

DOI: [10.56618/meat.3354](https://doi.org/10.56618/meat.3354)

Hidas Karina Ilona, Nyulasné Zeke Ildikó Csilla, Vargáné Tóth Adrienn,  
Visy Anna, Barkó Annamária, Horváth-Mezőfi Zsuzsanna, Majzinger Koppány,  
Friedrich László Ferenc, Németh Csaba

# Teljes tojáslé reológiai, kalorimetrikus és funkcionális tulajdonságainak változása a fagyasztás során

## Szerzők elérhetősége

Hidas Karina Ilona<sup>1</sup> 0000-0002-5499-0623 | tudományos segédmunkatárs  
[hidas.karina.ilona@uni-mate.hu](mailto:hidas.karina.ilona@uni-mate.hu)

Nyulasné dr. Zeke Ildikó Csilla<sup>1</sup> 0000-0003-3199-2471 | egyetemi adjunktus  
[zeke.ildiko.csilla@uni-mate.hu](mailto:zeke.ildiko.csilla@uni-mate.hu)

Vargáné dr. Tóth Adrienn<sup>1</sup> 0000-0001-8360-2661 | tudományos munkatárs  
[toth.adrienn@uni-mate.hu](mailto:toth.adrienn@uni-mate.hu)

Visy Anna<sup>1</sup> 0000-0001-8259-8429 | tudományos segédmunkatárs | [visy.anna@uni-mate.hu](mailto:visy.anna@uni-mate.hu)

Barkó Annamária<sup>1</sup> 0000-0001-8260-3021 | PhD-hallgató | [barko.annamaria@phd.uni-mate.hu](mailto:barko.annamaria@phd.uni-mate.hu)

Horváth-Mezőfi Zsuzsanna<sup>1</sup> 0000-0002-5161-0699 | kutatási munkatárs  
[horvath-mezofi.zsuzsanna@uni-mate.hu](mailto:horvath-mezofi.zsuzsanna@uni-mate.hu)

Majzinger Koppány<sup>1</sup> 0000-0002-9877-878X | PhD-hallgató  
[majzinger.koppany@phd.uni-mate.hu](mailto:majzinger.koppany@phd.uni-mate.hu)

Dr. Friedrich László Ferenc<sup>1</sup> 0000-0002-3679-2391 | intézet- és tanszékvezető, egyetemi tanár  
[friedrich.laszlo.ferenc@uni-mate.hu](mailto:friedrich.laszlo.ferenc@uni-mate.hu)

Dr. Németh Csaba<sup>2</sup> | beruházási és kutatás-fejlesztési vezető | [nemeth.csaba@capriovus.hu](mailto:nemeth.csaba@capriovus.hu)

## A szerzők munkahelye:

<sup>1</sup> MATE, Állatiermék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék  
Munkahely címe: 1118 Budapest, Ménesi út 43-45.

<sup>2</sup> Capriovus Kft. | 2317 Szigetcsép, Dunasor, 073/72. hrsz.

## Összefoglalás

A folyékony tojástermékek viszonylag rövid ideig eltarthatók, ugyanis a tojásban megtalálható fehérjék alacsony hőmérsékletű hődenaturációja miatt csak alacsony hőmérsékleten hőkezelhetők. A néhány hetes fogyaszthatósági időt növelhetjük, ha a hőkezelést egyéb tartósítási eljárásokkal kombináljuk. Egy lehetséges megoldás a tojáslevek fagyasztása, és fagyasztva tárolása a hőkezelést követően. A tojásfehérje reológiai tulajdonságai nem változnak a fagyasztás hatására, azonban a tojássárgája a fagyasztás során egy irreverzibilis gélesedésen megy keresztül. A tojássárgájában végbemenő változások és azok megelőzése krioprotektív hatású anyagokkal intenzíven kutatott témakör, azonban a teljes tojásleiben végbemenő változásokról nagyon kevés információval rendelkezünk. Kutatásunkban ezért azt vizsgáltuk, hogy hogyan változnak a teljes tojáslé különböző tulajdonságai fagyasztás, illetve hosszú távú fagyasztva tárolás hatására. A teljes tojáslevet lassú fagyasztással és felengedetéssel vizsgáltuk 150 napig tartó kísérletünkben. Vizsgáltuk a friss és fagyasztott-felengedetett teljes tojáslé-minták színét tristimulusos színmérő készülékkel, pH-ját, reológiai tulajdonságait rotációs reométerrel felvett folyásgörbék összehasonlításával, kalorimetrikus tulajdonságaikat differenciális pásztázó kaloriméterrel és sütési tulajdonságaikat a tojáslevekkel készített piskóta állományának mérésével.

