



Élelmiszertudományi Kar

Nagy hidrosztatikus nyomáskezelés fehérjedenaturáló hatásának vizsgálata tojáslé esetében

TDK dolgozat

Készítette:

Danka Patrick

Témavezető:

Zeke Ildikó

Dr. Friedrich László

Budapesti Corvinus Egyetem

Élelmiszertudományi Kar

Hűtő- és Állatitermék Technológia Tanszék

Budapest

2014

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	3
2.	Irodalmi áttekintés	5
2.1.	A tojás, valamint legfontosabb alkotójának, a tojásfehérjének a bemutatása	5
2.1.1.	A tojás tulajdonságai	5
2.1.2.	A tojás felépítése	5
2.1.3.	A tojásfehérje, valamint az azt felépítő fehérjefrakciók	6
2.1.4.	Tojásból, illetve tojásfehérjéből előállított termékek	7
2.2.	A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés bemutatása, illetve hatása a tojásfehérje alkotóira	8
2.3.	Tojáslevek fehérjedenaturációs vizsgálata DSC készülék segítségével.....	12
3.	Célkitűzés.....	16
4.	Anyagok és módszerek	17
4.1.	Tojáslevek bemutatása	17
4.2.	Nagynyomású berendezés, kezelési módok.....	17
4.3.	Színmérés	18
4.4.	Differenciális pásztázó kaloriméter, termofizikai tulajdonságok vizsgálata.....	19
4.5.	Mikrobiológiai vizsgálatok	21
5.	Eredmények és értékelés	22
5.1.	Színmérés eredményei	22
5.2.	DSC eredményei	26
5.3.	Mikrobiológiai eredmények.....	31
5.4.	Következtetések és javaslatok.....	33
6.	Összefoglalás	35
7.	Irodalomjegyzék	38

1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben a tojás, mint élelmiszer egyre nagyobb jelentőséggel bír a társadalom körében. Táplálkozás ételtani-, valamint egészségügyi fontosságát tekintve bátran mondhatjuk, hogy az egyik legmeghatározóbb és legösszetettebb élelmiszer rejlik benne. A tojás biztosítja az élő szervezet számára szükséges alapvető forrásokat, emellett esszenciális szerepet tölt be a betegségből felépülő, diétázó emberek számára könnyű felszívódása, kiváló emészthetősége, valamint koncentrált tápanyagtartalma miatt.

A tojás, illetve legfontosabb része – a tojásfehérje – az élelmiszeripar számos területén elterjedt alapanyag. A tojás megfelelő feldolgozása meghatározó szereppel bír, mivel befolyásolja a tárolhatóságot, valamint a különböző tojástermékek egyes tulajdonságait. A tojásból előállított élelmiszerek egyik legismertebb csoportját a tojáslevek adják, melyek számos fajtája főként a vendéglátóiparban terjedt el annak köszönhetően, hogy a tojás, mint élelmiszer már feldolgozott állapotban kerül beszállításra, így nem kell felesleges időt eltölteni azok feltörésére, kezelésére.

A mai világban egyre fontosabb szerepet kezd betölteni a fogyasztók körében az élelmiszerbiztonság fogalma. A kiváló minőségű, megfelelően hőkezelt, adalékmentes és érzékszervileg megfelelő, biztonságos termékek gyártása a fogyasztók fő elvárásai közé tartoznak. A mikrobiológiailag biztonságos élelmiszerek előállításának legfontosabb feltétele a megfelelő hőkezelés, melynek manapság a legelterjedtebb formája a pasztörözés.

E technológia alkalmazásakor nagyrészt különböző adalékanyagokat, illetve tartósítószereket adnak az előállított élelmiszerhez, – mint például citromsavat, nátrium-benzoátot vagy kálium-szorbátot – abból a célból, hogy a készített termék tárolhatósági és érzékszervi tulajdonságait javítsák. Azonban a fogyasztói társadalom igen jelentős hányadánál az előbb említett adalékanyagok, allergiás tüneteket idéznek elő. Ezért az utóbbi időben a tudomány úgynevezett alternatív kezelési módokat fejlesztett ki, melyek segítségével biztonságos, érzékszervileg jobb élelmiszereket lehet előállítani, emellett ezek az allergiás tünetek is kiküszöbölhetőek.

Manapság az egyik legelterjedtebb ilyen módszer a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés. Számos előnyének köszönhetően nemcsak az élelmiszeriparban, hanem más iparágakban is alkalmazott technológia. Hatékonyságát számos vizsgálat bizonyította már. Legfontosabb előnye, hogy a nagynyomású kezelés segítségével csökkenthető a termék tápanyagvesztesége,

anélkül, hogy hatással lenne az ízre, tápanyagértékekre. Azonban a technológia hátránya, hogy bizonyos nyomástartomány felett a termékben – esetünkben tojáslében – található fehérjék denaturálódhatnak. Ezért nagyon fontos, hogy a mikrobiológiailag stabil élelmiszer előállításához, illetve a fehérjék denaturációjának elkerüléséhez a megfelelő nyomásértéket alkalmazzuk. Az irodalmi források alapján az mondható, hogy 450 MPa nyomás a kritikus pont, mivel ez érték felett már elkerülhetetlen a fehérjék nagy részének denaturálódása.

A fehérjék denaturációjának nyomon követésére a legelterjedtebb és legmegfelelőbb módszer az általam is használt DSC (Differential Scanning Calorimetry) technika alkalmazása. A DSC berendezés alkalmas fehérjék denaturációjának vizsgálatára, valamint az anyagátalakulási folyamatok hőáramának mérésére.

Ahhoz, hogy megállapítsuk, biztonságos élelmiszert állítottunk-e elő, mikrobiológiai vizsgálatok szükségesek, melyek segítségével kiválasztható az a legkisebb nyomás, amely már biztonságossá teheti a terméket. Ezért dolgozatom során mikrobiológia szempontból is vizsgálom az egyes tojásleveket arra a kérdésre keresve a választ, hogy az általam kiválasztott nyomásértékeken élelmiszerbiztonságilag megfelelő tojásleveket lehet-e előállítani.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A tojás, valamint legfontosabb alkotójának, a tojásfehérjének a bemutatása

2.1.1. A tojás tulajdonságai

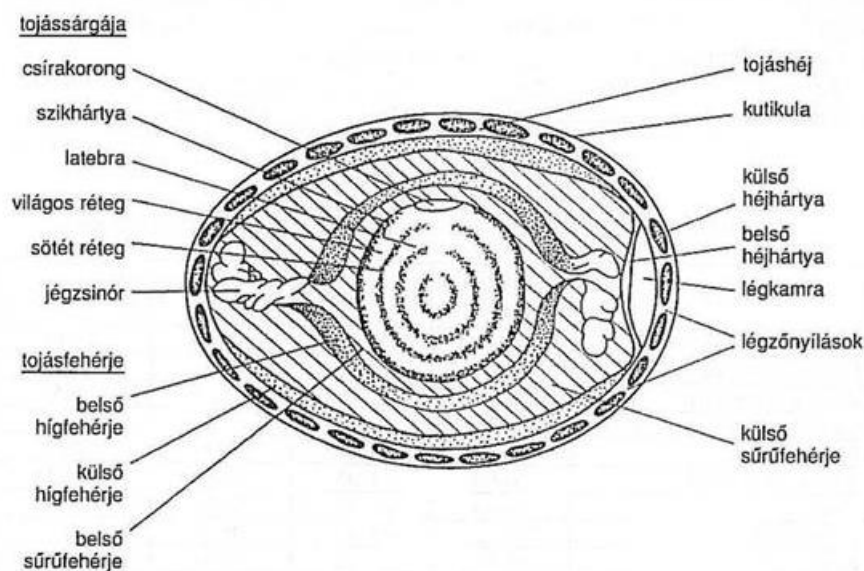
A tojás, mint élelmiszer nagyon fontos szerepet tölt be a nyugati étrendben. Táplálkozás élettani jelentőségét figyelembe véve az egyik legmeghatározóbb élelmiszerkomponens. Összetevőinek különböző szerepük van működésüket tekintve. A tojás az emberi szervezet számára megannyi esszenciális forrást biztosít, mivel a vason, különböző nyomelemeken, egyszeresen telített olajsavon, telítetlen zsírsavakon és esszenciális aminosavakon túl számos vitaminforrást biztosít a szervezet számára. Zsírban oldható vitaminként található benne A, D, E, K vitamin, míg vízben oldható formában B-vitaminok vannak jelen. Azonban a tojás nem tartalmaz C-vitamint, valamint a héj kivételével – amely nem fogyasztható – alacsony a kalcium tartalma. A fent említetteken kívül még fontos tulajdonságai közé tartozik, hogy kiválóan emészthető, könnyen felszívódó, valamint tápanyagtartalma koncentrált, ezért számos betegségből felépülő, diétázó ember számára nyújt értékes táplálékforrást.

2.1.2. A tojás felépítése

A tojás tojássárgájából, az azt körülvevő fehérjéből, héjhártyából, valamint héjból épül fel. Nincsen meghatározott alakja, színe, összetétele és formája, ezért ezek a tulajdonságok sokszor egyediek. Az étkezési tyúktojás szerkezeti felépítését az 1. ábra szemlélteti. A tojáshéj egy szilárd mészfal, amelynek 98 %-át kristályos kalcium-karbonát alkotja. Feladata a tojás mechanikai védelmének biztosítása. A tojáshéj mindössze a tojás tömegének 10-13 %-át alkotja, vastagsága (0,3-1,2 mm) fajtól függően változik. Míg hegyesebb végén vastagabb a tojás, addig tompa végén vékonyabb. A tojás belseje felé haladva a héj után következik egy szorosan összesimuló hártya kettőzet, a héjhártya. Ha a héjhártya és a héj közé levegő szorul, akkor légkamra keletkezik, melynek vastagsága és szélessége a tojás állapotától és az adott viszonyoktól függően változik. A tojás felépítését tekintve a legbelső réteg a tojássárgája, amely a fehérjében úszik. Vitaminokban és ásványi anyagokban gazdag, emiatt az embrió fejlődése szempontjából jelentős alkotórész.

A tojás legfontosabb alkotója a tojásfehérje, amely a tojássárgáját veszi körül. Négy fehérjeréteget tudunk megkülönböztetni, mégpedig a külső híg-, a belső híg-, a külső sűrű-,

valamint a jégzsínorhoz kapcsolódó sűrű fehérjeréteget. A tojás tömegét tekintve a külső sűrű fehérjeréteg 30 %-ot, a külső híg-, valamint a belső híg fehérjeréteg 12-13 %-ot tesz ki. A tojás minősítése szempontjából a sűrű fehérjeréteg – amelyik a tojás sárgájának rögzítésére szolgál – aránya nagyon fontos szempont. A tojásfehérje elsődleges szerepe a tojássárgája megóvása, annak golyó alakú formájának megőrzése, valamint a vízszükséglet biztosítása. Kémhatását tekintve enyhén lúgos, kezdeti állapotban 7,6-8-as, míg híg állapotban 9,3-9,5-ös pH-jú. Emellett teljes biológiai értékű fehérje.



1. ábra Az étkezési tyúktojás szerkezeti összetétele (Bogenfürst et al., 2011)

2.1.3. A tojásfehérje, valamint az azt felépítő fehérjefrakciók

A tojásfehérje egyedi tulajdonságokkal rendelkező multifunkcionális élelmiszeralkotó, ezért fontos szerepe van az élelmiszeriparban. Magas tápanyagtartalma mellett jól ismert még zselésítő, habzó és emulgeáló jellemzői miatt. Kedvező és előnyös tulajdonságai végett nagymértékben elterjedt élelmiszer összetevő. Átlagban 86,6 % vizet, 13-14 % fehérjét, 0,9-1 % szénhidrátot, 0,6-0,8 % hamut és 0,2 % zsírt tartalmaz. A benne jelen lévő fehérjék határozzák meg a hőkezelés paramétereit, amely során a fehérjék denaturációjának elkerülése a cél.

