

Szent István Egyetem

**Tojáslevek eltarthatóságának növelése kombinált kéméletes
tartósítási eljárások alkalmazásával**

Tóth Adrienn

Budapest

2019

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Simonné Dr. Sarkadi Livia
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Élelmiszertudományi Kar,
Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: Dr. habi. Friedrich László
egyetemi docens, PhD
SZIE Élelmiszertudományi Kar,
Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék

Dr. Németh Csaba
címzetes egyetemi docens, PhD
Capriovus Kft.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

Jelölések, rövidítések jegyzéke	4
1. Bevezetés	5
2. Irodalmi Áttekintés	7
2.1. A tyúktojás felépítése	7
2.2. A tyúktojás kémiai összetétele	8
2.2.1. A tojásfehérje	9
2.2.2. A tojássárgája	9
2.2.3. A tojásban megtalálható legfontosabb fehérjék	11
2.3. A tojástermékek típusai és mikrobiológiai biztonságuk növelésének lehetőségei	15
2.3.1. A tojáslevek reológiai tulajdonságai	16
2.4. A tojástermékek eltarthatóságának növelése termikus technológiák alkalmazásával	16
2.4.1. Hőkezelési eljárások rövidebb kezelési idő alkalmazásával	17
2.4.2. Hőkezelési eljárások hosszabb kezelési idővel	18
2.5. A tojáslé termékek eltarthatósági idejének növelése nemtermikus technológiákkal	19
2.5.1. A tojáslé termékek minőségmegőrzési idejének növelése tartósítószerrel	19
2.5.2. A tojáslé termékek tartósítása aktív ultrahanggal	20
2.6. A nagy hidrosztatikus nyomású technológia	21
2.6.2. A tojáslé-termékek tartósítása nagy hidrosztatikus nyomással	26
2.6.3. A tojáslé-termékek tartósítása kombinált tartósítási eljárásokkal	29
3. Anyag és módszer	31
3.1. Felhasznált anyagok	31
3.1.1. A minták előkészítése	31
3.2. A kísérletek bemutatása	31
3.2.1. Első kísérlet: a HHP kezelés nyomásértékének hatása a tojáslevekre	31
3.2.2. Második kísérlet: a HHP kezelés kezelési idejének hatása a tojáslevekre	31
3.2.3. Harmadik kísérlet: a HHP kezelés és a hőkezelés kombinációinak hatása a tojásfehérje-lé tulajdonságaira	32
3.2.4. Negyedik kísérlet: A HHP kezelés és a hőkezelés sorrendjének hatása a tojáslevek tulajdonságaira	33
3.2.5. Ötödik kísérlet: a hőkezelés hőmérsékletének és a HHP kezelés nyomásértékének együttes hatásainak vizsgálata központi összetett rotációs elrendezésű kísérlettervvel	34
3.3. Alkalmazott módszerek	36
3.3.1. Az alkalmazott HHP kezelések	36

3.3.2.	Az alkalmazott hőkezelések	36
3.3.3.	A pH-érték változásának vizsgálata	37
3.3.4.	A minták színének meghatározása	37
3.3.5.	A reológiai tulajdonságok vizsgálata	39
3.3.6.	A mezofil aerob csíraszám vizsgálata	41
3.3.7.	DSC vizsgálatok	41
3.3.8.	Késztermékek előállítása a hő- és nyomáskezelt tojáslevekből	42
3.3.9.	A HHP kezelt mintákból készült késztermékek állományának vizsgálata	42
3.3.10.	A HHP kezelt mintákból készült késztermékek érzékszervi vizsgálata	44
3.3.11.	Az emulzióképző tulajdonság vizsgálata	45
3.3.12.	A habképződési és habstabilitási tulajdonságok vizsgálata	45
3.3.13.	Az eredmények statisztikai értékelése	46
4.	Eredmények	47
4.1.	A HHP kezelés nyomásértékének hatása a tojáslevekre	47
4.1.1.	A tojáslevek pH-értékének változása	47
4.1.2.	A tojáslevek színének változása	48
4.1.3.	A tojáslevek reológiai tulajdonságainak változásai	50
4.1.4.	Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai	54
4.1.5.	A kezelések fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel	55
4.2.	A HHP kezelés idejének hatása a tojáslevek egyes tulajdonságaira 400 MPa-on	60
4.2.1.	A tojáslevek pH-értékének változása	60
4.2.2.	A tojáslevek színének változása	61
4.2.3.	A tojáslevek reológiai tulajdonságainak változásai	63
4.2.4.	Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai	66
4.2.5.	A kezelési idő fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel	67
4.2.6.	A késztermékek állományában bekövetkezett változások	70
4.2.7.	A késztermékek érzékszervi tulajdonságainak alakulása	72
4.3.	A nyomás- és a hőkezelés kombinációinak hatása a tojásfehérje-lé tulajdonságaira	73
4.3.1.	A tojásfehérje-lé pH-értékének változása	73
4.3.2.	A tojásfehérje-lé színének változása	74
4.3.3.	A tojásfehérje-lé reológiai tulajdonságainak változásai	76
4.3.4.	Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai	77
4.3.5.	A kezelések fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel	78
4.4.	A HHP és a hőkezelés sorrendjének hatása a tojáslevek tulajdonságaira	79
4.4.1.	A tojáslevek pH-értékének változása	79
4.4.2.	A tojáslevek színének változása	81