Kutatásunk során megállapítottuk, hogy a fagyasztás és a fagyasztva tárolás során a teljes tojáslé világossági tényezője szignifikánsan megváltozik, a minták világosabbá válnak. Ezenkívül a pH is növekvő tendenciát mutat. A reológiai tulajdonságok szignifikáns változáson esnek át, amely kisebb mértékű, mint a tojássárgájáé esetében. A nyírófeszültség, illetve a konzisztencia koefficiens nő, a fagyasztott-felengedetett minták megközelítőleg newtoni folyadékként viselkednek, illetve a minták vizuális értékelése során látható, hogy az állományuk megváltozik. Ezenkívül megállapítottuk, hogy a teljes tojáslé fehérjei denaturációt vagy aggregációt szenvednek el a fagyasztás és a fagyasztva tárolás során, melynek következtében a tojáslé felverése nehezebbé vált, és az elkészített piskóta állománya gumissá lett.

*Kulcsszavak:* teljes tojáslé, tartósítási eljárások, hőkezelés



## Irodalmi áttekintés

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 eljárás, amely egy hatékony és megfizethető tartósítási technika, azonban rendelkezik hátrányokkal és korlátokkal (FANG et al., 2021). A fagyasztás egy hőelvonáson alapuló fizikai tartósítási mód, melynek hatására a kémiai folyamatok és a mikroorganizmusok növekedése lelassul vagy gátlódik, ami jelentősen meghosszabbítja az eltarthatósági időt, így 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, amelynek következtében a termékben maradó oldat koncentrációja megnő, vízkaktivitása csökken. A mikroorganizmusok többsége ilyen körülmények között nem képes szaporodni (BALLA és SÁRAY, 2002).

Azonban a fagyasztási folyamat károsíthatja az élelmiszer szerkezetét. A fehérjékben gazdag élelmiszerek esetén előfordulhat a fehérjék kitekeredése. A jégképződés hatására a jéggel érintkező hidrofób fehérjerész gyakran konformációváltozást szenved (CHANG et al., 1996). Ezenkívül a fagyasztás hatására bekövetkező koncentráció növekedése is károsíthatja a fehérjéket, ugyanis a tiszta jégképződés során a fehérjék a visszamaradó, egyre töményedő folyadékban maradnak a sókkal, savakkal/lúgokkal együtt, amelyek koncentrációja akár 20-50-szeresére is növekedhet (HATLEY és MANT, 1993). Ez a folyamat a pH változásával és a fehérjék denaturációjával, esetleg aggregációjával jár (FANG et al., 2021).

A tojásfehérjében fagyasztás hatására csak kisebb változások mennek végbe, mint például a sűrűfehérje hígulása (COTTERILL, 2013). Ezzel szemben a tojássárgája egy visszafordíthatatlan állományváltozáson megy keresztül a fagyasztás-felengedetési folyamat során, amit gélesedésnek neveznek. E

folyamat során veszít a folyékonyságából, viszkozitása megnő, ami által a felhasználhatósága csökken (POWRIE et al., 1963). A teljes tojásleiben bekövetkező változásokról azonban csak néhány kutatás született (PEARCE és LAVERS, 1949; MILLER és WINTER, 1951; IJICHI et al., 1970; HERALD és SMITH, 1989). IJICHI és munkatársai (1970) megállapították, hogy a teljes tojásle reológiai tulajdonságai megváltoznak a fagyasztás hatására. Megállapították, hogy gélesedés következik be ebben a tojásleiben is, ami azonban nem olyan jelentős mértékű, mint a tojássárgájale esetében fellépő, ez pedig valószínűleg a tojásfehérje jelenlétének köszönhető. A gélesedés növeli a viszkozitást, és csökkenti a teljes tojásle habképző képességét felengedetést követően (MILLER és WINTER, 1951). A fagyasztást követő fagyasztva tárolás hatásáról azonban kevés információval rendelkezünk.