A tojásfehérje tulajdonképpen egy olyan fehérjerendszer, amely ovomucin rostokból tevődik össze. Számos fehérje alkotja, amelyek közül a legfontosabb és legjelentősebb az ovalbumin. Emellett részarányt tekintve meghatározó fehérjeként jelen van még az ovomucin, az ovomukoid, a konalbumin (ovotransferrin), a lizozim, az avidin és különböző globulinok. Az

ovalbumin az összes fehérjetartalom 54 %-át alkotja, míg a konalbumin 12 %-ot, az ovomucin pedig 11 %-ot tesz ki. Ezeken kívül még egyéb fehérjék is találhatóak a tojásfehérjében, de túl kicsi részarányuk miatt ezeket nem soroljuk a legfontosabbak közé, így nem is említjük. A sűrű-, illetve a híg tojásfehérje réteg fehérje összetételét tekintve leginkább ovomucin tartalmában különbözik egymástól. A tojásfehérjében megtalálható fehérjék kedvező tulajdonságainak köszönhetően az utóbbi időkben számos tanulmány fő vizsgálati céljai közé tartozik ezeknek a fehérjéknek a szerkezeti és működési tulajdonságai között fennálló összefüggések szemrevételezése, amelyben kiemelkedő szerepet kap a legismertebb és legfőbb fehérjealkotó, az ovalbumin.

A hőkezeléses, illetve nem-hőkezeléses eljárások (pl. hidrosztatikus nyomáskezelés) során a paraméterek megadásakor nagyon fontos tényező a fehérjék denaturációjának az elkerülése. A tojásfehérjében jelen lévő fehérjék hőérzékenysége, ezáltal denaturációs hőmérséklete is eltér egymástól. A legfontosabb fehérjefrakciók denaturációs hőmérsékletét az 1. táblázat mutatja. A táblázatból is jól látható, hogy a leghőérzékenyebb fehérjealkotó a konalbumin, melynek denaturációja már 57°C-on elkezdődik. Az ovalbumin szerkezeti változásához viszonylag magas hőmérséklet alkalmazása szükséges, azonban nagynyomásos kezelés esetén magas nyomástartomány alkalmazásával már alacsonyabb hőmérsékleten elkezdődik a denaturáció.

1. táblázat Az egyes fehérjefrakciók denaturálódása vízben (Németh, 2012).

Fehérje megnevezése	Denaturálódása vízben (°C)
ovalbumin (54%)	84,0
konalbumin (ovotransferrin) (12%)	61,0
ovomukoid	79,0
ovomucin (11%)	–
lizozim	75,0

2.1.4. Tojásból, illetve tojásfehérjéből előállított termékek

A tojást feldolgozása során számos élelmiszer alapanyagaként használják. A tojásfeldolgozás technológiája meghatározó a tojás tárolhatósága, tulajdonságai és az abból készült termékek jellemzőinek szempontjából. A megfelelő hőkezelési paraméterek beállítása, valamint nagy hidrosztatikus nyomáskezelés esetén a megfelelő nyomástartomány alkalmazása a fehérjék denaturációjának elkerülése végett igen fontos szempont, mivel ha a hőkezelés, illetve a

nagynyomásos módszer során a fehérjék denaturálódnak, vagy csak elkezdi azok szerkezete változni, akkor jelentősen befolyásolják az előállított termékek tulajdonságait. Nagy hidrosztatikus nyomáskezeléssel történő vizsgálatuk igen elterjedt módszer, mivel alaposan szemrevételezhető a fehérjék denaturálódása adott hatások alkalmazása mellett. Emellett különböző tojástermékek is vizsgálhatóak nagynyomásos berendezéssel.

A megfelelően feldolgozott élelmiszerek a tojás mennyi kedvező és előnyös tulajdonságait megőrizve kerülhetnek fogyasztásra. A legjelentősebb tojásfehérjéből készített termékek között található a pasztörözött tojásfehérje-lé és a tojásfehérje por, de egyéb, speciális termékek is készülhetnek fehérjéből. Míg magából a tojásból előállítható többek között pasztörözött teljes tojáslé, teljes tojáspor, illetve egyéb tojássárgájából készült termékek (Németh, 2012). Az előbb felsorolt élelmiszerek egyben a legnagyobb mennyiségben felhasználtak a tojástermékek közül, népszerűségük évről évre növekszik a társadalom körében.

2.2.A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés bemutatása, illetve hatása a tojásfehérje alkotóira

A tojás, mint élelmiszer különös jelentőséggel bír az élelmiszertársadalomban. Természetesen több részből tevődik össze, melyeknek különböző szerepük van. A tojásfehérje egyedi tulajdonságokkal rendelkező multifunkcionális élelmiszeralkotó, ezért fontos szerepe van az élelmiszeriparban. Zselésítő, habzó és emulgeáló jellemzői mellett jól ismert még magas tápanyagtartalma miatt. Emiatt nagymértékben elterjedt élelmiszer összetevő. A tojásfehérjében megtalálható fehérjék rendkívül kedvező tulajdonságokkal rendelkeznek. Rengeteg tanulmány foglalkozik ezeknek a fehérjéknek a szerkezeti és működési tulajdonságai közötti összefüggéssel, amelyben kiemelkedő szerepet kap a legismertebb és legfőbb fehérjealkotó, az ovalbumin. Az ovalbumin mellett fontos még a konalbumin (ovotransferrin), az ovomucin és a lizozim. Ez a négy fehérje alkotja a tojásfehérje legnagyobb hányadát.

Ahhoz, hogy mikrobiológiailag stabil, illetve érzékszervileg megfelelő tojásfehérjét tartalmazó termékeket tudjunk előállítani, hőkezelés szükséges. Azonban a különböző hőkezelési eljárások negatív hatással vannak a tojásfehérje funkcióira, ízvilágára és tápanyagértékeire. Ezért egyes tanulmányokban nagy hangsúlyt fektettek az ovalbumin-, illetve más tojásfehérje alkotók szerkezeti tulajdonságainak változására, amely a funkcionális tulajdonságok módosulásához

vezet (Donovan et al., 1975; Mine, 1995; Van der Plancken et al., 2005; Van der Plancken et al., 2007a).

A mai világban egyre nagyobb fogyasztói igény merül fel a kiváló minőségű, minimális feldolgozású, adalékmentes és mikrobiológiailag biztonságos élelmiszerek iránt (Seregély et al., 2006). Az utóbbi időkben kifejlesztett alternatív kezelési módok – mint például a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés – lehetővé teszik az egyes mikroorganizmusok inaktiválását, miközben csökkentik az esszenciális tápanyagok veszteségét és hozzájárulnak a tojásból előállított élelmiszerek ízének, tápértékének javításához (Hayashi et al., 1989; Hoppe et al., 2013).

A nagy hidrosztatikai nyomáskezelést a tudomány számos területén alkalmazták már. Manapság is ez az egyik legelterjedtebb és leggyorsabban fejlődő módszer számos előnyének köszönhetően. Hatékonyságát – mint tojásfeldolgozó műveletet – megannyi vizsgálat során sikerült bizonyítani. Ilyen például, hogy a nagy nyomással kezelt tojásfehérje oldatok habzási tulajdonságai sokkal kedvezőbbek, mint a hőkezelt oldatok ezen jellemzői (Van der Plancken et al., 2007a, 2007b; Hoppe et al., 2013). Emellett nagy nyomás hatására a fehérjék funkcionális tulajdonságai módosulnak, amelynek köszönhetően új típusú élelmiszereket, termékeket lehet fejleszteni, előállítani. Ez a változás a fehérjefrakciókban bekövetkező nem-termikus denaturáció eredménye.

Mivel a nyomás a fehérjék működésében változásokat idézhet elő, ezért ipari jelentősége van feltárni ennek hatását a tojásfehérjék tulajdonságaira. A nyomás okozta változások nagyban függenek a pH-tól és a hőmérséklettől, ezáltal biztosítva a széleskörű p, T és pH kombinációk megfigyelését a tojásfehérjében lévő fehérjék működésére nézve. A kezelés hatékonyságát befolyásolja az időtartam, az alkalmazott nyomás- és hőmérséklettartomány, a nyomásváltoztatás sebessége, de fontos tényező lehet még a kezelendő élelmiszer összetétele, vízaktivitása, pH-ja, valamint kiindulási hőmérséklete.

A nagy hidrosztatikus nyomáskezelést egyre többször alkalmazzák a hőkezelés alternatívájaként, különösen szobahőmérsékleten történő pasztörözéses célokra. Ez az úgynevezett nem hőkezeléses technika megakadályozza a termékekben a szennyeződések és ízrendellenességek különböző formáit, valamint az élelmiszeralkotók és tápanyagok romlását a romlási reakciókra való korlátozott hatásának köszönhetően. Azonban a nyomáskezelés

denaturációt idézhet elő a fehérjékben, függően azok szerkezetétől, az alkalmazott nyomástartománytól, hőmérséklettől, pH-tól, illetve az oldószer tulajdonságaitól. A melegítés hatására bekövetkező denaturáció esetében a tojásfehérjében lévő fehérjék nyomás hatására kiváltott denaturációja változásokat idéz elő a habzó és zselésítő jellemzőkben, valamint a szerkezeti tulajdonságokat is befolyásolja (Van der Plancken et al., 2005).

Iesel Van der Plancken, Ann Van Loey és Marc E. Hendrickx (2005) a magas nyomás és hőmérséklet kombinációjának hatásait vizsgálták tojásfehérjék tulajdonságaira nézve. A tanulmány során a nyomás hatását szemrevételezték különböző hőmérsékletű (10, 25 és 60°C) és pH-jú (7,6 és 8,8) tojásfehérje oldatok esetén. A vizsgált tulajdonságok között volt a zavarosság, az oldhatóság és a denaturációs entalpia nyomonkövetése. Ezeknél az attribúcióknál a nyomás kiváltotta változások nagyban függtek az alkalmazott nyomás és hőmérséklet mértékétől, illetve a pH-tól. A legnagyobb változásokat a 400-tól 700 MPa-ig terjedő tartományban figyelték meg. Nyomás hatására nőtt a zavarosság, viszont csökkent a tojásfehérjék oldhatósága, illetve denaturációs entalpiája. Mivel a tojásfehérje pH-ja a tárolás során emelkedik, ezért a tanulmány során a nyomás okozta változásokat friss (pH 7,6), illetve öreg (pH 8,8) tojásfehérje oldatok esetében is vizsgálták.

Mint azt már előbb említettem, a nyomás számos változást okoz a tojásfehérje tulajdonságaiban, például az oldhatóságban. Az oldhatóság függ a pH-tól. Ebben a tekintetben friss tojás esetében sokkal nagyobb változások mutathatók ki, mint azoknál a tojásfehérje oldatoknál, amelyek bizonyos ideig tárolva voltak. Viszont ha ezen öregebb oldatoknál 60°C-os, vagy annál nagyobb hőmérsékletet alkalmazunk nyomáskezelés közben, akkor már itt is kimutatható a csökkenés mértéke az oldhatóságban. Ennek magyarázata az lehet, hogy magasabb pH esetén a fehérjemolekulák között erősebb a taszítás, amelynek következtében kevesebb aggregáció alakul ki. Hőmérséklet szempontjából a nyomáskezelést két részre oszthatjuk. Először is van a 60°C alatti nyomáskezelés, valamint a 60°C-os és afeletti eljárás. Utóbbi hőmérséklet (60°C) nagyon fontos, mivel ez a denaturáció kezdeti hőmérséklete. Ez alatti hőmérsékletek alkalmazásakor a fehérjének még nincsen jelentős szerkezeti változása, viszont 60°C-on, vagy afelett már jelentős denaturáció jön létre. Azonban alacsony hőmérsékletnél kis nyomástartomány alkalmazásával előfordulhat részleges, kisebb denaturáció.

Kísérletek során ugyanezt a mintát figyelték meg a tojásfehérje zavarosságánál. Friss tojás esetében sokkal erősebb változás figyelhető meg a zavarosságban, mint nem friss oldatnál. Ha a nyomáskezelést a denaturációs hőmérséklet (60°C) alatt végezzük, – pl. 10°C -on – akkor a kisebb nyomástartomány alkalmazása nagyobb zavarosságot, valamint kisebb oldhatóságot okoz. Ha nem érjük el a denaturációs hőmérsékletet, akkor a legtöbb változás is kis nyomástartományú eljárás során történik. Ennek magyarázata, hogy magasabb hőmérsékleten – pl. $40\text{--}59^{\circ}\text{C}$ – a nyomás stabilizálja a fehérjéket, míg alacsonyabb hőmérsékleten – pl. $10\text{--}20^{\circ}\text{C}$ – denaturáció alakulhat ki. Suzuki (1958) szintén megfigyelte, hogy 40°C alatt az ovalbumin oldatok nyomás kiváltotta oldhatatlansága kisebb hőmérsékleten gyorsabban megy végbe (Van der Plancken et al., 2005). Mindazonáltal még a lehető legnagyobb nyomást alkalmazva is friss oldatok esetében 30%-ban, míg nem frisseknél 60%-ban oldhatóak maradtak a tojásfehérjében lévő fehérjék. Ez nagyon fontos abból a szempontból, hogy a fehérjék oldhatósága alapvető feltétele az optimális működésnek a habok, emulziók és gélek képződésekor.

