



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

A FAGYASZTÁS HATÁSAI A TOJÁSLEVEK MINŐSÉGI JELLEMZŐIRE

Hidas Karina Ilona

Budapest

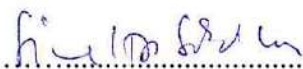
2022

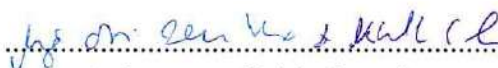
A doktori iskola

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

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A tojás az élelmiszeriparban gyakran alkalmazott élelmiszerösszetevő, főként a tészta-, cukrász-, sütőipar, illetve a közétkeztetés kedvelt alapanyaga. 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 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 fagyasztás az egyik legelterjedtebben alkalmazott, hatékony és megfizethető tartósítási technológia, amely hosszan eltartható terméket eredményez. Azonban az élelmiszerfagyasztás is rendelkezik hátrányokkal és korlátokkal (FANG et al. 2021). A fehérjékben gazdag élelmiszerek esetén előfordulhat például a fehérjék denaturációja, aggregációja. A jégképződés hatására a jéggel érintkező hidrofób fehérjerész gyakran konformációváltozást szenved (CHANG et al. 1996). Ezen kívül a fagyasztás hatására bekövetkező oldott anyag koncentráció növekedés is károsíthatja a fehérjéket, ugyanis a jégképződés során a fehérjék a visszamaradó egyre töményedő folyadékban maradnak (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 pasztaszerű lesz, így nehezkessé válik a szállítása és keverése (MORAN 1925), a felhasználhatósága pedig csökken (POWRIE et al. 1963). A leggyakoribb magyarázat a sárgája fagyasztás során bekövetkező gélesedésére az, hogy a keletkező jégkristályok következtében a tojássárgája komponensei koncentrálnak, és ez a tojássárgája plazma frakciójában található kis sűrűségű lipoproteineinek felhalmozódását eredményezi.

A gélesedés megakadályozására vagy mértékének csökkentésére a kutatók az elmúlt évtizedekben számos mechanikai és kémiai eljárást alkalmaztak. Köztük szerepeltek különböző krioprotektív hatású anyagok, amelyek közül főként a szacharózt és a konyhasót vizsgálták, amelyek a legkönnyebben elérhetőek és széleskörben elfogadottak. Ezenkívül a fagyasztási és felengedtetési folyamatok optimalizálásával is foglalkoztak. Tanulmányozták ezen kívül 0,05 m/m% papain hozzáadásának hatását is (LOPEZ et al. 1955).

A teljes tojáslé esetében bekövetkező változások mértékéről pedig nagyon kevés információ áll rendelkezésünkre, azok megelőzésére és a fagyasztott-felengedtetett minták felhasználhatóságának növelésére pedig nem rendelkezünk megoldással.

Kísérleteim célkitűzései a következők:

- Céлом 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 tojáslé, a tojásfehérjélé 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. Szisztematikus kísérletekkel megvizsgálom, hogy milyen koncentrációban alkalmazva fejtik ki kedvező hatásukat a tojássárgájale fagyasztása során bekövetkező gélesedésére. Megvizsgálom, hogy hogyan változik a tojássárgájale pH-ja, színe reológiai, hőfizikai és technofunkcionális tulajdonságai a konyhasó, illetve a szacharóz hozzáadásának hatására a fagyasztást megelőzően, illetve fagyasztás-felengedtetést követően.
- Céлом megvizsgálni, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható különböző enzimek koncentrációi milyen hatást gyakorolnak a tojássárgájale, illetve a teljes tojáslé fagyasztás-felengedtetés során bekövetkező nemkívánatos gélesedési folyamataira. Megvizsgálom a különböző enzimek koncentrációkkal kezelt tojássárgájale és teljes tojáslé pH-ját, színét, mikrobiológiai állapotát, reológiai, hőfizikai és technofunkcionális tulajdonságait.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Alkalmazott fagyasztási és felengedtetési eljárások