4.4.3.	Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai	86
4.4.4.	A kezelések fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel	89
4.4.5.	A kezelések hatása a késztermékek érzékszervi tulajdonságaira	94
4.5.	A hő- és nyomáskezelés kombinációinak hatása a tojáslevek egyes tulajdonságaira	95
4.5.1.	A tojáslevek pH-értékének változása	95
4.5.2.	A tojáslevek színének változása	97
4.5.3.	A tojáslevek reológiai tulajdonságainak változásai	101
4.5.4.	Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai	105
4.5.5.	A kezelések fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel	105
4.5.6.	A kezelések hatása az emulzióképző tulajdonságokra	108
4.5.7.	A kezelések hatásai a habképződésre és habstabilitásra	109
4.6.	Új tudományos eredmények, tézisek	111
5.	Következtetések és javaslatok.....	113
6.	Összefoglalás	116
	Melléletek.....	121
	M1 Irodalomjegyzék.....	121
	M2.....	134
	Köszönetnyilvánítás	149

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

Rövidítés	Angol megnevezés	Magyar megnevezés
HHP	high hydrostatic pressure	nagy hidrosztatikus nyomás, nagy hidrosztatikus nyomású kezelés
HPP	high pressure processing	nagy hidrosztatikai nyomású kezelés
DSC	differential scanning calorimetry	differenciáló pásztázó kalorimetria
L*	lightness	CIELab színtér világossági tényező
a*	chromaticity coordinates red (+) and green (-) in CIE Lab color space	CIELab színtér vörös (+), zöld (-) színtényező
b*	chromaticity coordinates yellow (+) and blue (-) in CIE Lab color space	CIELab színtér sárga (+), kék (-) színtényező
ΔE^*_{ab}	color difference in CIE Lab color space	a CIELab színtérben két pont között számított színingerkülönbség
ΔH^*_{ab}	hue difference in CIE Lab color space	színezeti különbség
C^*_{ab}	Croma	króma
TKE	colony forming unit (CFU)	telepképző egység
ANOVA	analysis of variance	varianciaanalízis
TPA	texture profile analysis	állományprofil analízis
SMS	Stable Micro System	állománymérőberendezés
TFL	liquid egg white (LEW)	tojásfehérje-lé, fehérje-lé
TSL	liquid egg yolk (LEY)	tojássárgája-lé, sárgája-lé
TTL	liquid whole egg (LWE)	teljes tojáslé
T_d	Temperature of denaturation	denaturációs hőmérséklet
ΔH	enthalpy of denaturation	denaturációs entalpia
k	consistency index	konzisztencia állandó
n	power-law index	folyásindex
τ_0	yield-point	folyáshatár
	minimal processing technologies	kíméletes feldolgozási technológiák
PA-PE	Polyamide /Polyethylene	poliamid-polietilén
ip	isoelectric point	izoelektromos pont

1. BEVEZETÉS

A tojás az ősidők óta az emberiség egyik legfontosabb tápláléka. Már a gyűjtögető őseink is szívesen választotta táplálékának, ahogyan a modern, egyre tudatosabban táplálkozó ember is szívesen fogyasztja. Ennek oka nem csupán a számtalan módon variálható elkészítésében, vagy ízletességében keresendő, hanem kiemelkedően jó tápanyag-összetételében is. A tojásban fellelhető majdnem minden, az emberi szervezet számára szükséges esszenciális aminosav, miközben lényegében szénhidrátokat nem tartalmaz.

A kiváló tápanyag-összetétel és érzékszervi tulajdonságok mellett meg kell említenünk kiváló techno-funkcionális tulajdonságait is. Gondoljunk csak a tojásfehérje habképző és habstabilitást kialakító tulajdonságaira, amelyek nélkül a legtöbb cukrászipari termék teljesen más érzékszervi karakterisztikával rendelkezne. Vagy gondoljunk a tojássárgája emulzió-kialakító és -stabilizáló tulajdonságaira: enélkül a legtöbb salátadressing elképzelhetetlen lenne.

Az óriási ipari méreteket öltött élelmiszer-előállításban azonban a héjas tojás felhasználása helyett egyre nagyobb teret nyer a tojástermékek használata. A tojástermékek olyan félkész termékek, amelyek az adott termék előállítási technológiájához illeszkednek, valamint a héjas tojásnál kisebb mikrobiológiai kockázattal rendelkeznek. A tojástermékek közül megkülönböztethetünk főtt, por és lé termékeket. Dolgozatomban ez utóbbiakkal fogok foglalkozni.

A tojáslevek készülhetnek teljes tojásból, tojásfehérjéből vagy -sárgájából. Esetenként citromsavat és tartósítószerrel adhatunk hozzá, majd általában hőkezeléssel tartósítjuk. Ezen hőkezelés azonban ronthatja a tojáslevek technofunkcionális tulajdonságait, így befolyásolhatja a késztermék érzékszervi minőségét. Ahhoz, hogy a fogyasztói igényeknek megfelelő terméket állítsunk elő, innovatív feldolgozási technológiákra van szükség, ugyanis a hagyományos, „régie” módszerek sokszor nem garantálják a megfelelő minőséget. Kézenfekvő megoldás az is, ha a hagyományos eljárásokat új módszerekkel kombináljuk. Ugyanakkor az eltarthatóság növelése céljából a kezelés paramétereit megfelelően kell kombinálnunk, így elérhetjük azt, hogy a kezelések minimális változást okozzanak a termék tulajdonságaiban, szerkezetében. A dolgozatomban olyan kíméletes technológiák hatását vizsgálom tojáslevek esetén, amelyek ezen negatív hatásokat csökkenthetik. A nagy hidrosztatikus nyomású technológia (high hydrostatic pressure, HHP, vagy high pressure processing, HPP) az egyik legelterjedtebb „minimal processing” eljárás. A HHP olyan nemtermikus eljárás, amely hőhatás nélkül pusztítja, inaktiválja a legtöbb vegetatív mikroorganizmust, miközben az élelmiszerek érzékszervi és technológiai karakterisztikáját nem, vagy csupán kismértékben befolyásolja.

