése is megfigyelhető. JAAX és TRAVNICEK 6,5 m/m%-os sókoncentráció esetében megfigyelték, hogy a tojássárgájale kriozkópos hőmérséklete -3°C -ról -10°C -ra csökkent. Azonban a második csúcs megjelenésének megértéséhez szükséges megvizsgálni a sóoldat fagyásának mechanizmusát. A különböző koncentrációjú NaCl oldatok, illetve a desztillált víz felfűtési szakaszban felvett hőáramgörbéit a 50. ábra szemlélteti.



50. ábra: Különböző koncentrációjú konyhasó oldatok hőáramgörbéi -50 és 30°C közötti hőmérséklettartományban

A 50. ábrán látható, hogy a sóoldatok mérése során minden esetben két, egymással átfedésben lévő csúcst kaptam, amíg a desztillált víz kifagyása egyetlen jól definiált csúccsal jellemezhető. Chen és munkatársai (2005) vizsgálata alapján 24 m/m%-nál kisebb koncentrációjú sóoldat esetében 2 csúcs jelenik meg a hőáramgörbén, amelyek a szabad víz kifagyását (nagyobb hőmérséklettartományban megfigyelhető csúcs), illetve az eutektikum fázisváltását (kisebb hőmérséklettartományban látható csúcs) mutatják be.

A sóoldat esetében is megfigyelhető, hogy a NaCl tartalom növelésével csökken az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete, illetve a ki nem fagyasztható víztartalom nő. Azonban az eutektikumhoz tartozó, fázisváltás kezdetét jelző hőmérséklet (T_{o2}) közel állandó (7. táblázat).

7. táblázat: Különböző koncentrációjú konyhasó oldatok hőfizikai tényezői

Konyhasó koncentráció [m/m%]	T_{o1} [°C]	T_{o2} [°C]	Olvadási entalpia [J/g]	Ki nem fagyasztható víztartalom [%]
0	$-0,65 \pm 0,13^g$	–	$276,15 \pm 6,83^d$	–
2	$-8,27 \pm 0,08^f$	$-18,56 \pm 0,08^b$	$250,00 \pm 4,51^c$	$4,99 \pm 1,71^a$
4	$-9,33 \pm 0,22^e$	$-18,63 \pm 0,12^b$	$243,30 \pm 3,47^{bc}$	$5,61 \pm 1,35^a$
5	$-12,26 \pm 0,23^d$	$-19,15 \pm 0,23^{ab}$	$240,94 \pm 8,20^{bc}$	$5,55 \pm 3,21^a$
6	$-13,25 \pm 0,28^c$	$-19,01 \pm 0,35^{ab}$	$236,27 \pm 4,13^{abc}$	$6,39 \pm 1,64^a$
7	$-14,44 \pm 0,18^b$	$-19,37 \pm 0,21^a$	$231,91 \pm 7,02^{ab}$	$7,13 \pm 2,81^a$
10	$-16,05 \pm 0,29^a$	$-18,77 \pm 0,40^{ab}$	$223,80 \pm 1,37^a$	$7,39 \pm 0,56^a$

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

A tojássárgájale vizsgálata során megállapítottam, hogy a második csúcs csak a minimum 4 m/m% konyhasót tartalmazó minta esetében jelent meg. Ebből arra következtethetünk, hogy a NaCl szabad ionjai nincsenek jelen a rendszerben az 1 és 2 m/m%-ot tartalmazó mintákban, így nem tud létrejönni az eutektikum, ennél magasabb sókoncentráció esetében azonban igen.

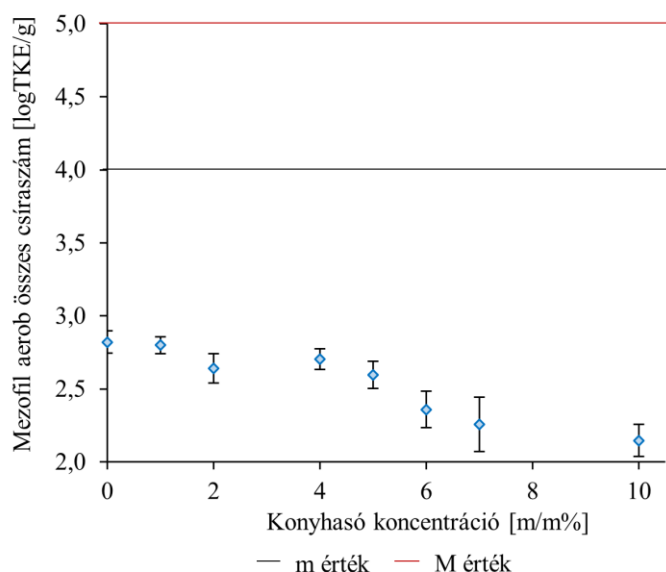
5.3.1.5. A tojássárgájale mezofil összes csíraszámának vizsgálata

A tojássárgájale minták mikrobaszáma a kísérletben a vonatkozó jogszabálynak megfelelő (4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet, 1998), ugyanis minden minta 10^4 TKE/g sejtszámnál kisebb értékkel rendelkezett (51. ábra).

Megfigyelhető, hogy a konyhasó hozzáadásának hatására kismértékben csökkent a tojássárgájale mikrobaszáma. A 6-10 m/m%-os sókoncentrációjú minták mikrobaszáma szignifikánsan különbözik a só nem tartalmazóétól (M10 melléklet). A só hidrofil összetevő, így csökkenti a mikroorganizmusok számára hozzáférhető víz mennyiségét (BARON & JAN 2011). 10 m/m% só hozzáadásának hatására a tojássárgája vízakтивitása 0,99-ről 0,87-re csökken (PALUMBO et al. 1995).

Kísérletemben a hőkezelt mintákhoz adtam sót, azonban elképzelhető, hogy a technológiai folyamatban elsőként a sózás, majd azt követően a hőkezelés történik meg. Ebben az esetben azonban fontos figyelmbe venni, hogy a konyhasó növeli a *Salmonella* fajok hőtűrését. A

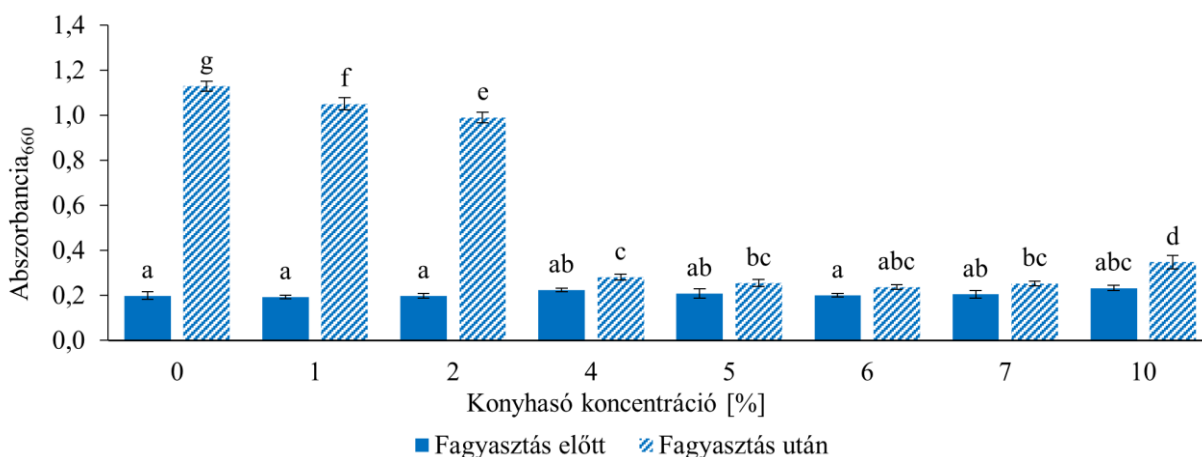
mikroorganizmusok hőtűrésének növekedése mellett azonban a tojássárgája fehérjének denaturációs hőmérséklete is nő a só hozzáadásával, így lehetővé válik a nagyobb pasztörözési hőmérséklet alkalmazása.



51. ábra: Különböző konyhasó koncentrációjú tojássárgájale minták mezofil összes csíraszama a 60 napig -24°C -on történő fagyasztást és felengedetést követően

5.3.1.6. A tojássárgájale turbiditásának vizsgálata

Az 52. ábrán látható a különböző sókoncentrációjú friss és a fagyasztott-felengedetett tojássárgájalevek 660 nm-en mért optikai denzitása.



52. ábra: A tojássárgájale 660 nm-en mért optikai denzitása változása konyhasó hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedetés hatására

A fagyasztást megelőzően kapott eredmények alapján a sózás hatására nem változott szignifikánsan a minták optikai denzitása. A 660 nm-en mért optikai denzitás értékekből is látszik, hogy az 1 és 2 m/m% konyhasót tartalmazó minták nagyon hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a kontroll minta, ugyanis a fagyasztást követően nagymértékben nőtt a mért optikai denzitásuk. Ez az eredmény megegyezik a reológiai tulajdonságok és a hőfizikai

tulajdonságok meghatározása során tapasztaltakkal és az aggregáció lejátszódásának tulajdonítható. A 4-7 m/m% NaCl-ot tartalmazó minták optikai denzitás értékei nem különböznek egymástól szignifikánsan fagyasztás-felengedtetést megelőzően és azt követően sem. Ezenkívül nagyon hasonlóak a friss, hozzáadott anyagot nem tartalmazó minta optikai denzitás értékeihez. Megfigyelhető, hogy a 10 m/m% koncentrációjú minta optikai denzitása nagyobb volt, mint a 4-7 m/m% koncentrációjú mintáké.

5.3.7. A konyhasó hatásának összegzése tojássárgájale technofunkciós tulajdonságaira

Ebben a kísérletben a tojássárgájale fagyasztása során gyakran alkalmazott krioprotektív hatású anyaggal, a konyhasóval foglalkoztam. Megfigyeltem, hogy konyhasó adagolásának hatására kismértékben csökkent a tojássárgájale pH-ja. Ezenkívül megállapítottam, hogy a konyhasó hozzáadása nagyon jelentős mértékben változtatja meg a tojássárgájale színét. A színváltozás a világossági tényező, a vörös-zöld, illetve a sárga-kék színtényező értékét is érinti. A színváltozás mértéke és az alkalmazott sókoncentráció között nincs lineáris összefüggés.

A krioprotektív hatás szempontjából kiemelkedő jelentőséggel bír a reológiai tulajdonságok vizsgálata. Megfigyeltem, hogy a konyhasó hozzáadása a friss tojássárgájalehez nagymértékben megváltoztatta annak reológiai tulajdonságait, a nyírófeszültség és a konzisztencia koefficiens növekedését eredményezte. A fagyasztást-felengedtetést követően bemutatott eredményeim alapján megállapítottam, hogy a friss, só nem tartalmazó mintához legjobban hasonló reológiai tulajdonságokkal a 6 m/m% konyhasót tartalmazó minta rendelkezett, azonban a gélesedést tulajdonképpen megakadályozta 4-10 m/m% NaCl hozzáadása.

A hőfizikai tulajdonságok vizsgálata feltárta, hogy a konyhasó hozzáadása nemcsak a tojássárgájale színét és reológiai tulajdonságait, hanem a denaturációs és oladási tulajdonságokat is nagyban befolyásolja. A gélesedést megelőző koncentrációban (4-10 m/m%) alkalmazott konyhasó hatására csökken a denaturációs entalpia értéke, nő a denaturációs hőmérséklet, így a hőstabilitás is. Ezenkívül eutektikum képződését, a ki nem fagyasztható víztartalom erőteljes növekedését és az oladási hőmérséklet csökkenését is megfigyeltem.

Megfigyeltem, hogy 6-10 m/m%-os sókoncentráció esetén a tojássárgájale mikrobaszáma szignifikánsan változott, amely a vízaktivitás csökkenésével magyarázható. A csökkenés mértéke azonban 1 nagyságrendnyél kisebb, gyakorlati jelentőséggel nem bír.

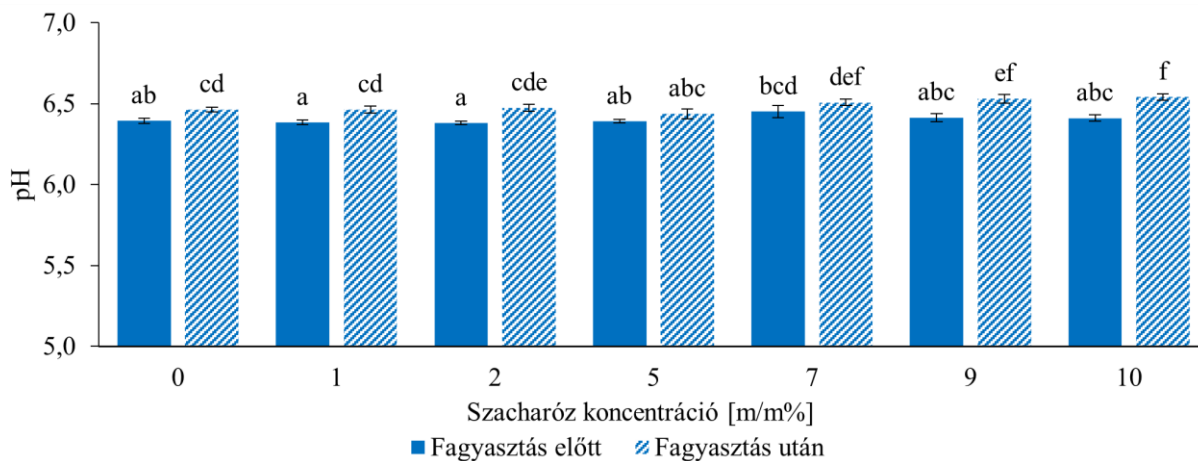
A spektrofotométerrel végzett optikai denzitás mérés eredményei alapján elmondható, hogy a 10 m/m%-os sókoncentráció alkalmazása kedvezőtlenül befolyásolja a tojássárgájale fagyasztást követő oldhatóságát.

Kísérletem eredményei alapján elmondható, hogy a konyhasó a 4 és 10 m/m% közötti koncentrációtartományban alkalmazva fejt ki gélesedést gátló hatását, azonban a reológiai tulajdonságokat figyelembe véve a 6 m/m%-os koncentráció alkalmazása a legmegfelelőbb.

5.3.2. A szacharóz hatása a tojássárgájale és a teljes tojásle tulajdonságaira

5.3.2.1. A tojássárgájale pH-jának vizsgálata

A szacharóz a konyhasó mellett a másik leggyakrabban alkalmazott krioprotektív hatású anyag, amelyet a tojássárgájale fagyasztása során alkalmaznak a gélesedés megelőzésére.



53. ábra: A tojássárgájale pH-jának változása szacharóz hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására

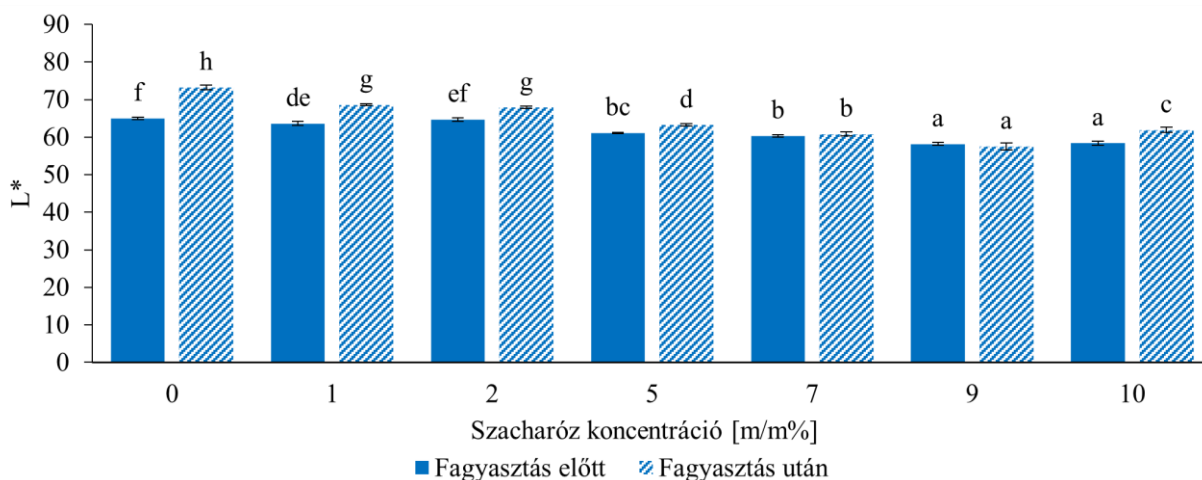
Megfigyelhető, hogy amennyiben a szacharózt a fagyasztást megelőzően a tojássárgájához adtam, a konyhasóval ellentétben nem változtatta meg szignifikánsan a pH-t (53. ábra). A fagyasztás-felengedtetés hatására azonban ebben a kísérletben is megfigyelhető a pH növekedés, amely a 9 és 10 m/m% szacharózt tartalmazó minta esetében a fagyasztott-felengedtetett kontroll mintától szignifikánsan eltérő pH-t eredményezett. Eredményeim összhangban állnak Jaax és Travnicek (1968) megállapításaival, akik 6,5 m/m% fruktózt adtak a tojássárgájalehez és nem tapasztaltak szignifikáns változást a különböző fagyasztási módszerek alkalmazását követően felengedtetett minták esetében.

5.3.2.2. A tojássárgájale színének vizsgálata

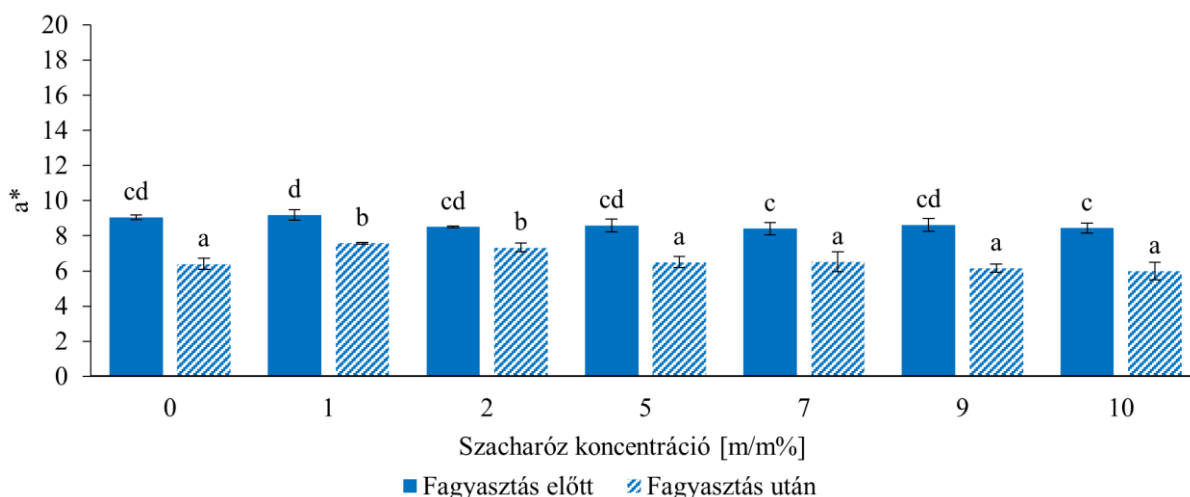
Ahogy az előző fejezetekben megállapítottam, a tojássárgájale színe nagymértékű változáson megy keresztül mind a fagyasztás, fagyasztva tárolás, mind a konyhasó hozzáadásának hatására. A szacharóz tojássárgájale színére gyakorolt hatását, illetve ennek változását a fagyasztva tárolás hatására az 54-56. ábrák szemléltetik.

Amennyiben megvizsgáljuk a szacharóz hozzáadásának hatását a tojássárgája világossági tényezőjére, megállapíthatjuk, hogy a szacharóz csökkentette a minták világossági tényezőjét (54. ábra). A szacharózt tartalmazó minták sötétebbé váltak. A különbség azonban a konyhasós kezeléshez képest elenyésző. JAAX és TRAVNICEK (1968) is hasonló következtetésre jutott fruktózzal végzett kísérletükben. A konyhasó hozzáadása a különböző koncentrációk esetében 17-26 értékkel csökkentette a világossági tényezőt, ezzel szemben a szacharóz hatására 0,3-6,8 értékkel csökkent.

A fagyasztást követően a kontroll, illetve 1 és 2 m/m% szacharózt tartalmazó minták esetében nagyobb mértékű világosodás látható, azonban ez nem jellemzi az 5-10 m/m% szacharózt tartalmazó mintákat. Nem látható szignifikáns különbség a 7 és 9 m/m% szacharózt tartalmazó minták esetében a fagyasztás előtt, illetve után mért értékek között.



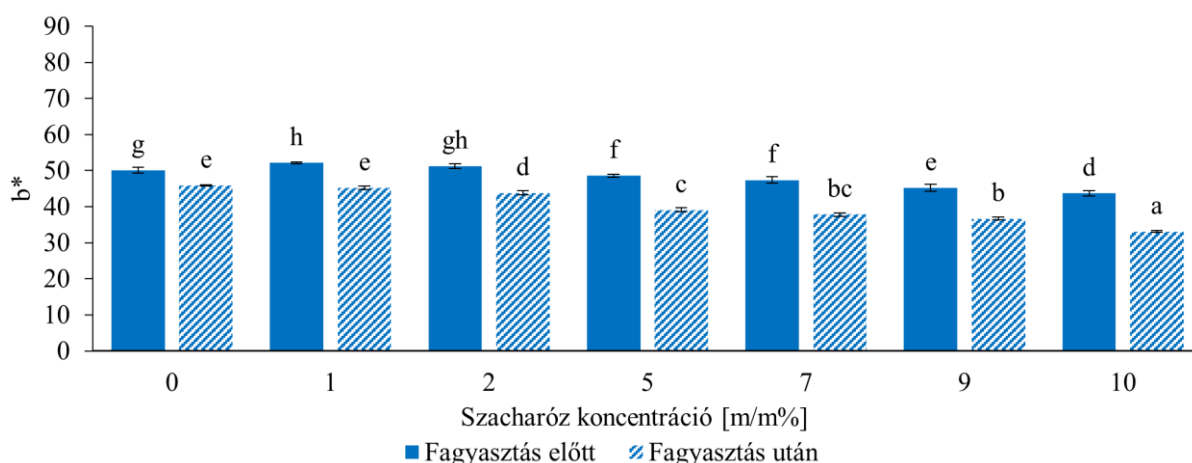
54. ábra: A tojássárgájale világossági tényezőjének változása szacharóz hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására



55. ábra: A tojássárgájale vörös-zöld szintényezőjének változása szacharóz hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására

A fagyasztást megelőzően a szacharóz hozzáadásának hatására a vörös szintényező értékében sem látható olyan mértékű változás, mint a konyhasóval végzett kísérletben, a különbségek egyik koncentráció esetében sem bizonyultak szignifikánsnak (55. ábra).

A fagyasztás-felengedtetés hatására csökkent a vörös színezet minden egyes minta esetében. A statisztikai vizsgálat eredményei alapján az 1 és 2 m/m% szacharózt tartalmazó minták vörös szintényezője különbözik szignifikánsan a többi mintáétól, az eredmények alapján vörösebb színezettel rendelkeztek, mint a többi minta.



56. ábra: A tojássárgájale sárga-kék színtényezőjének változása szacharóz hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására

A sárga színtényező értékében fagyasztást megelőzően 1 m/m% szacharóz koncentráció hatására növekedés figyelhető meg, majd a koncentráció további növelésével enyhe csökkenés látható (56. ábra). A fagyasztás hatására a sárga színezet minden esetben halványult a fagyasztás előtti értékhez képest. A 2 m/m%, illetve ennél nagyobb szacharóz koncentrációjú minták esetében szignifikáns különbség látható a kontroll, fagyasztott mintához képest.

Az M11 mellékletben elhelyezett színkülönbség értékek alapján 2 m/m% szacharóz hozzáadásának hatására a tojássárgájale színe fagyasztást megelőzően „alig észrevehetően” változott, 1 m/m% szacharóz pedig „észrevehető” változást okozott a tojássárgája színében. Az 5 és 7 m/m% szacharózzal dúsított minták a „jól látható”, a 9 és 10 m/m%-ot tartalmazók pedig a „nagy” kategóriába estek a kontroll mintától számított színkülönbség értékek alapján. Ezek alapján elmondható, hogy a konyhasóhoz képest a szacharóz jóval kisebb mértékben változtatja meg a tojássárgájale színét.

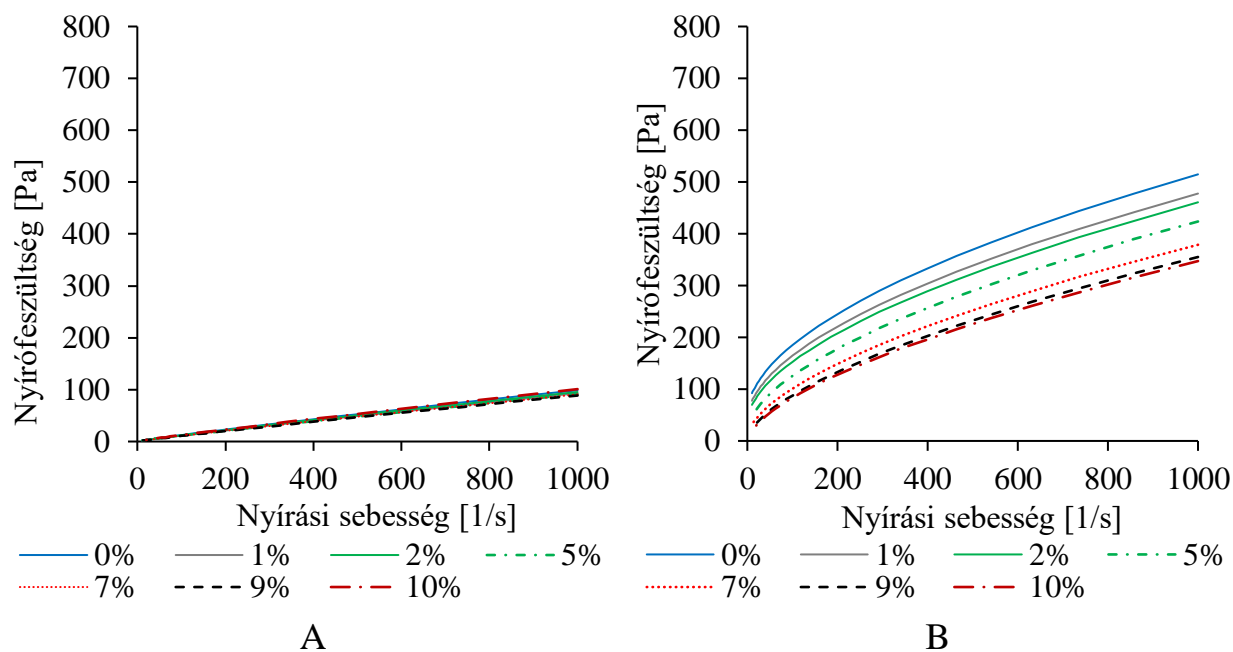
A fagyasztást megelőzően, illetve a fagyasztást követően mért színtényezők között számított színkülönbség értékek alapján mindegyik minta színe „nagy” változáson ment keresztül a fagyasztás-felengedtetés hatására.

5.3.2.3. A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak vizsgálata

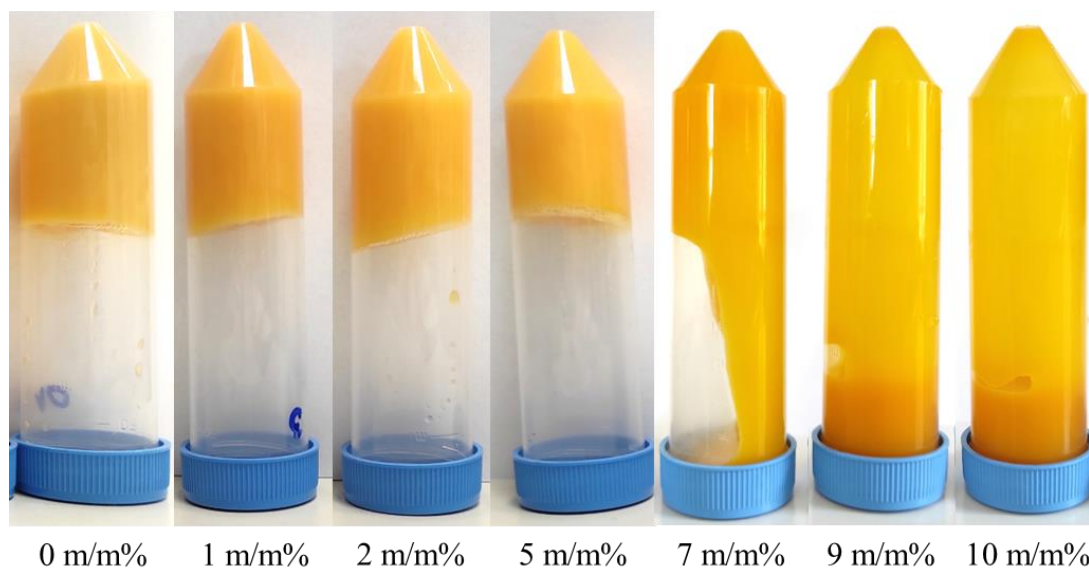
A friss és a fagyasztott-felengedtetett szacharózt tartalmazó minták folyásgörbéi az 57. ábrán láthatóak. A viszkozitásgörbéket az M12 melléklet, a Herschel-Bulkley modell paramétereit pedig az M14 melléklet mutatja be.