A nyomáskezelés fontos változásokat eredményez a denaturációs entalpiában is. Minél nagyobb nyomás éri az adott tojást, oldatot, annál nagyobb mértékben csökken. Az entalpia csökkenése a fehérjeszerkezet részleges elvesztését jelzi. A kezelés során az alkalmazott nyomás-hőmérséklet tartomány mértéke nagyban befolyásolja a fehérjék denaturációját. Összefoglalva a tojásfehérje oldatok nyomáskezelése számos változást idéz elő a tojásfehérjében lévő fehérjék szerkezeti, illetve fizikai-kémiai tulajdonságaiban. 400 MPa feletti nyomástartományban növekedés figyelhető meg zavarosság tekintetében, míg csökkenés észlelhető a fehérjék oldhatóságában és denaturációs entalpiájában. A nyomáskezelés okozta fehérjedenaturáció szoros összefüggésben van az alkalmazott hőmérséklettel, illetve a pH-val, ahogyan ezt már számos tanulmány alátámasztotta.

Hoppe, Jung, Patnaik és Zeece (2012) a nagy hidrosztatikus eljárás hatását vizsgálta tojásfehérjék emészthetőségi tulajdonságaira vonatkoztatva. A 800 MPa nyomáson kezelt tojásfehérje pepszin által emészthetősége nagyobb mértékű, jobb volt, mint a 95°C -on hőkezelt mintáé. A nagy nyomáskezelés alkalmazását követően a pepszin kevesebb, mint 2 percen belül lebontotta a tojásfehérjében lévő négy legfontosabb fehérjét (ovalbumin, konalbumin, ovomucin és lizozim).

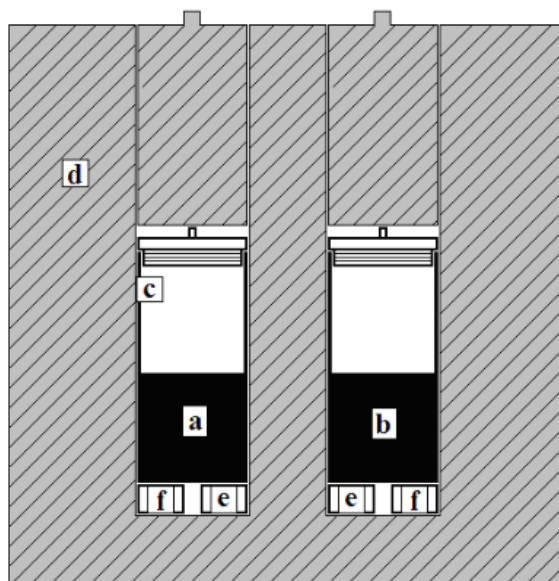
Összességében a nagy nyomású technológia egy olyan tartósítási eljárás, amelynek során az élelmiszereket különböző mértékű nyomásnak teszik ki, függően az elérni kívánt céltól. A kezelés hatására inaktiválódnak a mikroorganizmusok, módosulnak a biopolimerek, bizonyos nyomástartomány alkalmazásával átalakul a fehérjék szerkezete, tehát denaturáció jön létre. További lehetséges változások még a víz fiziko-kémiai tulajdonságaiban és a gél képződésben nyilvánulnak meg. Azonban a hidrosztatikus nyomású kezelés egy nem hőkezelésen alapuló művelet, amelynek következtében a tápanyag-, íz-, illat-, vitamin- és színtartalom kevésbé módosul (Tuboly, 2009). A hidrosztatikus nyomás hőkezeléssel szembeni előnyeihez tartozik, hogy jobban megőrizhető a tojásfehérje tápértéke, biztosítva a fehérjék magasabb arányú emészthetőségét anélkül, hogy hatással lenne a biológiailag fontos mikro-tápanyagokra. Ez a fokozott emészthetőségi arány hozzájárulhat a tojás kiváltotta élelmiszer allergiák csökkentéséhez is. Kedvező és előnyös tulajdonságai miatt folyamatos érdeklődés kíséri figyelemmel ezt a technológiát, valamint egyre többször alkalmazzák. Számos tanulmány és vizsgálat foglalkozik a hidrosztatikus nyomás különböző hatásaival az egyes élelmiszeralkotók esetében. Mivel a tojás és annak nyomás hatására történő viselkedése már nagyon régóta érdekli az embert, ezért igen népszerű vizsgálati minta.

2.3. Tojáslevek fehérjedenaturációs vizsgálata DSC készülék segítségével

A tudomány a technika és az informatika fejlődésével az utóbbi időben számos vizsgálati módszert fejlesztett ki a tojásban, illetve az abból előállított tojástermékekben különböző hatások során bekövetkező változások vizsgálatára, amelyek közül az egyik legelterjedtebb módszer a DSC (Differential Scanning Calorimetry) technika alkalmazása. A differenciális pásztázó kalorimetria (DSC) egy olyan termoanalitikai módszer, amely képes a különböző anyagátalakulási folyamatok hőáramának regisztrálására a hőmérséklet, illetve az idő függvényében (Farkas, 1994). Ha egy ismert tömegű élelmiszer hőmérsékletét emeljük vagy csökkentjük, akkor a készülék a hőáramban végbemenő változásokat méri a hőmérsékletváltozás hatására. Az átalakulás lehet endoterm, vagy exoterm, függően a lejátszódó folyamattól. A technika legnagyobb előnye, hogy egyszerűen és gyorsan követhetőek nyomon az élelmiszerben bekövetkező változások, valamint hogy a mérendő minták akár előkészítés nélkül, eredeti állapotukban is vizsgálhatóak. A módszert kedvező és előnyös tulajdonságai miatt nemcsak az élelmiszeripar, hanem más iparágak is alkalmazzák.

A kaloriméterek fontos csoportját alkotják a dinamikus kaloriméterek, amelyeknek két típusát különböztetjük meg. Az egyik a már fentebb említett Differential Scanning Calorimeter (DSC), a másik pedig a Differential Temperature Analiser (DTA). Ezeknek a dinamikus kalorimétereknek a hagyományos kaloriméterekhez viszonyítva előnyük, hogy sokkal kisebb anyagmennyiség betöltése szükséges, illetve gyorsan, széles hőmérséklettartományban képesek eredményeket szolgáltatni az adott folyamatról. A mi szempontunkból a DSC módszer jelentősége a fontos. A DSC berendezés segítségével vizsgálni tudjuk az adott élelmiszerben hőkezelés, tárolás és különböző környezeti hatások során bekövetkező változásokat. Ilyen például a fehérjék denaturációjának vizsgálata, de ezenkívül még számos, egyéb mérés végezhető vele.

Felépítését tekintve a DSC készülék három fontos egységből épül fel, nevezetesen a mérést végző egységből, a mérőblokkot közvetlenül szabályozó egységből, valamint egy személyi számítógépből. A mérést végző egységben helyezkedik el a mérő- és referencia cellákat tartalmazó hőelnyelő blokk. A vizsgálat során a vizsgálandó-, valamint a referencia minta betöltése ezekbe a cellákba szükséges. A szabályozó egység feladata a felfűtés, illetve a lehűtés. Ennek a segítségével tudjuk változtatni a hőmérsékletet, amely a méréshez szükséges. Az adatok begyűjtését, feldolgozását, elemzését, valamint a szükséges görbék elkészítését természetesen számítógép végzi. A berendezés sematikus vázlatát a 2. ábra szemlélteti.



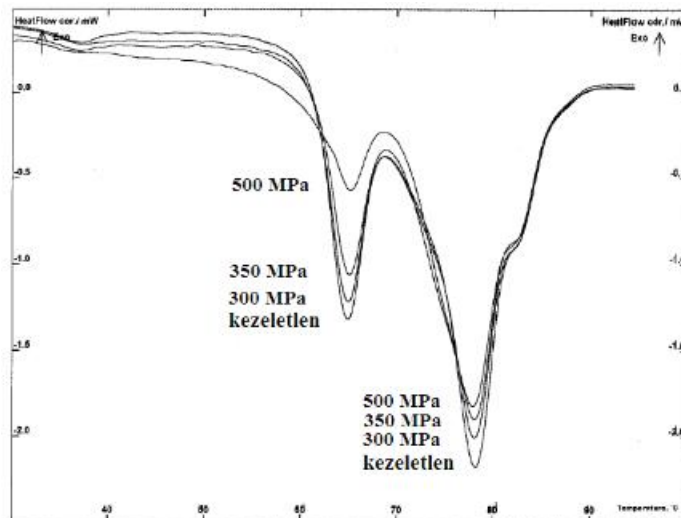
**a - vizsgált minta, b - referencia minta, c - mintatartó tégl
d - szigetelés, e - fűtőellenállások, f - hőmérők**

2. ábra A DSC berendezés sematikus vázlata (Pataki, 2010).

A DSC készülékkel történő mérés során a térben egymástól elkülönített minta és referenciaanyag (pl. desztillált víz) egy időben, teljesen azonos hőmérsékletprogram szerint kerül felfűtésre. A mérés előrehaladtával a vizsgálandó élelmiszer – esetünkben tojás, vagy valamilyen tojástermék – és a referencia minta hőmérséklete az idő függvényében lineáris növekedést mutat. A kapott eredmény nagyban függ attól, hogy a mintában milyen folyamat játszódik le. Hőelnyelés esetén a minta hőmérséklete kisebb, mint a referencia mintáé, tehát endoterm folyamat következik be, így a kimenőjelen egy pozitív csúcsot kapunk. Ezzel ellentétben, exoterm (hőleadásos) reakció esetén – ahol energiát a referenciacellával közlünk – egy negatív csúcs jelenik meg. A csúcsok alakjából és elhelyezkedéséből a lezajlott átalakulások jellege kikövetkeztethető.

Ennek következtében a DSC módszer alkalmas tojásfehérjék hő hatására történő denaturációjának vizsgálatára. Az úgynevezett termogramok segítségével a denaturációs entalpia kezdeti-, csúcs-, illetve véghőmérsékletei meghatározhatóak. A tojásfehérje denaturációs tanulmányozása során először az egyes fehérjefrakciók szétválasztása történik, majd ezek kalorimetrikus görbéi segítségével jellemezni tudjuk az adott frakciót. A szükséges termogramok elkészítését egy személyi számítógép végzi, amely folyamatos kapcsolatban áll a készülékkel. Az ezekről leolvasott adatok alapján számolhatjuk ki az átalakulási hőt. A DSC tehát kiválóan alkalmas mennyiségi információk szolgáltatására, amelyek elég pontosak ahhoz, hogy képet formálhassunk az adott alkotó jellemzőiről (Ferreira et al., 1997; Németh, 2012).

A kaloriméterek szempontjából fontosak az úgynevezett mikrokakoriméterek, amelyek a DSC analízisét végzik és manapság az egyik legelterjedtebben alkalmazott műszerek az élelmiszeripar megannyi területén. A legjelentősebb mikrokakoriméter egy „MicroDSC III” típusú, amely a Hűtő- és Állatitermék Tanszék rendelkezésére áll, így a különböző tojás-, illetve tojástermékek fehérjedenaturációs vizsgálatát ezen a műszeren végzem. A DSC technika alkalmas ezeknek a denaturációs hatásoknak a tanulmányozására különböző paraméterek mellett. Sikeresen vizsgálhatóak vele a hőkezeléses, illetve a nem-hőkezeléses (pl. nagy hidrosztatikai nyomáskezelés) élelmiszer feldolgozási módszerek fehérjedenaturációt kiváltó hatásai. Az utóbbi időkben a nagynyomásos kezelés jelentősége egyre növekszik, a DSC alkalmazásakor ezt a technológiát fogom alkalmazni. Egy ilyen nagynyomású készülékkel történő kezelés termogramjai láthatóak a 3. ábrán, amely kiválóan szemlélteti az eltérő nyomástartomány alkalmazásának következményeit a tojásfehérje-levek egyes alkotóira.