Kutatásunkban ezért vizsgáltuk a fagyasztás, illetve a 150 napig tartó fagyasztva tárolás hatására bekövetkező reológiai, hőfizikai és technofunkciós tulajdonságokat. Vizsgáltuk a friss és fagyasztott-felengedetett teljes tojásle-minták színét tristimulusos színmérő készülékkel, pH-ját, reológiai tulajdonságaikat rotációs reométerrel felvett folyásgörbék összehasonlításával, kalorimetrius tulajdonságaikat differenciális pásztázó kaloriméterrel, és sütési tulajdonságaikat a tojáslevekből készített piskóta állományának mérésével.

## Anyag és módszer

### Anyagok

A teljes tojásle ketreces tartású tojóállománytól származó „A” osztályú, friss tyúktojásból készült. A Capriovus Kft. szigetcsépi feldolgozóüzemében a tojásokat fertőtlenítették, majd feltörték, homogénezték és hőkezelték (3 perc 70 °C-on 2000 kg/h tömegárammal). 4 liter tojáslevet 1 liter térfogatú PET-palackokba (polietilén-tereftalát) 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, ahol a kísérletet a szállítás napján elkezdtük.

### Fagyasztás és felengedetetés

A beérkező teljes tojásleiből 100 ml térfogatú mintát PA-PE tasakokba töltöttünk, majd fóliahegesztővel lezártuk úgy, hogy minél kevesebb levegő kerüljön a tasakokba. Ezt követően a mintákat  $-24 \pm 1$  °C-os hőmérsékletű fagyasztószekrénybe helyeztük. Az 1., 7., 14., 30., 60., 90., 120. és 150. napon vizsgáltuk a minta pH-ját, színét, reológiai és kalorimetrius tulajdonságait, illetve a 7., 30. és 120. napon piskótát készítettünk a felengedetett minta felhasználásával. A lassú felengedetés során a mintákat 24 órával a vizsgálatok elvégzése előtt a fagyasztószekrényből  $4 \pm 1$  °C-os laboratóriumi hűtőszekrénybe helyeztük. Kontroll mintaként a friss, nem fagyasztott mintát vizsgáltuk (0. nap).

### Vizsgálati módszerek

#### pH mérése

A tojássárgájale- és a majonézminták pH-jának mérését 4 °C-os hőmérsékleten végeztük digitális pH-mérővel (206-pH2, Testo SE & Co. KGaA, Titi-see-Neustadt, Németország). Minden minta esetén három párhuzamos mérést végeztünk.

#### Színjellemzők mérése

A teljes tojásle színének méréséhez Konica-Minolta CR-410 típusú tristimulusos színmérő készüléket (Konica Minolta Sensing Inc., Osaka, Japán) használtunk. Vizsgálatunkban összehasonlítottuk a CIELAB tristimulusos színíngertérben értelmezett  $L^*$ ,  $a^*$  és  $b^*$  színtényezőket. 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). Minden minta esetén 5 párhuzamos mérést végeztünk.

### Reológiai tulajdonságok mérése

A fagyasztott és felengedett teljes tojáslevek reológiai tulajdonságainak vizsgálatát rotációs reométerrel (Anton Paar MCR 92, Anton Paar, Les Ulis, Franciaország) végeztük, koncentrikus henger mérőrendszerrel (CC 27 és a C-CC27/T200/XL/SS). A berendezést az Anton Paar RheoCompass™ szoftverrel vezéreltük.

A mérések során a nyírási sebességet a gyorsuló szakaszban 10–1000 1/s, a lassuló szakaszban pedig 1000-10 1/s között változtattuk, és felvettük a nyírófeszültség-értékeket. A méréseket 20 °C-os hőmérsékleten végeztük. Minden minta esetén 3 párhuzamos mérést végeztünk.