A dolgozatomban a HHP technológia hatásait önmagában, illetve kishőmérsékletű hőkezeléssel kombinálva vizsgálom. A következőkben bemutatott öt kísérletet az alábbi céloknak megfelelően alakítottam ki és fűztem egymásba:

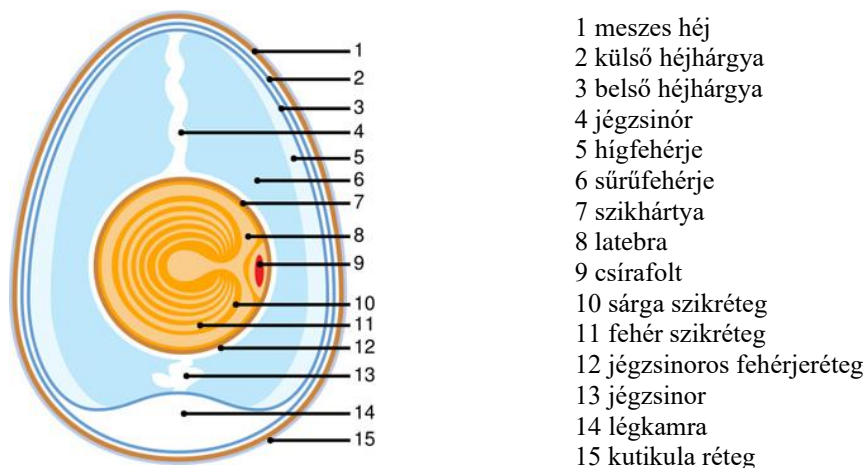
- A HHP technológia 150 és 600 MPa közötti nyomástartományban hogyan befolyásolja a tojáslevek érzékszervi tulajdonságait (színét, reológiai tulajdonságait), technofunkcionális tulajdonságait (pH-értékét, a fehérjék denaturációját), illetve mezofil aerob csíraszámát
- A HHP technológia kezelési idejének milyen hatása van a tojáslevek érzékszervi tulajdonságaira (színére), technofunkcionális tulajdonságaira (pH-értékére, a fehérjék denaturációjára, reológiai tulajdonságaira), milyen késztermék készíthető belőlük (a késztermékek állományára, érzékszervi tulajdonságaira), illetve mezofil aerob csíraszámára
- Milyen hatással bír a HHP technológia kombinálva kishőmérsékletű hőkezeléssel a tojásfehérje-lé érzékszervi tulajdonságaira (színére, reológiai tulajdonságaira), technofunkcionális tulajdonságaira (pH-értékére, a fehérjék denaturációjára), valamint mezofil aerob csíraszámára
- A HHP és hőkezelés sorrendje milyen hatással bír a tojáslevek érzékszervi tulajdonságaira (színére), technofunkcionális tulajdonságaira (pH-értékére, a fehérjék denaturációjára), a késztermékek érzékszervi tulajdonságaira, valamint mezofil aerob csíraszámára, az eltarthatóságot hogyan befolyásolja kezelések sorrendje
- Hogyan hatnak a HHP és hőkezelés paramétereinek egyes kombinációi a tojáslevek érzékszervi tulajdonságaira (színére, reológiai tulajdonságaira), technofunkcionális tulajdonságaira (pH-értékére, a fehérjék denaturációjára, habképző és habstabilizáló tulajdonságaira, emulzióképző- és stabilizáló tulajdonságaira), valamint mezofil aerob csíraszámára

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A tyúktojás felépítése

A tojás a gyűjtögető ősembertől napjaink modern ülőmunkát végző emberéig kiemelkedő fontosságú tápláléka. Ez nem csupán ízletességének és a viszonylag egyszerű megszerzésének, megtermelésének köszönhető, de kiemelkedő tápanyag-összetételének is. Az alábbi idézet tanúskodik arról, hogy már viszonylag régóta ismerjük a tojásfogyasztás pozitív élettani hatásait: „az ég alatt nints olyan materia, melly a’ mi vérünknek serumával vagy tápláló részivel minden tulajdonságaira nézve úgy meg-egyezne mint ez: és így a’ testet-is ennél semmi hamarébb, bővebben és könnyebben nem táplálja.” írta Mátyus István Ó és Új Diaetetica könyve 4. kötetében 1789-ben a tojáról (Mátyus, 1789).

A tojás az állatvilág legnagyobb petesejtje (Nys & Guyot, 2011), amely fontos szerepet játszik a madár embrionális fejlődésében, mivel az összes energia- és tápanyagforrást tartalmazza a fejlődő embrió számára. Egyedülálló szerkezetének fő alkotórészei a héj, a tojássárgája és a tojásfehérje (Anton, Nau, & Nys, 2006). A részletesebb felépítését az 1. ábra illusztrálja.



1. ábra: A madártojás felépítése (Nelson, n.d.)