A szacharózt tartalmazó tojássárgájale folyásgörbéi fagyasztást megelőzően nem különböznek jelentősen a kontroll mintáétól. Ebben az esetben sem jelent meg folyáshatár érték (M14 melléklet). Megfigyelhető azonban egy enyhe csökkenés a konzisztencia koefficiens értékében, illetve egy enyhe emelkedés a folyásindexben. A minták látszólagos viszkozitása a szacharóz hozzáadásával kismértékben csökkent, illetve viselkedésük közelebb állt a Newtoni

folyadékokéhoz, mint a technológiai segédanyagot nem tartalmazó mintáé. A szacharóz viszkozitást csökkentő hatását PRIMACELLA és munkatársai (2020) is megfigyelték 10 m/m% szacharózzal végzett kísérletükben. A bekövetkező változások azonban nem számottevőek. A fagyasztást megelőzően felvett folyásgörbékben tapasztalt változások sokkal kisebb mértékűek, mint a konyhasóval végzett kísérletben tapasztaltak.



57. ábra: A különböző koncentrációban (m/m%) szacharózt tartalmazó és a kontroll tojássárgájale minták folyásgörbéje fagyasztás előtt (A), illetve fagyasztva tárolást és felengedtetést követően (B)



58. ábra: Különböző szacharóz koncentrációjú fagyasztott-felengedtetett tojássárgájale minták

A fagyasztás-felengedtetést követően pedig megmutatkozott a szacharóznak a tojássárgájale reológiai tulajdonságaira gyakorolt hatása. A folyásgörbék elemzése során elmondható, hogy a szacharóz nemcsak a fagyasztást megelőzően, hanem a fagyasztás-felengedtetést követően is csökkentette a szükséges nyírófeszültséget. A koncentráció növelésével folyamatos csökkenés

látható ebben az értékben úgy, mint a konzisztencia koefficiens értékekben is (M14 melléklet). Ezzel párhuzamosan megfigyelhető, hogy a folyásindex értékek növekedtek a szacharóz koncentráció emelésével. A növekvő tendencia a 10 m/m%-os koncentráció esetében törik meg, ahol kisebb érték látható, mint a 9 m/m%-os minta esetében. Ezenkívül a szacharózt tartalmazó minták esetében látható, hogy a folyáshatár érték minden egyes minta esetében megjelenik fagyasztást követően. Ez azért kiemelendő, mert az 58. ábrán látható, hogy a 7-10 m/m% szacharózt tartalmazó minták nyíróerő befektetése nélkül folytak.

Ha összehasonlítjuk a szacharóz és a konyhasó reológiai tulajdonságokra gyakorolt hatását, megfigyelhető, hogy a konyhasó a fagyasztást megelőzően sokkal nagyobb mértékben változtatta meg a reológiai tulajdonságokat, mint a szacharóz. A változás iránya a konyhasó alkalmazása esetén a nyírófeszültség és konzisztencia emelése, míg a szacharóz esetében kismértékű csökkenés látható. Fagyasztást követően a szacharóz hozzáadása minden esetben csökkentette a szükséges nyírófeszültséget és a konzisztencia koefficiensét, még hozzá a növekvő szacharóz koncentrációval csökkentek az említett paraméterek. Ezzel szemben a konyhasó esetében az alkalmazott koncentráció tartományon belül a 6 m/m%-os koncentráció alkalmazása bizonyult optimálisnak.

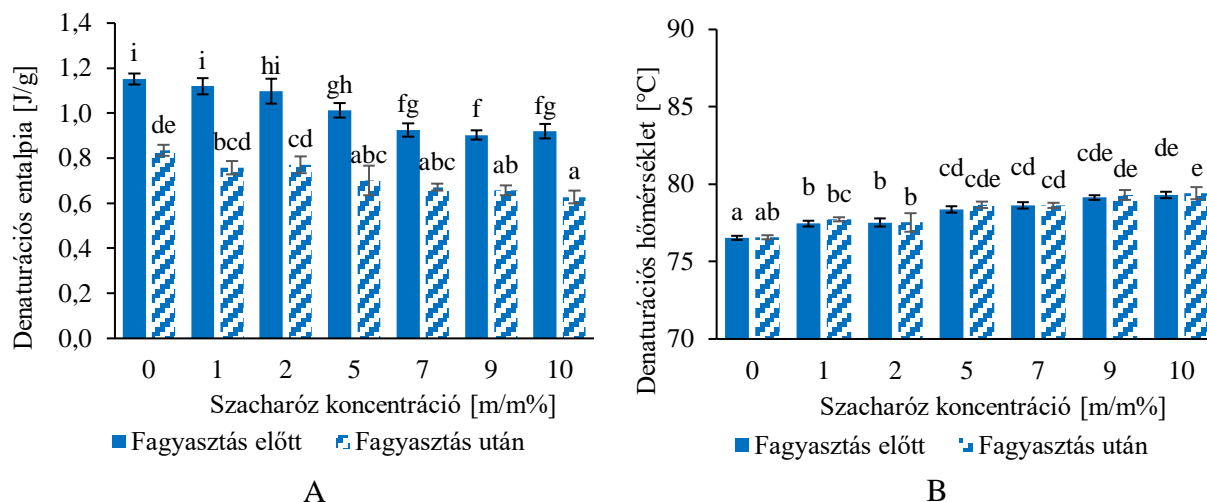
A két technológiai segédanyag nemcsak az alkalmazandó optimális koncentrációban különbözik egymástól, hiszen különböző gélesedést gátló mechanizmusáról FEI és munkatársai (2021) is beszámoltak kutatásukban. A szacharóz ugyanis nem megváltoztatja a fehérje konformációját, hanem inkább stabilizálja a fehérjét azáltal, hogy növeli a fehérjerendszer szabad energiáját.

Amennyiben technológiai szempontból vizsgáljuk meg a konyhasót és a szacharózt, megállapítható, hogy a szacharóz hozzáadásával a fagyasztást megelőzően egy könnyen kezelhető, kisebb viszkozitású anyagot kapunk, amelynek a reológiai tulajdonságai nagyon hasonlóak a technológiai segédanyagot nem tartalmazó tojássárgájához. A konyhasó hozzáadásával a reológiai tulajdonságok nagyobb mértékben változnak, egy sűrűbb, nehezebben kezelhető terméket kapunk. Ezt a különböző technológiai lépéseknél, főként a töltésnél, figyelembe kell venni. A technológiai segédanyag megválasztását a gyártástechnológiai szempontokon kívül a felhasználási terület is nagyban befolyásolja.

A különböző szószok, mint például a majonéz, sőt és cukrot is tartalmaznak, így gyártásukhoz megfelelhet a szózott és a cukrozott tojássárgájale is. A szózott tojássárgájale nagyobb viszkozitása kedvezően befolyásolja a szószok stabilitását. A tojássárgája szintén gyakori összetevője a különböző desszerteknek, például a süteményeknek és a jégkrémnek. Az összetevők között különböző arányban szerepelhet (általában 2-10 m/m%), színt és krémességet szolgáltat, illetve korlátozza a cukor kikristályosodását olyan termékekben, mint a puding és a cukrászkrémek. Mindezen alkalmazásokhoz gyakran használnak tojássárgáját 10 m/m% hozzáadott szacharózzal (LECHEVALIER et al. 2011).

5.3.2.4. A tojássárgájale hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata

A szacharózt tartalmazó tojássárgájalevek DSC-vel végzett hődenaturációs vizsgálatának eredményeit az 59. ábrán mutatom be.

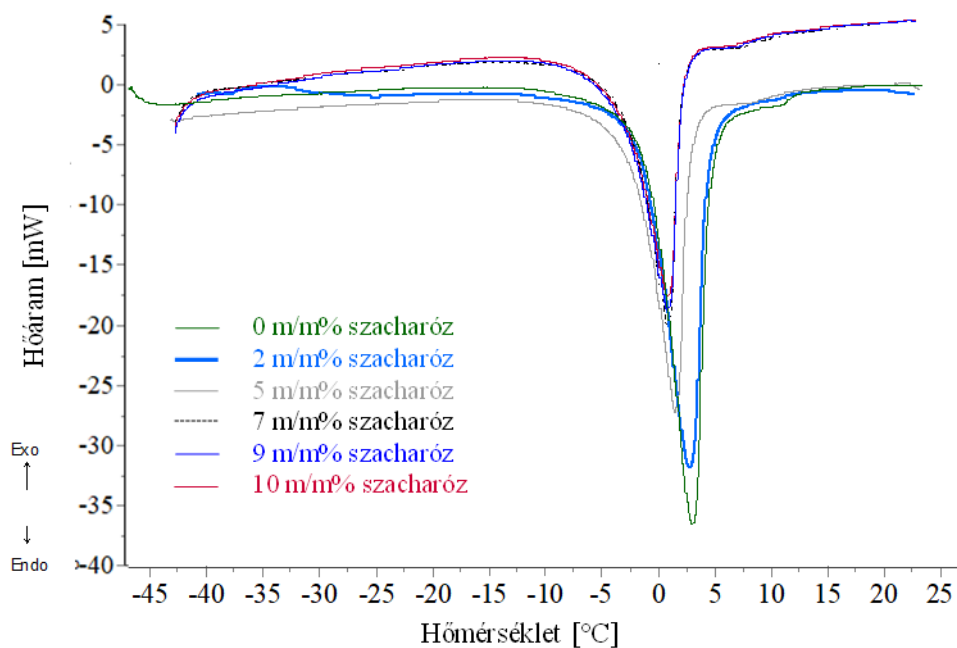


59. ábra: A különböző koncentrációban szacharózt tartalmazó és a kontroll tojássárgájale minták denaturációs entalpia (A) és denaturációs hőmérséklet (B) értékei fagyasztás előtt, illetve fagyasztva tárolást és felengedtetést követően

A friss kontroll tojássárgájale minta 5 m/m% vagy annál nagyobb szacharóz koncentrációval rendelkező minta denaturációs entalpia értéke szignifikánsan megváltozott, csökkent a denaturálható fehérje mennyisége a mintában (59. A ábra). A csökkenés mértéke azonban nem olyan nagymértékű, mint a konyhasóval történő dúsítást követően. 5 m/m% konyhasó hatására a denaturációs entalpia fagyasztást megelőzően 26%-kal csökkent, míg a szacharóz ugyanilyen koncentrációjának hatására 12%-kal. 10 m/m%-os koncentrációnál ezek az arányok 52 és 20%. A fagyasztás-felengedtetést követően szintén látható a csökkenés minden minta esetében.

A denaturációs hőmérséklet értékek esetében megfigyelhető, hogy a szacharóz hozzáadása is megnövelte a tojássárgája hőstabilitását, vagyis a denaturációs hőmérséklet értékek nagyobbak lettek szacharózzal történő dúsítást követően (59. B ábra). A szacharóz koncentrációjának növelésével a denaturációs hőmérséklet értéke is enyhén nőtt. A fagyasztást követően nem látható szignifikáns különbség a fagyasztás előtt kapott eredményekhez képest egyik minta esetében sem. A tojássárgája denaturációs hőmérsékletének növekedését szacharóz hozzáadásának hatására több tanulmányban is megállapították (FEI et al. 2021; PRIMACELLA et al. 2020). Ennek oka RAIKOS és munkatársai (2007) szerint az, hogy a szacharóz növeli a natív fehérjék hőstabilitását. A denaturációs hőmérséklet emelkedése is kisebb mértékű, mint a konyhasó hozzáadásának hatására bekövetkező hőmérsékletnövekedés.

A szacharózt tartalmazó minták esetében is megvizsgáltam, hogy hogyan változnak az olvadás során vizsgálható hőfizikai tulajdonságok.



60. ábra: Különböző szacharóz koncentrációjú tojássárgájale minták hőáramgörbéi -50 és 30°C közötti hőmérséklettartományban

8. táblázat: Különböző szacharóz koncentrációjú tojássárgájale minták hőfizikai tényezői

Szacharóz koncentráció [m/m%]	$T_{\text{olv}} [^{\circ}\text{C}]$	Olvadási entalpia [J/g]	Ki nem fagyasztható víztartalom [%]
0	$-2,79 \pm 0,26^{\text{d}}$	$131,67 \pm 3,79^{\text{c}}$	$12,37 \pm 2,52^{\text{a}}$
2	$-3,28 \pm 0,24^{\text{cd}}$	$125,83 \pm 5,46^{\text{bc}}$	$12,83 \pm 3,77^{\text{a}}$
5	$-4,65 \pm 0,33^{\text{c}}$	$119,00 \pm 9,17^{\text{abc}}$	$13,07 \pm 6,71^{\text{a}}$
7	$-4,71 \pm 0,25^{\text{b}}$	$112,86 \pm 4,47^{\text{ab}}$	$13,57 \pm 3,41^{\text{a}}$
9	$-5,05 \pm 0,24^{\text{ab}}$	$108,48 \pm 4,30^{\text{a}}$	$13,85 \pm 3,43^{\text{a}}$
10	$-6,02 \pm 0,23^{\text{a}}$	$104,74 \pm 3,64^{\text{a}}$	$14,68 \pm 2,97^{\text{a}}$

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

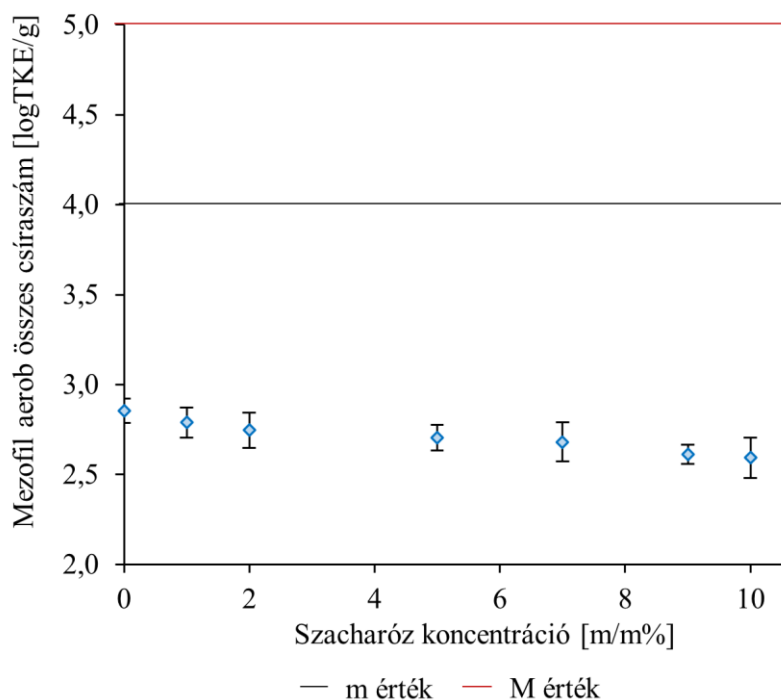
Az 60. ábrán megfigyelhető, hogy az alkalmazott koncentrációtartományban egyetlen csúcs jelenik meg a -50 és 30°C közötti hőmérséklettartományban. A görbék alakja alapvetően megegyezik, azonban 7 m/m%-os vagy annál nagyobb koncentráció alkalmazása esetén az alapvonal ferdesége figyelhető meg. A koncentráció növelésével csökken a görbe alatti terület, a 7 ; 9 és 10 m/m% szacharózt tartalmazó minták esetében a fázisátalakulás entalpiája szignifikánsan eltér a kontroll mintáétól (8. táblázat). A ki nem fagyasztható víztartalom értéke kismértékben nő, ebben az esetben nem látható szignifikáns különbség az értékek között. A szabad víz mennyiségének csökkenését figyelte meg PRIMACELLA és munkatársai (2018a) 5 és 10 m/m%-os szacharóz koncentrációk alkalmazása esetén. Ők azonban kutatásukban a kifagyasztható víztartalmat a szárazanyag-tartalomra vonatkoztatva közölték, ami a szacharóz hozzáadásával nő.

Az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete csökkenő tendenciát mutat a szacharóz koncentráció növelésével. A csökkenés mértéke nem olyan nagymértékű, mint a konyhasó esetében tapasztalt csökkenés. PRIMACELLA és munkatársai (2018a) a fázisváltozás csúcshőmérsékletét közölték

tanulmányukban, amely szintén ezt a tendenciát követte. JAAX és TRAVNICEK (1968) vizsgálatukban 6,5 m/m% fruktóz hatását vizsgálták a tojássárgája krioszkoos hőmérsékletére. Megállapították, hogy a fagyás hőmérséklete -3°C -ról $-4,5^{\circ}\text{C}$ -ra csökkent.

5.3.2.5. A tojássárgájale mezofil összes csíraszámának vizsgálata

A tojássárgájale minták mikrobaszáma a kísérletben a vonatkozó jogszabálynak megfelelő (4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet, 1998), ugyanis minden minta 10^4 TKE/g sejtszámnál kisebb értékkel rendelkezett (61. ábra).

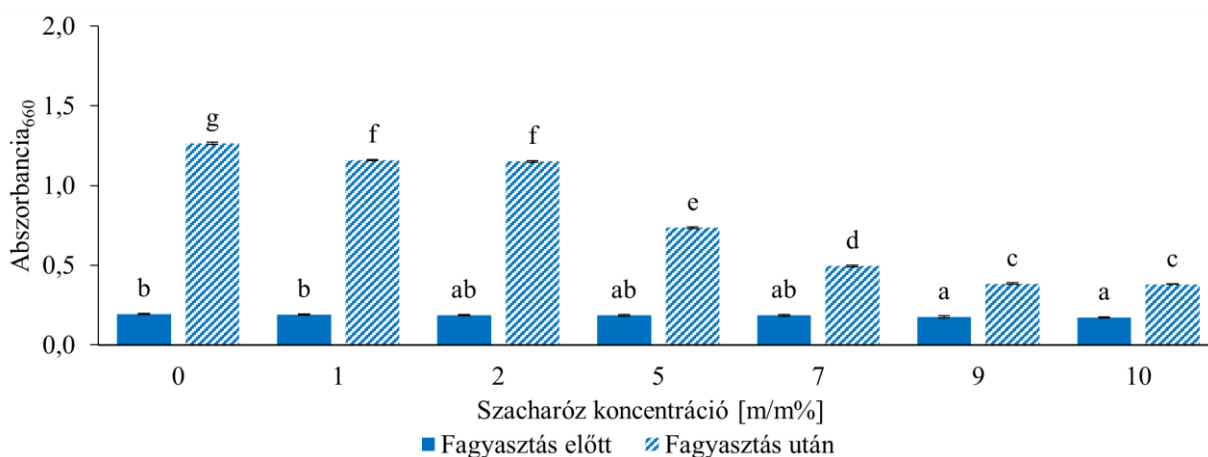


61. ábra: Különböző szacharóz koncentrációjú tojássárgájale minták mezofil összes csíraszám a 60 napig -24°C -on történő fagyasztást és felengedetést követően

Megfigyelhető, hogy a szacharóz hozzáadásának hatására tendenciózusan, azonban minimálisan csökkent a tojássárgájale mikrobaszáma. A kontroll mintáétól szignifikánsan csak a 10 m/m% szacharózt tartalmazó mikrobaszáma különbözött (M10 melléklet). A szacharóz a sóhoz hasonlóan szintén hidrofil összetevő, így csökkenti a mikroorganizmusok számára hozzáférhető víz mennyiségét (BARON és JAN 2011). 10 m/m% szacharóz hozzáadásának hatására a tojássárgája vízaktivitása 0,99-ről 0,98-ra csökken (PALUMBO et al. 1995). Látható, hogy 10 m/m% szacharóz nem csökkenti olyan nagy mértékben a vízaktivitást, mint 10 m/m% konyhasó.

5.3.2.6. A tojássárgájale turbiditásának vizsgálata

Az 62. ábra mutatja be a különböző szacharóz koncentrációjú friss és a fagyasztott-felengedetett tojássárgájalevek 660 nm-en mért optikai denzitását.



62. ábra: A tojássárgájale 660 nm-en mért optikai denzitásának változása szacharóz hozzáadásának, illetve a fagyasztva tárolás és felengedtetés hatására

A fagyasztás előtt kapott optikai denzitás eredmények alapján 9 és 10 m/m% szacharóz hozzáadása szignifikáns változást okozott a 660 nm-en mért abszorbancia értékben. Fagyasztást követően a sötét tartalmú mintához hasonlóan az 1 és 2 m/m%-os koncentrációjú minták esetében nagyon magas abszorbancia értékeket kaptam. A magasabb szacharóz koncentrációk nagyobb mértékű csökkenést okoztak az optikai denzitás értékében, a 9 és 10 m/m%-os minták között a statisztikai elemzés alapján nincs szignifikáns különbség. A kontroll mintához leghasonlóbb optikai denzitás értékkel fagyasztást követően a 9 és a 10 m/m% szacharózt tartalmazó minták rendelkeztek, tehát ezen koncentrációk bizonyultak a legmegfelelőbbnek a vizsgálat alapján.

5.3.2.7. A szacharóz hatásának összegzése tojássárgájale technofunkciós tulajdonságaira

Ebben a kísérletben megvizsgáltam a tojássárgája esetében krioprotektív anyagként alkalmazott szacharóz különböző koncentrációinak hatását. A tojássárgájale minták színe a szacharóz hozzáadásának hatására kisebb mértékben változott, mint a konyhasót tartalmazó mintáké. Megfigyeltem a világossági tényező és a sárga tényező kismértékű csökkenését, a szacharóz hozzáadásával tehát sötétebbé és fakóbbá váltak a minták. A fagyasztás hatására azonban megfigyelhető a minták világosodása, vörös színezetének erősödése, illetve a sárga színezet csökkenése. A fagyasztást megelőzően, illetve a fagyasztást követően mért színtényezők között számított szinkülönbség értékek alapján mindegyik minta színe „nagy” változáson ment keresztül a fagyasztás-felengedtetés hatására.

Megfigyeltem, hogy a szacharóz nem befolyásolta számottevően a tojássárgájale reológiai tulajdonságait. A fagyasztást követően kifejtette krioprotektív hatását, a szacharóz koncentráció növelésével egyre kisebb nyírófeszültség és konzisztencia koefficiens értéket kaptam. Azonban a folyáshatár értéke minden esetben megjelent fagyasztás-felengedtetést követően.

A hőfizikai tényezők közül a denaturációs entalpia csökkenését állapítottam meg a konyhasó esetében megfigyeltekkel megegyezően mind a szacharózzal végzett kezelés, mind az azt követő

fagyasztás hatására. A denaturációs hőmérséklet a konyhasóhoz hasonlóan nőtt a szacharóz hatására. Ezenkívül az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete csökkent, a ki nem fagyasztható víztartalom pedig nőtt. Ezek a változások mind megfigyelhetők a konyhasóval történő kezelés esetében is, ott azonban jóval intenzívebb változásokat tapasztaltam.

Megfigyeltem, hogy az összesíraszám tekintetében a kontroll mintáétól csak a 10 m/m% szacharózt tartalmazó tojássárgájale minta mikrobaszáma különbözött szignifikánsan. A szacharóz nem csökkenti olyan nagy mértékben a vízakivitást, mint a konyhasó, így a mikrobaszám csökkentő hatása sem olyan jelentős.

A 660 nm-en mért optikai denzitás mérés eredményei alapján elmondható, hogy a 9 és 10 m/m%-os szacharóz koncentráció alkalmazása esetén mérhető a kontroll mintához legjobban hasonlító eredmény. A 9 és 10 m/m%-os szacharóz koncentráció jelentősnek tekinthető, így limitálhatja a felhasználási területet, ugyanis egyes termékek esetében a tojássárgájával hozzáadott szacharóz mennyisége több, mint a termékben szükséges szacharózkoncentráció. A legtöbb szósznál, krémmnél és süteménynél azonban nem jelent valós problémát. Az általam elkészített modell majonéz 17,9 g / 100 g tojássárgáját tartalmaz, ami 10 m/m%-os szacharóz koncentráció esetén 1,8 g / 100 g cukrot jelent, a recept alapján a majonéz pedig 2,3 g / 100 g cukrot tartalmaz. A piacon kapható majonézek kevesebb, mint 8% tojássárgáját tartalmaznak, így elkészíthetők a 10 m/m% szacharózt tartalmazó tojássárgájából is a szacharóztartalmának figyelembevételével.

Kísérletem eredményei alapján elmondható, hogy az általam alkalmazott szacharóz koncentráció (1-10 m/m%) csökkenti a fagyasztás-felengedtetés során bekövetkező gélesedés mértékét. A koncentráció növelésével egyre csökkent a gélesedés mértéke, a kedvezőbb reológiai tulajdonságok elérése érdekében minimum 9 m/m%-os szacharóz koncentráció alkalmazása szükséges.

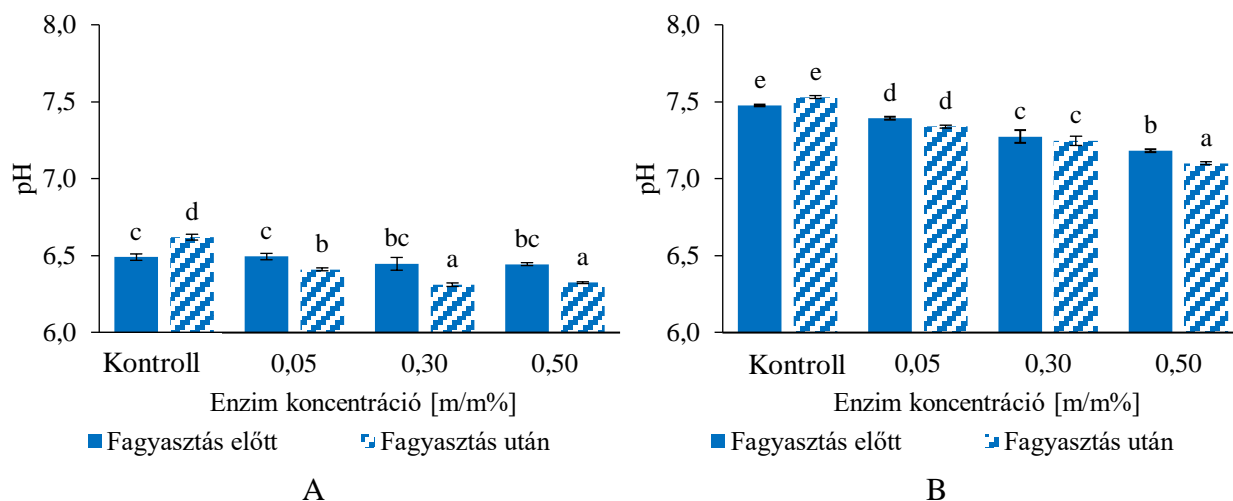
5.3.3. Aminopeptidáz aktivitású Flavorpro™ 750MDP enzimekészítmény krioprotektív hatásának vizsgálata tojássárgájálé és a teljes tojáslé esetében

Az enzimatis hidrolízis jól ismert módszer az élelmiszerfehérjék hozzáadott értékének növelésére fizikai és táplálkozási tulajdonságaik módosítása révén. A peptidkötések felbontása háromféleképpen változtathatja meg ezeket a tulajdonságokat: csökkentheti a molekulatömeget, növelheti az ionizálható csoportok számát és hidrofób csoportok expozícióját okozhatja. Az enzimatis hidrolízis javítja az élelmiszerfehérjék oldhatóságát széles pH-tartományban, illetve módosítja felületi vagy határfelületi tulajdonságaikat, ami elengedhetetlen például az emulziók és habok stabilizálásához (FOEGEDING és DAVIS 2011). A hidrolízis módosítja a fehérjék érzékszervi minőségét, az állomány és ízkiakító hatásukat, akár kedvezőtlenül is (TEMUSSI 2012). Emellett javítja az emészthetőséget és a tápanyagok biológiai hozzáférhetőségét, és egészségügyi előnyöket biztosít a bioaktív peptidok felszabadulása és az allergén potenciáljuk csökkentése révén (TAVANO 2013).

Kísérletemben egy aminopeptidáz aktivitású, kereskedelmi forgalomban kapható enzimekészítmény különböző koncentrációit alkalmaztam, hogy megvizsgáljam a tojássárgája és a teljes tojáslé fagyasztás során végbemenő állományváltozására gyakorolt hatását.

5.3.3.1. A tojáslevek pH-jának vizsgálata

Az alkalmazott aminopeptidáz enzimekészítmény, illetve a fagyasztás hatása a különböző tojáslevekre a 63. ábrán látható.