3. ábra Különböző nyomáson kezelt tojásfehérje-levek termogramjai (Andrássy et al., 2006; Németh, 2012).

A DSC berendezéseknek köszönhetően a tojásfehérjében bekövetkező denaturációs változások jól megfigyelhetők. Sokoldalúsága, illetve számos kedvező tulajdonságai és előnye miatt a technikát egyre szélesebb körben alkalmazzák. Mérési eredményei pedig elég pontosnak bizonyulnak ahhoz, hogy valós képet tudjunk alkotni az adott alkotó viselkedéséről.

3. Célkitűzés

Az utóbbi időben az élelmiszeripar területén egyre nagyobb mértékben terjedt el a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés alkalmazása, amelynek hatékonyságát megannyi kutatás és vizsgálat révén bizonyították már. Mivel számos kísérlet végezhető ezzel a technológiával, ezért dolgozatom témája ennek a nagynyomású kezelés fehérjedenaturáló hatásának vizsgálata különböző tojáslevek esetében. Ehhez természetesen célul tűztem ki a megfelelő nyomáskezelési paraméterek kiválasztását, a nyomáskezelések elvégzését, valamint ezen termékek denaturációs tulajdonságaiban esetlegesen bekövetkező változások kimutatását.

A nagynyomással kezelt tojáslevek fehérje denaturációjának vizsgálatára gyors és hatékony módszer a DSC technika alkalmazása, amellyel az egyes minták különböző termofizikai paramétereit kívánom meghatározni, majd ezeket értékelve összehasonlítom, hogy az egyes nyomáskezelési paraméterek milyen hatással bírtak az adott tojáslére. Az élelmiszeriparban a Differenciális Pásztázó Kalorimetriát egyre szélesebb körben alkalmazzák, mivel a módszerrel kiválóan tanulmányozható a tojás fehérjéinek hődenaturációja (Ferreira et al., 1997). Emellett mennyiségi információk szolgáltatására is alkalmas, mert lehetővé teszi a denaturációs entalpia (ΔH_d) számítását a tojásfehérje és az egyes alkotók esetében.

A mai világban egyre nagyobb a fogyasztói igény, hogy mikrobiológiailag biztonságos, stabil, illetve érzékszervileg megfelelő élelmiszerek kerüljenek a boltok polcaira. Méréseim során célom azt is meghatározni, hogy milyen nyomástartomány alkalmazása szükséges a biztonságos tojáslé előállításához anélkül, hogy a tojás fehérjeiben szerkezeti változás következzen be. Ahhoz, hogy kiderítsem, biztonságos-e az adott minta, mikrobiológiai vizsgálatokat hajtok végre minden egyes elkészített tojáslé esetében. Emellett színmérést is végzek abból a célból, hogy megállapítsam, látszólag bekövetkezett-e bármilyen változás az adott mintákban.

A kísérlet során a tojáslevekből kontroll mintát is készítettem – amely nem kapott nagynyomású kezelést – azért, hogy megfelelően szemléltetni tudjam a kezeltlen, illetve a kezelt minták közötti különbséget.

4. Anyagok és módszerek

4.1. Tojáslevek bemutatása

A kísérleteim során három féle tojáslével dolgoztam, amelyek a következők voltak: teljes tojáslé, tojássárgája-lé, illetve tojásfehérje-lé. Ezen minták mindegyike a Capriovus Kft. (Szigetcsép, Magyarország) tojásfeldolgozó vállalatától származtak. A különböző tojáslé mintákat a törővonal végéről vették. A szállítástól a mérések megkezdéséig a nyers tojásleveket 4°C-on, hűtőszekrényben tároltam.

A homogenizált mintákból 50-50 grammot mértem ki rugalmas, a nagy nyomásnak ellenálló polietilén tasakokba. A három féle tojáslé mindegyikéből 10-10 darabot készítettem, majd ezeket nagynyomású berendezés segítségével 5 percig különböző nyomástartomány alkalmazásával kezeltem. Kivétel volt mindhárom tojásléből 1-1 darab minta, amelyeket kezeletlen állapotban hagytam, ezek az úgynevezett kontroll minták. A kezeletlen és a kezelt mintákból az egyik felét termofizikai, DSC vizsgálatra használtam, míg a másik részét mikrobiológiai vizsgálat alá vettem, amely a Capriovus Kft. szigetcsépi üzemének mikrobiológiai laboratóriumában került mérésre.

4.2. Nagynyomású berendezés, kezelési módok

A nagynyomású kezelés elvégzéséhez a RESATO FPU 100-2000 nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszer-kezelő berendezést alkalmaztam, amelyet a 4. ábra szemléltet. A különböző tojáslevek esetében az alkalmazott nyomástartományok 200 MPa, 250 MPa, 300 MPa, illetve 350 MPa értéknél voltak. A nyomáskezelés időtartama 5 perc volt.

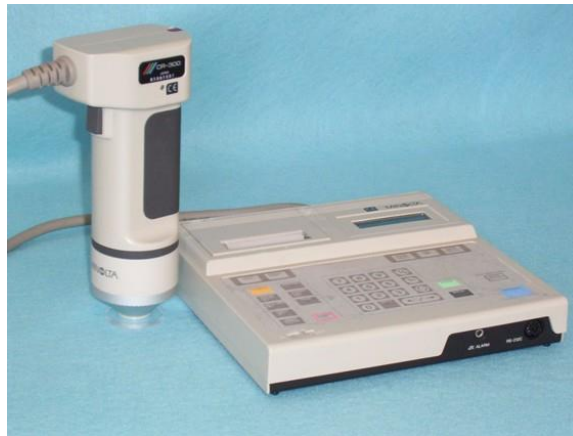


4. ábra Nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszer-kezelő berendezés.

4.3. Színmérés

Méréseim során a színmérést a Minolta CR-200 típusú színmérő készülék segítségével végeztem (5. ábra), amely a ma is gyakran használt CIELAB rendszer alapján működik. A színinger-tér közel egyenletes koordinátái a CIE XYZ összetevőkből számítható, amely esetben azonos távolságoknak felelnek meg a térben szemmel érzékelt különbségek. Jellegzetes értékei az L^* , a^* és b^* . Az L^* , mint világossági tényező azt mutatja meg, hogy a megvilágító fény hány százalékát veri vissza a fény. A három érték segítségével tudomást szerezhetünk az adott minta színéről.

A vizsgálatok során 3 párhuzamos mérést végeztem minden mintánál. Annak megállapítására, hogy az egyes tojáslevek kontroll- és nyomáskezelt mintái között fennállt-e szignifikáns eltérés, Student-féle kétmintás t-próbát hajtottam végre nem egyenlő szórásnégyzeteknél, amely során a különböző tojáslevek nyomáskezelt mintáit a kezeletlen mintákhoz viszonyítottam 95%-os szignifikancia szinten.



5. ábra Minolta CR-200 típusú színmérő készülék.

A színmérő készülék képes olyan szín megkülönböztetésre, amelyet az emberi szem nem tud érzékelni. Az általunk érzékelni képes színkülönbség mértékét, tehát a színérzetet ΔE^* segítségével határozhatjuk meg, amelyet a 2. táblázat tüntet fel. ΔE^* értéke azt a színkülönbséget mutatja meg, amely a színinger-térben két színpont között lép fel.

2. táblázat Az emberi szem által érzékelhető színekülönbségek (Lukács, 1982).

ΔE^*ab	Érzékelt különbség
0 ... 0,5	nem vehető észre
0,5 ... 1,5	alig vehető észre
1,5 ... 3,0	észrevehető
3,0 ... 6,0	jól látható
6,0 ... 12	nagy

4.4. Differenciális pásztázó kaloriméter, termofizikai tulajdonságok vizsgálata

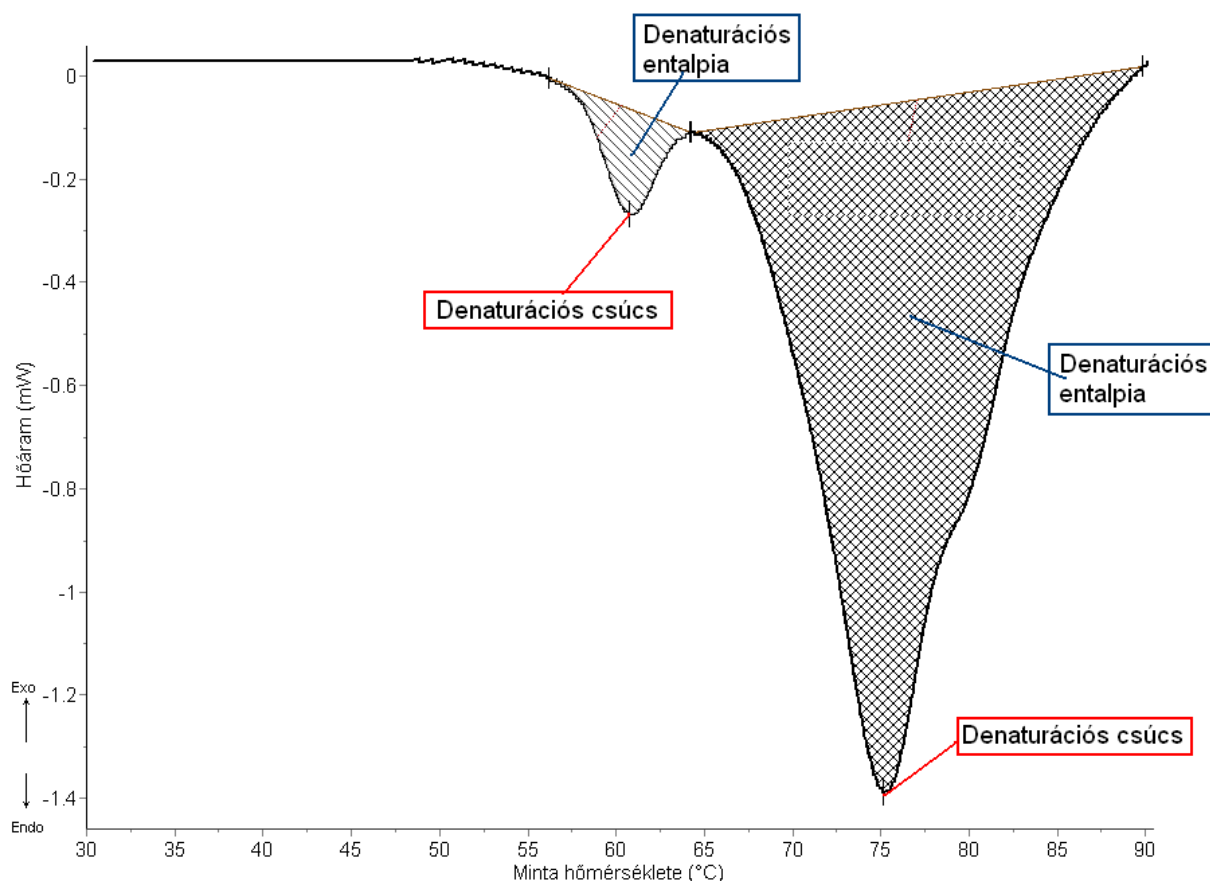
Kísérleteim során a kalorimetrikus, termofizikai méréseket egy MicroDSC III. típusú készülékkel végeztem (6. ábra), amelynek mintatartója 1 ml térfogatú. A tojáslé mintákból a bemérések során közelítőleg 580 mg mennyiséget mértem be a hermetikusan zárt, rozsdamentes acélból készült mintatartó küvettákba, míg referenciamintaként desztillált vizet használtam, melynek tömege közelítőleg megegyezett a minta tömegével.

Minden egyes mérés 80 percig tartott, amelyből az első-, illetve az utolsó két perc hőntartás volt, melynek hőmérsékletét 20°C-ra állítottam be. A kettő közötti időben történt a felfűtés 20°C-ról 95°C-ra 1,5°C/min fűtési sebességgel, majd a lehűtés 95°C-ról 20°C-ra 3°C/min sebességgel a készülékhez tartozó SetSoft2000-s program segítségével.



6. ábra MicroDSC III. típusú készülék.