A *csírafolt* a tojás fejlődése során alakul ki. Erre rakódik rá a *tojássárgája*, amely világosabb és sötétebb rétegekből tevődik össze. A rétegeken át befelé haladva elérkezünk a legbelső világos részhez, a *latebrához*. A tojássárgája az egyik legértékesebb összetevő a tojáson belül, hiszen összetétele révén jelentős tápanyagforrást jelent.

A hígabb és sűrű rétegekből felépülő *tojásfehérje* a petevezetékben alakul ki. Szárazanyagtartalmát döntően a fehérjék alkotják, emellett fontos védelmi szerepet játszik mind fizikai, mind mikrobiológiai szempontból.

A belső *sűrűfehérje* réteg feltekeredésének az eredményeként alakul ki a *jégzsinór*, amely feladata a tojássárgája rögzítése (Bogdán, 1979). Emellett fontos megemlíteni, hogy a jégzsinórban található enzim, a lizozim felelős azért, hogy a tojás hosszabb idejű tárolás esetén sem romlik meg, ami az enzim csíraölő hatásának köszönhető.

A tojást belülről a kétrétegű, erős *héjhártya* burkolja, amely védi a tojás beltartalmát. Amikor a tojás a külvilágba jut, a levegő bejut a külső és belső hártya közé, amelynek következményeként kialakul a *légkamra*. A légkamra elhelyezkedéséből és nagyságából következtetni lehet a tojás frissességére, állapotára, ugyanis a hosszabb idejű állás hatására mérete nő (Suhajda et al., 2011). A fizikai sérülésektől és a mikroorganizmusok okozta szennyeződésektől védő *meszes héj* főként kristályos kalcium-karbonátból áll (Rose-Martel & Hincke, 2017), a mechanikai védelmet szolgálja. Másodlagos funkciója az embrió ásványi anyag ellátásának biztosítása (Aygün, 2017a). Színe a barnától egészen a fehérig terjed, amely a tojóhibrid fajtájától függ (Chambers, Zaheer, Akhtar, & Abdel-Aal, 2017). Azonban a tojás beltartalmi jellemzőit tekintve nincs köztük különbség (Hincke, Gautron, Rodriguez-Navarro, & McKee, 2011).

A tojánhéjat vékony filmréteggént vonja be a *kutikula*, elzárva a meszes héj pórusait. Funkciója a tojás mikrobák elleni védelme, a belső nedvesség elpárologtatásának mérséklése, késleltetése (O'Bryan, Ricke, & Crandall, 2017). A tojás mosásával ezt a védőréteget eltávolítjuk, így utat engedve a mikroorganizmusoknak a porózus szerkezetű meszes héjon keresztül. Amennyiben a héj látható szennyeződésektől mentes, a tojást csupán felhasználás előtt érdemes tehát megmosnunk (Aygün, 2017b).

2.2. A tyúktojás kémiai összetétele

A tyúktojás kémiai összetételét alapvetően a két fő alkotó, a fehérjére és sárgájára vetítve szoktuk tagolni, ehhez nyújt áttekintést az I. Táblázat.

I. Táblázat: A tojás fő részeinek összetétele 100g-ra vonatkoztatva (Rodler, 2006)

Alkotó	Tojásfehérje	Tojássárgája
Energiatartalom (kcal)	58	362
Fehérje (g)	12,8	16,1
Zsír (g)	0,3	31,7
Szénhidrát	0,7	0,3
Víz (g)	85,5	50,7
Foszfor (mg)	12	570
Kalcium (mg)	13	80
Kálium (mg)	120	85
Magnézium (mg)	12	16
Nátrium (mg)	125	30
Vas (mg)	0,24	4,10
A (µg)	0	1100
D (µg)	0	60,0
E (mg)	0	3,00
B1 (µg)	3	120
B2 (µg)	200	320
B6 (µg)	0,006	0,065
B12 (µg)	0,30	2,80
Folsav (µg)	16	150
Koleszterin (mg)	-	1190

Ugyan a tojás héj jelentős ásványianyagtartalommal rendelkezik, a gyógyszer- és takarmányipar fontos alapanyaga (Hincke et al., 2011). De mivel az élelmiszeriparban általánosságban nem tölt be jelentős szerepet, ezért a továbbiakkal ezt nem taglalom.

2.2.1. *A tojásfehérje*

A tojás legnagyobb tömegét teszi ki a tojásfehérje (albumin), a tojás teljes tömegének mintegy 54 – 55%-át jelenti. Négy fehérjeréteget különböztetünk meg, nevezetesen:

- a külső híg fehérjét (a tojás tömegének 12-13%-a)
- a külső sűrű fehérjét (a tojás tömegének 30%-a)
- a belső híg fehérjét (a tojás tömegének 12-13%-a) és
- a jégzsinórhoz kapcsolódó sűrű fehérjeréteget, (minimális tömegű) a tojássárgája rögzítésére szolgál.

A sűrű fehérjeréteg aránya a tojás tárolása során csökken, mivel belőle víz lép ki és ez a kolloidális víz a híg fehérje arányát növeli (Czeglédi, Posta, & Stündl, 1992).

A tojásfehérje enyhén lúgos kémhatású, kezdetben 7,6-8, majd a tárolási idő előrehaladtával 9,3-9,5 pH értékig növekszik. Gazdag aminosavtartalma miatt teljes biológiai értékű fehérje. A tojásfehérje vitaminokban szegény, csupán B-vitaminokat tartalmaz. Ozmotikus nyomása kisebb, mint a sárgájáé, amely lehetővé teszi a fehérje víztartalmának átszivárgását a sárgájába.