Kísérleteimben pasztörözött tojásleveket alkalmaztam kiindulási alapanyagként. Az első kísérletemben folyékony nitrogén felhasználásával végeztem el a tojássárgája fagyasztását. A tojáslé mintákat rozsdamentes acél szűrő (lyukátmérő: 1,5 mm) segítségével cseppekké formáztam. A minta cseppek a hűtőközegben pillanatszerű fagyasztáson estek át a folyékony nitrogén -196°C -os forrásponti intenzív hőelvonásának köszönhetően. Fagyasztást követően a mintákat fóliatasakokba helyezve $-24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ -on tároltam. A további kísérletekben a teremfagyasztás modellezésére szolgáló lassú fagyasztást alkalmaztam, amely során a különböző tojáslé mintákat fóliatasakokba zárva $-24 \pm 1^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletű fagyasztószekrénybe helyeztem. Minden esetben lassan engedtettem fel a mintacsomagokat az elvégzett vizsgálatok előtt, a mintákat 24 órával a vizsgálatok elvégzése előtt a fagyasztószekrényből $4 \pm 1^{\circ}\text{C}$ -os laboratóriumi hűtőszekrénybe helyeztem. Kontroll mintaként minden kísérletben a frissen beérkező, nem fagyasztott minta szolgált (0. nap).

2.2. Kísérletek felépítése

Az első részben vizsgáltam, hogy a folyékony nitrogénnel végzett fagyasztás milyen hatást gyakorol a tojássárgájale minták különböző tulajdonságaira. A folyékony nitrogén felhasználásával fagyasztott mintákat 1, 7, 14, 30, 60, 90, 120, és 150 nap elteltével vettem alá pH, szín, reológiai és kalorimetriás vizsgálatoknak.

A második részben vizsgáltam a lassú fagyasztás hatását a teljes tojáslé, tojásfehérjelé és tojássárgájale különböző tulajdonságaira. A lassú fagyasztással fagyasztott mintákat 1, 7, 14, 30, 60, 90, 120, és 150 nap elteltével engedtettem fel, majd vettem alá pH, szín, reológiai és kalorimetriás vizsgálatoknak. Ezen kívül néhány kiválasztott időpontban vizsgáltam a minták mikrobaszámát, és a felhasználhatóság tanulmányozására minden tojáslé esetében különböző módszereket alkalmaztam. A tojásfehérjelé minták esetében a habképző tulajdonságok vizsgálatát végeztem el, a tojássárgájale 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 mintákból piskótát készítettem, és megfigyeltem a piskóta állományának változását.

A harmadik részben krioprotektív hatású eljárásokat alkalmaztam. A tojássárgájaleben fagyasztás során bekövetkező gélesedés mértékének csökkentésére vagy megelőzésére különböző koncentrációkban alkalmaztam konyhasót, szacharózt, illetve enzimkezelést. A teljes tojáslé esetében pedig vizsgáltam az enzimkezelés hatékonyságát a fagyasztás során bekövetkező állományváltozásra. A konyhasó esetében 1, 2, 4, 5, 6, 7 és 10 m/m%-os koncentrációkat

alkalmaztam, a szacharóz esetében 1, 2, 5, 7, 9 és 10 m/m%-os mintákat készítettem. Az enzimkezelést pedig a pH beállítása nélkül, 40°C-os vízfürdőben 120 percen keresztül 0,05; 0,3 és 0,5m/m%-os koncentrációkban végeztem. A 7 különböző kereskedelmi forgalomban kapható lipáz és proteáz aktivitású enzim közül a fagyasztás-felengedtetést követő vizuális értékelés alapján kiválasztottam azt, amelyik a minták állománya alapján megfelelőnek bizonyult, majd ezzel folytattam további vizsgálataimat. A konyhasót, szacharózt tartalmazó, illetve az enzimkezelt minták esetében a fagyasztás előtt és a fagyasztást követő 60. napon vizsgáltam a pH-t, szint, a 660 nm-en mért optikai denzitást, illetve a reológiai és hőfizikai tulajdonságokat.

2.3. Elvégzett vizsgálatok

Kísérleteim során szűrőelektródás pH mérővel vizsgáltam a minták pH-ját, ugyanis a pH a fagyasztás során megváltozhat, ami befolyásolja a fehérjék szerkezetét. Vizsgáltam a minták objektív színezetét Konica Minolta CR400 (Konica Minolta Inc., Japán) típusú tristimulusos színmérő készülékkel CIELab színingertérben. Az L^* (világossági tényező), a^* (vörös-zöld színezetifaktor) és b^* (sárga-kék színezeti faktor) színtényezők összehasonlításán kívül számoltam a fagyasztás-felengedtetés, illetve a krioprotektív kezelések hatására bekövetkező színváltozás jellemzésére a színinger különbség (ΔE^*_{ab}) értéket.