A minták reológiai tulajdonságait a Herschel-Bulkley modell (1.) segítségével hasonlítottuk össze. A folyásgörbékre illesztettük a modellt Excel Solver segítségével. Minimalizáltuk a mért és számolt nyírófeszültség-adatpontok különbsége négyzetének az összegét. Változtatható értékeként a  $\tau_0$ ,  $K$  és  $n$  paramétereket adtuk meg.

$$\tau = \tau_0 + K \left( \frac{d\gamma}{dt} \right)^n \quad [1]$$

Ahol  $\tau$ : nyírófeszültség [Pa],  $\tau_0$ : folyáshatár [Pa],  $K$ : konzisztencia koefficiens [ $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ ],  $d\gamma/dt$ : nyírási sebesség (deformáció sebesség) [1/s],  $n$ : folyásindex (dimenzió nélküli).

### Hőfizikai tulajdonságok mérése

A minták fehérjéi hő által történő denaturálhatóságának vizsgálatát Micro DSC III differenciáló pásztázó kaloriméterrel (SETARAM, Calurie, Franciaország) végeztük. A berendezéshez tartozó alumínium mintatartóba  $210 \pm 5$  mg mintát mértünk, referencia mintaként desztillált vizet alkalmaztunk. A berendezést a SetSoft2000 szoftverrel (Setaram, Caluire-et-Cuire, France) vezéreltük.

A mérési program fűtési szakasza 20 °C-ról indult, és 1,5 °C/perc fűtési sebességgel 95 °C-ig melegítette a mintákat. A hűtési szakaszban 95 °C-ról 3,0 °C/perces hűtési sebességet alkalmaztunk a 20 °C-os hőmérséklet eléréséig. A mé-

rés során a minta hőmérsékletének függvényében rögzítettük a hőáram változását.

A kiértékelés során a Calisto Processing 7.6 szoftvert alkalmaztuk (Setaram, Caluire-et-Cuire, France), amellyel egyenes alapvonalat illesztettünk a felfűtési szakaszban felvett termogramokra, és a görbe alatti terület meghatározásával megállapítottuk a fehérjék denaturálásához szükséges entalpiaváltozást ( $\Delta H_{\text{den}}$ , J/g), illetve a denaturációs hőmérsékletet ( $T_{\text{den}}$ , °C) a denaturációs csúcshoz tartozó hőmérséklet meghatározásával. Mintánként három párhuzamos mérést végeztünk.

### Piskóta sütése és állományának mérése

A friss és fagyasztott-felengedett teljes tojásle-minták felhasználásával piskótamintákat készítettünk LOSTIE és munkatársainak (2002) módszere alapján, módosításokkal. A piskótatésztaikat 35% BL-55 búzafinomlisztből, 35% kristálycukorból és 30% teljes tojásle-ből állítottuk össze. A teljes tojáslevet a kristálycukorral habosra kevertük 3 perc alatt kézi mixer maximális fokozatán (Hand Blender set, 600W, Silvercrest, Cseh Köztársaság, Prága), majd hozzádagoltuk három részletben a lisztet. A keveréket 18 cm átmérőjű tortaformába öntöttük, majd 180 °C-on 20 percig sütöttük Lainox VE 051P típusú (Lainox, Vittorio Veneto, Olaszország) kombinált sütő-pároló berendezésben légkeveréses üzemmódban. A készre sült mintákat szobahőmérsékletűre temperáltuk az állománymérést megelőzően.

Az állománymérést SMS TA.XT Plus (Stable Micro Systems Ltd. Godalming, Surrey, UK) berendezéssel végeztük. Az állomány-profilanalízis (Texture Profile Analysis, TPA) módszerét alkalmaztuk. A piskótákból 20 mm átmérőjű és 20 mm magasságú, henger alakú próbatesteket vágunk, és a méréseket 35 mm átmérőjű, hengeres, sík nyomófelületű alumínium mérőfejjel végeztük 50%-os összenyomásig. A nyomófej sebessége 2 mm/s, a két összenyomás közötti relaxáció időtartama pedig 10 s volt. 6 párhuzamos mérést végeztünk.