A tojásfehérje kedvező táptalaj a mikroorganizmusok számára, mégis természetes állapotában bizonyos baktericid hatása van, amely a lizozim nevű enzimnek tulajdonítható. Azonban a lizozim a tojásfehérje és sárgája összekeverésekor, de más esetekben is, elveszti baktériumölő képességét (Zhang, Liu, Nindo, & Tang, 2013).

A tojásfehérje elsődleges szerepe, hogy védi a tojássárgáját az ütődésektől és lehetővé teszi annak saját tengely körüli elfordulását. Biztosítja az embrió számára a növekedéshez szükséges fehérjét. Ezenkívül fedezi az embrió vízszükségletének nagy részét.

A benne lévő szénhidrátok csupán tömegének 0,5-0,6%-át teszik ki, amelyek szabad állapotban, illetve fehérjékhez kötötten fordulnak elő. Továbbá a lipidek mennyisége is (0,01%) elhanyagolható. Nagyobb figyelmet a tojásfehérje fehérjéi érdemelnek, amelyek számos funkcionális tulajdonsággal rendelkeznek. Itt elsősorban a gél- és habképző tulajdonságaikat, valamint emulgeáló hatásukat érdemes kiemelni (Mine, 1995). A II. Táblázat az egyes fehérjék arányát mutatja be a tojásfehérjében, valamint a hozzájuk tartozó denaturációs hőmérsékleteket. Az egyes fehérjékkel részletesebben a 2.2.3 fejezetben mutatom be.

2.2.2. *A tojássárgája*

A tojásban a fehérjék töltik be talán a legfontosabb táplálkozási szerepet. A tojás esszenciális aminosavtartalma és összetétele az anyatej után a legjobban hasznosul a szervezetünkben

(McNamara, 2013). Azonban fontos, hogy a fogyasztáskor a tojás fehérjetartalmát denaturált állapotban fogyasszuk, ugyanis a nyers tojásban található tripszin inhibitorok rontják a fehérjék emészthetőségét, másrészt a szerkezeti átalakulás (denaturáció) könnyíti a fehérjék emésztését (MacLaren, 2007).

A tojás beltartalmának mintegy 30%-át adó rész gazdag a *zsírszerű anyagokban*, amelyből az egyszerű zsírok (trigliceridek) közel 66%-ot tesznek ki, míg a maradék rész főként foszfolipidekből, koleszterinből áll (Varelis, 2016), (Nys & Guyot, 2011). A *karotinoidok* kölcsönzik a tojássárgája aransárga színét (Peng et al., 2016), mely árnyalata a világossárgától akár a sötét vörösig is terjedhet (Liu, Zhang, Peng, Wang, & Zhang, 2004). A karotinoidok olyan biológiai szempontból aktív vegyületek, amelyek a magasabb rendű növények zöld színű szövetekben vannak jelen, továbbá megtalálhatók számos sárga és piros színű termésben, gyümölcsben (Spence, 2019). Kiváló antioxidánsok, továbbá gátolják a tumorsejtek szaporodását (Ren & Zhang, 2008). A tojássárgájában található karotinoidok, a lutein és zeaxantin, az időskori makuladegeneráció megakadályozásában töltnek be fontos szerepet, míg a *folsav* a magzati fejlődés alatt elengedhetetlen a megfelelő idegi fejlődéshez (Abdel-Aal, Akhtar, Chambers, & Zaheer, 2017), felnőttkorban pedig a kiegyensúlyozott zsíroldható vitaminbevitelhez járul hozzá a tojássárgája rendszeres fogyasztása (Ward, 2017).

A sárgája granulális frakciójában található *lecitin* a lipid vegyületek mintegy 70%-át teszi ki. Az emulzióképződésben és stabilitásban kiemelkedő jelentőséggel bír. De nem csupán élelmiszertechnológiai szempontból fontos vegyület, de a sejtmembránban is megtalálható, sőt az emberi agy- és idegszövetekben is kiemelt szerepet tölt be (Lesnierowski & Stangierski, 2018), (Calabresi & Franceschini, 2010).

A tojássárgája *szénhidrát tartalma* rendkívül alacsony, csupán 0,7-1% körüli. Fehérjetartalma nagyjából 16%-ot tesz ki (Nys & Guyot, 2011), melyben a globuláris fehérjék mennyisége jelentős, mint a livetinek, a foszfovitin, de más fehérjék jelenléte sem hanyagolható el. A plazmában lévő vízoldható livetinek 14% szérumalbuminból, 41% glikoproteinekből és 45% immunoglobulinból épülnek fel (Jolivet, Boulard, Chardot, & Anton, 2008).

Ásványianyag tartalmát illetően a kalcium, foszfor és vas mennyisége jelentős. Ezek az anyagok nagyobb mennyiségben vannak jelen a sárgájában, mint a fehérjében, ezért sem érdemes fogyasztását mellőzni. A vitaminok közül az A-, D-, B₁-, B₅-vitamin fordul elő nagyobb koncentrációban (O.j & J.I, 1979).