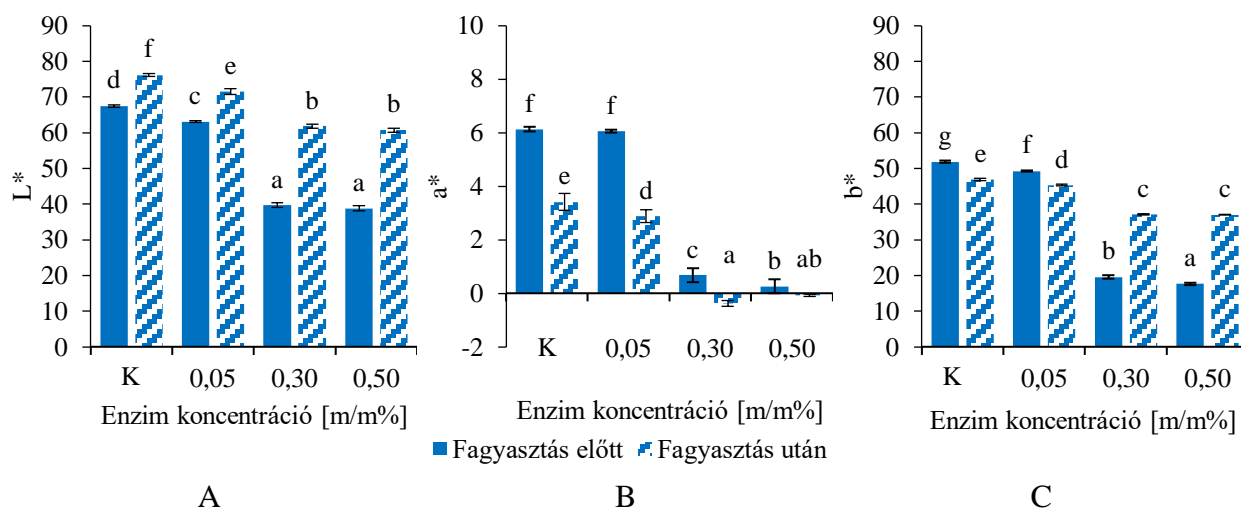
63. ábra: A tojássárgájálé (A) és a teljes tojáslé (B) pH-jának változása a különböző koncentrációjú enzimekezelés (Flavorpro™ 750 MDP) és a fagyasztás-felengedetetés hatására

Kísérletem eredményei alapján elmondható, hogy az aminopeptidáz enzimekészítménnyel történő kezelés csökkentette a tojássárgájálé és teljes tojáslé pH-ját is (63. ábra). A csökkenés mértéke azonban kizárólag a teljes tojáslé esetében volt szignifikáns. Ezenkívül megfigyelhető, hogy a fagyasztást követően a kontroll tojássárgájálé esetében nőtt a pH, azonban az enzimekezelt minták

pH-ja csökkent a fagyasztás-felengedetési folyamat során. A teljes tojáslé esetében csak a legnagyobb koncentrációjú (0,5 m/m%) enzimkezelés esetén látható szignifikáns változás, amely ebben az esetben is a pH csökkenését jelenti. GASSEM és FRANK (1991) szintén megfigyelték a proteázzal történő enzimkezelés hatására bekövetkező pH csökkenést joghurt minták esetében.

5.3.3.2. A tojáslevek színének vizsgálata

A 64. ábrán látható az alkalmazott enzimkezelés, illetve a fagyasztva tárolás hatása a tojássárgájale színére.



64. ábra: A tojássárgájale színtényezőinek (L^* (A), a^* (B) és b^* (C)) változása az enzimkezelés (FlavorproTM 750 MDP) és a fagyasztás-felengedetés hatására (K-kontroll minta)

Az enzimkezelés hatására szignifikáns változás figyelhető meg a tojássárgájale minden színtényezőjének értékében (64. ábra). Látható, hogy az enzimkezelést követően a tojássárgájale színe egyértelműen sötétebb lett, amely főként a 0,3 és 0,5 m/m%-ban alkalmazott enzimkoncentrációknál figyelhető meg (64. A ábra). A 0,3 m/m% koncentrációjú enzimkezelés hatására 42%-os csökkenés figyelhető meg a tojássárgájale világossági tényező értékében, ami megegyezik az 1 m/m%-os NaCl alkalmazásának hatására történő változás mértékével. Érdekes azonban megjegyezni, hogy az enzimkoncentráció 0,3 m/m%-ról 0,5 m/m%-ra növelésének hatására nem sötétedett tovább a tojássárgájale színe. A fagyasztást-felengedetést követően megfigyelhető, hogy a nagyobb enzimkoncentrációkkal kezelt minták jóval nagyobb mértékben világosodtak, mint a kontroll, illetve a legkisebb koncentrációval kezelt tojássárgájale esetében. A fagyasztás után vizsgált minták világossági tényezői 6-7 értékkel alacsonyabbak, mint a kontroll, nem fagyasztott mintáé.

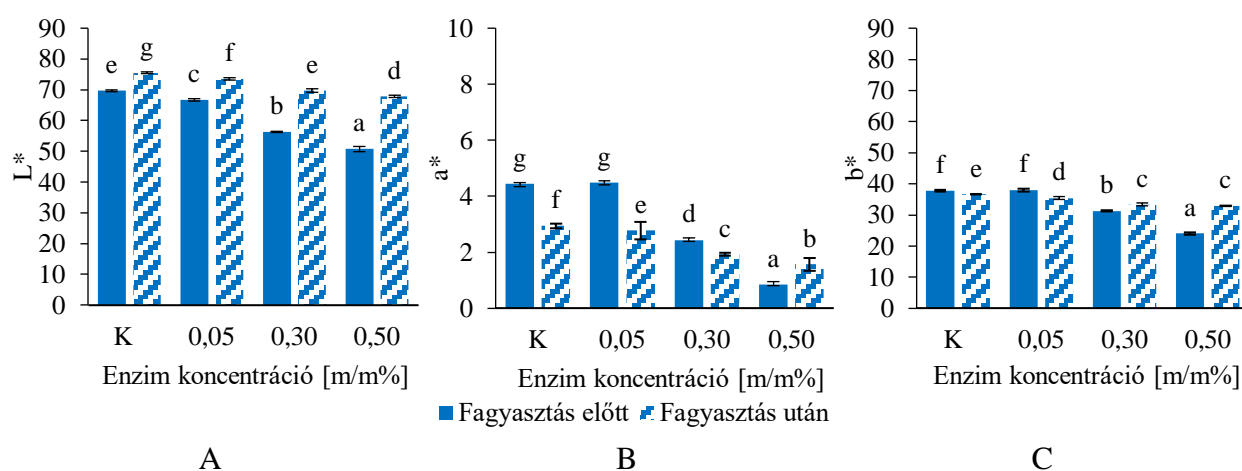
A vörös-zöld színtényező a 0,05 m/m%-os enzim koncentráció hatására nem változott, azonban erőteljes csökkenés látható a 0,3, illetve a 0,5 m/m%-os koncentrációk esetében (64. B ábra). A változás mértéke hasonlóan drasztikus, mint a konyhasóval történő kezelés hatására bekövetkező. 1-10 m/m% NaCl hatására a tojássárgájale kiindulási a^* értéke 11,3-ról 1-4 közötti értékre

csökkent, az enzimkezelés hatására pedig a kiindulási 6,1-es értékről 0,2-0,7-re. A fagyasztás-felengedtetési folyamatot követően megfigyelhető, hogy a vörös színtényező minden minta esetében csökken, a 0,3 és 0,5 m/m%-os enzimkoncentrációval kezelt mintáknál a fagyasztás előtti nagyon enyhe sárga színezet nagyon enyhe zöld színezetté változott.

A sárga színtényező értékében szintén szignifikáns csökkenés látható minden alkalmazott enzimkoncentráció esetében (64. C ábra). A 0,3 és 0,5 m/m%-os koncentrációk hatása jelentős mértékben csökkentette a sárga színezetet. A fagyasztást követően azonban különböző tendencia figyelhető meg a kontroll és a 0,3 m/m% enzimkoncentrációval kezelt, illetve a nagyobb koncentrációkkal kezelt minták között. Amíg az előbbi csoport esetében csökkent a sárga színezet, a nagyobb enzimkoncentrációjú (0,3 és 0,5 m/m%) minták esetében erősödött a sárga színezet a fagyasztás-felengedtetés során. A fagyasztás-felengedtetés hatására megnövekedett sárga színezet kisebb, mint a kontroll, nem fagyasztott mintáé.

Az enzimkezelés és a fagyasztás hatására bekövetkező színváltozások nagyságának szemléltetésére az M15 mellékletben helyeztem el a számolt színkülönbség értékeket. A legkisebb koncentrációban alkalmazott enzimkezelés „jól látható” különbséget okozott a kontroll tojássárgájáé mintához viszonyítva, míg a két nagyobb koncentrációnál 40 feletti ΔE^* értékeket kaptam a kontrollhoz viszonyítva, ami megközelítőleg megfelel a sózás hatására bekövetkező változásnak, ahol az 1-10 m/m%-os koncentráció hatására 33-46 közötti értékeket kaptam. A hatalmas különbségekért az L^* , a^* és b^* tényezők megváltozása is felelős. A minták fagyasztás előtt és után vizsgált színe közötti színkülönbség értékek a kontroll és a 0,05 m/m%-os minta esetében a „nagy” kategóriába sorolhatók, a két magasabb enzimkoncentrációjú minta színében pedig ismét kimagaslóan nagy színváltozás következett be.

A 65. ábrán látható az alkalmazott enzimkezelés, illetve a fagyasztva tárolás hatása a teljes tojáslé színére.



65. ábra: A teljes tojáslé színtényezőinek (L^* (A), a^* (B) és b^* (C)) változása a különböző koncentrációjú enzimkezelés (Flavorpro™ 750 MDP) és a fagyasztás-felengedtetés hatására

A teljes tojáslé mintáknál is megfigyelhető az enzimkezelés hatására a csökkenő tendencia minden színtényező esetében (65. ábra), a világossági tényező értékében már a 0,03 m/m%-os enzimkoncentráció is szignifikáns különbséget okozott (65. A ábra). A vörös-zöld (65. B ábra), illetve a sárga-kék színtényezőknél (65. C ábra) pedig a 0,3 és 0,5 m/m%-os koncentrációk esetében látható szignifikáns különbség a kontroll mintához képest. A fagyasztást követően a világossági tényező minden esetben nőtt, a 0,3 m/m%-os koncentrációval enzimkezelt minta világossági tényezője nem különbözik szignifikánsan a friss kontroll mintáétól. A vörös színtényező a kontroll minta esetén, illetve a 0,05 és 0,3 m/m%-os koncentrációjú mintánál csökkent, azonban a 0,5%-os mintánál növekedés látható. A sárga színtényező esetében pedig ugyanaz a tendencia figyelhető meg, mint a tojássárgájánál. A kontroll és a 0,05 m/m%-os koncentrációjú minták esetében csökkent a sárga színezet, a nagyobb enzimkoncentrációjú (0,3 és 0,5 m/m%) minták esetében erősödött a sárga színezet a fagyasztás-felengedtetés során. A fagyasztás-felengedtetés hatására megnövekedett sárga színezet kisebb, mint a kontroll, nem fagyasztott mintáé.

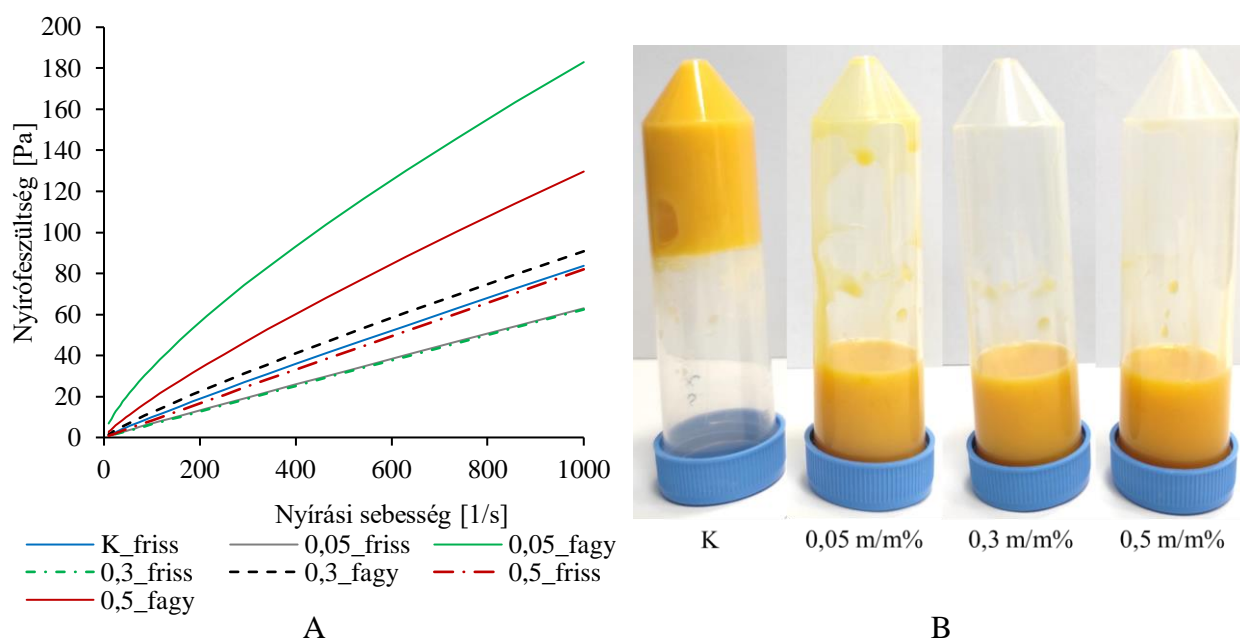
Az M15 mellékletben láthatóak a teljes tojáslevekre vonatkozó színkülönbség értékek is. Hasonló tendencia figyelhető meg, mint a tojássárgájale esetében, azonban a különbség értékek kisebbek. A 0,05 m/m%-kal enzimkezelt teljes tojáslé színe és a kontroll minta között „észrevehető” különbség látható, a 0,3 és 0,5 m/m%-os minták pedig ismét a „nagy” kategórián felüli színkülönbség érték látható a kontroll mintához képest. A fagyasztás hatására a kontroll, illetve a legkisebb alkalmazott enzimkoncentrációjú minta színében „nagy” különbség keletkezett, míg a nagyobb enzimkoncentrációkkal kezelt minták színe a „nagy” kategóriánál is nagyobb színkülönbség értékekkel rendelkezett.

5.3.3.3. A tojáslevek reológiai tulajdonságainak vizsgálata

A tojássárgája gélesedésének szempontjából kiemelkedő fontossággal bír az enzimkezelés reológiai tulajdonságokra gyakorolt hatásának vizsgálata, amelynek eredményeit a 66. ábra, az M16 és az M17 melléklet szemlélteti.

Az enzimkezelést követően, illetve a fagyasztás-felengedtetés után felvett folyásgörbék a 66. A ábrán láthatóak. Az ábrán nem szerepel a kontroll minta fagyasztást követően felvett folyásgörbéje azért, hogy jobban kivehetőek legyenek a különbségek a különböző koncentrációban alkalmazott enzimkezelés eredményei között. Az enzimkezelés hatására a tojássárgája nyírása során ébredő nyírófeszültség értéke csökkent, ezért a Herschel-Bulkley modell illesztésével kapott konzisztencia koefficiens érték is csökkent. Emellett megjelent egy minimális folyáshatár érték, illetve a folyásindex nőtt. Az enzimkezelt minták hasonlóan viselkedtek, mint a newtoni

folyadékok. Ez a tendencia a szacharóz alkalmazásánál is megfigyelhető, azonban az enzimkezelt mintáknál nagyobb mértékű a változás az enzimkezelést követően.

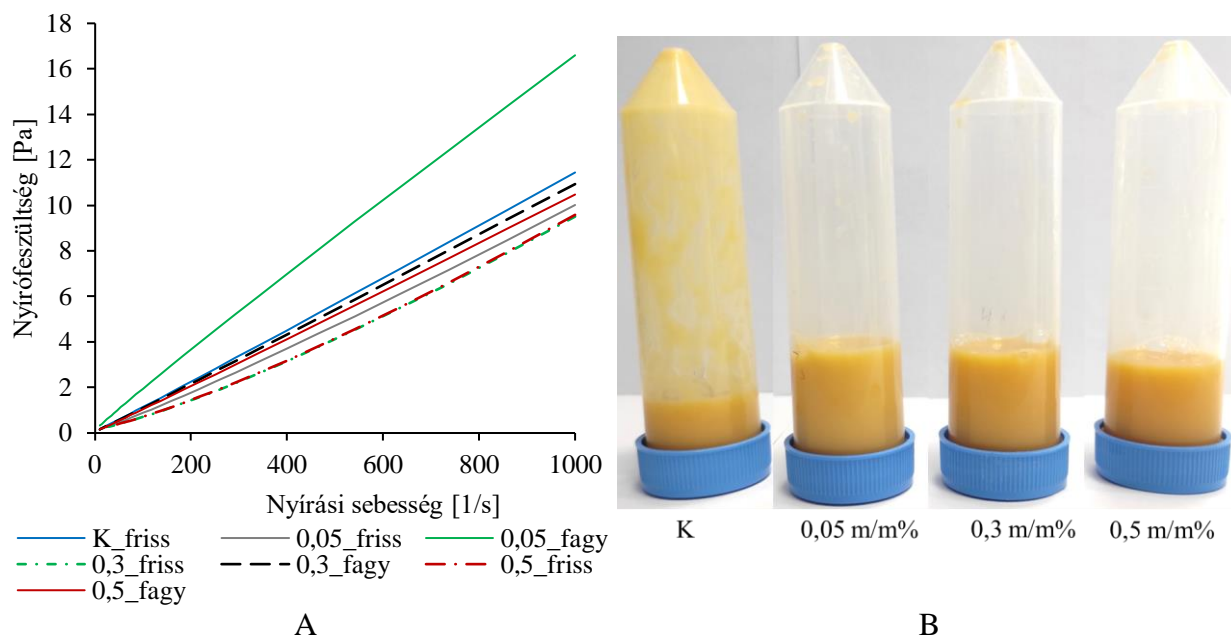


66. ábra: Különböző koncentrációjú enzimmel (FlavorproTM 750 MDP) kezelt friss és fagyasztott-felengedett, illetve friss kontroll tojássárgájale minták folyásgörbéi (A) és a fagyasztott-felengedett minták (B)

A fagyasztás-felengedtetést követően az enzimkezelt minták reológiai tulajdonságai a nem fagyasztott kontroll mintához hasonlóak voltak. A legkisebb nyírófeszültség értékekkel a 0,3 m/m%-os koncentrációjú enzimkészítménnyel kezelt rendelkezett, ennél valamivel magasabbal a 0,5 m/m% koncentrációjú, majd a 0,05 m/m%-os minta. Ez alapján az enzimkészítmény alkalmazásának a konyhasó alkalmazásához hasonlóan optimális értéke, vagy legalábbis optimális tartománya van, amely 0,3 m/m%-hoz közeli. Megfigyelhető, hogy a 0,3 m/m% enzim koncentrációjú minta esetében a folyáshatár értéke 0 Pa, konzisztencia koefficiense, illetve folyásindexe pedig nagyon közeli a friss kontroll mintához, azonban a statisztikai elemzés alapján szignifikáns különbség van közöttük. A 66. B ábrán látható, hogy az enzimkezelt minták a centrifugacsövek megfordítását követően folytak.

Ha összehasonlítjuk az enzimkezelt mintákat a szacharózzal, illetve a konyhasóval kezelt mintákkal, egyértelmű, hogy még a 0,05 m/m%-os koncentrációban enzimmel kezelt minta reológiai tulajdonságai is jobban hasonlítanak a friss, kontroll mintához, mint a két krioprotektív hatású anyag esetében a legkedvezőbb koncentrációk. A konyhasó, a szacharóz, illetve az alkalmazott enzim hatásmechanizmusa teljesen eltérő. Az enzimatis hidrolízis a fehérjék méretének csökkentése által rontja a fehérjék gélesedési képességét (DAMRONGSAKKUL et al. 2008).

A teljes tojáslé minták reológiai tulajdonságainak alakulását az enzimkezelés, illetve a fagyasztás-felengedtetés során a 67. A ábra és az M18 mellékletben elhelyezett táblázat tartalmazza.



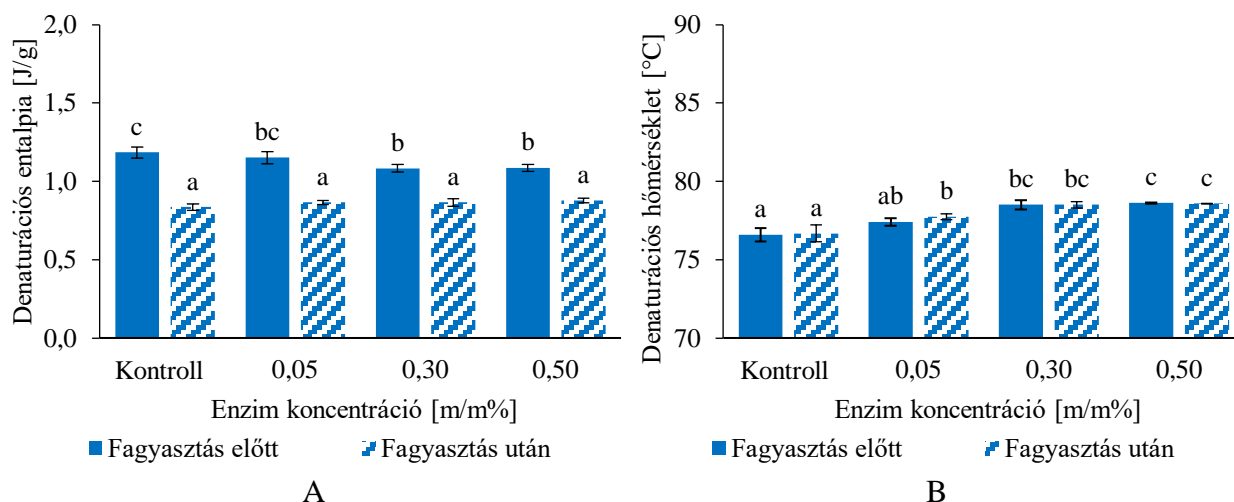
67. ábra: Különböző koncentrációjú enzimmel (*FlavorproTM 750 MDP*) kezelt friss és fagyasztott-felengedtetett, illetve friss kontroll teljes tojáslé minták folyásgörbéi (A) és a fagyasztott-felengedtetett minták (B)

A fagyasztott kontroll minta folyásgörbéjét ebben az esetben sem ábrázoltam a 67. A ábrán az átláthatóbb szemléltetés érdekében. Megfigyelhető, hogy az enzimkezelés hatására kismértékben csökkent a nyírófeszültség és a konzisztencia koefficiens, illetve nőtt a minimális értékű folyáshatár értéke. A minták folyásindexének növekedése alapján a kezelt minták reológiai viselkedése kevésbé hasonlított a newtoni folyadékokhoz, inkább dilatációs reológiai viselkedéssel rendelkeztek. A fagyasztás-felengedtetést követően a kontroll minta esetén a 2. kísérletben tapasztaltakhoz hasonlóan megfigyelhető a reológiai tulajdonságok megváltozása. Ahogy a 67. B ábrán látható, a kontroll teljes tojáslé minta szerkezete megváltozott, inhomogénné és viszkózusabbá vált a bekövetkező aggregációnak köszönhetően.

Az enzimkezelés az alkalmazott koncentrációk mindegyikében megelőzte a bekövetkező aggregációt, ami a fényképen, illetve a Herschel-Bulkley paraméterek alapján is egyértelműen megfigyelhető (67. B ábra és M18 melléklet). A 0,3, illetve a 0,5 m/m%-os enzimkoncentrációval kezelt teljes tojáslé minták Herschel-Bulkley paraméterei nem különböznek szignifikánsan a kontroll, nem fagyasztott tojáslé paramétereitől. A túlzott enzimhasználat gazdasági megfontolásból elkerülendő, ezért a teljes tojáslé esetében a 0,3 m/m%-os enzimkoncentráció alkalmazása elegendő.

5.3.3.4. A tojássárgáják hőfizikai tulajdonságainak vizsgálata

A tojássárgájale fehérjéinek denaturálásához szükséges entalpia értékében szignifikáns változás következett be az enzimkezelés hatására (68. ábra).



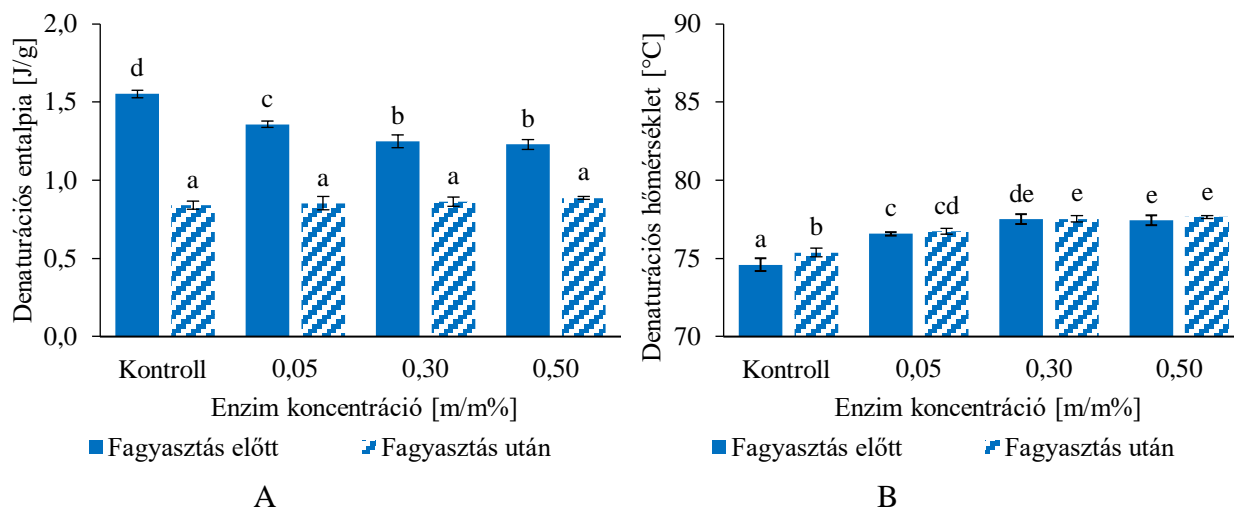
68. ábra: A tojássárgájale denaturációs entalpiájának (A) és denaturációs hőmérsékletének (B) változása az alkalmazott enzimkezelés (FlavorproTM 750 MDP) és a fagyasztás-felengedtetés hatására

A 0,3 és 0,5 m/m%-os enzimkezelést követően csökkent a denaturálható fehérjék mennyisége a mintában. A denaturációs entalpia csökkenését figyelték meg MA és munkatársai (2021) is a tojássárgájale proteázzal történő kezelését követően. Ha összehasonlítjuk az enzimkezelt minták entalpia értékeit a konyhasó, illetve a szacharóz hozzáadása után kapott értékekkel, megállapítható, hogy a 0,3 és a 0,5 m/m%-os enzimkoncentráció hatására körülbelül olyan mértékben csökkent a denaturálható fehérjék mennyisége, mint 2 m/m% konyhasóval vagy 2 m/m% szacharózzal végzett kezelés hatására. A fagyasztást követően megfigyelhető, hogy mind a kontroll, mind az enzimkezelt minták esetében csökkent a denaturációs entalpia, a fagyasztás után a különböző minták denaturálható fehérje mennyisége azonban nem különbözik egymástól szignifikánsan. Az enzimkezelt fagyasztott-felengedtetett minták denaturációs entalpia értéke 27%-kal kisebb, mint a friss kontroll mintáé, amely körülbelül megfelel a kontroll minta esetében bekövetkező változásnak.

A denaturációs hőmérséklet értéke szintén a két nagyobb enzimkoncentráció alkalmazásával változott szignifikánsan. A denaturációs hőmérséklet magasabb értéket vett fel ezeknél a mintáknál, ami azt jelenti, hogy enyhén hőstabilabbá váltak a tojássárgájale fehérjéi. MA és munkatársai (2021) is megfigyelték, hogy a proteázzal kezelt tojássárgája denaturációs hőmérséklete magasabb, mint a kontroll, nem fagyasztott mintáé. A fagyasztás azonban egyik minta denaturációs hőmérsékletére sem gyakorolt szignifikáns hatást. A kísérletben megfigyelhető, hogy koncentrációtól függően 1-2°C-ot növekedett a denaturációs hőmérséklet,

azonban a konyhasó hozzáadására tapasztalt változáshoz képest (1-10°C) ez az emelkedés jóval kisebb mértékű.

A teljes tojáslé esetében hasonló tendencia figyelhető meg a denaturációs paraméterekben, mint a tojássárgájale vizsgálatánál (69. ábra).



69. ábra: A teljes tojáslé denaturációs entalpiájának (A) és denaturációs hőmérsékletének (B) változása az alkalmazott enzimkezelés (Flavorpro™ 750 MDP) és a fagyasztás-felengedtetés hatására

A denaturációs entalpia és denaturációs hőmérséklet értékek is szignifikánsan változtak az enzimkezelés hatására. A denaturációs entalpia értékek csökkentek az enzimkezelést követően, amíg a denaturációs hőmérséklet értékek nőttek a tojássárgájalenél megfigyeltékhez hasonlóan. A 0,3 és 0,5 m/m% enzim koncentrációval kezelt minták között egyik tényezőben sem látható szignifikáns különbség a statisztikai elemzés eredményei alapján. A fagyasztást követően a denaturációs entalpia csökkent, azonban az egyes minták között nem látható szignifikáns különbség. A denaturációs hőmérsékletnél szignifikáns különbség kizárólag a nem enzimkezelt minta esetén látható.