A Texture Exponent 32 szoftverrel felvett és kiértékelt erő-idő görbe segítségével az alábbi paramétereket határoztuk meg:

- Keménység ( $F_1$ , [N]): az első harapási ciklus során mért maximális deformáló erő.
- Kohézió ( $A_2/A_1$ ): dimenzió nélküli kalkulált paraméter, az alaktartósság mértéke.
- Rugalmasság ( $S$ , [mm]): a második kompresszió során mérhető deformáció.
- Gumisság ( $G$ , [g]): kalkulált paraméter, a keménység és a kohézió szorzata:  $G = F_1 \cdot C$ .

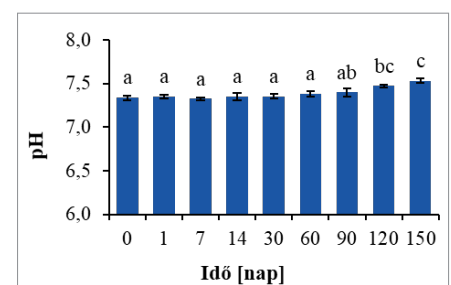
### Statisztikai elemzés

A statisztikai vizsgálatot IBM Statistics 24 szoftverrel végeztük 5%-os szignifikanciaszinten ( $p < 0,05$ ). A hibatagok normalitását Shapiro-Wilk- vagy Kolmogorov-Smirnov-tesztel ellenőriztük, a szóráshomogenitást pedig Levene's-tesztel. A statisztikai analízist egytényezős ANOVA segítségével hajtottuk végre. Amennyiben az ANOVA szignifikánsnak bizonyult, a különböző csoportok elkülönítésére a szóráshomogenitást feltételének teljesülése esetében Tukey HSD-tesztet, a szóráshomogenitást sérülése esetében Games-Howell-tesztet végeztünk.

### Eredmények és értékelés

#### A pH változása a fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására

Az 1. ábra a teljes tojásle pH-jának változását szemlélteti a fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására. Megfigyelhető, hogy a minta pH-ja a tárolás 90. napjáig nem változott szignifikánsan,



1. ábra: A fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatása a teljes tojásle pH-jára



majd egy enyhe emelkedő tendencia látható. VAN DEN BERG (1966) megállapította, hogy a nagy fehérjetartalmú minták esetében a fagyasztás, illetve a fagyasztva tárolás során nőtt a pH. Megállapította, hogy a tárolás során fellépő pH-változás attól függ, hogy milyen az élelmiszer sóösszetétele és pufferkapacitása.

### A szín változása a fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására

A teljes tojáslé szintényezőinek változását a fagyasztás és a fagyasztva tárolás

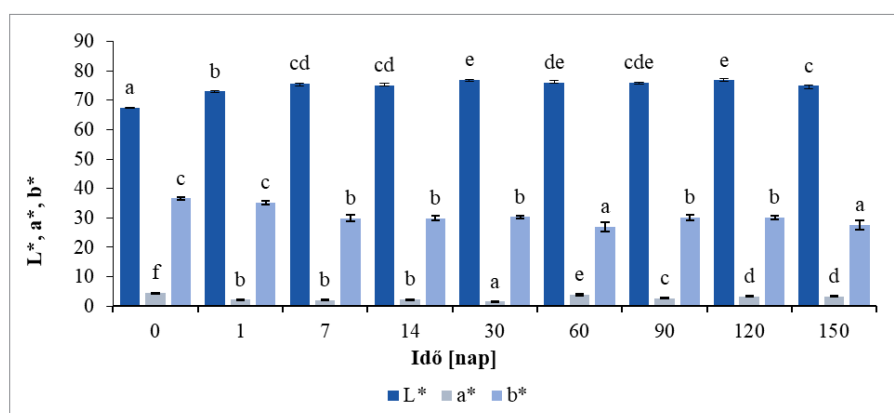
során a 2. ábra mutatja be. Megfigyelhető, hogy a fagyasztást követően a minta világossági tényezője nőtt, a minta színe világosabb lett. Növekvő tendencia látható a tárolási időszak első két hetében, utána enyhén hullámzó tendencia mutatkozik. A teljestojáslé-minták vörös színezetűek voltak, aminek értéke a fagyasztást követően csökkent. A hosszabb tárolás során azonban ingadozó tendencia figyelhető meg ezen szintényező esetén is. A sárga szintényező a fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatására csökkent a friss mintához képest. Ebben az esetben intenzív csökkenés

látható az első héten, azt követően pedig hullámzó tendencia.