A *koleszterin* a tojással kapcsolatos negatív kritikák legsarkalatosabb pontja. A koleszterin egy bonyolult felépítésű szteránvázis vegyület, amely egy átlagos, 50 g tömegű tojásban 225 mg mennyiségben található. Ha 100 g-ra vonatkoztatjuk, akkor egy viszonylag nagy értéket kapunk a többi állati eredetű termékhez viszonyítva. A táplálkozási irányok megváltozásának

eredményeként több esetben is javasolták a tojássárgájának mellőzését. Az emberi szervezetben a koleszterinszint növekedése ugyanis jó pár egészségügyi veszélyt von maga után, amelyek közé elsősorban a kardiovaszkuláris megbetegedések sorolhatók (Elkin, 2017). Ezen okból kifolyólag több próbálkozás is történt már a tojás koleszterintartalmának csökkentésére. Például egy 2015-ben publikált tanulmány szerint három különböző tojássárgája frakciót állítottak elő egy szétválasztási eljárással: granulátum, lipid paszta és vizes frakció. A tojássárgája-granulátumról a vizsgálatok alapján kiderült, hogy jó emulgeáló és gélképző, emellett jóval kisebb a koleszterintartalma, mint a tojássárgájának (Laca, Paredes, Rendueles, & Díaz, 2015). Egy másik tanulmányban viszont azt bizonyították be, hogy a koleszterinnek tulajdonítható betegségek, mint a szívbetegség vagy az érlemezés kialakulása nem a tojásfogyasztással áll elsődleges összefüggésben (Tservedi-Goussi & Fortomaris, 2011).

Szerencsére számos előny ismert, amelyek indokolják a tojás rendszeres fogyasztását, többek közt az is, hogy növeli jóllakottság érzetünket, tehát hosszú időre eltelít. Ebből kifolyólag érdemes beépíteni a napi étkezésbe, de ez esetben is, mint minden más élelmiszer esetén, ügyelni kell a mértékletességre (Hansstein, 2011) (Vander Wal, Marth, Khosla, Jen, & Dhurandhar, 2005).

2.2.3. A tojásban megtalálható legfontosabb fehérjék

2.2.3.1. A tojásfehérje legfontosabb fehérjéi

A tojásfehérje mintegy 70 különböző fehérjefrakciót tartalmaz (Liao, Jahandideh, Fan, Son, & Wu, 2018), amelyek közül a következőkben a legfontosabbakat mutatom be. A II. Táblázatban a tojásfehérje legfontosabb fehérjéit gyűjtöttem össze százalékban kifejezett arányaikkal, vizes közegben mért denaturációs hőmérsékletükkel, valamint izoelektromos pontjaikkal.

II. Táblázat: A tojásfehérje fehérjei és azok mennyiségi előfordulása, hőérzékenysége és izoelektromos pontja (Varelis, 2016), (Guha, Majumder, & Mine, 2019), (Zhu, Vanga, Wang, & Raghavan, 2018) és (Alleoni, 2006) felhasználásával

Fehérje	Tojásfehérje fehérje-tartalmát %-ban alkotja	Denaturációs hőmérséklet, előfordulási arányuk vízben (°C)	Izoelektromos pont
ovalbumin	54 - 66	84,0	4,5
ovotransferrin	12 - 13	61,0	6,1
ovomukoid	9,5 - 11	79,0	4,1
ovomucin	1,3 - 3,5	–	4,5 – 5,0
lizozim	2,3 – 4,5	75,0	10,7
G2 globulin	1,0 – 6,0	92,5	5,5
G3 globulin	1,0 – 6,0	–	5,8
ovoinhibitor	0,1 - 1,5	–	5,1
ovoglikoprotein	1,0	–	3,9
ovoflavoprotein	0,8	–	4,0
ovomakroglobulin	0,5	–	4,5
cisztein	0,05 – 0,5	–	10,1
avidin	0,05	85,0	10

Ovalbumin: Az ovalbumin a tojásfehérjében legnagyobb mennyiségben előforduló fehérje (Smith & Back, 1970). Ez egy foszfoglukoprotein, melynek relatív molekulatömege 44,5 kDa, izoelektromos pontja 4,5. Három különböző komponensből tevődik össze: A1, A2 és A3. Ezek molekulánként eltérő mennyiségű foszfátcsoportot tartalmaznak. Míg az A1 és A2 egy illetve két darab foszfátcsoportot, addig az A3 egyet sem tartalmaz (Mine, 1995).

Ovotranszferrin: Az ovotranszferrint, vagy más néven *konalbumint* főként táplálkozási és biológiai jelentősége miatt érdemes megemlíteni (Khan, Rabbani, Ahmad, & Khan, 2014). Ez a baktérium-gátló fehérje 77,7 kDa molekulatömegű, izoelektromos pontja nagyjából 6,1 értékhez tehető (Mine, 1995). Baktérium-gátló tulajdonságát vaskötő képességének köszönheti. Ennek alapja az, hogy a konalbuminhoz erősen kötődik a Fe^{3+} , amely a bakteriális növekedéshez nélkülözhetetlen (Tankrathok, Daduang, Patramanon, Araki, & Thammasirirak, 2009).

Ovoglobulin: Az ovoglobulin kiváló habképző tulajdonságának köszönhetően nélkülözhetetlen az élelmiszer-feldolgozásban (Deleu, Wilderjans, Van Haesendonck, Brijs, & Delcour, 2016). Három frakcióból áll: G1, G2 és G3. A G1-et már korábban azonosították lizozimként, azonban a G2 és G3 még további jellemzésre szorul (Kinoshita et al., 2016). Korábbi kísérletek alapján azonban már kiderült, hogy ez a két frakció egymáshoz nagyon hasonló (Mine, 1995).