Ahogy az M19 mellékletben látható, a szacharózzal végzett kezeléshez hasonlóan az enzimkezelés sem változtatta meg a tojássárgájale olvadási fázisváltozása során felvett hőáramgörbe alakját. Ugyanez mondható el a teljes tojáslé mintáról is (M20 melléklet). Egy jól kivehető csúcs rajzolódott ki minden minta esetén. A fázisváltozás hőmérséklete eltolódott az enzimkezelés hatására. A 10. táblázatban látható, hogy az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete mindkét tojáslé esetében csökkent az enzimkezelt mintában. A bekövetkező csökkenés a tojássárgájale esetében az 5 m/m% szacharóz hatására bekövetkező csökkenéssel egyenértékű és elmarad a legkisebb vizsgált konyhasó koncentráció hatására bekövetkező változástól. A ki nem fagyasztható víztartalom értékek esetén ebben a kísérletben sem figyelhető meg szignifikáns különbség a nagy szórás értékek miatt, azonban a növekvő tendencia megfigyelhető mindkét tojáslé esetében. A tojássárgájale esetében ismét 12% körüli a ki nem fagyasztható víztartalom a nem enzimkezelt

minta esetében, ami a PHAM (1987) által számolt 11,6 értékhez nagyon hasonló. A nem enzimekelt teljes tojáslé ki nem fagyasztható víztartalma a tojássárgájától alacsonyabb, 8% körüli. Ez megfelel a PHAM (1987) által számoltaknak, ugyanis számításai szerint a tojásfehérjé ki nem fagyasztható víztartalma 3,0%.

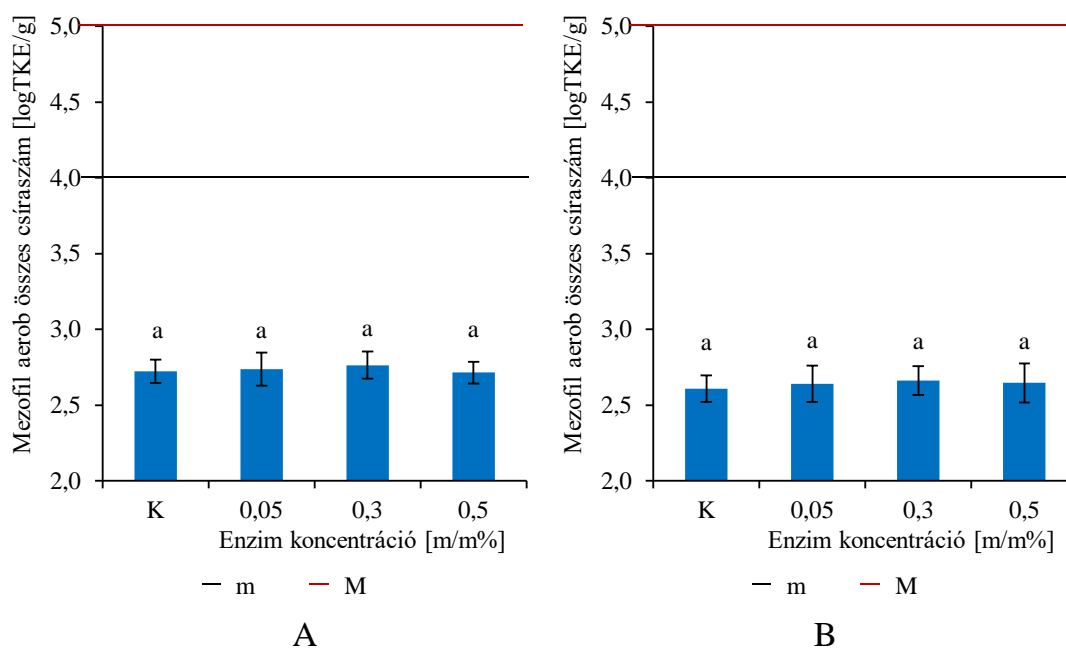
10. táblázat: A kontroll, illetve enzimekelt (*Flavorpro*TM 750MDP) tojássárgájale és teljes tojáslé hőfizikai paramétere

Enzim koncentráció [m/m%]	T _{olv} [°C]	Olvasás entalpiája [J/g]	Ki nem fagyasztható víztartalom [%]
Tojássárgájale			
0	-3,15 ± 0,34 ^c	133,29 ± 3,76 ^a	11,67 ± 2,49 ^a
0,05	-3,27 ± 0,42 ^c	133,48 ± 2,45 ^a	11,17 ± 1,57 ^a
0,3	-5,42 ± 0,33 ^b	130,61 ± 2,51 ^a	15,00 ± 1,63 ^a
0,5	-6,26 ± 0,20 ^a	128,53 ± 4,60 ^a	16,35 ± 3,00 ^a
Teljes tojáslé			
0	-3,50 ± 0,19 ^a	193,52 ± 5,88 ^a	8,23 ± 2,79 ^a
0,05	-3,54 ± 0,28 ^a	192,12 ± 4,27 ^a	8,94 ± 1,97 ^a
0,3	-3,92 ± 0,15 ^{ab}	181,83 ± 6,26 ^a	14,83 ± 2,93 ^a
0,5	-4,36 ± 0,29 ^b	185,18 ± 6,15 ^a	13,33 ± 2,88 ^a

* Szignifikáns különbség a kontroll és az enzimekelt minta között ($p < 0,05$)

5.3.3.5. A tojáslevek mezofil összes csíraszámának vizsgálata

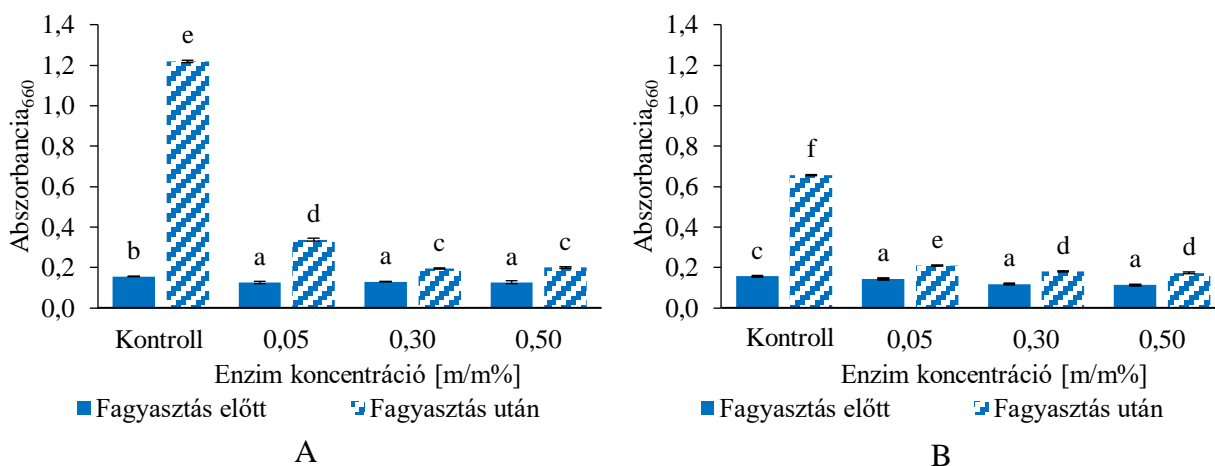
A tojássárgájale és teljes tojáslé minták mikrobaszáma a kísérletben a vonatkozó jogszabálynak megfelelő (4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet, 1998), ugyanis minden minta 10⁴ TKE/g sejtszámnál kisebb értékkel rendelkezett (70. ábra). Az enzimekelt hatására egyik minta esetében sem változott szignifikánsan a mezofil összes csíraszám.



70. ábra: Enzimekelt (*Flavorpro*TM 750MDP tojássárgájale (A) és teljes tojáslé B) minták mezofil összes csíraszám a 60 napig -24°C-on történő fagyasztást és felengedtetést követően

5.3.3.6. A tojássárgájék turbiditásának vizsgálata

Mind a tojássárgájálé, mind a teljes tojáslé minták esetében vizsgáltam a 10 m/m%-os NaCl oldattal hígított minta 660 nm-en mért abszorbanciáját.



71. ábra: A tojássárgájálé (A) és a teljes tojáslé (B) 660 nm-en mért optikai denzitásának változása a különböző koncentrációjú enzimkezelés (FlavorproTM 750 MDP) és a fagyasztás-felengedtetés hatására. ^{a,b,c,d,e} A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek egy-egy tojáslé esetében ($p < 0,05$)

Megfigyelhető, hogy az enzimkezelés hatására mind a két minta optikai denzitása csökkent (71. A és B ábra). Ez annak köszönhető, hogy az enzimkezelés hatására feldarabolódtak a mintákban található fehérjék. WATANABE és munkatársai (2021) tézisa főzővizén végzett vizsgálataik során megállapították, hogy proteáz enzimmel végzett kezelés hatására csökken a főzővíz turbiditása.

Megállapítható, hogy a kontroll minta optikai denzitása mind a két tojáslé esetében nagymértékben nőtt. A növekedés hátterében az áll, hogy a fagyasztás okozta károsodás hatására aggregálódtak a tojáslevekben található fehérjék (WANG et al. 2020). Ezzel szemben az enzimkezelést követően nem látható olyan nagymértékű optikai denzitás növekedés, ugyanis az enzimkezelés megakadályozta a nagymértékű aggregációt. Az optikai denzitás mérés eredményei összecsengenek a reológiai tulajdonságokkal, ugyanis a 0,3 és 0,5 m/m%-os enzim koncentrációval kezelt minták esetében bizonyult a legkisebbnek az optikai denzitás, így a fehérjék aggregációjának mértéke.

5.3.3.7. Az enzimkezelés hatásának összegzése tojássárgájálé technofunkciós tulajdonságaira

Ebben a kísérletben egy kereskedelmi forgalomban kapható aminopeptidáz aktivitású proteáz enzimmészítményt alkalmaztam a tojássárgájára, illetve a teljes tojáslé esetében fagyasztás során végbemenő aggregáció megakadályozására. Kísérletemben megállapítottam, hogy az enzimkezelés szignifikáns változást okozott a teljes tojáslé pH-jában, csökkenő tendencia látható

az enzimkoncentráció növelésének hatására. Ezenkívül a kontroll mintákkal ellentétben megfigyelhető, hogy az enzimkezelt minták pH-ja csökken a fagyasztás-felengedtetés során.

Megfigyeltem, hogy az alkalmazott enzimkezelés hatására mindkét tojáslé színe sötétebb lett, illetve veszítettek vörös és sárga színezetükből. A színtényezők változása főként a két nagyobb koncentráció (0,3 és 0,5 m/m%) esetén számottevő. A fagyasztás-felengedtetés hatására azonban a világossági tényező és a sárga-kék színtényező értékek nőttek, amellyel ismét közelebb kerültek a friss tojáslevek színéhez.

A reológiai tulajdonságok vizsgálata során megállapítottam, hogy a szacharóz hozzáadásánál megfigyelt tendenciák következnek be az enzimkezelést követően is, azonban ebben az esetben nagyobb mértékű változásokat tapasztaltam. Az enzimkezelés hatására mindkét tojáslé nyírása során ébredő nyírófeszültség értéke csökkent, ezért a Herschel-Bulkley modell illesztésével kapott konzisztencia koefficiens érték is csökkent. Emellett megjelent egy minimális folyáshatár érték. Az enzimkezelt tojássárgája minták hasonlóan viselkedtek, mint a newtoni folyadékok, míg a teljes tojáslé minták dilatációs viselkedést vettek fel. A fagyasztás-felengedtetést követően az enzimkezelt minták reológiai tulajdonságai mind a két tojáslé esetében a friss tojáslé mintákhoz hasonlóak voltak. A legkisebb nyírófeszültség értékekkel a 0,3 m/m%-os koncentrációjú enzimkészítménnyel kezelt minták rendelkeztek. Egyértelműen megállapítható, hogy a fagyasztás-felengedtetés során a tojássárgája esetében végbemenő gélesedés mértékének csökkentésére a legalkalmasabbnak az enzimkezelés bizonyult. Emellett az enzimkezelt fagyasztott-felengedtetett teljes tojáslé állománya is nagyon hasonló a friss mintáéhoz.

A denaturálható fehérjék mennyisége szignifikánsan változott az enzimkezelés és a fagyasztás hatására is mindkét tojáslé esetében. Az optimális koncentrációjú enzimkezelés (0,3 m/m%) hatására azonban kisebb csökkenés következett be, mint a szacharóz, illetve a konyhasó esetében a megfelelő koncentrációk hozzáadásának hatására.

Az olvadási tulajdonságok vizsgálatánál megfigyelhető, hogy az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete csökkent az enzimkezelés hatására. A bekövetkező csökkenés a tojássárgájale esetében az 5 m/m% szacharóz hatására bekövetkező csökkenéssel egyenértékű és elmarad a legkisebb vizsgált konyhasó koncentráció hatására bekövetkező változástól.

Az optikai denzitás értékekben az enzimkezelést követően nem látható olyan nagymértékű növekedés, mint a kontroll minta esetében, ugyanis az enzimkezelés megakadályozta a nagymértékű aggregációt. Az optikai denzitás eredmények összecsengenek a reológiai tulajdonságokkal, ugyanis a 0,3 és 0,5 m/m%-os enzimkoncentrációval kezelt minták esetében bizonyult a legkisebbnek az optikai denzitás, így a fehérjék aggregációjának mértéke is.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Doktori dolgozatom 3 részében vizsgáltam a fagyasztás hatását a tojáslevek különböző tulajdonságaira. Elsőként megvizsgáltam a folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás hatását a tojássárgájale esetében. Vizsgálataim során megfigyeltem, hogy már a fagyasztást követő 1. napon is szignifikáns változás következett be a reológiai tulajdonságokban. Vizsgálataim eredményei a fellelhető korai publikációk eredményeinek, miszerint a kriogén fagyasztással nagymértékben csökkenthető a tojássárgájale gélesedése, ellentmondanak. A reológiai tulajdonságokon kívül szignifikáns változást tapasztaltam a denaturációs entalpiában, illetve a tojássárgájale színe is megváltozott. A kriogén fagyasztás hatására csökkent a denaturálható fehérje mennyisége, illetve a tojássárgájale színe nagymértékben világosodott. A fagyasztva tárolás során ezek a változások erősödtek, a tojássárgájale minták világosabbá váltak, a folyáshatár egyre nagyobb értéket vett fel, a denaturációs entalpia pedig csökkent. Azonban megfigyelhető, hogy a legtöbb tulajdonság a tárolási időszak első részében (1-14. napig) változott a legnagyobb mértékben. Méréseim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás nem jelent megoldást a tojássárgájale esetében a fagyasztás során bekövetkező gélesedés megakadályozására.

A következő kísérletben vizsgáltam az ipari gyakorlatban könnyedén alkalmazható, teremfagyasztás módszerét imitáló, lassú fagyasztás hatását különböző tojáslevek esetében. A fagyasztást -24°C -on, a felengedtetést pedig 4°C -on végeztem. A tojásfehérjelé esetében megfigyeltem, hogy a fagyasztás és fagyasztva tárolás során bekövetkezik a minta világosodása. A reológiai tulajdonságok nem változtak, a denaturálható fehérjék mennyisége csökkent. A felhasználhatóság vizsgálata során megállapítottam, hogy a stabil habbá vert tojásfehérjeléből a fagyasztást követő 30. naptól több folyadék válik ki, tehát a habstabilitása kismértékben csökken. Vizsgálataim alapján megállapítottam, hogy a tojásfehérjelé fagyasztása kivitelezhető. Az ipari gyakorlatban a szeparált tojásfehérjeléből gyakran ugyanannyit használnak, mint a tojássárgájaleből. Mivel a tojásban a tojásfehérje aránya kb. $2/3$, könnyen belátható, hogy a tojásfehérjeléből „felesleg” képződik. Ezt a tojásfehérjelé mennyiséget fagyasztással hosszabb ideig eltarthatóvá lehet tenni.

A tojássárgájale esetében hasonló tendenciákat figyeltem meg a lassú fagyasztás esetében, mint a folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztásnál. A minták világosabbá váltak, illetve a reológiai tulajdonságok nagymértékben változtak, a tojássárgája gélesedésen ment keresztül. A tojássárgájaleből készült majonéz szilárdabbnak és viszkózusabbnak bizonyult, illetve megnövekedett a konzisztencia és a kohézió értéke is, amennyiben fagyasztott tojássárgájából készült. A fagyasztás során végbemenő aggregáció mértékét azonban szemléletesebben mutatta be

a spektrofotométerrel vizsgált optikai denzitás, amely jelentősen megnő a fagyasztott tojássárgájale esetében. A teljes tojásle színe fakult, illetve világosodott a fagyasztás hatására és vízszerű, átlátszó halványsárga folyadék vált ki belőle, amely alapos keverést követően darabossá vált. Ennek köszönhetően a reológiai tulajdonságai is nagymértékben változtak. A teljes tojásleből készült piskóta keményebb és gumisabb lett, amennyiben fagyasztott tojáslevet tartalmazott, a rugalmassága és a kohézió értéke azonban csökkent. Kísérleteim során arra a következtetésre jutottam, hogy a teljes tojásle és a tojássárgájale esetében bekövetkező reológiai változások hatására a felhasználhatóságuk nagymértékben romlott, így a fagyasztás során valamilyen kezelés szükséges.

A következő két kísérletben a konyhasó és a szacharóz hatását vizsgáltam a tojássárgájale fagyasztása során bekövetkező gélesedés csökkentésére. Mindkét alapanyag csökkentette a bekövetkező gélesedés mértékét, azonban különböző hatásmechanizmus révén, így más és más hatást gyakoroltak a vizsgált paraméterekre. A tojássárgájale színe mindkét anyag hatására nagymértékben változott mind a fagyasztást megelőzően, mind azt követően. A konyhasó azonban a reológiai tulajdonságokat is megváltoztatta, amelynek következtében az alkalmazása esetén a gyártástechnológiai lépések felülvizsgálatára van szükség. A fagyasztást követően azonban látható a gélesedés mértékének csökkenése, ugyanis a konyhasót 4-10 m/m%-os koncentrációban alkalmazva a fagyasztott-felengedett tojássárgája folyékonyak bizonyult. Az optimális koncentráció mérési eredményeim alapján 6 m/m%. Emellett megfigyeltem, hogy a konyhasó a denaturációs és oladási tulajdonságokat is nagyban befolyásolja. A gélesedést megelőző koncentrációban alkalmazott konyhasó hatására csökken a denaturációs entalpia értéke, nő a denaturációs hőmérséklet, így a hőstabilitás is. A hőkezelés után alkalmazott 6-10 m/m%-os sókoncentráció esetén kismértékben csökken a mikrobaszám, amely a vízaktivitás csökkenésével magyarázható. Ezenkívül eutektikum képződését, a ki nem fagyasztható víztartalom erőteljes növekedését és az oladási hőmérséklet csökkenését is megfigyeltem.

A szacharóz hozzáadásának hatására a tojássárgájale minták színe kisebb mértékben változott, mint a konyhasót tartalmazó mintáké. Megfigyeltem, hogy a szacharóz nem befolyásolta számottevően a tojássárgájale reológiai tulajdonságait. A fagyasztást követően pedig megfigyelhető, hogy krioprotektív hatással rendelkezett. A szacharóz koncentráció növelésével egyre csökkent a gélesedés mértéke, a kedvezőbb reológiai tulajdonságok elérése érdekében minimum 9 m/m%-os szacharóz koncentráció alkalmazása szükséges. A hőfizikai tényezők esetében ugyanolyan irányú, ám sokkal kisebb mértékű változás figyelhető meg, mint a konyhasó alkalmazása esetén.

Utolsó kísérletem során 7 különböző kereskedelmi forgalomban kapható fehérje és lipidbontó enzimek hatását vizsgáltam a teljes tojásle és a tojássárgájale fagyasztása során

bekövetkező állománybeli és felhasználhatóságbeli változásaira. Kísérletem során megállapítottam, hogy az aminopeptidáz aktivitású Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP enzimmészítmény hatásosan alkalmazható mindkét tojáslé esetében 0,3 m/m%-os koncentrációban. Az általam alkalmazott enzimkezelés körülményei (40°C, 2 óra) megfelelőnek bizonyultak mind a reológiai tulajdonságok, mind az optikai denzitás értékek, mind a mikrobaszám szempontjából. A fagyasztott-felengedett minták reológiai tulajdonságai az enzimkezelt minták esetében hasonlítottak a legnagyobb mértékben a friss tojáslevekére.

Kísérletem során megállapítottam, hogy a tojásfehérjében nem következik be olyan változás a fagyasztás során, amely a felhasználhatóságát nagymértékben befolyásolja. A habstabilitás javítására különböző adalékanyagok, krioprotektív anyagok tesztelését javaslom.

A tojássárgájale fagyasztás során bekövetkező gélesedésének megakadályozására 6 m/m%-os konyhasó koncentrációt, 9 m/m%-os szacharóz koncentrációt vagy 0,3 m/m%-os Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP enzimmészítménnyel végzett enzimkezelést javaslom. Ezen lehetőségek közül a megfelelő kiválasztásához figyelembe kell venni a felhasználási területet, a technológiai lehetőségeket és a gazdasági szempontokat.

Az említett enzimkezelés a teljes tojáslé esetében a fagyasztás során bekövetkező állományváltozást is megelőzte.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a tojássárgájale esetében a folyékony nitrogén felhasználásával (1,5 mm lyukátmérőjű rozsdamentes acélszűrőn keresztül hűtőközegbe csepegtetéssel és 60 másodperces tartózkodási idővel) végzett fagyasztás és az azt követő -24°C -on végzett fagyasztva tárolás gélesedést okozott. Megállapításomat a rotációs reométerrel (10 és 1000 1/s nyírási sebesség között) mért látszólagos viszkozitás, nyírófeszültség, illetve a (folyásgörbékre illesztett Herschel-Bulkley modell segítségével számított) τ_0 és K értékek ugrásszerű növekedésével bizonyítom.
2. Megállapítottam, hogy a lassú fagyasztás és az azt követő 150 napig tartó -24°C -on történő fagyasztva tárolás hatására a pasztőrözött tojásfehérjéle rotációs reométerrel 10 és 1000 1/s nyírási sebesség között felvett folyásgörbére illesztett Herschel-Bulkley modell segítségével számított τ_0 , K és n értékek nem változnak szignifikánsan. Ezzel szemben a pasztőrözött teljes tojásle vizsgált reológiai tulajdonságai megváltoznak. Fagyasztás után a nyírófeszültség értékek nőnek, a Herschel-Bulkley modell illesztésével kapott konzisztencia koefficiens nő. Megállapítottam, hogy a pasztőrözött tojássárgájale színe a lassú fagyasztás során nagymértékű változást szenved el, ami főként a világossági tényező növekedésével magyarázható.
3. Szisztematikus kísérlettel igazoltam, hogy a pasztőrözött tojássárgájale fagyasztás-felengedtetése során végbemenő gélesedésének mértékét a 4-10 m/m%-os konyhasó koncentráció alkalmazása csökkentette, a pasztőrözött nem fagyasztott mintához legjobban hasonlító reológiai tulajdonságokkal (rotációs reométerrel 10 és 1000 1/s nyírási sebesség között mért látszólagos viszkozitás, nyírófeszültség, illetve a folyásgörbékre illesztett Herschel-Bulkley modell segítségével számított τ_0 , K és n értékek) a 6 m/m% konyhasót tartalmazó minta rendelkezik.
4. Szisztematikus kísérlettel igazoltam, hogy az alkalmazott szacharóz koncentráció (1-10 m/m%) csökkenti a tojássárgájaleben a fagyasztás-felengedtetés során bekövetkező gélesedés mértékét. A koncentráció növelésével egyre csökkent a gélesedés mértéke, a friss, nem fagyasztott mintához legjobban hasonlító reológiai tulajdonságok (rotációs reométerrel 10 és 1000 1/s nyírási sebesség között mért látszólagos viszkozitás, nyírófeszültség, illetve a folyásgörbékre illesztett Herschel-Bulkley modell segítségével számított τ_0 , K és n értékek) elérése érdekében minimum 9 m/m%-os szacharóz koncentráció alkalmazása szükséges.
5. Elsőként bizonyítottam, hogy az aminopeptidáz aktivitású FlavorproTM 750MDP enzimkészítménnyel minimum 0,3 m/m%-os koncentrációban (180 U/kg tojásle) 40°C -on 120 percig a tojáslevek pH-jának módosítása nélkül végzett enzimkezelés megakadályozta a tojássárgájale fagyasztás-felengedtetés során bekövetkező gélesedését és a teljes tojásle esetében bekövetkező állományváltozást. A fagyasztás-felengedtetést követően az ilyen módon kezelt minták viszkozitásgörbéi és folyásgörbéi mind a két tojásle esetében a friss levekéhez hasonlítottak.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Az egyszerűbb kezelés, illetve a mikrobiológiai kockázatok csökkentése miatt az élelmiszeriparban legtöbbször héjas tojás helyett feldolgozott tojástermékeket, például tojásleveket, tojásporokat és főtt tojástermékeket választanak a gyártók. A tojástermékek gyártása során a tojás feltörésével megszűnik a fizikai és kémiai védelmi mechanizmus, amely a mikroorganizmusok behatolását és szaporodását megakadályozza, így a mikrobák a tápanyagokban gazdag tojásmelanzsban szaporodni képesek. A tojásleveket általában hőzeléssel tartósítják, amely csupán néhány hétig eltartható terméket eredményez. Azonban az élelmiszeriparban egyre nagyobb az igény a hosszabb eltarthatósági idővel rendelkező termékekre. Ennek egyik oka a gyártás és felhasználás tervezhetőségének javítása. Ezenkívül az olyan nemkívánatos események, mint például a madárinfluenza, a fipronil szennyezés, vagy akár globális gazdasági hatással bíró események, jelentős gazdasági kieséssel járnak. Az átmeneti tojáshiány áthidalására megoldást jelenthet a tojáslevek fagyasztása, amely az egyik legelterjedtebben alkalmazott tartósító eljárás.

A szakirodalmi kutatás során feltártam, hogy a tojásfehérjében a fagyasztás során csak kisebb változások mennek végbe, mint például a sűrűfehérje hígulása, azonban a tojássárgája folyékonyságában irreverzibilis változás következik be, amennyiben -6°C -os, vagy annál kisebb hőmérsékletre hűtik. Ennek következtében a tojássárgája pasztaszerű lesz, amely hatására nehezkessé válik a kezelése, például szállítása és keverése. A teljes tojáslé esetében bekövetkező változásokról pedig nagyon kevés információ áll rendelkezésünkre.

Doktori munkám során ezért a tojásfehérjelé, a teljes tojáslé és a tojássárgájale fagyasztásának lehetőségeit, illetve a fagyasztás során fellépő problémákat jártam körül. Kutatásom célkitűzései között szerepelt:

- A teremfagyasztás módszerét imitáló lassú fagyasztás és azt követő fagyasztva tárolás hatásának vizsgálata a különböző tojáslevek fizikai és technofunkcionális tulajdonságaira.
- A folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztás és azt követő fagyasztva tárolás hatásának vizsgálata a tojássárgájale fizikai és technofunkcionális tulajdonságaira, amely a szakirodalmi adatok alapján megoldást jelenthet a fagyasztás-felengedtetés során fellépő gélesedésre.
- A konyhasó, illetve a szacharóz alkalmazásának vizsgálata a tojássárgájale fagyasztás-felengedtetés során fellépő gélesedésre, illetve az optimális koncentrációk megállapítása.
- Kereskedelmi forgalomban kapható enzimek vizsgálata a tojássárgájale és a teljes tojáslé esetében a fagyasztás-felengedtetés során fellépő állományváltozásokra.

Kísérleteimben vizsgáltam a tojáslevek pH-ját, színét, reológiai és hőfizikai tulajdonságait, mezofil összes csíraszámukat. A méréseket kiegészítettem a tojásfehérjelé esetében a habképző tulajdonságok vizsgálatával, a teljes tojáslé esetében piskóta készítésével és állományának

mérésével, illetve a tojássárgájale esetében majonéz készítésével és reológiai tulajdonságainak vizsgálatával, illetve a 660 nm-en mért optikai denzitás mérésével.

A tojássárgájale folyékony nitrogénben történő fagyasztásának vizsgálata során megfigyeltem, hogy a fagyasztás sebességének megemlése nem akadályozta meg a pasztörözött tojássárgájale fagyasztás-felengedtetés során fellépő gélesedését, ugyanis a fagyasztott-felengedtetett tojássárgájale minták reológiai tulajdonságai nagymértékben megváltoztak. A fagyasztást követően megjelent a folyáshatár értéke, amely egy olyan minimális nyírófeszültség érték, ami a minta folyásához szükséges. A konzisztencia koefficiens és a folyásindex értékek is nagymértékben változtak. A gélesedés a minta világosodásával, illetve a denaturálható fehérjék mennyiségének csökkenésével járt.