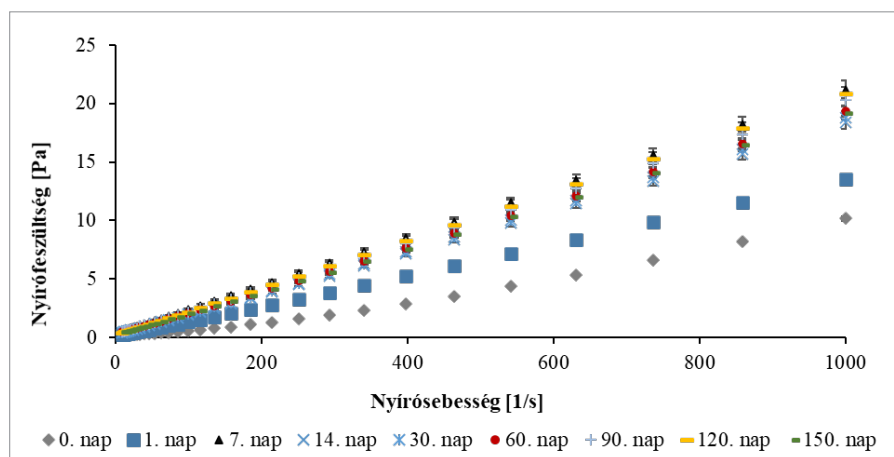
### A reológiai tulajdonságok változása a fagyasztás és a fagyasztva tárolás során

A friss és a fagyasztott-felengedett tojáslevek rotációs reométerrel végzett reológiai vizsgálatának eredményeit a 3. és 4. ábra tartalmazza. A 3. ábra mutatja be a friss és fagyasztott-felengedett minták lassuló szakaszban felvett folyásgörbéit, míg a 4. ábra a Herschel-Bulkley-modell által leírt reológiai paramétereket szemlélteti. A friss teljestojáslé-minta nyírófeszültsége a nyírási sebesség emelésével egyre nagyobb ütemben nőtt, és homorú profilú görbe rajzolódott ki. Ez azt jelenti, hogy a teljes tojáslé a nem-newtoni, azon belül a dilatáló folyadékok közé tartozik. Azonban a fagyasztás-felengedtetés hatására a folyásgörbe „kiegyenesedett”, egy newtonihoz hasonló folyásgörbe rajzolódott ki. A folyásindexértékek is 1-hez közeleliek a fagyasztást követően. Fagyasztás hatására a nyírófeszültség-értékek nőnek, amely növekedés főként az 1. és a 7. napon számottevő. A nyírófeszültség növekedéséről számolt be HERALD a munkatársaival (1989) a pasztörözetlen és a különböző hőmérsékleteken hőkezelt teljestojáslé-minták esetében. 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.