Lizozim: A lizozim a tojásfehérje fehérjéinek csupán 3,5%-át teszi ki. Molekulatömege 14,4 kDa, míg izoelektromos pontja 10,7 (Abeyrathne, Lee, & Ahn, 2013). Antimikrobás hatását főleg a Gram-pozitív baktériumokra fejti ki. Ennek hátterében az áll, hogy a lizozim hasítja a baktérium-sejtfal β -1,4-glikozidos kötéseit, ebből kifolyólag az élelmiszeripar mellett a gyógyszeripar is hasznosítja (Lesnierowski & Kijowski, 2007), (Brand, Dachmann, Pichler, Lotz, & Kulozik, 2016). 81,5 °C-on denaturálódik (Stadelman, Newkirk, & Newby, 1995), azonban semleges pH-értéken könnyen képez agglomerátumokat, amelyek befolyásolják a technofunkcionális tulajdonságokat is. Egy tanulmány szerint a lizozim a feltárt szerkezetű ovalbuminnal könnyen képez aggregátumokat, amelyeket szulfid-hidak stabilizálnak (Iwashita, Handa, & Shiraki, 2017).

Ovomukoid: Az ovomukoid a tojásfehérje 28 kDa tömegű, hőálló fehérjéje, amelynek legfőbb jellemzője, hogy gátolja a tripszin aktivitását (Mine & Rupa, 2004), (Oliveira, Coimbra, Silva, Rojas, & Silva, 2009). Ennek az erősen glikolizált fehérjének az izoelektromos pontja 4,1. A tojásfehérje allergia egyik fő okozójának tekintik az ovoalbumin és konalbumin mellett (Cooke & Sampson, 1997), (Julià et al., 2007). Klinikai vizsgálatok igazolják, rákellenes hatása kiemelkedő (Abeyrathne et al., 2013).

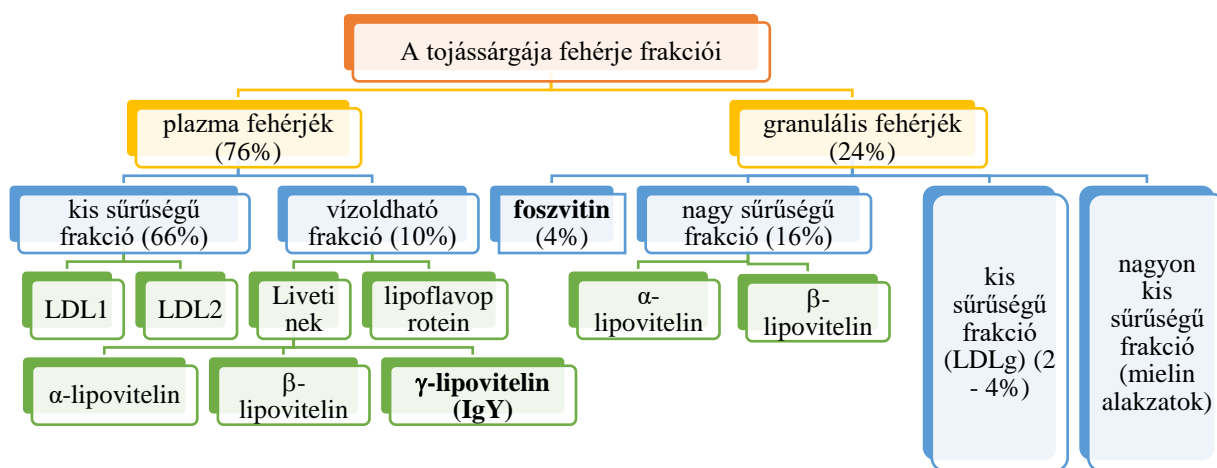
Ovomucin: Az ovomucin magas szilálsav-tartalma miatt fontos szerepet tölt be a biológiai folyamatokban, ugyanis megvédi a sejteket az enzimes hidrolízistől, emellett részt vesz mind az intra-, mind az intermolekuláris kölcsönhatásokban (Sun, Gänzle, Field, & Wu, 2016), (Spichtig,

Michaud, & Austin, 2010). Egy szénhidrát-szegény (α -ovomucin), illetve egy szénhidrát-gazdag (β -ovomucin) alegységből áll, melyeket oldhatóságuk alapján azonosítottak (Wang & Wu, 2012).

2.2.3.2. A tojássárgája legfontosabb fehérjéi

A tojássárgáját ipari körülmények között is igen egyszerűen két fázisra választhatjuk centrifugálással: a felülúszó rész a plazma, míg a nehezebb frakció a granulátum (Laca, Paredes, Rendueles, & Díaz, 2014).

A plazma a sárgája tömegének mintegy 80%-át teszi ki és fehérje tartalma 23% a szárazanyagtartalomra vonatkoztatva (Guha et al., 2019). Ezen két frakció között oszlanak meg a sárgájában található fehérjék és ez alapján csoportosítjuk őket (Valverde et al., 2016).



2. ábra: A tojássárgája egyes fehérje frakciói és százalékos eloszlásuk (Stadelman et al., 1995) alapján

A tojássárgájában található fehérjék nagy része 65 – 70 °C között koagulálódik, noha rendkívül kevés irodalmi adat áll rendelkezésünkre az egyes frakciók pontos termofizikai tulajdonságait illetően, azonban viszonylag jól el tudjuk választani az egyes frakciókat analitikai módszerek segítségével (Chalamaiah, Esparza, Temelli, & Wu, 2017). A 2. ábra összegezi az egyes tojássárgájában megtalálható fehérje frakciókat és százalékos arányaikat.