A fehérjeállapot tanulmányozását SETARAM MicroDSC III (SETARAM Instrumentation Caluire, Franciaország) differenciális pásztázó kaloriméterrel (DSC) végeztem 25-90°C tartományban, 1,5°C/perc felfűtési sebességgel. A DSC segítségével megállapítottam a denaturálható fehérjék mennyiségét, amelyből következtettem a fehérjék fagyasztás-felengedtetés során bekövetkező denaturációjának, aggregációjának mértékére. A fehérjék denaturációja befolyásolja a technofunkciós tulajdonságokat. A különböző tojáslevek esetében más és más vizsgálatokat végeztem el, hogy megvizsgáljam a technofunkciós tulajdonságaikat. A tojásfehérjé esetében vizsgáltam a habstabilitást a kemény habba verést követően kiváló folyadék mennyiségének mérésével. A tojássárgájá esetében U-2900 spektrofotométerrel (Hitachi, Tokyo, Japan) 660 nm-en mértem az optikai denzitást. A zavarosság mértékéből következtetni lehet a tojássárgája emulzióképző képességének meglétére, vagy annak elvesztésére. A tojássárgájá felhasználásával készterméket, majonézt készítettem, amelynek back extrusion módszerrel TA.XT Plus állománymérő készülékkel (Stable Micro Systems Ltd., Surrey, Egyesült Királyság) vizsgáltam a szilárdságát, konzisztenciáját, kohézióját és viszkozitási indexét. A teljes tojásle esetében szintén egy késztermék készítésén keresztül vizsgáltam meg a technofunkciós tulajdonságokat. A friss és a fagyasztott-felengedtetett mintákból piskótát készítettem, majd TPA módszerrel vizsgáltam az állományukat. Összehasonlítottam a keménység, kohézió, rugalmasság és gumisság értékeket.

Kiemelkedő szereppel bír az elvégzett vizsgálatok között a reológiai tulajdonságok vizsgálata, amelyeket MCR 92 reométerrel (Anton Paar, Graz, Ausztria) vizsgáltam. A berendezést rotációs módban alkalmaztam koncentrikus henger geometriai elrendezésű mérőrendszerrel. A mérések során először 1 és 1000 1/s között növekvő, majd csökkenő nyírási sebesség mellett mértem a nyírófeszültséget. Az első kísérletben a reológiai tulajdonságokat 5°C-on vizsgáltam, a további kísérletekben 20°C-os hőmérsékleten. A mért adatok segítségével folyásgörbéket vettem fel, amely a nyírási sebesség függvényében ábrázolja a nyírófeszültség értékeket, illetve ábrázoltam a viszkozitásgörbéket, amelyen a látszólagos viszkozitás kerül feltüntetésre a nyírási sebesség függvényében. A folyásgörbék értékeléséhez a Herschel-Bulkley modellt [1. egyenlet] alkalmaztam.

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

Ahol τ a nyírófeszültség (Pa), τ_0 : folyáshatár (Pa), K: konzisztencia koefficiens ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), $d\gamma/dt$ a nyírási sebesség (1/s) és n a folyásindex.

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.

Vizsgáltam ezeken kívül a minták mikrobaszámát telepszámlálással 30°C-on lemezöntéssel módszerrel az általános mikrobiológiai állapot felmérése céljából.

A krioprotektív hatású anyagok alkalmazásával a vízkötési formák megváltoznak, ezért Setaram DSC 131 evo típusú (Setaram, Caluire, Franciaország) differenciális pásztázó kaloriméter segítségével vizsgáltam a fagyasztás során fellépő fázisváltozashoz szükséges entalpia mennyiségét, melyből megállapítottam az intenzív olvadás kezdeti hőmérsékletét és számoltam a ki nem fagyasztható víztartalmat.

A mérési adatok statisztikai értékelését egytényezős ANOVA (SPSS Statistics 24, IBM Corp., USA) segítségével végeztem el 5%-os szignifikancia szinten ($p < 0.05$). A hibatagok normalitását Shapiro-Wilk teszttel, a szóráshomogenitást pedig Levene's teszttel ellenőriztem. 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.