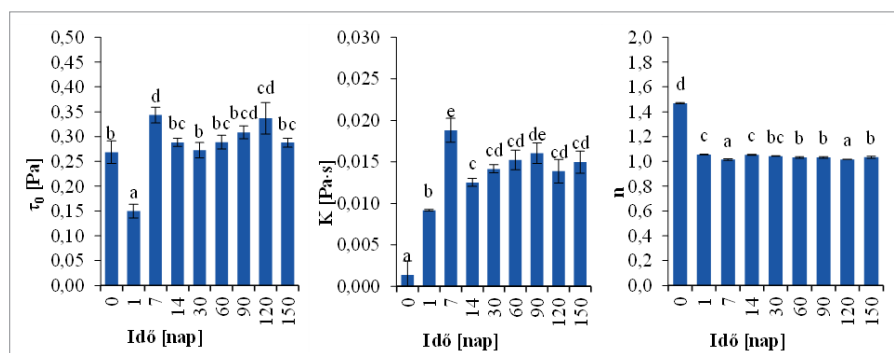
A teljes tojáslének megváltoztak a reológiai tulajdonságai a fagyasztás-felengedtetés hatására. A minta gélesen ment keresztül, mely során kivált belőle egy vízserű, átlátszó, halvány sárga folyadék. Miután a fagyasztott-felengedett teljes tojáslevet alaposan összekevertem, egy inhomogén, darabos, aludttejhez hasonló állományú mintát kaptam. Ennek oka, hogy a kifagyó víz hatására a még folyékony halmazállapotú frakciónak megnő az ionerőssége. A megnövekedett ionerős-



2. ábra: A fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatása a teljes tojáslé szintényezőire



3. ábra: A fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatása a teljes tojáslé folyásgörbéjére

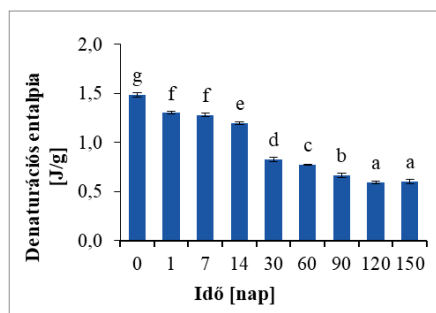


4. ábra: A fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatása a teljes tojáslé reológiai tulajdonságaira

ség miatt a natív állapotban lévő fehérjék kitekerednek, majd oldhatatlan aggregátumokat képeznek (FANG et al., 2021).

### A hőfizikai tulajdonságok változása a fagyasztás és a fagyasztva tárolás során

Ahogy az 5. ábrán látható, a denaturációs entalpia értéke szignifikánsan változott a fagyasztás, a rövid távú fagyasztva tárolás, illetve a hosszabb távú fagyasztva tárolás hatására, amely a denaturálható fehérjék mennyiségének csökkenését jelenti. A denaturációs entalpia értékeinek csökkenését tapasztalták WOOTTON és munkatársai (1981) is tojásfehérjével végzett vizsgálatuk során. 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 teljes tojáslé fehérjéinek hődenaturációjához szükséges entalpia 60%-kal csökken.



5. ábra: A fagyasztás és a fagyasztva tárolás hatása a teljes tojáslé denaturációs entalpiájára



Idő [nap]	Keményesség [N]	Rugalmaság [mm]	Kohézió	Gumisság [g]
0	14,81 ± 0,99	0,91 ± 0,02	0,79 ± 0,01	11,70 ± 0,66
7	22,83 ± 1,09	0,83 ± 0,01	0,66 ± 0,02	15,13 ± 0,74
30	26,58 ± 1,37	0,79 ± 0,02	0,62 ± 0,02	16,39 ± 1,28
120	25,62 ± 1,33	0,80 ± 0,02	0,61 ± 0,02	15,70 ± 0,88

1. táblázat: A friss és a fagyasztott teljes tojáslé felhasználásával készült piskóták állományának jellemzői

### A teljes tojáslé felhasználásával készült piskótaminták állományának vizsgálata

A 3. táblázat a friss és a fagyasztott teljes tojáslevekkel készített piskóták állománymerésének eredményeit tartalmazza. Látható, hogy a fagyasztott és felengedett tojáslevek felhasználásával készült piskóták állományát jellemző paraméterek minden esetben szignifikánsan különböztek a nyers tojáslezből készült piskótáétól.

A fagyasztott tojáslezből készült piskóta keménysége nagyobb, rugalmasága kisebb volt, mint a friss mintából készültt. A szerkezet kohéziója a fagyasztás és felengedtetés hatására csökkent, illetve a gumissága is megnőtt. Ezek a változások már a 7. napon készített mintánál is megmutakoztak.