A lassú fagyasztás és az azt követő fagyasztva tárolás során a tojáslevek színében szignifikáns változás következett be. A tojásfehérjelé és a tojássárgájale esetében a világossági tényező növekedett, a teljes tojásle esetében azonban a sárga színtényező csökkenése is jelentős. A tojásfehérjelé reológiai tulajdonságai a fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására nem változtak. A tojássárgájale gélesedése megfigyelhető a felvett folyásgörbéken, jelentős változás következett be a reológiai tulajdonságaiban a fagyasztást követően. A teljes tojásle a fagyasztás-felengedtetés hatására a newtoni folyadékokhoz hasonlóan viselkedett. Vízszerű, átlátszó halványsárga folyadék vált ki belőle, amely alapos keverést követően darabossá vált. A tojáslevek denaturációs entalpia értékeiben csökkenő tendencia figyelhető meg. A fagyasztás és 5 hónapig tartó fagyasztva tárolás során a tojáslevek mezofil összcsíraszama 75-81%-kal csökkent a magas oldott anyagok koncentrációnak, alacsony hőmérsékletnek és kis vízaktivitásnak köszönhetően, ami összhangban áll a gyorsfagyasztott termékeknel tapasztalható tendenciával. A felhasználhatóság vizsgálata során megállapítottam, hogy a stabil habbá vert tojásfehérjeléből a fagyasztást követő 30. naptól több folyadék válik ki, tehát a habstabilitása csökken. A tojássárgájale spektrofotométerrel vizsgált optikai denzitás értéke pedig jelentősen megnőtt a fagyasztás hatására. A fagyasztott-felengedtetett teljes tojásleből készült piskóta keményebb és gumisabb lett, a rugalmassága és a kohézió értéke azonban csökkent.

A gélesedés mértékének csökkentésére a szakirodalomban, illetve bizonyos országokban az ipari gyakorlatban leggyakrabban a konyhasót és a szacharózt alkalmazzák, ezért a következő két kísérletemben azt vizsgáltam, hogy ezek a technológiai segédanyagok hogyan befolyásolják a tojássárgájale tulajdonságait a fagyasztás előtt, illetve azt követően. Mindkét anyag csökkentette a bekövetkező gélesedés mértékét. A tojássárgájale színe mind a só, mind a szacharóz hatására nagymértékben változott a fagyasztást megelőzően, és azt követően is. A konyhasó hozzáadásával a tojássárgájale reológiai tulajdonságai is megváltoztak. A fagyasztást követően azonban látható a gélesedés mértékének csökkenése. Az optimális koncentráció mérési eredményeim alapján 6 m/m%. A konyhasó hatására csökken a denaturációs entalpia értéke, nő a denaturációs hőmérséklet, így a hőstabilitás is. A hőkezelés után alkalmazott 6-10 m/m%-os sókoncentráció

esetén csökken a mikrobaszám, amely a vízakktivitás csökkenésével magyarázható. Ezenkívül eutektikum képződését, a ki nem fagyasztható víztartalom erőteljes növekedését és az olvadási hőmérséklet csökkenését is megfigyeltem.

A szacharóz hozzáadásának hatására a tojássárgájale minták színe kisebb mértékben változott, mint a konyhasót tartalmazó mintáké. A szacharóz nem befolyásolta számottevően a tojássárgájale reológiai tulajdonságait, a fagyasztást követően pedig megfigyelhető a krioprotektív hatása. A legjobb hatás eléréséhez minimum 9 m/m%-os szacharóz koncentráció alkalmazása szükséges. A hőfizikai tényezők esetében ugyanolyan irányú, ám sokkal kisebb mértékű változás figyelhető meg, mint a konyhasó alkalmazása esetén. A só, illetve a szacharóz esetében meghatározott megfelelő koncentrációk már nagymértékben befolyásolják a tojáslevek ízét, így korlátozódik a felhasználási területük. Ezért vizsgálataimat a korábbi kutatásokban szintén ígéretesnek bizonyuló enzimekkel folytattam.

Megvizsgáltam egy kereskedelmi forgalomban kapható fehérje és lipidbontó enzimek készítmény hatását a teljes tojásle és a tojássárgájale fagyasztása során bekövetkező reológiai változások megakadályozására. Megállapítottam, hogy az aminopeptidáz aktivitású Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP enzimek készítmény hatásosan alkalmazható mindkét tojásle esetében 0,3 m/m%-os koncentrációban. Az általam alkalmazott enzimek kezelés körülményei (40°C, 2 óra) megfelelőnek bizonyultak mind a reológiai tulajdonságok, mind az optikai denzitás értékek, mind a mikrobaszám szempontjából. A fagyasztott-felengedett minták reológiai tulajdonságai az enzimek kezelt minták esetében hasonlítottak a legnagyobb mértékben a friss tojáslevekére.

Vizsgálataim során megállapítottam, hogy a tojásfehérjelé minőségmegőrzési ideje minimum 150 napra növelhető mindenféle beavatkozás nélkül lassú fagyasztással és felengedtetéssel. A teljes tojásle, illetve a tojássárgájale esetében nagymértékű változás következik be a reológiai tulajdonságokban. Azonban a tojássárgájale esetében bekövetkező változás mértéke csökkenthető konyhasó vagy szacharóz hozzáadásával. A Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP enzimek készítménnyel végzett kezelés pedig hatásosnak bizonyult mind a tojássárgájale, mind a teljes tojásle esetében bekövetkező állományváltozás megakadályozásában.

SUMMARY

Manufacturers in the food industry prefer processed egg products, such as liquid egg products instead of shelled eggs, because of easier handling and reduction of microbiological risks. Egg breaking removes the physical and chemical defense mechanism against microorganisms. Liquid egg products are usually preserved by heat treatment, which increase the product shelf-life only for a few weeks. However, there is a growing demand in the food industry for products with a longer shelf life. The main reason for this is to improve the predictability of production and use. In addition, events such as avian influenza, fipronil result in significant economic losses. One of the most widely used preservation techniques to overcome temporary egg shortages is freezing. Researches revealed that only minor changes occur in egg whites during freezing, but that there is an irreversible change in the egg yolk fluidity when the yolk is cooled to -6°C or below. As results, egg yolk become paste-like structure which makes it difficult to handle, transport and mix. Very little information is available on the changes that occur in liquid whole egg.

Therefore, the topic of my research was to examine the potentials and challenges in liquid egg freezing. The objectives of my research included:

- To investigate the effect of slow freezing and subsequent frozen storage on the physical and techno-functional properties of different liquid egg products.
- To investigate the effect of ultrafast freezing followed by frozen storage on the physical and techno-functional properties of liquid egg yolk, which, based on the literature, may provide a solution to gelation during freezing-thawing.
- To investigate the use of salt and sucrose on the gelation of liquid egg yolk during freeze-thawing and to determine the optimum concentrations.
- Investigation of the effect of commercially available enzyme preparations on the rheological changes of liquid egg yolk and liquid whole during freeze-thawing.

Experiments were carried out to investigate pH, colour, rheological and thermophysical properties as well as total plate count of liquid egg products. The foaming properties were also investigated in case of liquid egg white. In case of liquid whole egg, sponge cake samples were prepared and the texture was measured. Mayonnaise was produced from liquid egg yolk and rheological measurements were carried out to examine the difference between mayonnaise made from frozen and control liquid egg yolk. On the other hand turbidity of egg yolk was measured to evaluate the effect of freezing.

It was found, that increasing freezing rate did not prevent gelation of pasteurized liquid egg yolk during freeze-thawing, as for the rheological properties of the frozen-thawed liquid egg yolk samples were greatly altered. After freezing, a yield point value appeared, which is a minimum shear stress value necessary for the sample to flow. The values of the consistency coefficient and the flow index also changed considerably. Gelation was associated with a lightening of the sample and a decrease in the amount of denaturable proteins.

Slow freezing and subsequent frozen storage resulted in a significant change in the colour of the liquid egg products. Despite the fact that liquid egg white, liquid egg yolk and liquid whole egg

showed an increase in their lightness, liquid whole egg showed a significant decrease in yellow color. The rheological properties of liquid egg white were unchanged by freezing and frozen storage. Gelation of liquid egg yolk was observed based on the flow curves. Liquid whole egg behaved similarly to Newtonian liquids after freeze-thawing. A watery, clear pale yellow liquid was formed which became lumpy after thorough mixing. A decreasing trend in the denaturation enthalpy values of the liquid egg products was observed. It was found, that the foam stability of egg white decreased after 30 days of frozen storage. The turbidity of liquid egg yolk increased significantly with freezing. Sponge cake made from frozen liquid whole egg became harder and more rubbery.

To prevent gelation, several studies have been conducted using cryoprotectants, such as sucrose and salt. Therefore, the effect of these additives was investigated. Both additives reduced the amount of gelation and caused a large change in the colour of liquid egg yolk before and after freezing. The rheological properties of egg yolk also changed with the addition of salt. After freezing, however, a decrease in the degree of gelation was observed. The optimum concentration is 6 w/w%. The effect of the common salt is to decrease the denaturation enthalpy, increase the denaturation temperature and thus the thermal stability. In addition, eutectic formation, a sharp increase in the unfreezable water content and a decrease in the melting temperature were also observed.

The addition of sucrose caused a smaller change in the colour of the yolk samples than that of the samples containing table salt. Sucrose did not significantly affect the rheological properties of liquid egg yolk, and a cryoprotective effect was observed after freezing. To obtain the best effect, a minimum sucrose concentration of 9 w/w% is required. In the case of thermophysical factors, the same trend, but much smaller changes, can be observed than with table salt. The appropriate concentrations of salt and sucrose already have a major impact on the taste of liquid egg products, limiting their range of use. I therefore continued my investigations with enzymes that have also shown promise in previous research.

Finally, the effect of commercially available protein and lipid-degrading enzyme preparations was investigated on the prevention of rheological changes during freezing of liquid whole egg and liquid egg yolk. It was found, that the enzyme preparation with aminopeptidase active (Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP) was effective for both products at a concentration of 0.3 w/w%. The enzyme treatment conditions (40°C, 2 h) proved to be satisfactory in terms of rheological properties, turbidity values and total plate count.

This study has found that the shelf life of liquid egg white can be increased to at least 150 days without any intervention by slow freezing and thawing. Liquid whole egg and yolk show a large change in rheological properties. However, the extent of the change in the case of egg yolk can be reduced by the addition of salt or sucrose. Treatment with the enzyme preparation Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP has been shown to be effective in preventing rheological changes in both liquid egg yolk and liquid whole egg.

MELLÉKLETEK

M1 Irodalomjegyzék

- 4/1998. (XI. 11.) EüM rendelet. (1998): Az élelmiszerekben előforduló mikrobiológiai szennyeződések megengedhető mértékéről <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99800004.eum>.
- Az Európai Bizottság 2073/2005/EK rendelete. (2005): Az élelmiszerek mikrobiológiai kritériumairól (EGT vonatkozású szöveg). <http://data.europa.eu/eli/reg/2005/2073/oj/eng>
- ABDOU, A. M., KIM, M., SATO, K. (2013): Functional Proteins and Peptides of Hen's Egg Origin. In: HERNANDEZ-LEDESMA, B., CHIA-CHIEN, H.: *Bioactive Food Peptides in Health and Disease*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/54030>
- ABEYRATHNE, E. D. N. S., LEE, H. Y., AHN, D. U. (2013): Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents—A review. In: *Poultry Science*, 92(12), 3292–3299. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03391>
- ADAMS, M. R., MOSS, M. O. (2008): *Food Microbiology*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry.
- ANTON, M. (2007a): Composition and Structure of Hen Egg Yolk. In: HUOPALAHTI, R., LÓPEZ-FANDIÑO, R., ANTON, M., SCHADE R. (Eds.), *Bioactive Egg Compounds*. (pp. 1-6) Berlin Heidelberg: Springer.
- ANTON, M. (2007b): Low-density Lipoproteins (LDL) or Lipovitellenin Fraction. In: HUOPALAHTI, R., LÓPEZ-FANDIÑO, R., M. ANTON, R. SCHADE (Eds.), *Bioactive Egg Compounds* (pp. 7-12). Berlin Heidelberg: Springer.
- ANTON, M. (2013): Egg yolk: Structures, functionalities and processes. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12), 2871–2880. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6247>
- ANTON, M., CASTELLANI, O., GUÉRIN-DUBIARD, C. (2007): Phosvitin. In: HUOPALAHTI, R., LÓPEZ-FANDIÑO, R., M. ANTON, R. SCHADE (Eds.), *Bioactive Egg Compounds* (pp. 17–24). Berlin Heidelberg: Springer.
- ANTON, M., LE DENMAT, M., BEAUMAL, V., PILET, P. (2001): Filler effects of oil droplets on the rheology of heat-set emulsion gels prepared with egg yolk and egg yolk fractions. In: *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 21(1), 137–147. [https://doi.org/10.1016/S0927-7765\(01\)00167-9](https://doi.org/10.1016/S0927-7765(01)00167-9)
- 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>
- AU, C., ACEVEDO, N. C., HORNER, H. T., WANG, T. (2015): Determination of the Gelation Mechanism of Freeze–Thawed Hen Egg Yolk. In: *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(46), 10170–10180. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04109>
- AYGUN, A. (2017). The Eggshell Microbial Activity. In: HESTER, P. (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements* (pp. 3–11). Cambridge: Academic Press.
- Az Európai Parlament és a Tanács 1107/2009/EK rendelete (2009): A növényvédő szerek forgalomba hozataláról valamint a 79/117/EGK és a 91/414/EGK tanácsi irányelvek hatályon kívül helyezéséről. <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1107/oj/eng>
- BAKER, R. C., BRUCE, C. (1994): Effects of processing on the microbiology of eggs. In: BOARD, R. G., FULLER R. (Eds.), *Microbiology of the Avian Egg* (pp. 153–173). London: Chapman & Hall. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3060-2_8

- BALLA, CS., SÁRAY, T. (2002): Élelmiszerek tartósítása hűtőkezeléssel. In: BEKE GY. (Ed.), *Hűtőipari kézikönyv 2. Technológiák*. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- BARON, F., JAN, S. (2011): Egg and egg product microbiology. In: NYS, Y, BAIN, M., IMMERSEEL, F. V.: *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Volume 1: Egg Chemistry, Production and Consumption* (pp. 330–350). Cambridge: Woodhead Publishing Limited
- BELLAIRS, R. (1961): The structure of the yolk of the hen's egg as studied by electron microscopy. I. The yolk of the unincubated egg. *The Journal of Biophysical and Biochemical Cytology*, 11, 207–225. <https://doi.org/10.1083/jcb.11.1.207>
- BERNARDI, G., COOK, W. H. (1960): Separation and characterization of the two high density lipoproteins of egg yolk, α - and β -lipovitellin. *Biochimica et Biophysica Acta*, 44, 96–105. [https://doi.org/10.1016/0006-3002\(60\)91527-4](https://doi.org/10.1016/0006-3002(60)91527-4)
- Biocatalysts: Technical Bulletin. (n.d.). The Use of Enzymes in Egg Processing <https://www.biocatalysts.com/wp-content/uploads/2021/03/The-Use-of-Enzymes-in-Egg-Processing-2021-Updated.pdf>.
- BLUME, K., DIETRICH, K., LILIENTHAL, S., TERNES, W., DROTLEFF, A. M. (2015): Exploring the relationship between protein secondary structures, temperature-dependent viscosities, and technological treatments in egg yolk and LDL by FTIR and rheology. *Food Chemistry*, 173, 584–593. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.084>
- BOARD, R. G., TRANTER, H. S. (1995): The microbiology of eggs. In: STADELMAN, W. J., COTTERILL, O. J. (Eds.), *Egg Science and Technology, Fourth Edition* (pp. 81–104). Routledge.
- BOBKO, A. S., BOBKO, A. L., SERGIENKO, O. I. (2020): A study of recovery rheological properties of egg yolk after freezing in making table salt. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 826, 012025. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/826/1/012025>
- BOGENFÜRST, F. (1997): Keltetés. In: ZOLTÁN, P. (Ed.), *Baromfihús- és tojástermelők kézikönyve*. (pp. 109–117). Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó Kft.
- BOURNE, M. (2002): Food texture and viscosity: concept and measurement. San Diego, California: Academic Press. pp. 182-187.
- BOVŠKOVÁ, H., MÍKOVÁ, K., PANOVSÁ, Z. (2014): Evaluation of egg yolk colour. *Czech Journal of Food Sciences*, 32 (2014) (No. 3), 213–217. <https://doi.org/10.17221/47/2013-CJFS>
- Catazyme®. (n.d.). Novozymes. Retrieved 27 March 2022, from <https://biosolutions.novozymes.com/en/animal-protein/products/catazyme>
- CHAMBERS, J. R., ZAHEER, K., AKHTAR, H., ABDEL-AAL, E.-S. M. (2017): Chicken Eggs. In: HESTER, P. (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements* (pp. 3–11). Cambridge: Academic Press.
- CHANG, B. S., KENDRICK, B. S., CARPENTER, J. F. (1996): Surface-Induced Denaturation of Proteins during Freezing and its Inhibition by Surfactants. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 85(12), 1325–1330. <https://doi.org/10.1021/js960080y>
- CHANG, C. H., POWRIE, W. D., FENNEMA, O. (1977): Studies on the Gelation of Egg Yolk and Plasma Upon Freezing and Thawing. *Journal of Food Science*, 42(6), 1658–1665. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb08450.x>
- CHANG, M. Y., CHAN, E.-S., SONG, C. P. (2021): Biodiesel production catalysed by low-cost liquid enzyme Eversa® Transform 2.0: Effect of free fatty acid content on lipase methanol

- tolerance and kinetic model. *Fuel*, 283, 119266.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119266>
- CHEN, N. J., MORIKAWA, J., HASHIMOTO, T. (2005): Effect of amino acids on the eutectic behavior of NaCl solutions studied by DSC. *Cryobiology*, 50(3), 264–272.
<https://doi.org/10.1016/j.cryobiol.2005.02.004>
- COOK, F., BRIGGS, G. M. (1995): The Nutritive Value of Egg. In: STADELMAN, W. J., COTTERILL, O. J.: (Eds.), *Egg Science and Technology* (pp. 141-164.). Food Products Press.
- CORDOBÉS, F., PARTAL, P., GUERRERO, A. (2004): Rheology and microstructure of heat-induced egg yolk gels. *Rheologica Acta*, 2(43), 184–195. <https://doi.org/10.1007/s00397-003-0338-3>
- COTTERILL, O. J. (1995): Freezing egg products. In STADELMAN, W. J., COTTERILL, O. J. (Eds.), *Egg Science and Technology, Fourth Edition* (pp. 265–287). Routledge.
- COTTERILL, O. J., MCBEE, L. E. (1995): Egg breaking. In STADELMAN, W. J., COTTERILL, O. J. (Eds.), *Egg science and technology. 4th ed.* (Routledge, pp. 193–215).
- CSAPÓ, J., CSAPÓNÉ KISS, ZS. (2003): *Élelmiszer-kémia (Mezőgazda Kiadó, Budapest)*.
- 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>
- DAIMER, K., KULOZIK, U. (2009): Oil-in-water emulsion properties of egg yolk: Effect of enzymatic modification by phospholipase A2. *Food Hydrocolloids*, 23(5), 1366–1373. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.10.002>
- DAMRONGSAKKUL, S., RATANATHAMMAPAN, 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. (2019). Effects of Freezing, Frozen Storage, and Thawing on Eggs and Egg Products. In L. E. Jeremiah (Ed.), *Freezing Effects on Food Quality* (1st edition, pp. 337–366). CRC Press.
- DAWSON, P. L., MARTINEZ-DAWSON, R. (1998): Using response surface analysis to optimize the quality of ultrapasteurized liquid whole egg. *Poultry Science*, 77(3), 468–474. <https://doi.org/10.1093/ps/77.3.468>
- DE SOUZA, H. K. S., BAI, G., GONÇALVES, M. DO P., BASTOS, M. (2009): Whey protein isolate–chitosan interactions: A calorimetric and spectroscopy study. *Thermochimica Acta*, 495(1), 108–114. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2009.06.008>
- DE SOUZA, P. M., FERNÁNDEZ, A. (2013): Rheological properties and protein quality of UV-C processed liquid egg products. *Food Hydrocolloids*, 31(1), 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.013>
- DEÁK T., KISKÓ G., MARÁZ A., MOHÁCSINÉ FARKAS CS. (2006): *Élelmiszer-mikrobiológia. Mezőgazda Kiadó.*
https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Elelmiszer-mikrobiologia/ch05s02.html
- DELVES-BROUGHTON, J., WILLIAMS, G. C., WILKINSON, S. (1992): The use of the bacteriocin, nisin, as a preservative in pasteurized liquid whole egg. *Letters in Applied Microbiology*, 15(4), 133–136. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1992.tb00746.x>

- DONOVAN, J. W., MAPES, C. J., DAVIS, J. G., GARIBALDI, J. A. (1975): A differential scanning calorimetric study of the stability of egg white to heat denaturation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 26(1), 73–83. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740260109>
- DU, L., PROKOP, A., TANNER, R. D. (2002): Effect of Denaturation by Preheating on the Foam Fractionation Behavior of Ovalbumin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 248(2), 487–492. <https://doi.org/10.1006/jcis.2001.8163>
- DUAN, X., LI, J., ZHANG, Q., ZHAO, T., LI, M., XU, X., LIU, X. (2017): Effect of a multiple freeze-thaw process on structural and foaming properties of individual egg white proteins. *Food Chemistry*, 228, 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.005>
- European Commission - fipronil. (n.d.): Information note on EU measures concerning the illegal use of fipronil on some poultry farms (10 August 2017). Retrieved 26 March 2022, from <https://ec.europa.eu/newsroom/sante/items/127463/en>
- Eversa® Transform 2.0 FG. (n.d.): Novozymes. Retrieved 27 March 2022, from <https://biosolutions.novozymes.com/en/oils-fats/products/biodiesel/evera-transform-20-fg>
- FANG, B., ISOBE, K., HANDA, A., NAKAGAWA, K. (2021): Microstructure change in whole egg protein aggregates upon freezing: Effects of freezing time and sucrose addition. *Journal of Food Engineering*, 296, 110452. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110452>
- FEENEY, R. E., MACDONNELL, L. R., FRAENKEL-CONRAT, H. (1954): Effects of crotoxin (lecithinase A) on egg yolk and yolk constituents. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 48(1), 130–140. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(54\)90314-8](https://doi.org/10.1016/0003-9861(54)90314-8)
- FEI, T., LEYVA-GUTIERREZ, F. M. A., WAN, Z., WANG, T. (2021): Gelation inhibiting additives and freezing impact rheological, thermal, and microstructural properties of yolk. *LWT- Food Science and Technology*, 144, 111160. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111160>
- FERREIRA, M., HOFER, C., RAEMY, A. (2005): A calorimetric study of egg white proteins. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 48(3), 683–690. <https://doi.org/10.1007/bf01979514>
- 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>
- FOEGEDING, E. A., DAVIS, J. P. (2011): Food protein functionality: A comprehensive approach. *Food Hydrocolloids*, 25(8), 1853–1864. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.05.008>
- FRONING, G. W. (2008): Egg Products Industry and Future Perspectives. In: MINE, Y: *Egg Bioscience and Biotechnology* (pp. 307–326). New Jersey: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470181249.fmatter>
- FULLERTON, A., FISCHER, T., LAHTI, A., WILHELM, K.-P., TAKIWAKI, H., SERUP, J. (1996): Guidelines for measurement skin colour and erythema A report from the Standardization Group of the European Society of Contact Dermatitis. *Contact Dermatitis*, 35(1), 1–10. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.1996.tb02258.x>
- FÜLÖP, K., KUGLER, S., RADNAI, GY., URBÁN, J. (2007): Fizika. In: MICHALOVSKY, CS (Ed.), *Négyjegyű függvénytáblázatok, összefüggések és adatok* (pp. 216–217). Nemzeti Tankönyvkiadó Zrt.

- GARCÉS-RIMÓN, M., SANDOVAL, M., MOLINA, E., LÓPEZ-FANDIÑO, R., MIGUEL, M. (2016): Egg protein hydrolysates: New culinary textures. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 3, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2015.04.001>
- GASSEM, M. A., FRANK, J. F. (1991): Physical Properties of Yogurt Made from Milk Treated with Proteolytic Enzymes. *Journal of Dairy Science*, 74(5), 1503–1511. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78310-0](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78310-0)
- GHARANJIG, H., GHARANJIG, K., HOSSEINNEZHAD, M., JAFARI, S. M. (2020): Chapter Ten—Differential scanning calorimetry (DSC) of nanoencapsulated food ingredients. In JAFARI, S. M. (Ed.), *Characterization of Nanoencapsulated Food Ingredients* (Vol. 4, pp. 295–346). Cambridge: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815667-4.00010-9>
- GILL, P., MOGHADAM, T. T., RANJBAR, B. (2010): Differential Scanning Calorimetry Techniques: Applications in Biology and Nanoscience. *Journal of Biomolecular Techniques*. 21(4), 167–193.
- GOLDEN, D. A., ARROYO-GALLYOUN, L. (1997): Relationship of Frozen-Food Quality to Microbial Survival. In ERICKSON, M. C., HUANG, Y. C. (Eds.), *Quality in Frozen Food* (pp. 174–193). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5975-7_10
- HAMID-SAMIMI, M., SWARTZEL, K. R., BALL, H. R. (1984): Flow Behavior of Liquid Whole Egg During Thermal Treatments. *Journal of Food Science*, 49(1), 132–136. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb13689.x>
- HATLEY, R. H. M., MANT, A. (1993): Determination of the unfrozen water content of maximally freeze-concentrated carbohydrate solutions. *International Journal of Biological Macromolecules*, 15(4), 227–232. [https://doi.org/10.1016/0141-8130\(93\)90042-K](https://doi.org/10.1016/0141-8130(93)90042-K)
- HE, F. J., MACGREGOR, G. A. (2015): Salt and sugar: Their effects on blood pressure. *European Journal of Physiology*, 467(3), 577–586. <https://doi.org/10.1007/s00424-014-1677-x>
- HERALD, T. J., OSORIO, F. A., SMITH, D. M. (1989): Rheological Properties of Pasteurized Liquid Whole Egg During Frozen Storage. *Journal of Food Science*, 54(1), 35–38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb08561.x>
- HIDAS, K. I., NÉMETH, C., NGUYEN, L. L. P., VISY, A., TÓTH, A., BARKÓ, A., FRIEDRICH, L., NAGY, A., NYULAS-ZEKE, I. C. (2021): Effect of cryogenic freezing on the rheological and calorimetric properties of pasteurized liquid egg yolk. *Czech Journal of Food Sciences*, 39 (2021) (No. 3), 181–188. <https://doi.org/10.17221/37/2021-CJFS>
- HIDAS, K. I., NÉMETH, C., VISY, A., BARKÓ, A., HORVÁTH-MEZŐFI, Z., TÓTH, A., NGUYEN, L. L. P., NYULAS-ZEKE, I. C. (2021): Krioprotektív anyagok alkalmazásának hatása fagyasztott-felengedett tojássárgájából készült majonézek technofunkciós tulajdonságaira. *Acta Agronomica Óvariensis*, 62(3), 46–61.
- HIIDENHOVI, J., ARO, H. S., KANKARE, V. (1999): Separation of ovomucin subunits by gel filtration: Enhanced resolution of subunits by using a dual-column system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(3), 1004–1008. <https://doi.org/10.1021/jf9811774>
- HINCKE, M. T. (1995): Ovalbumin is a Component of the Chicken Eggshell Matrix. *Connective Tissue Research*, 31(3), 227–233. <https://doi.org/10.3109/03008209509010814>
- HÖHNE, G., MCNAUGHTON, J. L., HEMMINGER, W., FLAMMERSHEIM, H.-J., FLAMMERSHEIM, H.-J. (2003): *Differential Scanning Calorimetry*. Berlin Heidelberg: Springer Science & Business Media.