A mérések befejezése után a Callisto 7.6 verziójú programmal kiértékeltem a különböző tojáslevek DSC termogramjait. Meghatároztam a minták DSC-vel mérhető fehérjéinek csúcshőmérsékletét és alapvonal illesztés után a görbe alatti területeket, amelyből a fehérjék mennyiségére, illetve mennyiségi változásaira lehet következtetni. Vizsgálataim során 3-3 párhuzamos mérést végeztem minden egyes mintánál.



7. ábra Teljes tojásle jellemző hőáram görbéje

A 7. ábrán egy tojásra jellemző denaturációs termogram látható. A jellemző paraméterek a denaturációs csúcs és a denaturációs entalpia (görbe alatti sáírozott terület). A denaturációs csúcs hőmérsékletét tartják az adott fehérje denaturációs hőmérsékletének, a görbe alatti terület pedig az adott fehérjefrakció kicsapódásához szükséges hőmennyiséget jelenti.

4.5. Mikrobiológiai vizsgálatok

A mikrobiológiai laboratóriumban a minták élőcsíraszám vizsgálatát végeztem el. Az összcsíraszám meghatározása során a különböző tojáslé mintákból steril vízzel hígítási sort készítettem 10 hatványai szerint, majd lemezöntést végeztem húslé agarral minden hígítás 1-1 ml-éből. A lemezeket 48 órán át, 30°C-on inkubáltam. Az idő leteltével a kinőtt telepeket telepszámláló segítségével megszámláltam.

Az élőcsíraszám nyomon követését teljes tojáslé, tojássárgája-lé, valamint tojásfehérje-lé esetében kezeletlen és különböző nyomáson kezelt mintáknál is minden esetben végrehajtottam. A mikrobiológiai vizsgálatok segítségével tudomást lehet szerezni arról, hogy az egyes tojáslevekben nyomáskezelés hatására milyen mértékben változik az összcsíraszám, illetve hogyan befolyásolja az adott nyomásérték a mikroorganizmusok viselkedését, ill. pusztulását.

5. Eredmények és értékelés

5.1. Színmérés eredményei

A 3. táblázat a színmérés L^* , a^* és b^* átlag-, illetve szórás értékeit tünteti fel adott mintára vonatkozóan kezeletlen, valamint nagynyomással kezelt állapotban történő vizsgálatoknál. Emellett a táblázat tartalmazza a Student-féle kétmintás t-próba eredményeit a három jellegzetes érték esetében.

3. táblázat Az L^* , a^* és b^* értékének alakulása a vizsgált minták esetében.

Minta	L^*	a^*	b^*
teljes tojáslé kontroll	$76,42 \pm 0,07^*$	$-0,73 \pm 0,06^*$	$41,69 \pm 0,24^*$
teljes tojáslé 200 MPa	$78,76 \pm 0,23^*$	$-0,98 \pm 0,26^{**}$	$41,41 \pm 1,06^*$
teljes tojáslé 250 MPa	$79,78 \pm 0,14^*$	$-1,13 \pm 0,08^*$	$40,65 \pm 0,10^*$
teljes tojáslé 300 MPa	$80,65 \pm 0,10^*$	$-1,15 \pm 0,02^{**}$	$39,25 \pm 0,20^*$
teljes tojáslé 350 MPa	$81,96 \pm 0,15^*$	$-1,19 \pm 0,10^*$	$38,18 \pm 0,77^{**}$
tojássárgája-lé kontroll	$66,91 \pm 0,13^*$	$9,08 \pm 0,03^*$	$54,29 \pm 0,55^*$
tojássárgája-lé 200 MPa	$68,39 \pm 0,70^*$	$7,77 \pm 0,22^*$	$51,57 \pm 1,84^{**}$
tojássárgája-lé 250 MPa	$69,03 \pm 0,23^*$	$7,48 \pm 0,04^*$	$52,50 \pm 0,19^{**}$
tojássárgája-lé 300 MPa	$70,57 \pm 0,85^{**}$	$7,00 \pm 0,09^*$	$51,47 \pm 0,56^{**}$
tojássárgája-lé 350 MPa	$69,98 \pm 0,60^{**}$	$7,23 \pm 0,03^*$	$50,63 \pm 0,78^*$
tojásfehérje-lé kontroll	$64,62 \pm 2,24^*$	$-2,35 \pm 0,06^*$	$17,23 \pm 0,10^*$
tojásfehérje-lé 200 MPa	$55,38 \pm 1,95^*$	$-2,07 \pm 0,47^{**}$	$15,22 \pm 0,62^{**}$
tojásfehérje-lé 250 MPa	$57,08 \pm 0,62^{**}$	$-2,39 \pm 0,11^{**}$	$16,50 \pm 0,33^*$
tojásfehérje-lé 300 MPa	$55,30 \pm 0,37^{**}$	$-1,86 \pm 0,10^*$	$15,38 \pm 1,22^*$
tojásfehérje-lé 350 MPa	$58,47 \pm 1,54^{**}$	$-0,90 \pm 0,09^*$	$15,53 \pm 0,43^{**}$

Jelmagyarázat:

**: a kontroll mintához viszonyítva nincs szignifikáns eltérés 95%-os szignifikancia szinten*

****: a kontroll mintához viszonyítva van szignifikáns eltérés 95%-os szignifikancia szinten*

Az egyes értékek alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy azonos minták között a kontrollhoz képest viszonyítva a nyomáskezelteknél némi változás volt tapasztalható, ezért elvégeztem a Student-féle kétmintás t-próbát nem egyenlő szórásnégyzeteknél annak megállapítására, hogy a kezeletlen-, illetve a nyomáskezelteknél között adódott-e bármiféle szignifikáns eltérés 95%-os szignifikancia szinten.

Ennek segítségével megállapítottam, hogy teljes tojásnél az egyes nyomáskezelteknél az L^* értékei esetén a kontroll mintához viszonyítva nincs szignifikáns eltérés, míg a^* és b^* értékek esetében volt olyan nyomáskezelteknél minta, amely a kezeletlen mintától szignifikánsan eltért.

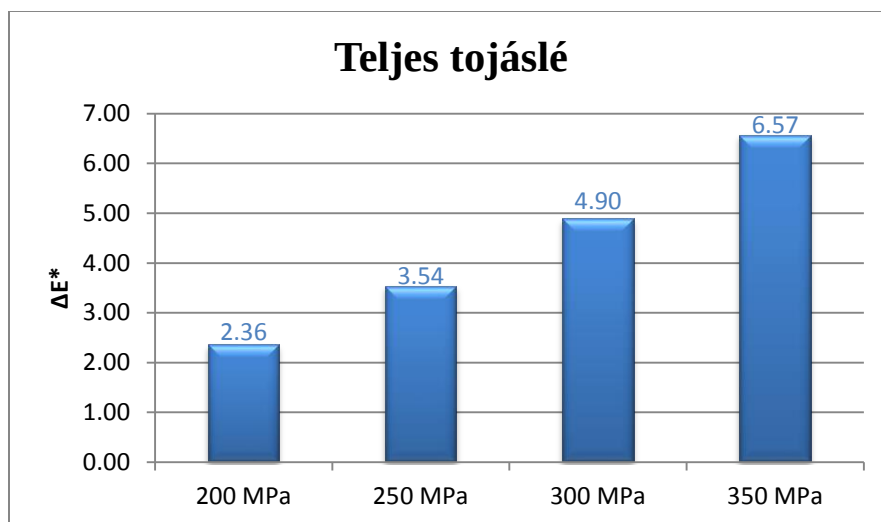
Tojássárgája-nél esetén a különböző nyomáson kezelt minták a^* értékei alapján elmondható, hogy a kontroll mintához képest nincs szignifikáns eltérés. Azonban L^* és b^* értékek esetében egyes nyomáskezelteknél tojásleveknél fennállt szignifikáns eltérés, de volt olyan is, amely nem mutatott különbséget.

Tojásfehérje-nél az eredmények alapján egyáltalán nem találtam olyan jellegzetes értéket (L^* , a^* , vagy b^*), amelynek mindegyik nyomáskezelteknél minta azonos tendenciát követett volna. Mindhárom érték esetében a négy nyomáskezelteknél minta közül volt legalább egy olyan, amelyik a többi nyomáskezelteknél mintával ellentétes megállapítást mutatott a kontroll mintához viszonyítva.

Tehát a tojásfehérje-nél L^* , a^* és b^* értékei esetén is voltak olyan nyomáskezelteknél tojáslevek, amelyek nem mutattak szignifikáns eltérést a kezeletlen tojáslethez viszonyítva, viszont előfordult olyan is, hogy adódott szignifikáns eltérés.

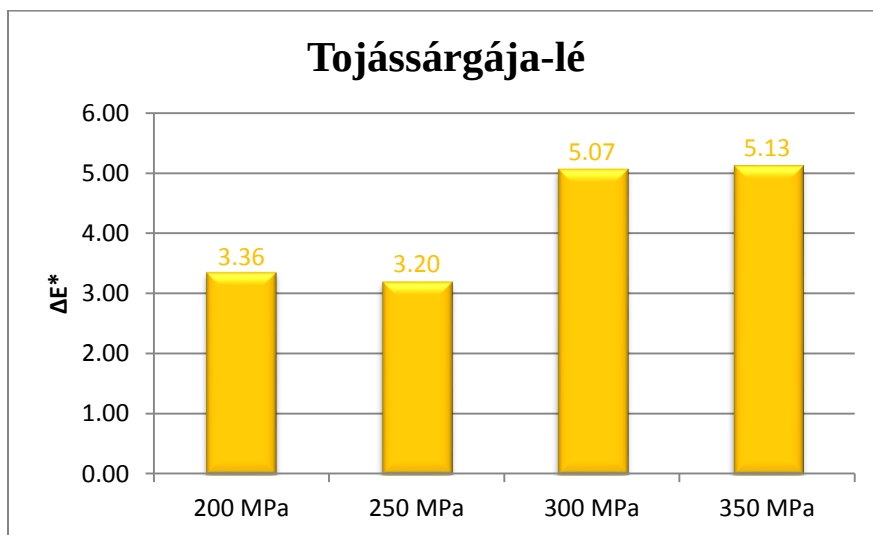
A kétmintás t-próba segítségével arra a megállapításra jutottam, hogy a legnagyobb mértékű eltérés a kezeletlen és nyomáskezelteknél tojáslevek között tojássárgája-nél b^* , illetve tojásfehérje-nél L^* értékei esetében adódtak, mivel ezeknél a négy nyomáskezelteknél mintából három szignifikáns eltérést mutatott.

A kontroll és különböző nyomáson kezelt minták különbségének, színbeli változásának további megállapítása céljából kiszámoltam ΔE^* értékeit, amely során a kontroll mintákat a nyomáskezelteknél mintákkal hasonlítottam össze. Ezek eredményei a következő ábrákon (8-10. ábra) láthatóak.



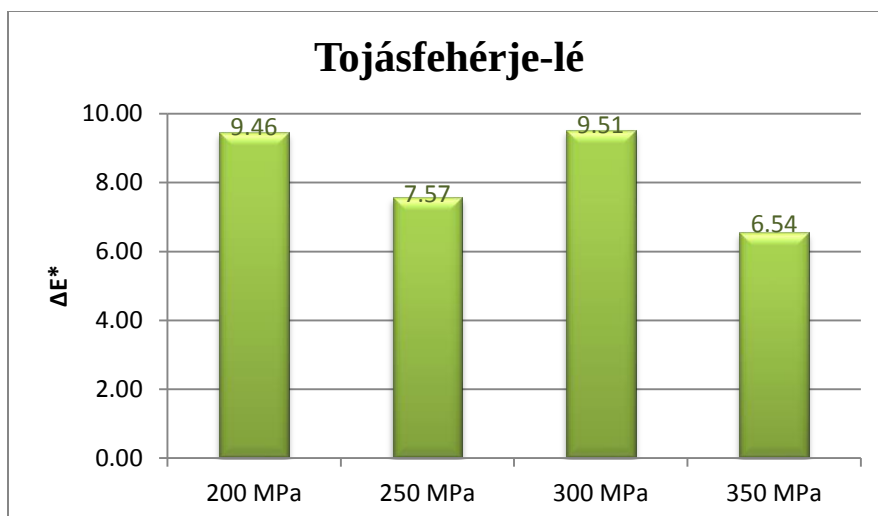
8. ábra Teljes tojáslé ΔE^* értékei.