EREDMÉNYEK

A tojássárgájale kriogén fagyasztásával végzett vizsgálataim során megfigyeltem, hogy már a fagyasztást követő 1. napon is szignifikáns változás következett be a reológiai tulajdonságokban. Ez főként a folyáshatár értékének megjelenésével érzékeltethető, ami azt jelenti, hogy megjelent egy olyan 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. Vizsgálataim eredményei a fellelhető korai publikációk eredményeinek, miszerint a kriogén fagyasztással nagymértékben csökkenthető a tojássárgájale gélesedése, ellentmondanak. A kriogén fagyasztás hatására csökkent a denaturálható fehérjék mennyisége, illetve a tojássárgájale színe nagymértékben világosodott. A fagyasztva tárolás során ezek a változások erősödtek, a tojássárgájale minták világosabbá váltak, a folyáshatár érték 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 következő kísérletben vizsgáltam az ipari gyakorlatban legegyszerűbben alkalmazható, teremfagyasztás módszerét imitáló lassú fagyasztás hatását különböző tojáslevek esetében. A tojásfehérjéle 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 tojásfehérjéléből a fagyasztást követő 30. naptól több folyadék válik ki, tehát a habstabilitása kismértékben csökken.

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 tojássárgájaléből 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.

Dolgozatom harmadik részében különböző krioprotektív eljárásokat alkalmaztam a tojássárgájale fagyasztás során bekövetkező gélesedésének mértékének csökkentésére. A két alkalmazott technológiai segédanyag, a konyhasó és a szacharóz csökkentette a bekövetkező gélesedés mértékét, azonban más-más hatásmechanizmus révén, így más-más hatást gyakoroltak a vizsgált paraméterekre. A tojássárgájale színe mindkét anyag hatására nagymértékben változott mind a fagyasztást megelőzően, mind azt követően. A konyhasó hozzáadásának hatására a minták sötétebbé váltak, illetve veszítettek vörös és sárga színezetükből. Fagyasztást követően némiképp világosodtak és a sárga színezetük is kismértékben nőtt. A konyhasó hozzáadása a reológiai tulajdonságokat is megváltoztatta. A fagyasztást követően azonban látható a gélesedés mértékének csökkenése, ugyanis 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. Az alkalmazott 6-10 m/m%-os sókoncentráció esetén kismértékben csökkent a mikrobaszám, amely a vízáktivitás 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. Ebben az esetben azonban nem volt jellemző az eutektikum kialakulása.

Végül 7 különböző kereskedelmi forgalomban kapható fehérje és lipidbontó enzimkészítmény hatását vizsgáltam a teljes tojásle és a tojássárgájale fagyasztása során bekövetkező állománybeli és felhasználhatóságbeli változásaira. A Biocatalysts FlavorproTM 750MDP enzimkészítménnyel végzett kezelés hatására mindkét tojásle 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 az enzimkezelés hatására mindkét tojásle 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. A denaturálható fehérjék mennyisége szignifikánsan változott az enzimkezelés és a fagyasztás hatására is mindkét tojáslé esetében. Az olvadási tulajdonságok vizsgálatánál megfigyelhető, hogy az intenzív olvadás kezdeti hőmérséklete csökkent az enzimkezelés hatására. A bekövetkező csökkenés a tojássárgájálé 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.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Méréseim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a folyékony nitrogén felhasználásával végzett és a lassú fagyasztás egyaránt a tojássárgájale gélesedéséhez vezetnek. A tojássárgájaleben bekövetkező színváltozás, a denaturálható fehérjék mennyiségének csökkenése, a látszólagos viszkozitás és a nyírófeszültség növekedése, illetve a Herschel-Bulkley modell illesztésével számított folyáshatár megjelenése ezt mind bizonyítják. A bekövetkező változások hátterében az áll, hogy a keletkező jégkristályok következtében a tojássárgája komponensei koncentrálnak, ami a plazma frakció kis sűrűségű lipoproteinjeinek felhalmozódását eredményezi. Ilyen körülmények között a lipoproteinek aggregálódnak és denaturálódnak. A gélesedés és állományváltozás hátterében álló molekuláris szintű változások tanulmányozására javaslom mikroszkópai és közeli infravörös spektroszkópai vizsgálatokat javaslok.