### Következtetés

Kísérletünkben megfigyeltük, hogy már a rövid ideig tartó fagyasztás hatására is világosabb lett a teljes tojáslé, csökkent a vörös, illetve a sárga színezete. Ezenkívül megváltoztak a reológiai tulajdonságai. Amíg a friss teljes tojáslé dilatáló reológiai viselkedést mutatott, fagyasztást és felengedtetést követően newtoni folyadékokhoz hasonlóan viselkedett, és gélesedésen ment keresztül, amit a nyírófeszültség növekedése mutat. Ez a változás a felhasználhatóságot is nagyban befolyásolta, ugyanis a fagyasztott tojáslezből készült piskóta állománya gumissá és keménnyé vált. Ezen változások hátterében a tojáslé fehérjéinek változása áll, amelyet a denaturációs entalpia értékeinek csökkenése támaszt alá.

A fagyasztás során a tojáslé víztartalmának egy része kifagy, amelynek következtében a folyékony halmazal-

apotú frakció oldottanyag-tartalma és ionerőssége is megnő. A megnövekedett ionerősség miatt a natív állapotban lévő fehérjék kitekerednek, majd oldhatatlan aggregátumokat képeznek. A hosszabb tárolás során az előbbi változások erősödnek, illetve a pH is nő, amely szintén az ionerősség változásával magyarázható.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Állati-termék és Élelmiszertartósítási Technológia Tanszék és a Capriovus Kft. munkatársainak. A kutatást a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem – az Innovációs és Technológiai Minisztérium által finanszírozott – TKP2020-NKA-16 Tématerületi Kiválósági Programja támogatta.

### Irodalomjegyzék

- BALLA, CS., SÁRAY, T. (2002): Élelmiszerek tartósítása hűtőkezeléssel. In: BEKE, GY. (Ed): *Hűtőipari kézikönyv 2. Technológiák*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- 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>
- COTTERILL, O. J. (2013): Freezing egg products. pp. 265–287. In: STADELMAN, W. J., COTTERILL, O. J. (Ed): *Egg Science and Technology, Fourth Edition*. Routledge.
- 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>
- 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)



6. 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>
7. IJICHI, K., PALMER, H. H., LINEWEAVER, H. (1970): Frozen Whole Eggs for Scrambling. *Journal of Food Science*, 35 (5): 695–698. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1970.tb04847.x>
8. 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)
9. MILLER, C., WINTER, A. R. (1951): Pasteurized Frozen Whole Egg and Yolk for Mayonnaise Production. *Journal of Food Science*, 16 (1–6): 43–49. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1951.tb17347.x>
10. PEARCE, J. A., LAVERS, C. G. (1949): Liquid and frozen egg: V. viscosity, baking quality, and other measurements on frozen egg products. *Canadian Journal of Research*, 27 (5): 231–240. <https://doi.org/10.1139/cj-r49f-023>
11. 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>
12. RAHMAN, M. S., VELEZ-RUIZ, J. F. (2007): Food Preservation by Freezing. In: RAHMAN, M. S. (Ed): *Handbook of Food Preservation*. CRC Press.
13. 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)
14. 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>



## The effect of freezing on the rheological, calorimetric, and functional properties of liquid whole egg

### Abstract

In our experiment, we observed that even after a brief period of freezing, the liquid whole egg became lighter, with a reduced red and yellow colour. In addition, its rheological properties had changed. While fresh liquid whole egg exhibited dilatant rheological behaviour, after freezing and thawing it behaved like Newtonian fluids and underwent gelation as indicated by an increase in shear stress. This change also had a major impact on the usability, as the consistency of the sponge cake made from frozen sample became rubbery and harder. The background to these changes is a change in the protein content of liquid whole egg, as evidenced by a decrease in denaturation enthalpy values. During freezing, part of the water content of the whole egg freezes out, resulting in an increase in the solute content of the liquid fraction and an increase in ionic strength. The increased ionic strength causes the proteins in their native state to coagulate and form insoluble aggregates. During prolonged storage, these changes are amplified and the pH increases, which is also due to the change in ionic strength.

*Keywords: liquid whole egg, freezing, rheological properties, calorimetric properties, functional properties*