- HOUDE, A., KADEMI, A., LEBLANC, D. (2004): Lipases and Their Industrial Applications: An Overview. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 118(1–3), 155–170. <https://doi.org/10.1385/ABAB:118:1-3:155>
- HSU, K.-C., CHUNG, W.-H., LAI, K.-M. (2009): Histological Structures of Native and Cooked Yolks from Duck Egg Observed by SEM and Cryo-SEM. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(10), 4218–4223. <https://doi.org/10.1021/jf900495n>
- HTJSAINI, S. A., ALM, F. (1955): Denaturation of Proteins of Egg White and of Fish and Its Relation to the Liberation of Sulfhydryl Groups on Frozen Storage. *Journal of Food Science*, 20(3), 264–272. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1955.tb16836.x>
- HUANG, L., WANG, T., HAN, Z., MENG, Y., LU, X. (2016): Effect of egg yolk freezing on properties of mayonnaise. *Food Hydrocolloids*, 56, 311–317. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.12.027>
- HUANG, S., HERALD, T., MUELLER, D. (1997): Effect of electron beam irradiation on physical, physiochemical, and functional properties of liquid egg yolk during frozen storage. *Poultry Science*, 76(11), 1607–1615. <https://doi.org/10.1093/ps/76.11.1607>
- HUNTINGTON, J. A., STEIN, P. E. (2001): Structure and properties of ovalbumin. *Journal of Chromatography. B, Biomedical Sciences and Applications*, 756(1–2), 189–198. [https://doi.org/10.1016/s0378-4347\(01\)00108-6](https://doi.org/10.1016/s0378-4347(01)00108-6)
- IBANOGLU, E., ERÇELEBI, E. A. (2007): Thermal denaturation and functional properties of egg proteins in the presence of hydrocolloid gums. *Food Chemistry*, 101(2), 626–633. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.056>
- IBARZ, A. (1993): Rheology of Salted Egg Yolk. *Journal of Texture Studies*, 24(1), 63–71. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1993.tb01277.x>
- IBARZ, A., SINTES, J. (1989): Rheology of Egg Yolk. *Journal of Texture Studies*, 20(2), 161–167. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1989.tb00430.x>
- IBRAHIM, H. R. (1996): Insights into the Structure-Function Relationships of Ovalbumin, Ovotransferrin, and Lysozyme. In: YAMAMOTO, T., JUNEJA, L. R., HATTA, H., KIM, M. *Hen Eggs. Their Basic and Applied Science*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- JAAX, S. TRAVNICEK, D. (1968): The Effect of Pasteurization, Selected Additives and Freezing Rate on the Gelation of Frozen-Defrosted Egg Yolk. *Poultry Science*, 47(3), 1013–1022. <https://doi.org/10.3382/ps.0471013>
- JAEKEL, T., DAUTEL, K., TERNES, W. (2008): Preserving functional properties of hen's egg yolk during freeze-drying. *Journal of Food Engineering*, 87(4), 522–526. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.01.006>
- JAKOČIŪNĖ, D., BISGAARD, M., HERVÉ, G., PROTAIS, J., OLSEN, J. E., CHEMALY, M. (2014): Effects of environmental conditions on growth and survival of Salmonella in pasteurized whole egg. *International Journal of Food Microbiology*, 184, 27–30. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.03.015>
- JOLIVET, P., BOULARD, C., BEAUMAL, V., CHARDOT, T., ANTON, M. (2006): Protein Components of Low-Density Lipoproteins Purified from Hen Egg Yolk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(12), 4424–4429. <https://doi.org/10.1021/jf0531398>
- JORDAN, R., DAWSON, L. E., ECHTERLING, C. J. (1952): The effect of selected pretreatments upon the culinary qualities of eggs frozen and stored in a home-type freezer. II. Sponge cakes. In: *Journal of Food Science*, 17(1–6), 93–99. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1952.tb16743.x>

- KATO, A., NAKAMURA, R., SATO, Y. (1971): Part VII. Changes in the Physicochemical Properties of Ovomucin Solubilized by Treatment with Mercaptoethanol during Storage *Agricultural and Biological Chemistry*, 35(3), 351–356. <https://doi.org/10.1080/00021369.1971.10859929>
- KIM, J., LEE, C.-S., OH, J., KIM, B.-G. (2001): Production of egg yolk lysolecithin with immobilized phospholipase A2. *Enzyme and Microbial Technology*, 29(10), 587–592. [https://doi.org/10.1016/S0141-0229\(01\)00447-1](https://doi.org/10.1016/S0141-0229(01)00447-1)
- KO, K. Y., AHN, D. U. (2008): An economic and simple purification procedure for the large-scale production of ovotransferrin from egg white. *Poultry Science*, 87(7), 1441–1450. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00434>
- KOVACS-NOLAN, J., PHILLIPS, M., MINE, Y. (2005): Advances in the Value of Eggs and Egg Components for Human Health. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(22), 8421–8431. <https://doi.org/10.1021/jf050964f>
- KOVACS-NOLAN, J., ZHANG, J. W., HAYAKAWA, S., MINE, Y. (2000): Immunochemical and structural analysis of pepsin-digested egg white ovomucoid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 6261–6266. <https://doi.org/10.1021/jf000358e>
- KUMAR, S. A., MAHADEVAN, SUNDARARAMAN. (1970): Physicochemical studies on the gelation of hen's egg yolk. Delipidation of yolk plasma by treatment with phospholipase-C and extraction with solvents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 18(4), 666–670. <https://doi.org/10.1021/jf60170a014>
- KURISAKI, J.-I., KAMINOGAWA, S., YAMAUCHI, K. (1980): Studies on Freeze-Thaw Relation of Very Low-Density Lipoprotein from Hen's Egg Yolk. *Journal of Food Science*, 45(3), 463–466. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1980.tb04076.x>
- LACA, A., PAREDES, B., RENDUELES, M., DÍAZ, M. (2015): Egg yolk plasma: Separation, characteristics and future prospects. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1, Part 1), 7–10. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.048>
- LAI, L.-S. (2016): Quality and Safety of Frozen Eggs and Egg Products. In: SUN, D.-W., *Handbook of Frozen Food Processing and Packaging* (pp. 529–548). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- LARSSON, M., DUFFY, J. (2013): An Overview of Measurement Techniques for Determination of Yield Stress. *Annual Transactions of the Rheology Society*, 21, 125–138.
- LECHEVALIER, V., CROGUENNEC, T., ANTON, M., NAU, F. (2011): Processed egg products. In Y. NYS, M. BAIN, F. V. IMMERSEEL (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Volume 1: Egg Chemistry, Production and Consumption* (pp. 538–581). Cambridge: Woodhead Publishing Limited
- Lecitase® Ultra. (n.d.): Novozymes. Retrieved 27 March 2022, from <https://biosolutions.novozymes.com/en/oils-fats/products/physical-refining/lecitase-ultra>
- LEŚNIAREK, A., CHOJNACKA, A., DROZD, R., SZYMAŃSKA, M., GŁADKOWSKI, W. (2020): Free and Immobilized Lecitase™ Ultra as the Biocatalyst in the Kinetic Resolution of (E)-4-Arylbutoxybut-3-en-2-yl Esters. *Molecules*, 25(5), 1067. <https://doi.org/10.3390/molecules25051067>
- LESNIEWSKI, G., KIJOWSKI, J. (2007): Lysozyme. In R HUOPALAHTI, R., LÓPEZ-FANDIÑO, R., M. ANTON, R. SCHADE (Eds.), *Bioactive Egg Compounds* (2007th edition, pp. 33–42). Berlin Heidelberg: Springer.
- LEYVA-PORRAS, C., CRUZ-ALCANTAR, P., ESPINOSA-SOLÍS, V., MARTÍNEZ-GUERRA, E., PIÑÓN-BALDERRAMA, C. I., COMPEAN MARTÍNEZ, I.,

- SAAVEDRA-LEOS, M. Z. (2020): Application of Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Modulated Differential Scanning Calorimetry (MDSC) in Food and Drug Industries. *Polymers*, 12(1), 5. <https://doi.org/10.3390/polym12010005>
- LI-CHAN, E. C. Y., KIM, H.-O. (2008): Structure and Chemical Compositions of Eggs. In Y. Mine (Ed.), *Egg Bioscience and Biotechnology*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- LI-CHAN, E. C. Y., POWRIE, W. D., NAKAI, S. (1995): The chemistry of eggs and egg products. In: STADELMAN, W. J., COTTERILL, O. J. (Eds.), *Egg science and technology*. 4th ed. (Routledge, pp. 105–176).
- LINEWEAVER, H., MURRAY, C. W. (1947): Identification of the trypsin inhibitor of egg white with ovomucoid. *The Journal of Biological Chemistry*, 171(2), 565–581.
- Lipomod™ 34MDP Technical Data Sheet—Biocatalysts. (n.d.): Knowde. Retrieved 27 March 2022, from <https://www.knowde.com/stores/biocatalysts/documents/275249>
- Lipomod™ 833L2 Technical Data Sheet—Biocatalysts. (n.d.): Knowde. Retrieved 27 March 2022, from <https://www.knowde.com/stores/biocatalysts/documents/275257>
- LOMAKINA, K., MÍKOVÁ, K. (2006): A study of the factors affecting the foaming properties of egg white – a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 24, 110–118. <https://doi.org/10.17221/3305-CJFS>
- LOOI, F. Y., BAKER, M. L., TOWNSON, T., RICHARD, M., NOVAK, B., DORAN, T. J., SHORT, K. R. (2018): Creating Disease Resistant Chickens: A Viable Solution to Avian Influenza? *Viruses*, 10(10), 561. <https://doi.org/10.3390/v10100561>
- LOPEZ, A., FELLERS, C. R., POWIE, W. D. (1954): Some factors affecting gelation of frozen egg yolk. *Journal of Milk and Food Technology*, 17(11), 334–339. <https://doi.org/10.4315/0022-2747-17.11.334>
- LOPEZ, A., FELLERS, C. R., POWRIE, W. D. (1955): Enzymic inhibition of gelation in frozen egg yolk. *Journal of Milk and Food Technology*, 18(3), 77–80. <https://doi.org/10.4315/0022-2747-18.3.77>
- LOSTIE, M., PECZALSKI, R., ANDRIEU, J., LAURENT, M. (2002): Study of sponge cake batter baking process. Part I: Experimental data. *Journal of Food Engineering*, 51(2), 131–137. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00049-8)
- LY, B. C. K., DYER, E. B., FEIG, J. L., CHIEN, A. L., BINO, S. D. (2020): Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement. *Journal of Investigative Dermatology*, 140(1), 3–12.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jid.2019.11.003>
- MA, Z., MA, Y., WANG, R., CHI, Y. (2021): Influence of antigelation agents on frozen egg yolk gelation. *Journal of Food Engineering*, 302, 110585. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110585>
- MACDONALD, G. A., LANIER, T. C. (1997): Cryoprotectants for Improving Frozen-Food Quality. In: ERICKSON, M. C., HUNG, Y.-C. (Eds.), *Quality in Frozen Food* (pp. 197–232). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5975-7_11
- Madárinfluenza kitörések—Nébih. (n.d.): Retrieved 25 March 2022, from <https://portal.nebih.gov.hu/madarinfluenza-kitoresek>
- Madárinfluenza—Nébih. (n.d.): Retrieved 1 February 2022, from <https://portal.nebih.gov.hu/gyik/allat/gyakran-ismetelt-kerdesek/madarinfluenza>

- MAHADEVAN, S., SATYANARAYANA, T., KUMAR, S. A. (1969): Physicochemical studies on the gelation of hen egg yolk; separation of gelling protein components from yolk plasma. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 17 (4), 767–771. <https://doi.org/10.1021/jf60164a050>
- MANN, K. (2007): The chicken egg white proteome. *Proteomics*, 7(19), 3558–3568. <https://doi.org/10.1002/pmic.200700397>
- MANNING, L. (2018): Chapter Eight - Food Supply Chain Fraud: The Economic, Environmental, and Sociopolitical Consequences. In D. Barling J. Fanzo (Eds.), *Advances in Food Security and Sustainability* (Vol. 3, pp. 253–276). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2018.09.001>
- MATA, T. M., CORREIA, D., PINTO, A., ANDRADE, S., TROVISCO, I., MATOS, E., MARTINS, A. A., CAETANO, N. S. (2017): Fish oil acidity reduction by enzymatic esterification. *Energy Procedia*, 136, 474–480. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.306>
- MILLER, C., WINTER, A. R. (1951): Pasteurized Frozen Whole Egg and Yolk for Mayonnaise Production1. *Journal of Food Science*, 16(1–6), 43–49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1951.tb17347.x>
- MINE, Y. (2008): *Egg Bioscience and Biotechnology*. New Jersey: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470181249.fmatter>
- MORAN, T. (1925): The effect of low temperature on hens' eggs. Proceedings of the Royal Society of London. Series B, *Containing Papers of a Biological Character*, 98(691), 436–456.
- MSZ EN ISO 4833-1:2014: Az élelmiszerlánc mikrobiológiája. Horizontális módszer a mikroorganizmusok számlálására. Telepszámlálás 30 °C-on lemezöntéses módszerrel.
- MULOT, V., BENKHELIFA, H., PATHIER, D., NDOYE, F.-T., FLICK, D. (2019): Measurement of food dehydration during freezing in mechanical and cryogenic freezing conditions. *International Journal of Refrigeration*, 103, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.02.032>
- NAGY, D., KRASSÓY, M., ZEKE, I., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., BALLA, C. (2013): Effects of different freezing methods on some properties of a pasta filata cheese. *Acta Alimentaria*, 42(Supplement-1), 45–52. <https://doi.org/10.1556/aalim.42.2013.suppl.6>
- NÉMETH, C., FRIEDRICH, L., PÁSZTOR-HUSZÁR, K., PIPOLY, E., SUHAJDA, Á., BALLA, C. (2011): Thermal destruction of *Listeria monocytogenes* in liquid egg products with heat treatment at lower temperature and longer than pasteurization. *African Journal of Food Science*, 5(3), 161-167.
- NYS, Y., GUYOT, N. (2011): Egg formation and chemistry. In NYS, Y., BAIN, M., IMMERSEEL, F. V. (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Volume 1: Egg Chemistry, Production and Consumption* (pp. 83–132). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- OE, H., DOI, E., HIROSE, M. (1988): Amino-terminal and carboxyl-terminal half-molecules of ovotransferrin: Preparation by a novel procedure and their interactions. *Journal of Biochemistry*, 103(6), 1066–1072. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a122381>
- OIE - Animal Diseases. (n.d.): OIE - World Organisation for Animal Health. Retrieved 15 February 2022, from <https://www.oie.int/en/what-we-do/animal-health-and-welfare/animal-diseases/>

- OIE - Avian Influenza Portal. (n.d.): Retrieved 20 July 2020, from <https://www.oie.int/en/animal-health-in-the-world/avian-influenza-portal/>
- OIE - Who we are. (n.d.). OIE - World Organisation for Animal Health. Retrieved 15 February 2022, from <https://www.oie.int/en/who-we-are/>
- OIE-WAHIS-Quantitative data. (n.d.): Retrieved 15 February 2022, from <https://wahis.oie.int/#/dashboards/qd-dashboard>
- OIE-WAHIS-World Animal Health Information System. (n.d.): Retrieved 15 February 2022, from <https://wahis.oie.int/#/home>
- OLIVEIRA, F., COIMBRA, J., MENDES DA SILVA, L., ROJAS, E., HESPANHOL, M. (2009): Ovomucoid partitioning in aqueous two-phase systems. *Biochemical Engineering Journal*, 47, 55–60. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2009.07.002>
- OMANA, D. A., WANG, J., WU, J. (2010): Co-extraction of egg white proteins using ion-exchange chromatography from ovomucin-removed egg whites. *Journal of Chromatography. B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 878(21), 1771–1776. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2010.04.037>
- 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>
- Pénzcentrum. (n.d.): Itt a beígért tartós árdrágulás: Így lesz 2021 végére a tej, tojás és sajt ára egy vagyon. Pénzcentrum. Retrieved 2 April 2022, from <https://www.penzcentrum.hu/vasarlas/20210916/itt-a-beigert-tartos-ardragulas-igy-lesz-2021-vegere-a-tej-tojas-es-sajt-ara-egy-vagyon-1117794>
- PHAM, Q. T. (1987): Calculation of Bound Water in Frozen Food. *Journal of Food Science*, 52(1), 210–212. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb14006.x>
- PHAM, Q. T. (2014): Food Freezing and Thawing Calculations. Berlin Heidelberg: Springer.
- PIJPERS, M. F. J., MATHOT, V. B. F. (2008): Optimization of instrument response and resolution of standard- and high-speed power compensation DSC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 93(1), 319–327. <https://doi.org/10.1007/s10973-007-8924-8>
- PoultryWorld. (n.d.): Fipronil scandal: Belgian egg farmers to get share of €30m. PoultryWorld. Retrieved 1 February 2022, from <https://www.poultryworld.net/Eggs/Articles/2018/1/Fipronil-scandal-Belgium-egg-farmers-to-get-share-of-30m-240704E/>
- POWRIE, W. D., LITTLE, H., LOPEZ, A. (1963): Gelation of Egg Yolk. *Journal of Food Science*, 28(1), 38–46. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00156.x>
- PRIMACELLA, M. (2017): Determination of gelation mechanism and prevention methods of frozen-thawed hen egg yolk. Graduate Theses and Dissertations. <https://doi.org/10.31274/etd-180810-5920>
- PRIMACELLA, M., ACEVEDO, N. C., WANG, T. (2020): Effect of freezing and food additives on the rheological properties of egg yolk. *Food Hydrocolloids*, 98, 105241. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105241>
- PRIMACELLA, M., FEI, T., ACEVEDO, N., WANG, T. (2018a): Effect of food additives on egg yolk gelation induced by freezing. *Food Chemistry*, 263, 142–150. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.071>

- PRIMACELLA, M., WANG, T., ACEVEDO, N. C. (2018b): Use of reconstituted yolk systems to study the gelation mechanism of frozen–thawed hen egg yolk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(2), 512–520. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04370>
- PRIMACELLA, M., WANG, T., ACEVEDO, N. C. (2019): Characterization of mayonnaise properties prepared using frozen-thawed egg yolk treated with hydrolyzed egg yolk proteins as anti-gelator. *Food Hydrocolloids*, 96, 529–536. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.008>
- PRITCHARD, A. B., MCCORMICK, D. B., WRIGHT, L. D. (1966): Optical rotatory dispersion studies of the heat denaturation of avidin and the avidin-biotin complex. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 25(5), 524–528. [https://doi.org/10.1016/0006-291X\(66\)90623-1](https://doi.org/10.1016/0006-291X(66)90623-1)
- RAHMAN, M. S. (1999): Purpose of food preservation and processing. In: RAHMAN, M. S. (Ed.), *Handbook of Food Preservation* (pp. 1–9). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- RAHMAN, M. S. (2005): Dried Food Properties: Challenges Ahead. *Drying Technology*, 23(4), 695–715. <https://doi.org/10.1081/DRT-200054176>
- RAHMAN, M. S., VELEZ-RUIZ, J. F. (2007): Food Preservation by Freezing. In: RAHMAN, M. S. (Ed.), *Handbook of Food Preservation*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- RAIKOS, V., CAMPBELL, L., EUSTON, S. R. (2007): Rheology and texture of hen’s egg protein heat-set gels as affected by pH and the addition of sugar and/or salt. *Food Hydrocolloids*, 21(2), 237–244. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.03.015>
- RAZI, S. M., MOTAMEDZADEGAN, A., SHAHIDI, S.-A., RASHIDINEJAD, A. (2020): Steady and dynamic shear rheology as a tool for evaluation of the interactions between egg white albumin and basil seed gum. *Rheologica Acta*, 59(5), 317–331. <https://doi.org/10.1007/s00397-020-01198-5>
- REICH, H., TRIACCHINI, G. A. (2018): Occurrence of residues of fipronil and other acaricides in chicken eggs and poultry muscle/fat. *EFSA Journal*, 16(5), e05164. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5164>
- Reuters. (2017, September 5): Contaminated eggs found in 40 countries as EU ministers meet: DPA. Reuters. <https://www.reuters.com/article/us-europe-eggs-idUSKCN1BG0LJ>
- ROBERTS, J. R., SOUILLARD, R., BERTIN, J. (2011): Avian diseases which affect egg production and quality. In NYS, Y., BAIN, M., IMMERSEEL, F. V. (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Volume 1: Egg Chemistry, Production and Consumption* (pp. 376–393). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- ROSSI, M., SCHIRALDI, A. (1992): Thermal denaturation and aggregation of egg proteins. *Thermochimica Acta*, 199, 115–123. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(92\)80255-U](https://doi.org/10.1016/0040-6031(92)80255-U)
- SCHADE, R., CHACANA, P. A. (2010): Livetin Fractions (IgY). In HUOPALAHTI, R., LÓPEZ-FANDIÑO, R., M. ANTON, R. SCHADE (Eds.), *Bioactive Egg Compounds*. Berlin Heidelberg: Springer.
- 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>
- SHAFI, R., COTTERILL, O. J., NICHOLS, M. L. (1970): Microbial Flora of Commercially Pasteurized Egg Products 1. *Poultry Science*, 49(2), 578–585. <https://doi.org/10.3382/ps.0490578>

- SINGH, R. P. (2021): Egg. *Encyclopedia Britannica*. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/topic/egg-food>
- SIRVENTE, H., BEAUMAL, V., GAILLARD, C., BIALEK, L., HAMM, D., ANTON, M. (2007): Structuring and Functionalization of Dispersions Containing Egg Yolk, Plasma and Granules Induced by Mechanical Treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(23), 9537–9544. <https://doi.org/10.1021/jf0719398>
- SISAK, C., CSANÁDI, Z., RÓNAY, E., SZAJÁNI, B. (2006): Elimination of glucose in egg white using immobilized glucose oxidase. *Enzyme and Microbial Technology*, 39(5), 1002–1007. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.02.010>
- SISAK, C., CSANÁDI, Z., SZAJÁNI, B. (2007): Szilárd fázisú biokatalizátorok kialakítása és jellemzése glükóz oxidáció élelmiszeripari célú alkalmazásának előkészítése céljából. *Magyar Kémiai Folyóirat - Összefoglaló közlemények*. 113(3), 97–101.
- SPARAGANO, O. A. E., GIANGASPERO, A. (2011): Parasitism in egg production systems: The role of the red mite (*Dermanyssus gallinae*). In NYS, Y., BAIN, M., IMMERSEEL, F. V. (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products: Volume 1: Egg Chemistry, Production and Consumption* (pp. 394–414). Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Specifications—KONICA MINOLTA Europe. (n.d.): Retrieved 16 September 2021, from <https://www5.konicaminolta.eu/en/measuring-instruments/products/colour-measurement/chroma-meters/cr-400-410/specifications.html>
- STADELMAN, W. J. (1994): Contaminants of liquid egg products. In: FULLER, R., BOARD, R. G. (Eds.), *Microbiology of the avian egg* (pp. 139–152). London: Chapman & Hall.
- STADELMAN, W. J. (1995): Quality Identification of Shell Eggs. In COTTERILL, O. J., STADELMAN, W. J. (Eds.), *Egg Science and Technology, Fourth Edition* (pp. 39–66). London: Routledge.
- STRIXNER, T., KULOZIK, U. (2013): Continuous centrifugal fractionation of egg yolk granules and plasma constituents influenced by process conditions and product characteristics. *Journal of Food Engineering*, 117(1), 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.02.009>
- STRIXNER, T., WÜRTH, R., KULOZIK, U. (2013): Combined Effects of Enzymatic Treatment and Spray Drying on the Functional Properties of Egg Yolk Main Fractions Granules and Plasma. *Drying Technology*, 31(13–14), 1485–1496. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.790411>
- SUCCAR, J., HAYAKAWA, K.-I. (1990): A Method to Determine Initial Freezing Point of Foods. *Journal of Food Science*, 55(6), 1711–1713. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb03606.x>
- SUGINO, H., NITODA, T., JUNEJA, L. R. (1996): General Chemical Composition of Hen Eggs. In: YAMAMOTO, T., JUNEJA, L. R., HATTA, H., KIM, M. *Hen Eggs. Their Basic and Applied Science*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- TAVANO, O. L. (2013): Protein hydrolysis using proteases: An important tool for food biotechnology. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 90, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2013.01.011>
- TELIS, V. R. N., KIECKBUSCH, T. G. (1997): Viscoelasticity of Frozen/Thawed Egg Yolk. *Journal of Food Science*, 62(3), 548–550. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04427.x>

- TELIS-ROMERO, J., THOMAZ, C. E. P., BERNARDI, M., TELIS, V. R. N., GABAS, A. L. (2006): Rheological properties and fluid dynamics of egg yolk. *Journal of Food Engineering*, 74(2), 191-197. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.044>
- TEMUSSI, P. A. (2012): The good taste of peptides. *Journal of Peptide Science*, 18(2), 73–82. <https://doi.org/10.1002/psc.1428>
- Texture Analysis Blog. (2015, May 28): Texture Analysis Professionals Blog: Texture Analysis in Action: The Multiple Puncture Probe. Texture Analysis Professionals Blog. <https://textureanalysisprofessionals.blogspot.com/2015/05/texture-analysis-in-action-multiple.html>
- TÓTH, A., NÉMETH, CS., PALOTÁS, P., SURÁNYI, J., ZEKE, I., CSEHI, B., CASTILLO, L. A., FRIEDRICH, L. BALLA, C. (2017): HHP treatment of liquid egg at 200-350 MPa. In: *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 950, No. 4, p. 042008 <https://doi.org/10.1088/1742-6596/950/4/042008>
- TU, Q., HICKEY, M. E., YANG, T., GAO, S., ZHANG, Q., QU, Y., DU, X., WANG, J., HE, L. (2019): A simple and rapid method for detecting the pesticide fipronil on egg shells and in liquid eggs by Raman microscopy. *Food Control*, 96, 16–21. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.025>
- TUNG, M. A., RICHARDS, J. F., MORRISON, B. C., WASTSON, E. L. (1970): Rheology of Fresh, Aged and Gamma-Irradiated Egg White. *Journal of Food Science*, 35(6), 872–874. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1970.tb02016.x>
- UYSAL, R. S., BOYACI, İ. H., SOYKUT, E. A., ERTAŞ, N. (2017): Effects of heat treatment parameters on liquid whole egg proteins. *Food Chemistry*, 216, 201–208. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.050>
- UYSAL, R. S., SUMNU, G., BOYACI, I. H. (2019): Effects of heat-treated liquid whole egg on cake batter rheology and the quality of baked cake. *Journal of Food Process Engineering*, 42(2), e12977. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12977>
- VAN DEN BERG, L. (1966): pH changes in buffers and foods during freezing and subsequent storage. *Cryobiology*, 3(3), 236–242. [https://doi.org/10.1016/S0011-2240\(66\)80017-2](https://doi.org/10.1016/S0011-2240(66)80017-2)
- VIRGEN-ORTÍZ, J. J., DOS SANTOS, J. C. S., ORTIZ, C., BERENGUER-MURCIA, Á., BARBOSA, O., RODRIGUES, R. C., FERNANDEZ-LAFUENTE, R. (2019): Lecitase ultra: A phospholipase with great potential in biocatalysis. *Molecular Catalysis*, 473, 110405. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2019.110405>
- WAKAMATSU, T. (1994): Gelation of Low Density Lipoprotein (LDL) from Hen Egg Yolk During Freezing and Thawing. In: NISHINARI, K., DOI, E. (Eds.), *Food Hydrocolloids: Structures, Properties, and Functions* (pp. 279–283). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2486-1_43
- WAKAMATU, T., SATO, Y., SAITO, Y. (1982): Identification of the Components Responsible for the Gelation of Egg Yolk during Freezing. *Agricultural and Biological Chemistry*, 46(6), 1495–1503. <https://doi.org/10.1080/00021369.1982.10865281>
- WAKAMATU, T., SATO, Y., SAITO, Y. (1983): On Sodium Chloride Action in the Gelation Process of Low-Density Lipoprotein (LDL) from Hen Egg Yolk. *Journal of Food Science*, 48(2), 507–512. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1983.tb10777.x>
- WAN, Y., LU, J., CUI, Z. (2006): Separation of lysozyme from chicken egg white using ultrafiltration. *Separation and Purification Technology*, 48(2), 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2005.07.003>

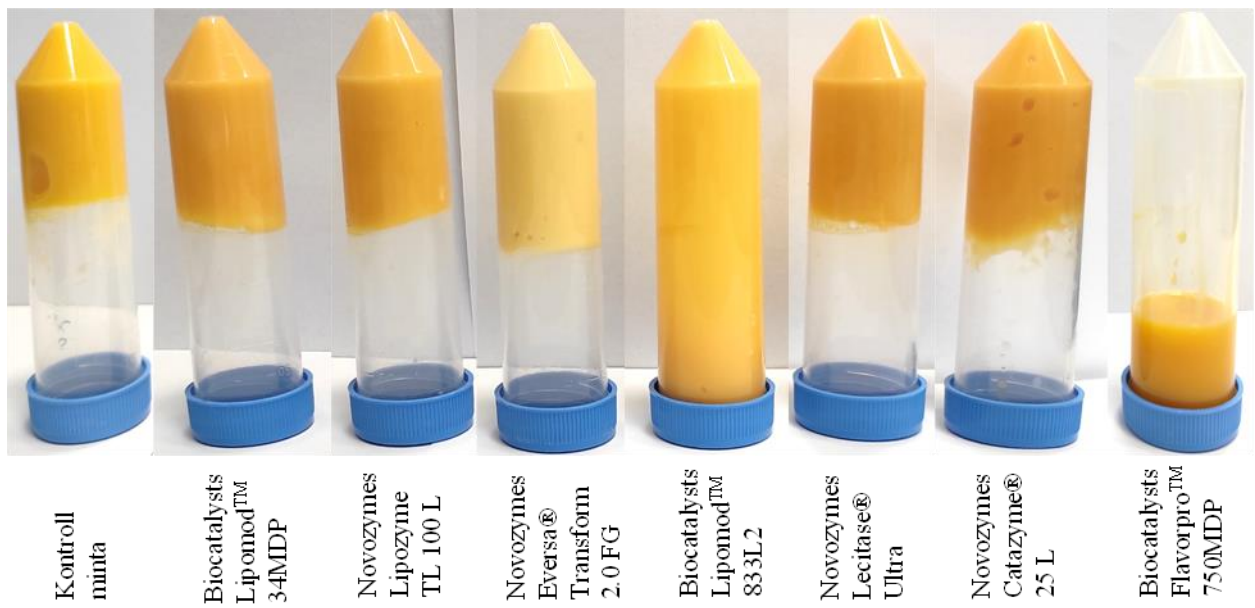
- WANG, B., TCHESALOV, S., WARNE, N. W., PIKAL, M. J. (2009): Impact of sucrose level on storage stability of proteins in freeze-dried solids: I. correlation of protein–sugar interaction with native structure preservation. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 98(9), 3131–3144. <https://doi.org/10.1002/jps.21621>
- 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>
- WATANABE, M., CHAIYASO, T., TECHAPUN, C., SHIONO, T., HOSHINO, T., NAKAMURA, K., TAKENAKA, S., ISAMU, M., NABESHIMA, T., NISHIZAWA, T. (2021): Effect of protease addition for reducing turbidity and flocculation of solid particles in drainage water derived from wheat-flour noodle boiling process and its electrostatic properties. *Water Resources and Industry*, 25, 100150. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100150>
- WHITWORTH, J. (2020, May 24): Dutch firms found liable in fipronil scandal. Food Safety News. <https://www.foodsafetynews.com/2020/05/dutch-firms-found-liable-in-fipronil-scandal/>
- WILLIAMS, J. (1968): A comparison of glycopeptides from the ovotransferrin and serum transferrin of the hen. *Biochemical Journal*, 108(1), 57–67. <https://doi.org/10.1042/bj1080057>
- WINTER, A. R., BURKART, B., WRINKLE, C. (1951): Analyses of Frozen Egg Products. *Poultry Science*, 30(3), 372–380. <https://doi.org/10.3382/ps.0300372>
- WOOTTON, M., THI HONG, N., THI, H. L. P. (1981): A Study of the Denaturation of Egg White Proteins during Freezing Using Differential Scanning Calorimetry. *Journal of Food Science*, 46(5), 1336–1338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb04167.x>
- WU, J. (2014): Eggs and Egg Products Processing. In: CLARK, S. JUNG, S., LAMSAL, B. (Eds.), *Food Processing: Principles and Applications* (2nd edition, pp. 437–455). New Jersey: John Wiley & Sons.
- WU, T., JIANG, Q., WU, D., HU, Y., CHEN, S., DING, T., YE, X., LIU, D., CHEN, J. (2019): What is new in lysozyme research and its application in food industry? A review. *Food Chemistry*, 274, 698–709. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.017>
- XU, L., ZHAO, Y., XU, M., YAO, Y., WU, N., DU, H., TU, Y. (2019): Changes in physico-chemical properties, microstructure, protein structures and intermolecular force of egg yolk, plasma and granule gels during salting. *Food Chemistry*, 275, 600–609. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.078>
- YANG, Y., ZHAO, Y., XU, M., YAO, Y., WU, N., DU, H., TU, Y. (2020): Effects of strong alkali treatment on the physicochemical properties, microstructure, protein structures, and intermolecular forces in egg yolks, plasma, and granules. *Food Chemistry*, 311, 125998. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125998>
- YÜCEER, M., ASIK, H. (2020): Texture, rheology, storage stability, and sensory evaluation of meringue's prepared from lipase enzyme-modified liquid egg white. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(9), e14667. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14667>
- ZEIDLER, G. (2002): Further-Processing Eggs and Egg Products. In: BELL, D. D., WEAVER, W. D. (Eds.), *Commercial Chicken Meat and Egg Production* (pp. 1163–1198). Springer Science & Business Media.
- ZEKE, I. CS. (2015): Fagyasztott élelmiszer-emulziók stabilitásának vizsgálata. PhD Dolgozat. Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest.