Kísérleteim 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 vizsgálatát javaslom.

A teljes tojásle a fagyasztás-felengedtetés hatására fakóvá vált, illetve vízszerű, átlátszó halványsárga folyadék vált ki belőle, amely alapos keverést követően darabossá vált. Kísérleteim során arra a következtetésre jutottam, hogy a teljes tojásle és a tojássárgájale esetében bekövetkező állománybeli és fehérje állapotváltozások hatására a felhasználhatóságuk szintén nagymértékben romlott, így a fagyasztás során valamilyen krioprotektív hatású kezelés szükséges.

A konyhasó hozzáadásának hatására bekövetkező színváltozás, a látszólagos viszkozitás és a nyírófeszültség növekedésének, a denaturálható fehérjék mennyiségének csökkenésének, a denaturációs hőmérséklet növekedésének és az oladási tulajdonságok megváltozásának hátterében a só hatására bekövetkező fehérje-koaguláció áll. Sózás hatására a kis sűrűségű lipoprotein-víz-só komplex alakul ki. Az oldatban lévő disszociált ionok taszító hatása lép fel, viszont a komplex képződése fagyasztáskor gátolja a víz kifagyását, ezáltal a gélesedést is. Ezzel magyarázható, hogy a 4-10 m/m% konyhasót tartalmazó minták fagyasztást-felengedtetést követően folyékonyak bizonyultak.

A szacharóz hozzáadásának hatására a tojássárgájában csak csekély mértékű változás következett be a színben, reológiai és hőfizikai tulajdonságokban. A cukrokat ugyanis általában stabilizátorként használják, hogy megvédjék a fehérjét a liofilizálás és a fagyasztva tárolás során bekövetkező lebomlástól. A fagyasztást követően megfigyelhető a krioprotektív hatása, ugyanis az alkalmazott nyírás során kisebb nyírófeszültség és látszólagos viszkozitás eredményekkel rendelkeztek a cukrot tartalmazó minták, mint a krioprotektív hatású anyagot nem tartalmazó minta.

Kísérleteim során megállapítottam, hogy az aminopeptidáz aktivitású Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP enzimekészítmény hatásosan alkalmazható mindkét tojásle esetében 0,3 m/m%-os koncentrációban. Az általam alkalmazott enzimekezelés 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 enzimekezelt minták esetében hasonlítottak a legnagyobb mértékben a friss tojáslevekére. Egyértelműen megállapítható, hogy a fagyasztás-felengedtetés során a tojássárgája esetében végbemenő gélesedés mértékének csökkentésére a legalkalmasabbnak az enzimekezelés bizonyult. Emellett az enzimekezelt fagyasztott-felengedett teljes tojásle állománya is nagyon hasonló a friss mintához.

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 enzimekészítménnyel végzett enzimekezelést javaslok. Ezen lehetőségek közül a megfelelő kiválasztásához figyelembe kell venni a felhasználási területet, a technológiai lehetőségeket és a gazdasági szempontokat. A teljes tojásle állományváltozása szintén megelőzhető 0,3 m/m%-os Biocatalysts Flavorpro™ 750MDP enzimekészítménnyel.

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 növekedésére alapozom.
2. Megállapítottam, hogy a lassú fagyasztás és az azt követő 150 napig tartó -24°C -on történő fagyasztva tárolás hatására a pasztörözött tojásfehérjélé 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 pasztörözött teljes tojáslé vizsgált reológiai tulajdonságai megváltoznak. Fagyasztás után a nyírófeszültség értékek nőnek, a Herschel-Bulkley modell illesztésével kapott konzisztencia koefficiens nő. Megállapítottam, hogy a pasztörözött tojássárgájale színe a lassú fagyasztás során nagymértékű változást szenved el, ami főként a világossági tényező növekedésével magyarázható.
3. Szisztematikus kísérlettel igazoltam, hogy a pasztörözött tojássárgájale fagyasztás-felengedtetése során végbemenő gélesedésének mértékét a 4-10 m/m%-os konyhasó koncentráció alkalmazása csökkentette, a pasztörözött 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 aminosavak aktivitású FlavorproTM 750MDP enzimkészítménnyel minimum 0,3 m/m%-os koncentrációban (180 U/kg tojáslé) 40°C -on 120 percig a tojáslevek pH-jának módosítása nélkül végzett enzimkezelés megakadályozta a tojássárgájale fagyasztás-felengedtetés során bekövetkező gélesedését és a teljes tojáslé esetében bekövetkező állományváltozást. A fagyasztás-felengedtetést követően az ilyen módon kezelt minták viszkozitásgörbéi és folyásgörbéi mind a két tojáslé esetében a friss levekéhez hasonlítottak.

KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK, FÓKUSZÁLVA A FOLYÓIRATCIKKEKRE

Impakt faktorral és/vagy Q1-Q4 minősítéssel rendelkező folyóiratcikkek

Hidas, K. I., Visy, A., Csonka, J., Nyulas-Zeke, I. Cs., Friedrich, L., Pásztor-Huszár, K., Alpár, B., Hitka, G., Felföldi, J., Fehér, O., Gere, A. (2020): Development of a Novel Gluten-Free Egg Pie Product: Effects of Sensory Attributes and Storage. SUSTAINABILITY. 12 (24) Paper: 10389 <https://doi.org/10.3390/su122410389> **Q1**

Hidas, K. I., Nyulas-Zeke, I. Cs., Visy, A., Baranyai, L., Nguyen, L. P. L., Tóth, A., Friedrich, L., Nagy, A., Németh, Cs. (2021): Effect of Combination of Salt and pH on Functional Properties of Frozen-Thawed Egg Yolk. AGRICULTURE-BASEL. 11 (3) 257. pp. 1-18. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030257> **Q2**

Hidas, K. I., Németh, Cs., Nguyen, L. P. L., Visy, A., Tóth, A., Barkó, A., Friedrich, L., Nagy, A., Nyulas-Zeke, I. Cs. (2021): Effect of cryogenic freezing on the rheological and calorimetric properties of pasteurized liquid egg yolk. CZECH JOURNAL OF FOOD SCIENCES. 39 (3) pp. 181-188. <https://doi.org/10.17221/37/2021-CJFS> **Q3**

Hidas, K. I., Németh, Cs., Visy, A., Tóth, A., Friedrich, L., Nyulas-Zeke, I. (2020): Comparison of different thawing methods effect on the calorimetric and rheological properties of frozen liquid egg yolk. PROGRESS IN AGRICULTURAL ENGINEERING SCIENCES 16 (S2) pp. 37-44. 8 p. (2020) <https://doi.org/10.1556/446.2020.20005> **Q3**

Hidas, K. I., Németh, Cs., Csonka, J., Visy, A., Friedrich, L., Zeke, I. Cs. (2020): How does freezing in liquid nitrogen influence the reological properties of liquid egg products? JOURNAL OF HYGIENIC ENGINEERING AND DESIGN 31 pp. 24-30. **Q4**

Hidas, K. I., Németh, Cs., Csonka, J., Visy, A., Friedrich, L., Zeke, I. Cs. (2019): Effect of natural preservatives on the shelf life and calorimetric properties of salted, liquid whole egg. JOURNAL OF HYGIENIC ENGINEERING AND DESIGN 26 pp. 36-41. **Q4**

Hidas, K. I., Németh, Cs., Nguyen, L. P. L., Visy, A.; Tóth, A., Friedrich, L., Nyulas-Zeke, I. Cs. (2021): Effect of different salt concentration on the physical properties of frozen thawed egg yolk. PROGRESS IN AGRICULTURAL ENGINEERING SCIENCES 17: S1 pp. 29-36. <https://doi.org/10.1556/446.2020.10007> **Q4**

Impakt faktorral és Q1-Q4 minősítéssel nem rendelkező folyóiratcikkek

Hidas, K. I., Németh, Cs., Visy, A., Barkó, A., Horváth-Mezőfi, Zs., Tóth, A., Nguyen, L. P. L., Nyulasné Zeke I. (2021): Krioprotektív anyagok alkalmazásának hatása fagyasztott-felengedettetett tojássárgájából készült majonézek technofunkciós tulajdonságaira. ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS. 62.:III. pp. 46-61.

IRODALOMJEGYZÉK

- 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. (1995): Freezing egg products. In STADELMAN, W. J., COTTERILL, O. J. (Eds.), *Egg Science and Technology, Fourth Edition* (pp. 265–287). Routledge.
- 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>
- 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>
- 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)
- 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>
- 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.
- 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.
- 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>