Teljes tojáslé esetében arra a megállapításra juthatunk, hogy a kontroll mintához képest a nyomáskezelteknél egyértelműen tapasztalható volt színváltozás. Minél magasabb nyomásértéken kezeltük az adott teljes tojáslevet, annál nagyobb ΔE^* értéket kaptunk, tehát annál nagyobb mértékben volt látható színelkülönbség a kontroll és az adott nyomáskezelte minta között.



9. ábra Tojássárgája-lé ΔE^* értékei.

A tojássárgája-lé esetén szintén megfigyelhető volt a kezeletlen, illetve a nyomáskezelte minták között fellépő színváltozás, azonban ΔE^* értékei alapján a 200 MPa-on, valamint a 250 MPa nyomáson kezelt minták közel ugyanolyan mértékben tértek el a kontroll mintához képest. Ez a tendencia igaznak bizonyult a 300 MPa-on és a 350 MPa-on kezelt mintáknál is.



10. ábra Tojásfehérje-lé ΔE^* értékei.

A három különböző tojáslé közül a tojásfehérje-lé esetében volt a legnagyobb mértékű a kontroll és a nyomáskezelt minták között fennálló színekülönbség. Ezt a tényt támasztja alá ΔE^* magas értéke mind a négy alkalmazott nyomásértéken. Elmondható, hogy a 200 MPa-on, illetve a 300 MPa-on nyomáskezelt minták nagyjából azonos mértékben különböztek a kezeletlen tojásfehérje-létől.

A színmérés eredményei, a Student-féle kétmintás t-próba elvégzése, valamint ΔE^* értékei alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a nagynyomású kezelés hatására egyértelműen színváltozás következett be a különböző tojáslevekben, valamint a tojásfehérje-lé esetében a nyomáskezelt minták opálosabbnak tűntek, mint a kezeletlen minta. Ennek oka a kismértékű fehérjedenaturáció volt. Azonban a kontroll mintához való eltérés mértéke és az alkalmazott nyomástartomány között nem találtam semmilyen összefüggést tojássárgája-, illetve tojásfehérje-lé mintáknál, egyedül a teljes tojásleveknel volt megfigyelhető növekvő tendencia.

A számolt ΔE^* értékek közül tojásfehérje-lé esetén kaptam a legmagasabb eredményeket adott nyomáson, amely azt bizonyítja, hogy a három különböző tojáslé közül színben ez tért el legjobban a kontroll mintához viszonyítva. Egyetlen kivételt jelentett a 350 MPa-on kezelt teljes tojás-, illetve tojásfehérje-lé, mivel ezen minták ΔE^* értékei közel azonosnak adódtak. Így 350 MPa-os nyomás alkalmazásával az előbb említett tojáslevek azonos mértékben különböztek a kezeletlen mintához képest.

5.2. DSC eredményei

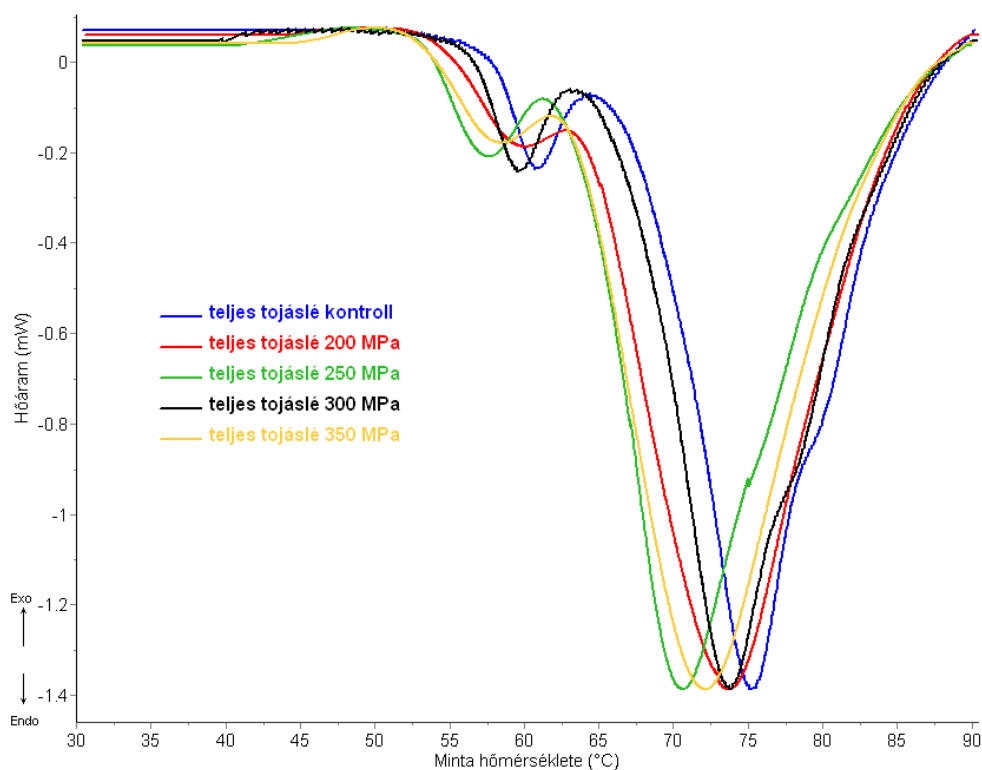
A DSC berendezés által végzett mérések átlag-, valamint szórás értékei jelennek meg a 4-6. táblázatban az egyes tojáslevek esetében. A Callisto 7.6 verziójú programmal végzett kiértékeléseim során megállapítottam, hogy a teljes tojáslé, valamint a tojásfehérje-lé esetében a kezeletlen, illetve a nagynyomással kezelt mintáknál két csúcs volt megfigyelhető, ezeket jelzik a következő táblázatokban (4-6. táblázat) feltüntetett két denaturációs entalpia és két csúcshőmérséklet értékek is.

Ezzel ellentétben a tojássárgája-lé mintáknál csak egyetlen csúcs került meghatározásra, ebből adódóan egy adat áll rendelkezésemre az entalpiát és csúcshőmérsékletet tekintve. Az adott minta denaturációs entalpiája tulajdonképpen a görbe alatti területet jelenti, melyet a termogramra illesztett alapvonal segítségével kaptam meg. Kiértékeléseim során az egyes tojáslevek DSC termogramjait is elkészítettem, melyeket a jobb átláthatóság érdekében normalizáltan mutatok be a 11-13. ábrákon. Mindhárom tojáslé esetében külön-külön tüntetem fel az elkészített táblázatokat, valamint termogramokat, melyek egymás után következnek.

4. táblázat A DSC mérések átlag- és szórás értékei teljes tojáslé esetében.

Teljes tojáslé	Denaturációs entalpia 1 (J/g)	Denaturációs entalpia 2 (J/g)	Csúcshőmérséklet 1 (°C)	Csúcshőmérséklet 2 (°C)
Kontroll	0,064±0,0014	1,262±0,095	60,72±0,95	75,09±0,82
200 MPa	0,029±0,0032	1,084±0,087	59,21±1,31	73,80±1,03
250 MPa	0,062±0,0050	1,156±0,092	57,32±0,42	71,62±0,67
300 MPa	0,058±0,0027	1,128±0,069	59,57±1,03	73,78±0,51
350 MPa	0,041±0,0042	1,043±0,059	57,80±0,67	72,21±0,99

Teljes tojáslé esetében a denaturációs entalpiák átlagértékei között nem mutatkozott számottevő különbség a kontroll mintához viszonyítva, illetve a szórásértékek is minimálisnak bizonyultak. A csúcshőmérsékleteket tekintve sem látható jelentős differencia, a pár Celsius-fokos eltérés annak tudható be, hogy a tojás inhomogén rendszer.



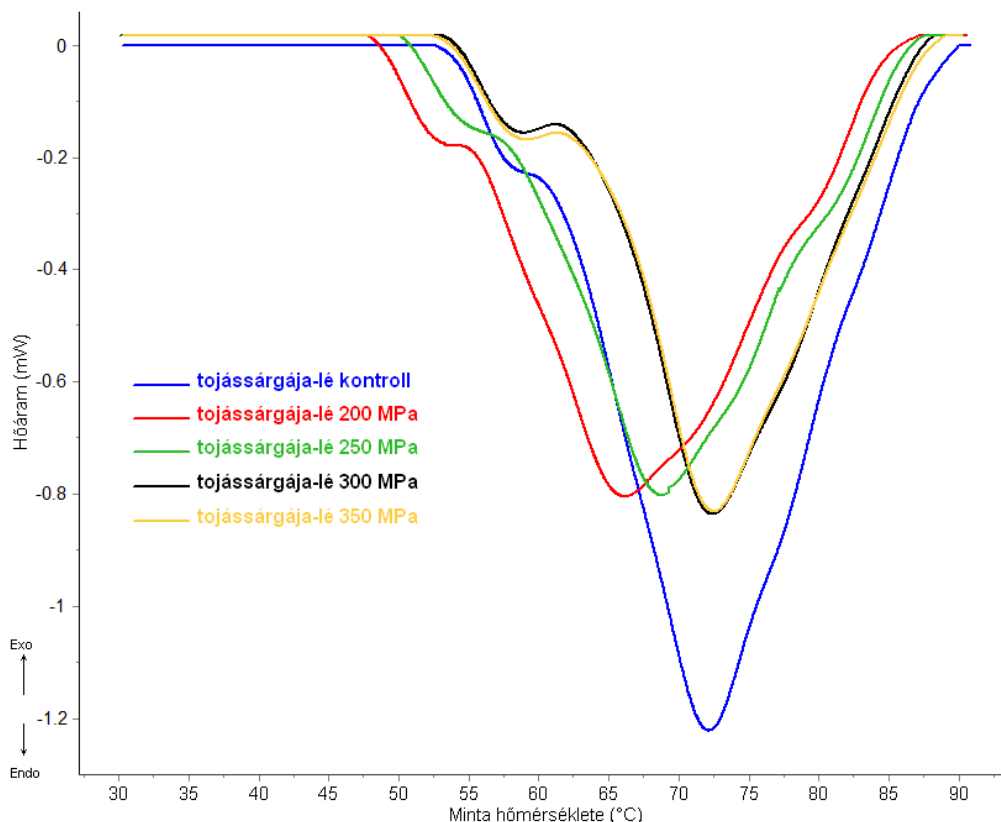
11. ábra Teljes tojáslé normalizált termogramja.

A teljes tojáslé normalizált termogramján a kezeletlen és az egyes nyomáskezelt minták csúcsai tökéletesen tükrözik azt a megállapítást, hogy az általam kiválasztott nyomásértékeken nem történt olyan mértékű fehérjedenaturáció, melyet ezzel a módszerrel ki tudnánk mutatni, mivel a hőáramok szinte megegyeztek. Emellett látható, hogy az egyes minták csúcshőmérsékletei nagyjából egy tartományon belül helyezkedtek el.

5. táblázat A DSC mérések átlag- és szórás értékei tojássárgája-lé esetében.

Tojássárgája-lé	Denaturációs entalpia (J/g)	Csúcshőmérséklet (°C)
Kontroll	0,927±0,0091	67,73±1,67
200 MPa	0,767±0,0040	66,16±0,36
250 MPa	0,706±0,0034	70,26±1,30
300 MPa	0,649±0,0072	72,37±1,15
350 MPa	0,638±0,0075	72,21±0,94

Tojássárgája-lé esetén a DSC berendezés által nyomon követett denaturációs entalpia átlagértékei a kezeletlen mintához viszonyítva jelentősen csökkentek, amely azt bizonyítja, hogy a fehérjék mennyiségében csökkenés mutatkozott. Csúcshőmérsékletet tekintve is változás lépett fel, mivel a 250-, 300- és 350 MPa nyomáson kezelt minták értékei nagyobbak bizonyultak a kontrollhoz képest.