ZHAO, Y., FENG, F., YANG, Y., XIONG, C., XU, M., TU, Y. (2021). Gelation behavior of egg yolk under physical and chemical induction: A review. *Food Chemistry*, 355, 129569. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129569>

M2 Különböző alkalmazott enzimek tulajdonságai

Név	Gyártó	Enzim típusa	Eredet	Megjelenés	Opt. hőmérséklet tartomány (°C)	Optimális pH tartomány	Forrás
Lipomod™ 34MDP	Biocatalysts	lipáz	mikroorganizmus (<i>Candida cylindracea.</i>)	barnás fehér színű por-	40-55	5,0-8,0	(Lipomod™ 34MDP Technical Data Sheet - Biocatalysts, n.d.) (Mata et al., 2017)
Lipozyme TL 100L Eversa®	Novozymes	lipáz	mikroorganizmus (<i>Aspergillus oryzae</i>)	barna folyadék	20-50°C	6,0-11,0	(M. Y. Chang et al., 2021; Eversa® Transform 2.0 FG, n.d.)
Transform 2.0 FG	Novozymes	lipáz	mikroorganizmus (<i>Aspergillus oryzae</i>)	borostyánszínű folyadék	nem ismert	nem ismert	(Lipomod™ 833L2 Technical Data Sheet - Biocatalysts, n.d.)
Lipomod™ 833L2	Biocatalysts	lipáz (A2 foszfolipáz)	mikroorganizmus (<i>Yarrowia sp.</i>)	barna folyadék	40-50°C	5,0-9,0	(Lipomod™ 833L2 Technical Data Sheet - Biocatalysts, n.d.)
Lecitase® Ultra	Novozymes	lipáz (karboxil-észter hidroláz)	mikroorganizmus eredetű (<i>Thermomyces lanuginosus/Fusarium oxysporum</i>), termeltetése: <i>Aspergillus niger</i>	halvány barna folyadék	35-60	5,0-5,50	(Lecitase® Ultra, n.d.; Leśniarek et al., 2020; Virgen-Ortiz et al., 2019)
Catazyme® 25L	Novozymes	kataláz	mikroorganizmus (<i>Aspergillus niger</i>)	barna folyadék	25-40	4,0-6,0	(Catazyme®, n.d.)
Flavorpro™ 750MDP	Biocatalysts	aminopeptidáz (kazeinbontó)	mikroorganizmus (<i>Aspergillus sp. Bacillus sp.</i>)	barnás fehér színű por	45-55	5,5-7,5	(Garcés-Rimón et al., 2016)

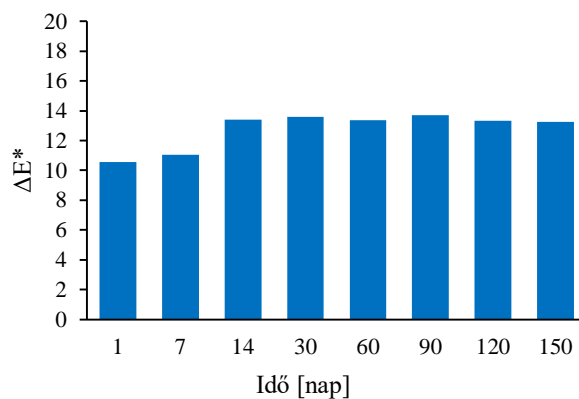
M3 Különböző enzimkészítményekkel kezelt, illetve kontroll tojássárgájale minták fagyasztás-felengedtetést követően



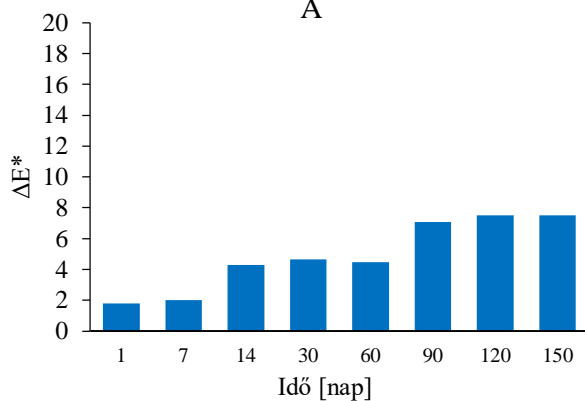
M4 Különböző enzimkészítményekkel kezelt, illetve kontroll teljes tojásle minták fagyasztás-felengedtetést követően



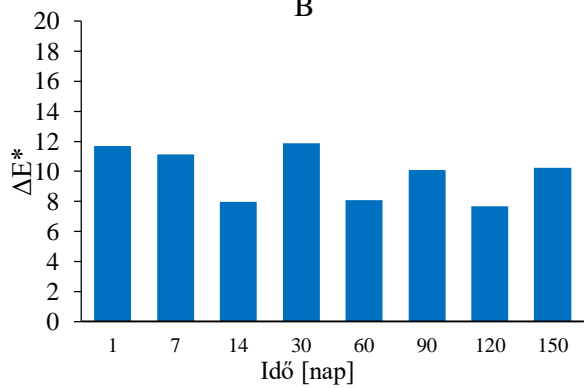
M5 A friss, nem fagyasztott minták és a fagyasztott-felengedett minták között számolt ΔE^* (színkülönbség) értékek az 1. kísérletben (A), illetve a 2. kísérletben (tojásfehérjé (B); tojássárgájá (C) és teljes tojás (D)) szereplő minták esetében



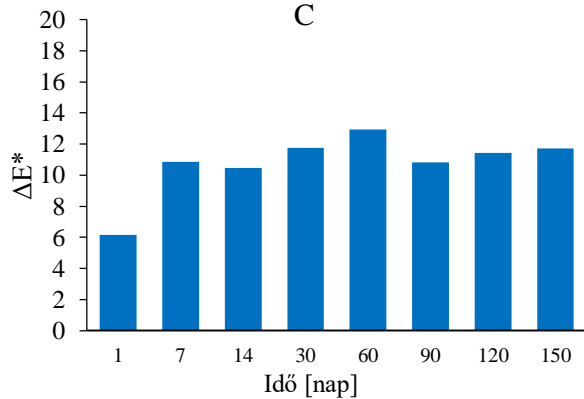
A



B

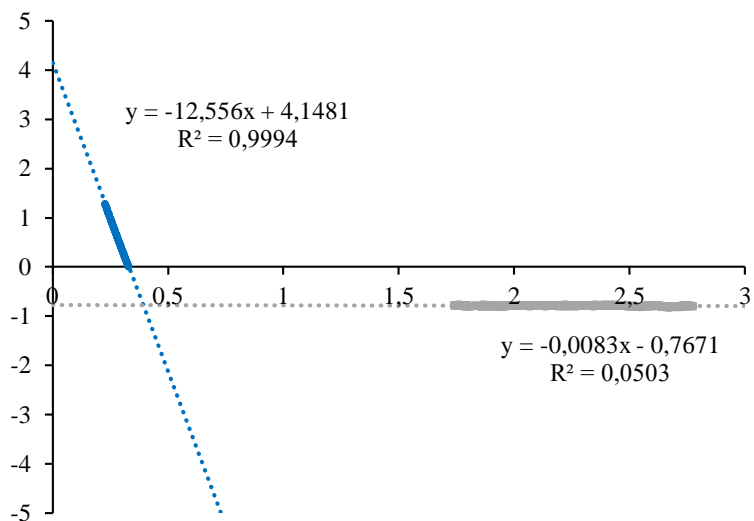


C

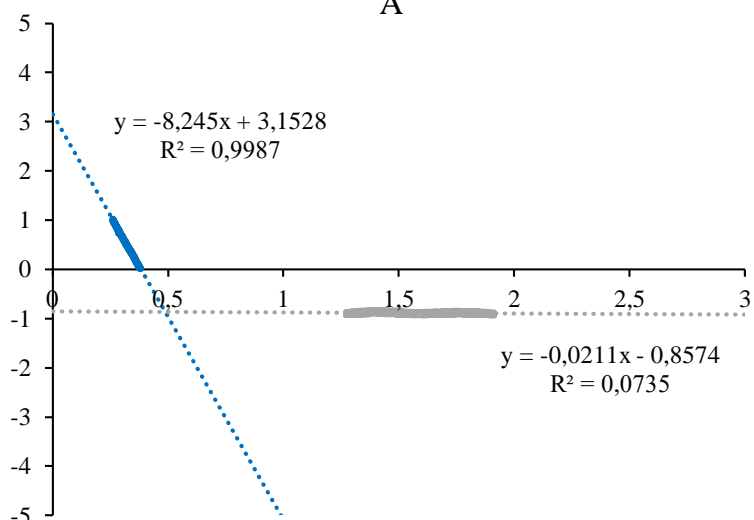


D

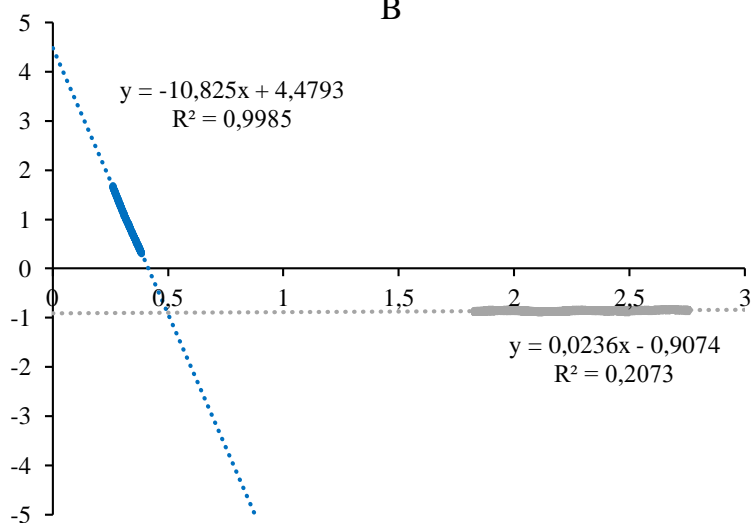
M6 Tojásfehérjélé (A), tojássárgájale (B) és teljes tojásle (C) kriozkópos hőmérsékletének meghatározása a fagyásgörbék hűtési és fagyási szakaszaira illesztett egyenesek metszéspontjaként



A

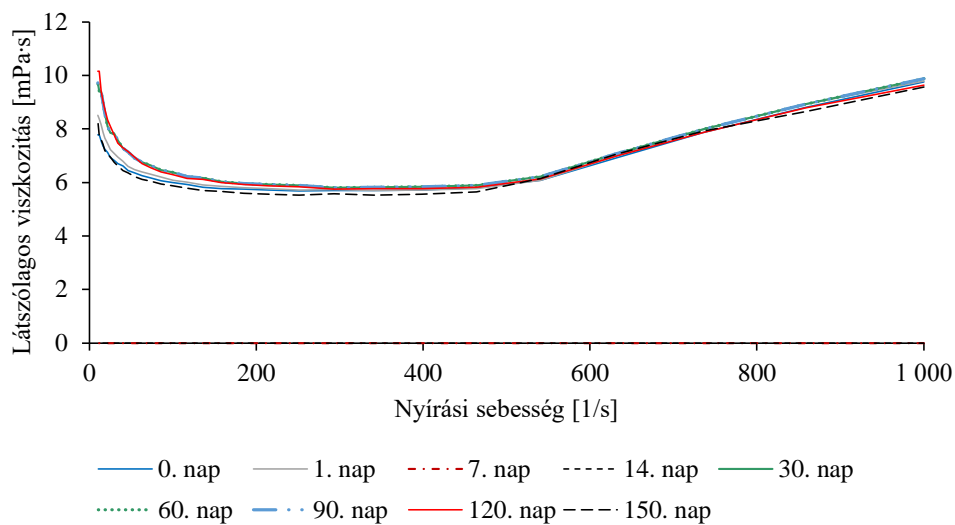


B

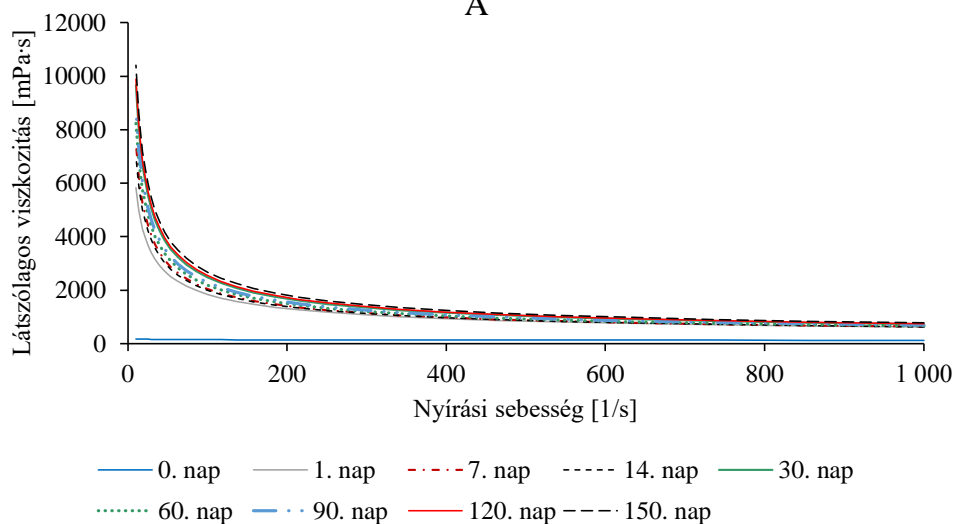


C

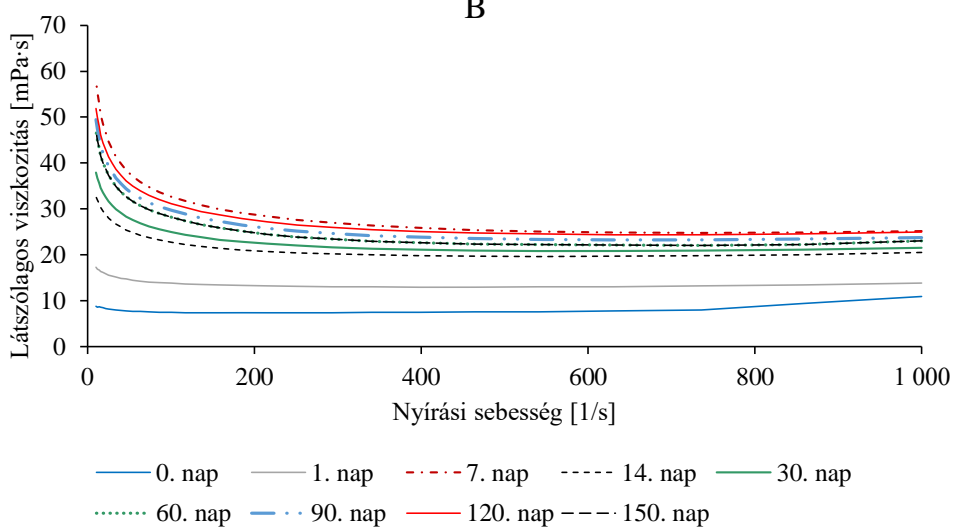
M7 Kontroll (0. nap) és -24°C -on fagyasztott, különböző időpontokban felengedett tojásfehérjé (A), tojássárgájáé (B) és teljes tojáslé (C) viszkozitásgörbéi



A



B



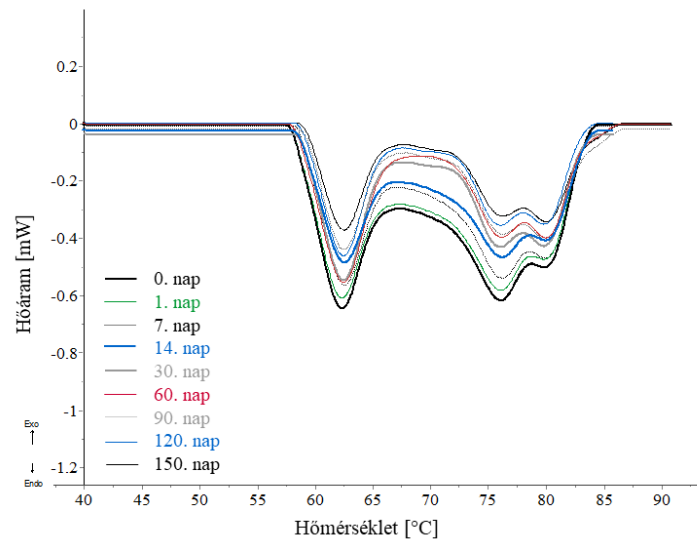
C

M8 Tojáslevek reológiai tulajdonságainak (folyáshatár (τ_0), konzisztencia koefficiens (K) és folyásindex (n)) változása lassú fagyasztás és -24°C -os tárolás következtében

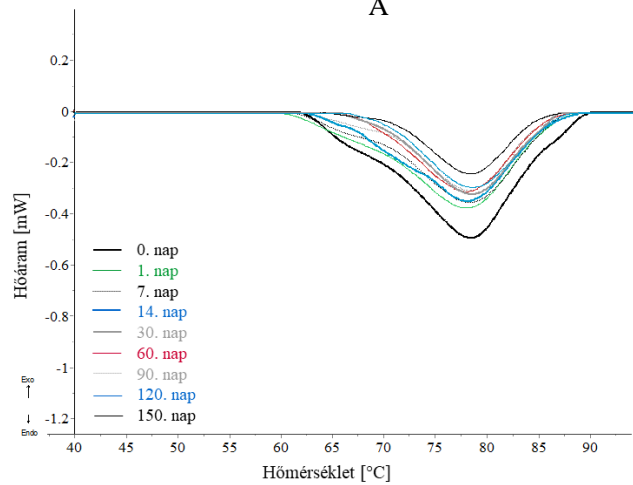
Idő [nap]	τ_0 [Pa]	K [Pa·s ⁿ]	n
<i>Tojásfehérjélé</i>			
0	0,26 ± 8,9E-03 ^{ab}	0,10 ± 3,3E-03 ^a	1,65 ± 4,3E-03 ^a
1	0,28 ± 1,6E-02 ^{ab}	0,15 ± 4,5E-02 ^a	1,59 ± 3,7E-02 ^a
7	0,29 ± 1,4E-02 ^{ab}	0,12 ± 1,9E-02 ^a	1,63 ± 2,7E-02 ^a
14	0,30 ± 1,9E-02 ^{ab}	0,14 ± 3,9E-02 ^a	1,57 ± 9,0E-02 ^a
30	0,31 ± 2,2E-02 ^b	0,17 ± 3,1E-02 ^a	1,58 ± 2,4E-02 ^a
60	0,26 ± 1,3E-02 ^a	0,12 ± 1,8E-02 ^a	1,63 ± 2,1E-02 ^a
90	0,27 ± 2,3E-02 ^{ab}	0,11 ± 5,5E-02 ^a	1,64 ± 9,0E-03 ^a
120	0,26 ± 1,6E-02 ^{ab}	0,13 ± 1,7E-02 ^a	1,61 ± 2,1E-02 ^a
150	0,28 ± 1,8E-02 ^{ab}	0,14 ± 4,1E-02 ^a	1,61 ± 4,4E-02 ^a
<i>Tojássárgájálé</i>			
0	0,00 ± 0,00 ^a	0,21 ± 0,01 ^a	0,93 ± 1,2E-03 ^c
1	14,17 ± 4,88 ^b	13,07 ± 1,17 ^b	0,56 ± 1,5E-02 ^b
7	27,56 ± 6,65 ^{cd}	14,73 ± 0,97 ^b	0,54 ± 9,8E-03 ^{ab}
14	23,03 ± 2,20 ^{bc}	14,53 ± 0,80 ^b	0,54 ± 8,5E-03 ^{ab}
30	36,43 ± 3,07 ^d	19,31 ± 1,60 ^c	0,52 ± 1,0E-02 ^a
60	32,17 ± 6,54 ^{cd}	15,56 ± 0,92 ^b	0,54 ± 1,2E-02 ^{ab}
90	39,25 ± 3,07 ^{de}	16,15 ± 1,11 ^{bc}	0,54 ± 8,8E-03 ^{ab}
120	49,94 ± 4,75 ^{ef}	18,98 ± 1,15 ^c	0,51 ± 4,8E-03 ^a
150	58,25 ± 1,73 ^f	19,31 ± 1,61 ^c	0,51 ± 1,6E-02 ^a
<i>Teljes tojáslé</i>			
0	0,27 ± 2,3E-02 ^b	1,4E-03 ± 1,7E-03 ^a	1,47 ± 5,3E-03 ^d
1	0,15 ± 1,4E-02 ^a	9,2E-03 ± 1,2E-04 ^b	1,06 ± 2,6E-03 ^c
7	0,34 ± 1,6E-02 ^d	1,9E-02 ± 1,4E-03 ^e	1,02 ± 6,4E-03 ^a
14	0,29 ± 7,8E-03 ^{bc}	1,3E-02 ± 4,8E-04 ^c	1,05 ± 3,5E-03 ^c
30	0,27 ± 1,5E-02 ^b	1,4E-02 ± 4,8E-04 ^{cd}	1,04 ± 1,0E-03 ^{bc}
60	0,29 ± 1,3E-02 ^{bc}	1,5E-02 ± 1,2E-03 ^{cd}	1,03 ± 7,3E-03 ^b
90	0,31 ± 1,3E-02 ^{bcd}	1,6E-02 ± 1,2E-03 ^{de}	1,03 ± 7,2E-03 ^b
120	0,34 ± 3,2E-02 ^{cd}	1,4E-02 ± 1,4E-03 ^{cd}	1,02 ± 2,5E-03 ^a
150	0,29 ± 9,0E-02 ^{bc}	1,5E-02 ± 1,3E-03 ^{cd}	1,03 ± 8,3E-03 ^b

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

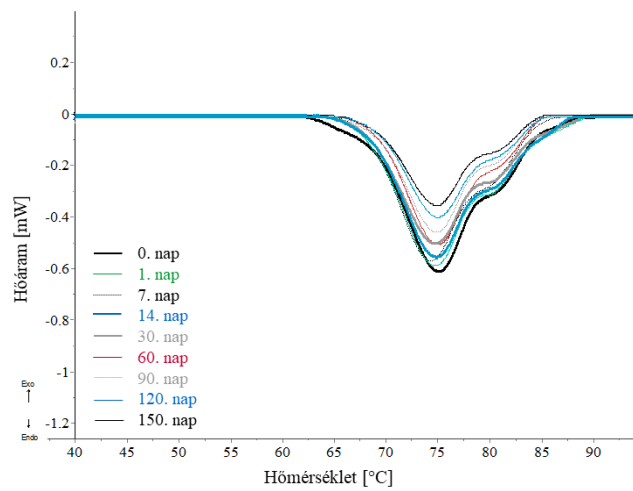
M9 Kontroll (0. nap) és -24°C -on fagyasztott, különböző időpontokban felengedett tojásfehérjé (A), tojássárgájá (B) és teljes tojás (C) denaturációs hőáramgörbéi



A



B



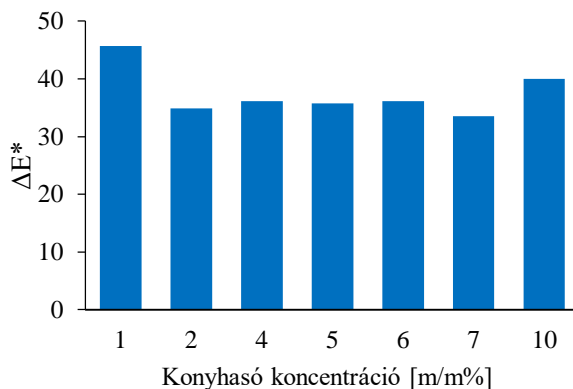
C

M10 A tojáslevek mikrobaszámának változása lassú fagyasztás és –24°C-os tárolás következtében, illetve különböző konyhasó és szacharóz koncentrációjú tojássárgájale minták mikrobaszáma a fagyasztás-felengedtetést követően (60 napig tartó –24°C-os fagyasztva tárolás után)

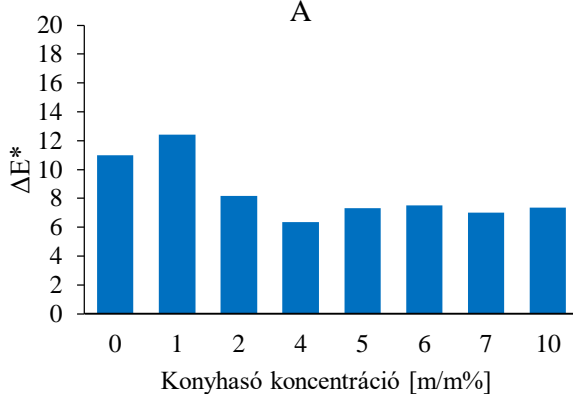
Idő [nap]	Tojásfehérjé mezofil összes csíraszám [Log TKE/g]	Teljes tojáslé mezofil összes csíraszám [Log TKE/g]	Tojássárgájale mezofil összes csíraszám [Log TKE/g]	Konyhasó koncentráció [m/m%]	Mezofil összes csíraszám [Log TKE/g]	Szacharóz koncentráció [m/m%]	Mezofil összes csíraszám [Log TKE/g]
0	3,14 ± 0,05 ^c	3,50 ± 0,08 ^c	3,35 ± 0,07 ^d	0	2,82 ± 0,08 ^c	0	2,85 ± 0,06 ^b
7	2,93 ± 0,07 ^c	3,20 ± 0,12 ^b	3,08 ± 0,12 ^c	1	2,80 ± 0,06 ^c	1	2,79 ± 0,08 ^{ab}
30	2,82 ± 0,08 ^b	2,94 ± 0,12 ^a	2,91 ± 0,12 ^{bc}	2	2,64 ± 0,10 ^c	2	2,75 ± 0,10 ^{ab}
60	2,50 ± 0,16 ^{ab}	2,80 ± 0,04 ^a	2,76 ± 0,05 ^{ab}	4	2,71 ± 0,07 ^{bc}	5	2,71 ± 0,08 ^{ab}
120	2,46 ± 0,09 ^a	2,71 ± 0,09 ^a	2,66 ± 0,07 ^a	5	2,59 ± 0,09 ^{bc}	7	2,68 ± 0,11 ^{ab}
				6	2,36 ± 0,12 ^{ab}	9	2,61 ± 0,06 ^a
				7	2,25 ± 0,19 ^a	10	2,59 ± 0,26 ^a
				10	2,15 ± 0,11 ^a	-	-