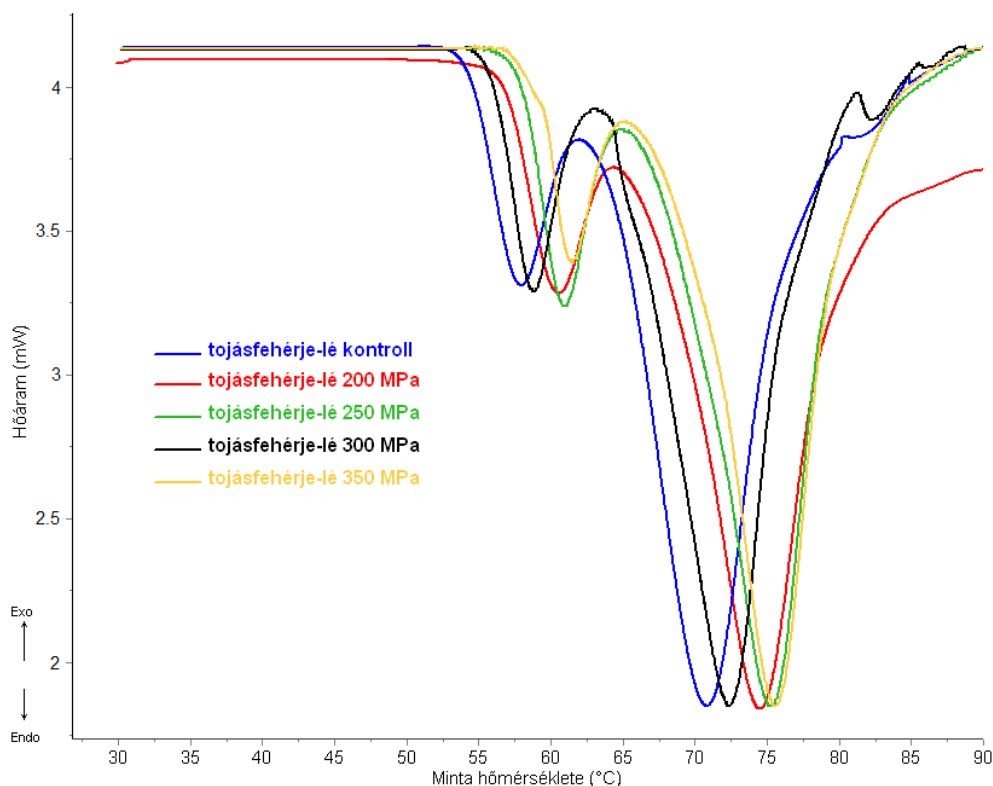
12. ábra Tojássárgája-lé normalizált termogramja.

A 12. ábrán a kontroll minta csúcspontján a hőáram értékében jelentős differencia mutatkozik a nyomáskezelt tojássárgája-levekhez képest. Ezáltal teljesen megbizonyosodhatunk arról, hogy denaturálódás történt a fehérjékben. A hőáramokat és csúcshőmérsékleteket összevetve is látszik, hogy számottevő különbség lépett fel.

6. táblázat A DSC mérések átlag- és szórás értékei tojásfehérje-lé esetében.

Tojásfe- hérjelé	Denaturációs entalpia 1 (J/g)	Denaturációs entalpia 2 (J/g)	Csúcs hőmérséklet 1 (°C)	Csúcs hőmérséklet 2 (°C)
Kontroll	0,160±0,0088	1,075±0,087	57,85±0,66	70,69±0,74
200 MPa	0,171±0,0059	1,094±0,073	60,25±1,05	74,40±0,92
250 MPa	0,169±0,0074	1,097±0,054	60,84±0,87	75,11±1,33
300 MPa	0,160±0,0089	1,103±0,024	58,37±0,41	71,70±0,57
350 MPa	0,140±0,0094	1,077±0,001	59,97±1,14	73,83±1,03

Tojásfehérje-lé esetében a különböző minták denaturációs entalpiái nagyjából megegyeztek, valamint a szórás értékek is alacsonynak bizonyultak. Ugyanez mondható el a csúcs hőmérsékleteket figyelve, mivel a 3-4°C-os eltérés a tojásfehérje inhomogenitásának tudható be.



13. ábra Tojásfehérje-lé normalizált termogramja.

A tojásfehérje-lé normalizált termogramjának segítségével megállapíthatjuk, hogy a kontroll-, illetve a különböző nyomáson kezelt minták hőáram értékei közel azonosak voltak, ezért nem

következett be mérhető denaturáció. A minták csúcshőmérsékletei is egy bizonyos tartományon belül helyezkedtek el.

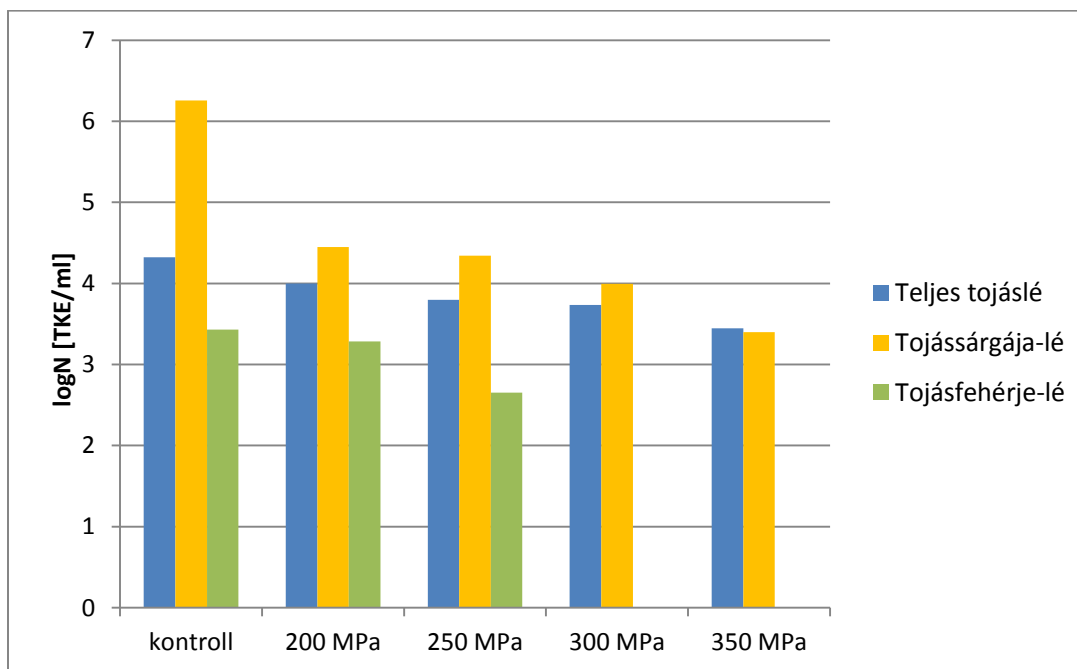
A mért eredmények alapján arra a megállapításra juthatunk, hogy a három különböző tojáslé közül csak a tojássárgája-lé esetében történt DSC módszerrel kimutatható fehérjedenaturáció, mivel ezeknél a méréseknél az entalpia értékei jelentősen eltértek egymástól, amely azt bizonyítja, hogy a fehérjék mennyisége folyamatosan csökkent az egyre nagyobb nyomásértékek alkalmazásával. Ezzel ellentétben teljes tojáslé-, illetve tojásfehérje-lé esetén a nyomáskezelt minták denaturációs entalpia és hőáram értékei nagyjából azonosnak adódtak, a kezeletlen mintához viszonyítva csak kis mértékben változtak.

Az általam alkalmazott nyomásértékeken a teljes tojáslében, illetve tojásfehérje-lében a fehérjék szerkezeti változása még nem következett be, viszont tojássárgája-lé esetén 200-250 MPa nyomásértéknél a denaturálódás megkezdődött, mivel jelentősen csökkent a fehérjék mennyisége a kontroll mintához képest. Ennek eredményeként azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a tojássárgáját nem célszerű nagynyomású berendezéssel kezelni, mivel viszonylag alacsony nyomásértéken már denaturáció indul meg.

A teljes tojáslé esetében 350 MPa nyomásértékig nem történt szerkezeti változás a fehérjékben, amelynek egyik oka az lehet, hogy a tojásfehérje körbeveszi a tojássárgáját, ezáltal megvédi azt a nyomástól, így nem indul meg a denaturálódás, mivel a tojásfehérje-lében 350 MPa nyomásig nem következett be denaturáció.

5.3. Mikrobiológiai eredmények

A különböző tojáslevek mikrobiológiai vizsgálatának eredményei a 14. ábrán láthatóak. Mind a kezeletlen, mind pedig a különböző nagynyomással kezelt minták esetében egymás mellett találhatóak az egyes tojáslevek, amely segítségével könnyebben tudok következtetéseket levonni a jobb átláthatóságnak köszönhetően.



14. ábra Tojáslevek mikrobiológiai állapota nagynyomású kezelés hatására.

Teljes tojáslé esetében a kontroll mintához viszonyítva a mikroorganizmusok száma 1 nagyságrenddel csökkent 350 MPa-os nyomásérték alkalmazása esetén. Elmondható, hogy az általam kiválasztott nyomásértékek közül minél nagyobb nyomást alkalmaztam, annál kevesebb lett a tojáslében található mikrobák mennyisége.

Tojássárgája-lénél sokkal drasztikusabb csökkenést tapasztalhatunk, ha a nagynyomással kezelt mintákat a kezeletlennel szeretnénk összehasonlítani, mivel 350 MPa-os értéknél a mikroorganizmusok száma nagyjából 3 nagyságrenddel csökkent. A teljes tojásléhez hasonlóan itt is látható, hogy a nyomásérték növelésével csökken az összcsíraszám. Viszont tojássárgája-lénél jóval nagyobb volt a kiindulási csíraszám a kontroll mintának, mint teljes tojáslé, valamint tojásfehérje-lé esetén.

A legbiztosabb eredményt mikrobiológiai szempontból a tojásfehérje-lé esetében sikerült elérnem, mivel itt 300 MPa-os, illetve 350 MPa-os nyomásértéknél a mintákban nem volt kimutatható mennyiségben mikroorganizmus. Szintén megfigyelhető, hogy egyre kevesebb lett a csíraszám, ha nagyobb nyomást alkalmaztam. A kiindulási csíraszámot közel 3 nagyságrenddel sikerült csökkenteni.

A mikrobiológiai vizsgálatok eredményeként arra a megállapításra juthatunk, hogy mindhárom tojáslé esetében jelentősen csökkent a mikroorganizmusok száma a nagynyomású kezelés hatására, melyek közül a tojásfehérje-lénél olyan mértékben sikerült lecsökkenteni a csíraszámot, - közel nullára 300-350 MPa nyomáson - hogy mikrobiológiailag biztonságos élelmiszert lehet előállítani. Azonban teljes tojáslé, valamint tojássárgája-lé esetén az általam alkalmazott nyomásértékeken még nem tudunk stabil terméket előállítani, ezen termékek esetében valószínűleg kombinált tartósítási mód alkalmazása lehet megfelelő.

Méréseim során a kezeletlen, illetve a nyomáskezelt tojáslevek mikrobiológiai állapotát a minták elkészítése (és kezelése) után közvetlen vizsgáltam, viszont a tárolás hatására bekövetkező csíraszám változást nem követtem nyomon. Mivel a nagynyomású kezelés a sejtekben károsodást eredményez, ezért elpusztulnak azok, viszont egyes sejtek képesek regenerálódni, míg nagy részük akkora károsodást szenved, hogy a tárolás során elpusztul. Ezen mikrobiológiai változások megfigyelésére további vizsgálatokra lenne szükség.

5.4. Következtetések és javaslatok

A nagy hidrosztatikus nyomáskezelés tojáslevekben történő fehérjedenaturációs hatását vizsgálva számos olyan következtetést sikerült levonni, amelyek meghatározzák a tojáslevekben előállított élelmiszerek tulajdonságait. Ezen tanulságok felhasználásával a termékek jellemzői jobbra tehetőek.

Színmérés segítségével megállapítottam, hogy az egyes tojáslevekben a nagynyomású kezelés hatására egyértelműen színváltozás következik be a kezeletlen mintához képest. A legnagyobb mértékű színkülönbség összességében a tojásfehérje-lénél volt tapasztalható, mivel ebben az esetben az adott nyomáson kezelt minták opálosabbnak tűntek a kontroll mintához viszonyítva.

A DSC berendezés alkalmazásával kimutattam, hogy a három különböző tojásle közül csak a tojássárgája-le esetében történt fehérjedenaturáció, ahol már az általam alkalmazott legalacsonyabb nyomás értékeken (200 és 250 MPa) megindult a szerkezeti változás. Mindez a denaturációs entalpiában tökéletesen megnyilvánult, mivel a fehérjék mennyisége folyamatosan csökkent a nyomásérték növekedésével. Az általam kiválasztott legmagasabb nyomás értéken (350 MPa) teljes tojásle, valamint tojásfehérje-le esetében még nem indult meg a fehérjék szerkezeti változása. Előbbi mintáknál valószínűleg ez annak volt köszönhető, hogy a tojássárgáját megvédte a nyomástól az azt körbevevő tojásfehérje.