^{a,b,c,d} A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes oszlopokon belül (p < 0,05)

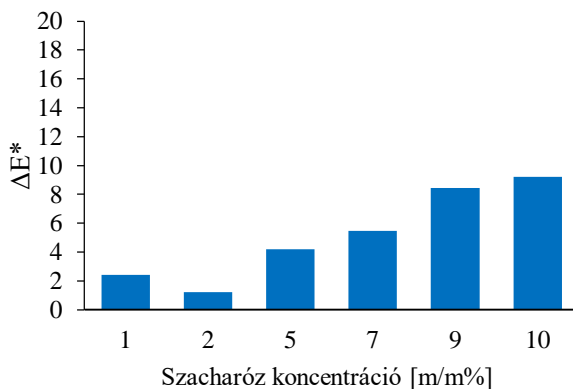
M11 Számolt ΔE^* (színkülönbség) értékek a 3. és 4. kísérletben. Színkülönbség a kontroll (0 m/m%) és a különböző konyhasó (A) / szacharóz (C) koncentrációjú tojássárgájale minták között; színkülönbség értékek a különböző konyhasó (B) / szacharóz (D) koncentrációjú minták esetében a fagyasztás előtt és a -24°C -os 60 napig tartó fagyasztva tárolást követően



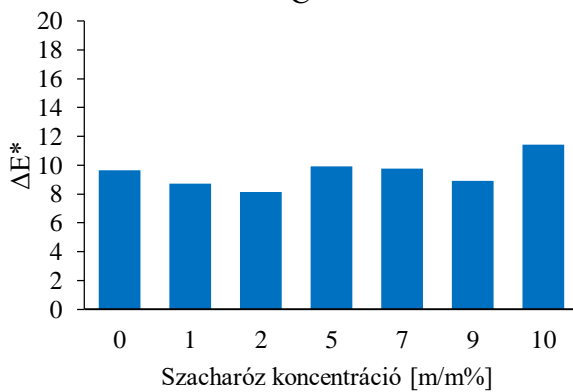
A



B

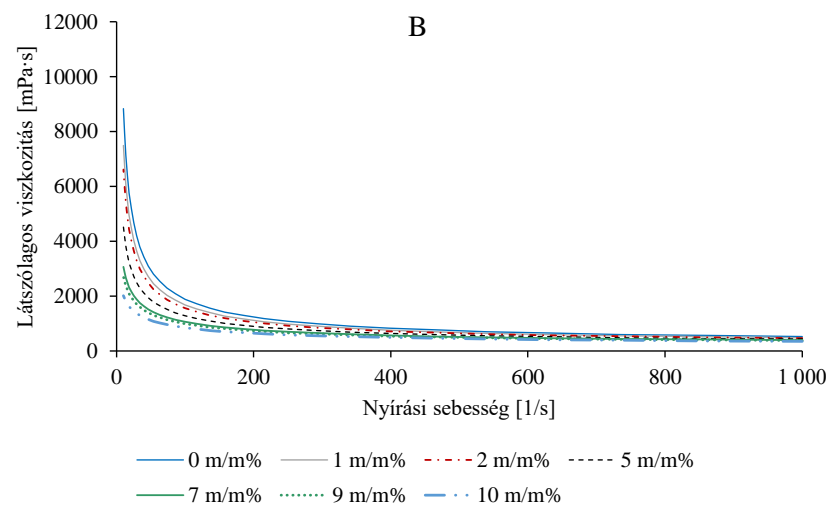
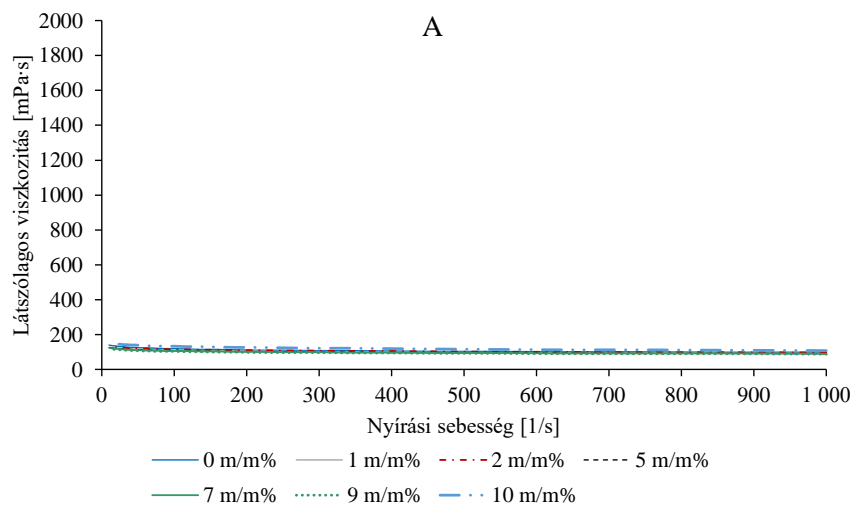
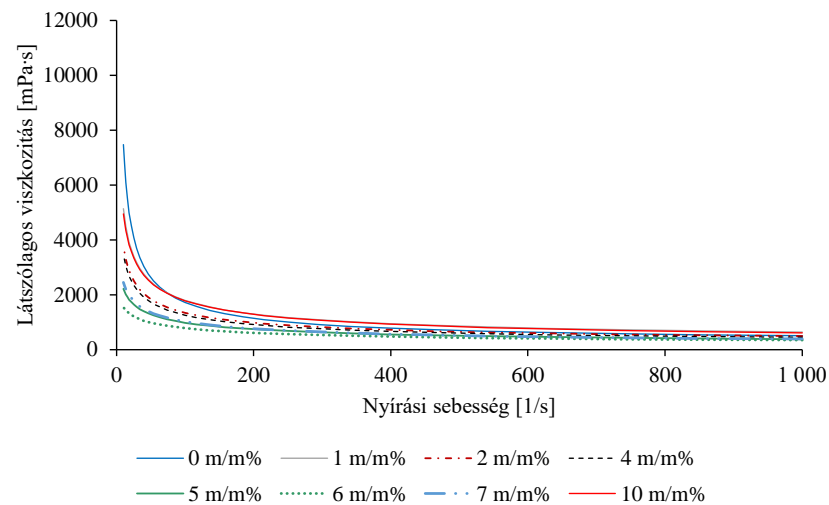
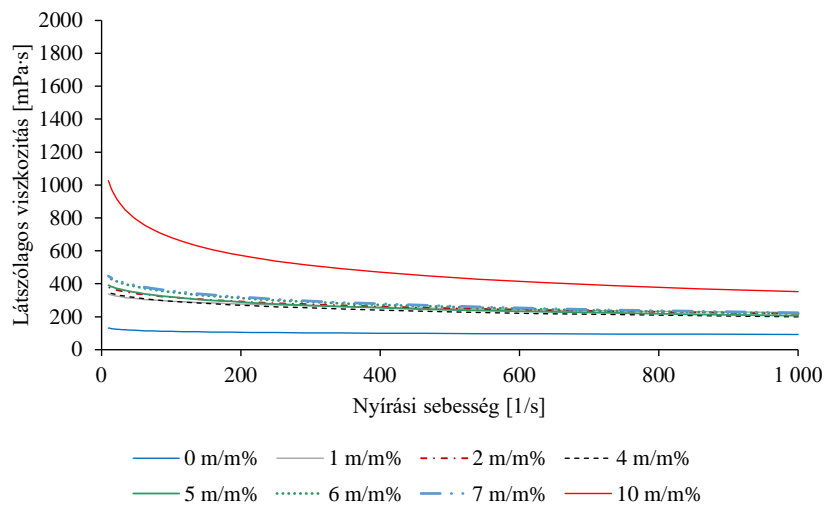


C



D

M12 A tojássárgájale viszkozitásgörbéjei fagyasztás előtt, illetve -24°C -on tárolva és 4°C -on felengedtetve. Konyhasó hatása fagyasztás előtt (A) és után (B), illetve szacharóz hatása fagyasztás előtt (C) és után (D)



A

B

C

D

M13 A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak (folyáshatár (τ_0), konzisztencia koefficiens (K) és folyásindex (n)) változása a különböző konyhasó koncentráció, illetve a fagyasztás-felengedtetés hatására

Konyhasó koncentráció [m/m%]	τ_0 [Pa]		K [Pa·s]		n	
	Fagyasztás előtt	Fagyasztás után	Fagyasztás előtt	Fagyasztás után	Fagyasztás előtt	Fagyasztás után
0	0,00 ± 0,00	54,82 ± 0,70	0,16 ± 0,03 ^a	13,08 ± 0,48 ^h	0,93 ± 7,0E-03 ^j	0,52 ± 5,0E-03 ^a
1	0,00 ± 0,00	9,08 ± 0,25	0,53 ± 0,01 ^{ab}	12,33 ± 0,03 ^g	0,88 ± 1,5E-03 ⁱ	0,57 ± 2,0E-03 ^{bc}
2	0,00 ± 0,00	6,55 ± 0,11	0,72 ± 0,02 ^{ab}	8,46 ± 0,03 ^f	0,83 ± 1,0E-03 ^h	0,57 ± 1,2E-03 ^{bc}
4	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,73 ± 0,01 ^{ab}	8,34 ± 0,20 ^f	0,82 ± 4,5E-03 ^{gh}	0,57 ± 6,0E-03 ^b
5	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,85 ± 0,03 ^b	7,25 ± 0,41 ^e	0,81 ± 6,1E-03 ^g	0,59 ± 7,8E-03 ^d
6	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,81 ± 0,03 ^b	4,89 ± 0,27 ^d	0,81 ± 3,5E-03 ^g	0,62 ± 4,9E-03 ^e
7	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,84 ± 0,02 ^b	7,24 ± 0,45 ^e	0,81 ± 1,2E-03 ^g	0,58 ± 1,1E-03 ^{cd}
10	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,83 ± 0,02 ^c	14,96 ± 0,03 ⁱ	0,71 ± 1,0E-03 ^f	0,54 ± 2,0E-03 ^a

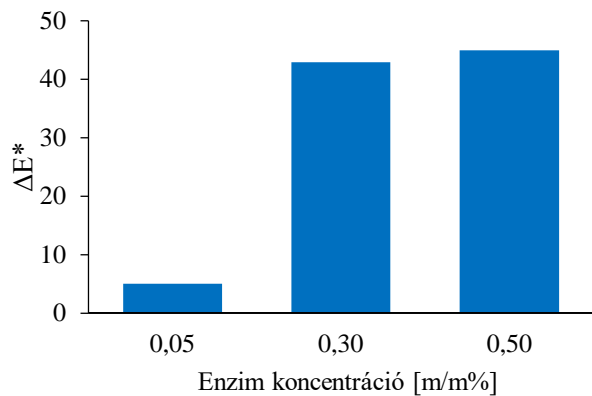
a,b,c,d,e A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes tényezőkon belül ($p < 0,05$)

M14 A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak (folyáshatár (τ_0), konzisztencia koefficiens (K) és folyásindex (n)) változása a különböző szacharóz koncentráció, illetve a fagyasztás-felengedtetés hatására

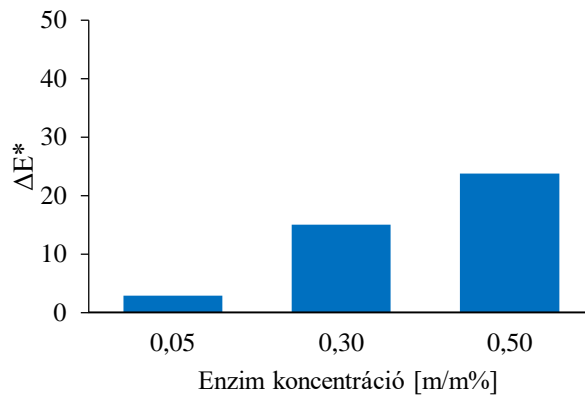
Szacharóz koncentráció [m/m%]	τ_0 [Pa]		K [Pa·s]		n	
	Fagyasztás előtt	Fagyasztás után	Fagyasztás előtt	Fagyasztás után	Fagyasztás előtt	Fagyasztás után
0	0,00 ± 0,00	55,01 ± 0,84 ^g	0,175 ± 0,006 ^d	10,579 ± 0,162 ^f	0,917 ± 2,3E-05 ^a	0,546 ± 2,9E-06 ^a
1	0,00 ± 0,00	44,91 ± 1,14 ^f	0,156 ± 0,003 ^{bc}	9,298 ± 0,233 ^e	0,924 ± 3,5E-04 ^b	0,556 ± 3,9E-05 ^b
2	0,00 ± 0,00	38,79 ± 1,17 ^e	0,161 ± 0,003 ^c	8,449 ± 0,251 ^d	0,924 ± 5,5E-04 ^c	0,566 ± 3,7E-05 ^c
5	0,00 ± 0,00	20,72 ± 0,52 ^d	0,150 ± 0,005 ^{abc}	7,187 ± 0,183 ^c	0,928 ± 2,4E-07 ^d	0,583 ± 4,8E-05 ^d
7	0,00 ± 0,00	9,25 ± 0,25 ^c	0,147 ± 0,005 ^{ab}	5,733 ± 0,148 ^b	0,930 ± 5,1E-09 ^e	0,603 ± 2,4E-05 ^e
9	0,00 ± 0,00	4,31 ± 0,13 ^b	0,140 ± 0,005 ^a	4,818 ± 0,149 ^a	0,933 ± 1,8E-08 ^g	0,621 ± 3,2E-05 ^g
10	0,00 ± 0,00	0,78 ± 1,34 ^a	0,155 ± 0,002 ^{bc}	4,782 ± 0,273 ^a	0,931 ± 2,8E-04 ^f	0,616 ± 1,1E-05 ^f

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

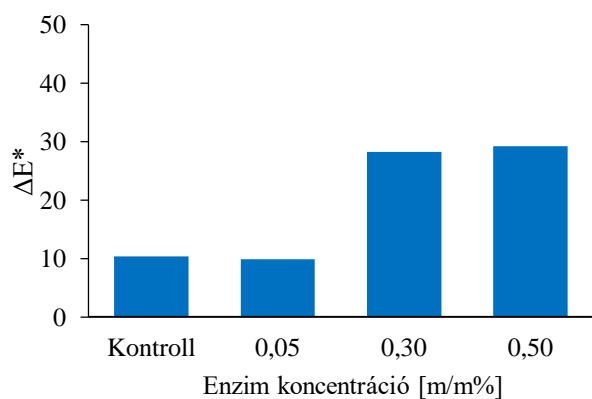
M15 Számolt ΔE^* (színkülönbség) értékek az 5. kísérletben. Színkülönbség a kontroll (0 m/m) és a különböző enzim koncentrációjú tojássárgájale (A) és teljes tojásle (B) minták között; színkülönbség értékek a különböző enzim koncentrációjú tojássárgájale (C) és teljes tojásle (D) minták esetében a fagyasztás előtt és a -24°C -os 60 napig tartó fagyasztva tárolást követően



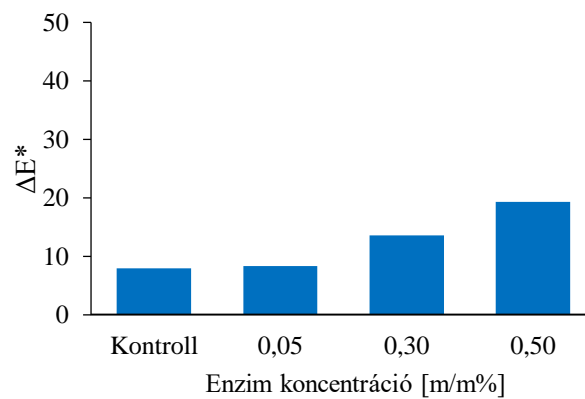
A



B

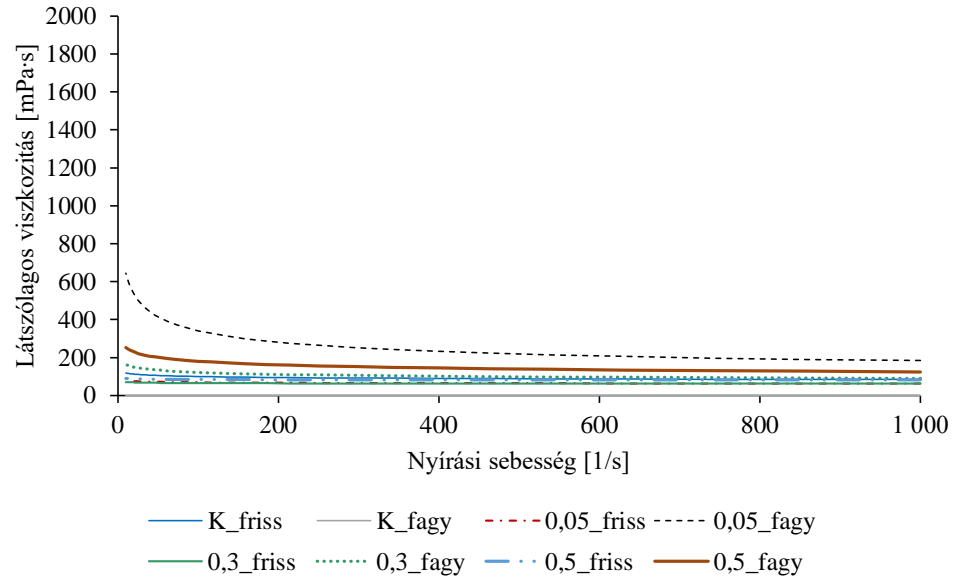


C

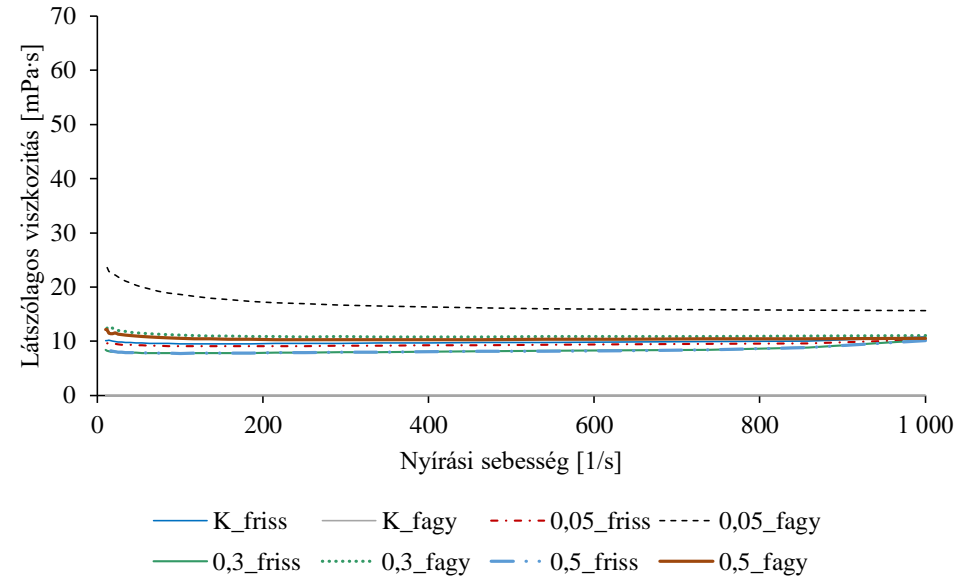


D

M16 A tojássárgájale (A) és teljes tojásle (B) viszkozitásgörbéjének változása a különböző koncentrációkban alkalmazott enzimkezelés, illetve a fagyasztás-felengedtetés hatására



A



B

M17 A tojássárgájale reológiai tulajdonságainak változása a különböző koncentrációkban alkalmazott enzimkezelés, illetve a fagyasztás-felengedtetés hatására

Enzim koncentráció [m/m%]	τ_0 [Pa]		K [Pa·s]		n	
	<i>Fagyasztás előtt</i>	<i>Fagyasztás után</i>	<i>Fagyasztás előtt</i>	<i>Fagyasztás után</i>	<i>Fagyasztás előtt</i>	<i>Fagyasztás után</i>
0	0,00 ± 0,00 ^a	51,10 ± 0,02 ^e	0,14 ± 3,0E-03 ^b	11,5 ± 2,2E-02 ^f	0,92 ± 3,8E-04 ^e	0,53 ± 2,9E-03 ^a
0,05	0,12 ± 0,01 ^c	0,76 ± 0,01 ^d	0,08 ± 2,0E-03 ^a	1,09 ± 1,2E-02 ^e	0,97 ± 1,5E-04 ^f	0,74 ± 8,0E-05 ^b
0,3	0,10 ± 0,01 ^c	0,00 ± 0,00 ^a	0,07 ± 2,0E-03 ^a	0,22 ± 8,0E-03 ^c	0,99 ± 2,3E-04 ^h	0,87 ± 8,2E-06 ^d
0,5	0,03 ± 0,01 ^b	0,02 ± 0,02 ^{ab}	0,09 ± 3,1E-03 ^a	0,40 ± 1,1E-02 ^d	0,99 ± 3,5E-03 ^g	0,84 ± 3,5E-04 ^c

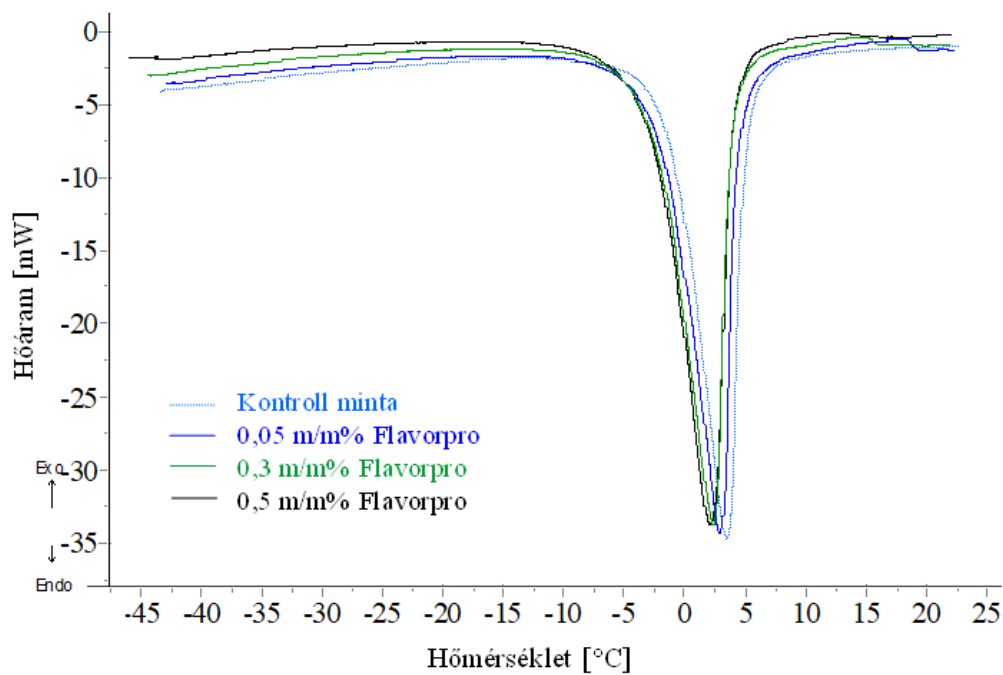
a,b,c,d,e A különböző betűk szignifikánsan különböző csoportokat jelölnek az egyes tényezőkön belül ($p < 0,05$)

M18 A teljes tojásle reológiai tulajdonságainak változása a különböző koncentrációkban alkalmazott enzimkezelés, illetve a fagyasztás-felengedtetés hatására

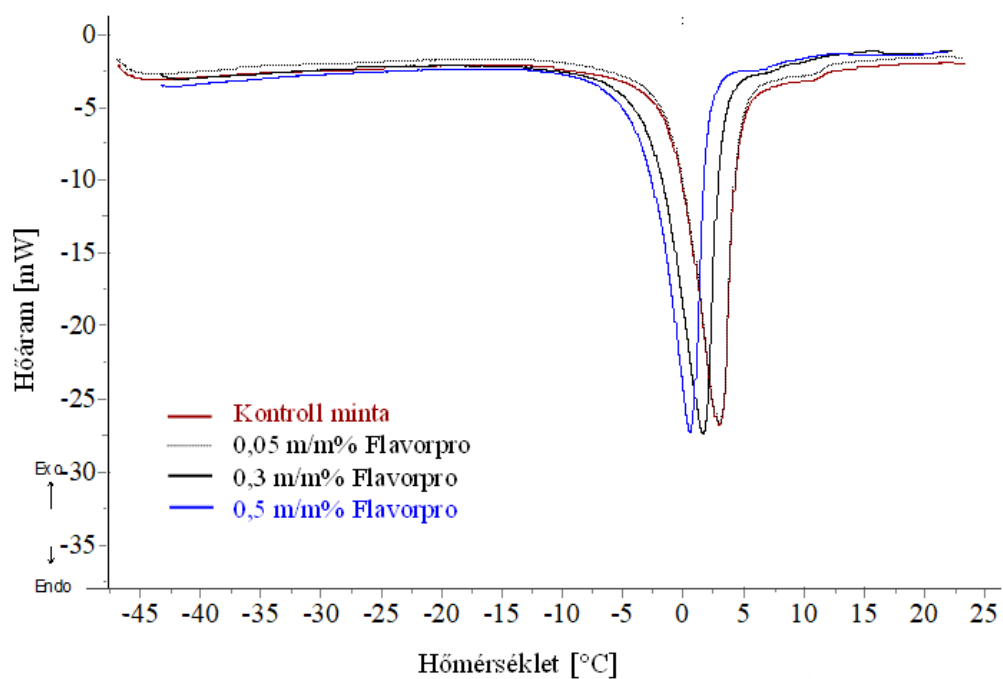
Enzim koncentráció [m/m%]	τ_0 [Pa]		K [Pa·s]		n	
	<i>Fagyasztás előtt</i>	<i>Fagyasztás után</i>	<i>Fagyasztás előtt</i>	<i>Fagyasztás után</i>	<i>Fagyasztás előtt</i>	<i>Fagyasztás után</i>
0	0,05 ± 1,6E-03 ^a	1,11 ± 1,5E-03 ^c	0,010 ± 3,5E-04 ^c	0,242 ± 8,0E-04 ^e	1,02 ± 1,4E-04 ^c	0,76 ± 9,9E-05 ^a
0,05	0,09 ± 3,1E-03 ^b	0,11 ± 6,4E-03 ^c	0,005 ± 1,7E-04 ^b	0,022 ± 9,3E-04 ^d	1,10 ± 8,7E-05 ^d	0,95 ± 4,9E-05 ^b
0,3	0,16 ± 5,1E-03 ^d	0,05 ± 4,1E-03 ^a	0,002 ± 5,3E-05 ^a	0,009 ± 7,0E-04 ^c	1,24 ± 3,5E-05 ^e	1,02 ± 1,2E-04 ^c
0,5	0,16 ± 5,7E-03 ^d	0,05 ± 4,7E-03 ^a	0,002 ± 6,2E-05 ^a	0,009 ± 7,3E-04 ^c	1,24 ± 5,4E-05 ^e	1,03 ± 1,3E-04 ^c

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

M19 A kontroll, illetve enzimkezelt tojássárgájale hőáramgörbéi



M20 A kontroll, illetve enzimkezelt teljes tojásle hőáramgörbéi



KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetemet szeretném kifejezni témavezetőimnek, **Nyulasné dr. Zeke Ildikónak**, akihez bármikor fordulhattam kérdéseimmal, aki segítette szakmai fejlődésemet, segítséget nyújtott a kísérleteim megtervezésében és értékelésében, illetve szakmai tudásával és ösztönzéssel segítette doktori munkám elkészülését, valamint **Dr. Németh Csabának**, aki szintén támogatta szakmai tudásával, ipari tapasztalatával, és értékes tanácsokkal emelte dolgozatom színvonalát, illetve rengeteg segítséget nyújtott az eredményeim publikálása során.

Köszönöm **Dr. Friedrich Lászlónak**, aki biztosította a kísérleteim elvégzéséhez szükséges infrastruktúrát, biztatott dolgozatom mielőbbi elkészítésére és szakmai tanácsokkal látott el.

Köszönöm az **Állattermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék minden munkatársának**, akik szakmai tudásukkal támogatták a munkámat.

Köszönöm **Nguyen Le Phuong Liennek** a méréseim elvégzésében nyújtott önzetlen segítségéért és **dr. Baranyai Lászlónak** a folyékony nitrogén felhasználásával végzett fagyasztást szemléltető ábra elkészítéséért.

Köszönet illeti a **Capriovus Kft. munkatársait** a közös munkáért, a minták szállításáért és ennek megszervezéséért, illetve az eredményeim publikálásában nyújtott rengeteg segítségért.

Köszönöm a **szakdolgozatukat és diplomamunkájukat témavezetésemmel író hallgatóknak** a belém vetett bizalmukért, illetve kísérleteim megvalósításában való közreműködésüket.

Köszönöm **családomnak, páromnak, szeretteimnek és barátaimnak**, akik támogattak és biztattak doktori tanulmányaim és a dolgozat megírása során.