A DSC mérések eredményeként azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a tojássárgája-le esetében nem célszerű nagynyomású kezelést alkalmazni a viszonylag alacsony nyomásértéken meginduló denaturálódás miatt. Ezzel ellentétben teljes tojásle, illetve tojásfehérje-le mintáknál a hidrosztatikus nyomáskezelés megfelelő lehetőségnek bizonyulhat élelmiszerek előállítására, azonban ennek eléréséhez a megfelelő nyomás alkalmazására és mikrobiológiai vizsgálatokra is szükség van, hogy nyomon tudjuk követni, biztonságos terméket állítottunk-e elő.

A mikrobiológiai vizsgálatok nagyon fontosnak bizonyultak annak érdekében, hogy nyomon tudjam követni a tojáslevekben a kezeletlen, valamint a különböző nyomáson kezelt minták összcsíraszámát. Teljes tojásle, illetve tojássárgája-le esetén az általam alkalmazott nyomás értékeken még nem sikerült annyira lecsökkenteni az egyes mikroorganizmusok számát, hogy stabil terméket tudjunk előállítani. Azonban tojásfehérje-lénél 300 MPa-os és 350 MPa-os értékeknél az élőcsíraszám logaritmikus eloszlása 0-nak adódott, tehát közel 100%-os mértékben sikerült lecsökkenteni a mikrobák számát.

Mivel a tojásfehérje-lében 350 MPa nyomásig egyáltalán nem következett be fehérjedenaturáció, ezért elmondható, hogy már az általam kiválasztott két legmagasabb nyomásértéken (300 és 350 MPa) mikrobiológiailag stabil élelmiszert lehet előállítani, anélkül, hogy a fehérjék szerkezetében bármilyen változás lépne fel. Viszont annak meghatározására, hogy az így előállított termék bizonyos tárolási idő elteltével továbbra is biztonságos marad-e, további vizsgálatok lennének szükségesek.

6. Összefoglalás

Az utóbbi években a fogyasztók egyre nagyobb elvárásokat támasztanak az élelmiszerek iránt. A tudatos vásárlók számára rendkívül fontos szerepet tölt be egy termék megvételekor, hogy az kitűnő minőségű, ízletes, kifogástalan, valamint mikrobiológiailag biztonságos legyen. Ahhoz, hogy stabillá tudjunk tenni egy terméket, különböző hőkezelési eljárások állnak rendelkezésünkre, amelyeknek manapság legelterjedtebb változata a pasztörözés.

Azonban e technológia megannyi hátránya miatt (pl. hozzáadott adalékanyagok, tartósítószer) a tudomány elkezdett alternatív kezelési módokat kifejleszteni, illetve alkalmazni, amelyek segítségével ugyanolyan mértékben lecsökkenthető a mikroorganizmusok száma, mint pasztörözéskor, viszont az előállított élelmiszer tárolhatósági és érzékszervi tulajdonságai javulnak.

Az alternatív technológiák közül az egyik manapság legígéretesebb módszer a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés. Egyetlen hátránya közé tartozik, hogy a termékben jelen lévő fehérjék bizonyos nyomás alkalmazása felett denaturálódhatnak. Az eddig végzett kutatások alapján ez a kritikus pont 450 MPa-os értéknél adódik, mely felett szinte már lehetetlen elkerülni a fehérjék denaturálódását.

Ennek következtében dolgozatomban a nagynyomású kezelés fehérjedenaturáló hatását vizsgáltam különböző tojáslevek esetén. Viszont az általam kiválasztott nyomásértékek a kritikusnál (450 MPa) kisebbek voltak: 200, 250, 300 és 350 MPa. Ezen nyomásokon kezeltem a tojásleveket RESATO FPU 100-2000 nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszer-kezelő berendezés segítségével, ahol a kezelés időtartama 5 perc volt.

Színmérést végeztem Minolta CR-200 típusú színmérő készülék segítségével annak megállapítására, hogy a kontroll és nyomáskezelt minták között adódott-e bármiféle színkülönbség. A legnagyobb színváltozást tojásfehérje-lé esetében véltem felfedezni, amelynél a nagynyomással kezelt minták sokkal opálosabbak voltak, mint a kezeletlen. A teljes tojás- és tojássárgája-lé esetében szintén észlelhető volt differencia, azonban nem akkora mértékben, mint az előbb említett tojásfehérje-lénél.

A tojáslevekben bekövetkező esetleges fehérjedenaturáció nyomon követésére megfelelő módszer a DSC technika alkalmazása. A fentebb említett nyomásértékeken vizsgáltam DSC

berendezés segítségével teljes tojáslé, tojássárgája-lé, valamint tojásfehérje-lé fehérjében bekövetkező esetleges változásokat. Emellett kezeletlen mintákat is készítettem azért, hogy össze tudjam hasonlítani azokat a nyomáskezeltekkel.

A kalorimetrikus méréseket egy MicroDSC III. típusú készülékkel hajtottam végre. A különböző tojáslé mintákból megközelítőleg 580 mg mennyiséget mértem be a mintatartó küvettákba, emellett referenciaoldatként desztillált vizet alkalmaztam. Az eredmények kiértékelését és az egyes tojáslevek termogramjainak elkészítését egy Callisto 7.6 nevű programmal végeztem.

Méréseim során egyértelműen bebizonyítottam, hogy a tojássárgája-lében már az általam alkalmazott legkisebb nyomásokon (200 és 250 MPa) szerkezeti változás következett be a fehérjékben, amely azt mutatja, hogy a tojássárgája rendkívül érzékeny a nyomásra, s már viszonylag kis nyomásértéken is megindul a fehérjék mennyiségének csökkenése. Ezzel ellentétben teljes tojáslé, illetve tojásfehérje-lé esetében még a beállított legmagasabb nyomásértéken (350 MPa) sem történt meg a fehérjék denaturálódása.

Ahhoz, hogy élelmiszerbiztonságilag kifogástalan élelmiszert tudjunk előállítani, nem elég az a tény, hogy adott nyomáson nem következik be a fehérjék denaturálódása, hanem mikrobiológiai vizsgálatok is szükségesek annak nyomon követésére, hogy milyen mértékben változik az összcsíraszám. Dolgozatom egyik fő célja volt ezeknek a mikrobiológiai méréseknek az elvégzése, amely során a minták élőcsíraszámát vizsgáltam. A lemezöntés elvégzése után 48 órán át, 30°C-on inkubáltam a mintákat, majd telepszámláló segítségével megszámoltam az egyes kinőtt telepeket.

A vizsgálatok eredményeként kiderült, hogy a három különböző tojáslé közül a tojásfehérje-lé az egyetlen, ahol annyira sikerült lecsökkenteni a csíraszámot a kezeletlen mintához viszonyítva, hogy mikrobiológiailag biztonságos terméket tudnánk előállítani. Viszont teljes tojáslé, valamint tojássárgája-lé esetén 350 MPa-os értéknél magasabb nyomásra van szükség ahhoz, hogy kellő mértékben le tudjuk csökkenteni az egyes mikroorganizmusok számát.

Mivel a mikrobiológiai laboratóriumban az egyes tojáslé mintákat az elkészítés (és nyomáskezelés) után közvetlenül vizsgáltam, ezért a tárolás hatására bekövetkező csíraszám változás nyomon követése érdekes eredményeket szolgáltat, amelyhez további vizsgálatokra lenne szükség.

Véleményem szerint tojássárgája-lé esetében nem szükséges nagyobb nyomás alkalmazásával nyomon követni az összcsíraszámot, mert már viszonylag kis nyomásérték esetén megindul a fehérjék denaturálódása, amelynek következtében az előállított termék tulajdonsága jelentősen módosul, besűrűsödik a minta. Kimondható, hogy a tojássárgája-lére nem alkalmazható a nagynyomású kezelés.

Ezzel ellentétben teljes tojáslénél kiválóan alkalmas mérési lehetőségnek bizonyulhat a 350 MPa feletti nyomásérték alkalmazása (450 MPa-ig maximum), amellyel azt is meg tudnánk határozni, hogy mikrobiológiailag biztonságos élelmiszert állítottunk-e elő. Azonban ennek mérésére további vizsgálatok szükségesek.

7. Irodalomjegyzék

- ANDRÁSSY, É., FARKAS, J., SEREGÉLY, ZS., DALMADI, I., TUBOLY, E., LEBOVICS, V. (2006): Changes of hen eggs and their components caused by non-thermal pasteurizing treatments II. Some non-microbiological effects of gamma irradiation or hydrostatic pressure processing on liquid egg white and egg yolk, *Acta Alimentaria*, 35 (2006) 305–318
- BOGENFÜRST, F., HORN, P., SÜTŐ, Z., KOVÁCSNÉ, G.K., KOVÁCS, G. (2011): Baromfitenyésztés: „E-tananyag” az Állattenyésztő mérnöki BSc szak hallgatói számára, Tankönyvtár 26A (2011) 361
- 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 (1975) 73–83
- FARKAS, J. (1994): A DSC termoanalitikai módszer néhány élelmiszertudományi alkalmazása, *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 40 (1994/3) 180–188
- FERREIRA, M., HOFER, C., RAEMY, A. (1997): A calorimetric study of egg white proteins, *Journal of Thermal Analysis*, 48 (1997) 683–690
- HAYASHI, R., KAWAMURA, Y., NAKASA, T., OKINAKA, O. (1989): Application of high pressure to food processing: Pressurization of egg white and yolk, and properties of gels formed, *Agricultural and Biological Chemistry* 53 (1989) 2935–2939
- HOPPE, A., JUNG, S., PATNAIK, A., ZEECE, M.G. (2013): Effect of high pressure treatment on egg white protein digestibility and peptide products, *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 17 (2013) 54–62
- LUKÁCS, GY. (1982): Színmérés, Műszaki Kiadó, Budapest (1982) 341
- MINE, Y. (1995): Recent advances in the understanding of egg white protein functionality, *Trends in Food Science and Technology* 6 (1995) 225–232
- NÉMETH, CS. (2012): Tojáslevek kis hőmérsékletű hőkezelése, Doktori dolgozat (2012) 10; 43–44
- PATAKI, Á.G. (2010): Tojásfehérje lében kíméletes hűntartás során bekövetkező változások vizsgálata NIR és DSC módszerrel, Szakdolgozat (2010) 21

- RICHWIN, A., RAASCH, A., TEICHGRABER, P., KNORR, D. (1992): Effects of combined temperature and high pressure treatment on the functionality of egg white proteins, *European Food Science* 43 (1992) 27–31
- SEREGÉLY, ZS., FARKAS, J., TUBOLY, E., DALMADI, I. (2006): Investigating the properties of egg white pasteurised by ultra-high hydrostatic pressure and gamma irradiation by evaluating their NIR spectra and chemosensor array sensor signal responses using different methods of qualitative analysis, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 82 (2006) 115–121
- TUBOLY, E. (2009): Nagy hidrosztatikus nyomású technológia alkalmazásának hatásai néhány élelmiszer mikrobiológiai állapotára és más minőségjellemzőire, *Doktori dolgozat* (2009) 7–8
- VAN DER PLANCKEN, I., VAN LOEY, A., HENDRICKX, M.E. (2005): Combined effect of high pressure and temperature on selected properties of egg white proteins, *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6 (2005) 11–20
- VAN DER PLANCKEN, I., VAN LOEY, A., HENDRICKX, M.E. (2007a): Foaming properties of egg white proteins affected by heat or high pressure treatment, *Journal of Food Engineering* 78 (2007) 1410–1426
- VAN DER PLANCKEN, I., VAN LOEY, A., HENDRICKX, M.E. (2007b): Kinetic study on the combined effect of high pressure and temperature on the physico-chemical properties of egg white proteins, *Journal of Food Engineering* 78 (2007) 206–216

Köszönetnyilvánítás

Dolgozatom készítése során köszönettel tartozom a következő személyeknek, melyek segítségükkel megkönnyítették a munkámat:

Zeke Ildikó

Dr. Friedrich László

Dr. Németh Csaba