A tojássárgája legjobban ismert fehérjéi a foszvitin és a γ -lipovitelin (Liao et al., 2018). Egyes kutatások alapján a sárgája *leghőérzékenyebb* fehérjéi a plazmában található LDL lipoproteinek, illetve χ -livetin, majd ezeket követik a HDL lipoproteinek (Denmat, Anton, & Gandemer, 1999), (Guilmineau, Krause, & Kulozik, 2005).

Foszvitin: A foszvitin a tojássárgája leginkább foszforizált fehérje frakciója, a sárgájában a foszforizált fehérje elemek mintegy 80%-át jelenti. A tojássárgája teljes fehérjetartalmának mintegy 11%-át alkotja (Matsudomi, Ito, & Yoshika, 2006), míg más tanulmányok szerint csupán 4%-át (Stadelman et al., 1995). Izoelektromos pontja pH 4 (Valverde et al., 2016). Egyes irodalmi források szerint a foszvitin denaturációs hőmérséklete 79,7 °C pH 7,0 értékre beállított vizes

pufferoldatban (Chung & Ferrier, 2006). Míg mások ennél jóval nagyobb hőstabilitásról számolnak be (110 °C, 10 perc) (Anton, Castellani, & Guérin-Dubiard, 2007). A foszvitin egy glikofoszfoprotein, amely polielektrolitként funkcionál (polianion). Nagyon erősen megkötö a többszörösen pozitív töltésű kationokat (Csapó & Csapóné Kiss, 2003).

Igen erős fémkötő képességgel bír, a tojássárgája vastartalmának mintegy 95%-át ez a fehérje köti meg. Ez a fémkötő képesség teszi a foszvitint antioxidáns hatású fehérjévé (Nimalaratne, Bandara, & Wu, 2015). A kutatások szerint a foszvitin bír a legjobb emulzióképző és stabilizáló tulajdonságokkal a tojássárgájában, ugyanis kiemelkedő amfifilikus tulajdonságokkal rendelkezik, flexibilis, mindemellett pedig C-terminálisa rendkívül hidrofób (Castellani, Belhomme, David-Briand, Guérin-Dubiard, & Anton, 2006). Ha kialakul az emulzió, a foszvitin az olaj-víz felületre migrálódik, ahol a C-terminus az olaj fázishoz, a molekula többi része pedig a vizes fázishoz kapcsolódik (Q. Zhang, Yang, Hu, Liu, & Duan, 2019), (Dickinson, Pinfield, & Horne, 1997).

Egy kísérletben azt vizsgálták, hogy a foszvitin nélküli **granulális frakció** fehérjei milyen technofunkcionális tulajdonságokkal rendelkeznek. Eredményeik azt mutatják, hogy a foszvitin mentes granulális fehérje frakció jobb habképző és stabilizáló tulajdonságokkal rendelkezik, mint a teljes tojássárgája, valamint jóval nagyobb a pillanatnyi viszkozitása is (Chalamaiah, Esparza, Hong, Temelli, & Wu, 2018).

A foszvitin kiemelkedően nagy negatív töltéssel rendelkezik, ezért az enzimatis hidrolízissel szemben igen ellenálló. Egyes tanulmányok azt állítják, hogy a foszvitin molekula szerkezete akár 600 MPa-on sem sérül (Castellani, Guérin-Dubiard, David-Briand, & Anton, 2004). A kutatók kifejlesztettek egy HHP és enzimatis hidrolízisen alapuló eljárást, amely a foszvitint biológiailag aktív peptidekre bontja, amelyek kiváló antimikrobás hatással rendelkeznek (Yoo, 2016), (Yoo, Bamdad, Gujral, Suh, & Sunwoo, 2017).

Lipovitellinek: A **lipovitellinek** nagy sűrűségű lipoproteinek (HDL), melyek kovalensen kötődnek mannóz, galaktóz, glükózamin, szilálsav egységekből álló oligoszacharidokhoz. Komplex formájában, a foszvitinnel együtt fordulnak elő és hőstabil fehérjék (Csapó & Vargáné Visi, 2011). A tojássárgája fehérjetartalmának mintegy 38%-át alkotják (Anton, 2007). A lipovitellinek izoelektromos pontja: 5,7 (Chalamaiah et al., 2017).

Az **α -lipovitelin** nagy foszforsav- és szilálsavtartalma miatt erősen savas karakterrel rendelkezik. Kutatások alapján a **β -lipovitelin** 74 °C, 15 perc hőkezelés hatására (pH 9,0) sem denaturálódik (Guilmineau et al., 2005).

A **γ -lipovitelin** tölti be a az immunglobulinok szerepét a csirkében, amelyet a vér szérumban immunglobulin G-nek (Ig G) nevezünk (Meulenaer & Huyghebaert, 2001). A tojássárgájában található fehérjék megfelelő immunizálást követően humán immunológiai célokra is jól alkalmazhatók (Mine & Kovacs-Nolan, 2002).

A tojássárgájában található fehérjék enzimatisz hidrolízise hozzájárul a fehérjék hőstabilitásának növeléséhez, illetve az enzimatisz hidrolízisen átesett tojássárgájából krémesebb állagú, stabilabb emulzió képződik (Gao et al., 2019).

2.3. A tojástermékek típusai és mikrobiológiai biztonságuk növelésének lehetőségei

Az élelmiszertiparban a nagyüzemi tézta-, és kekszgyártók támasztottak először igényt a tojás, mint nyersanyag „technológiához kész” formában történő előállítására.

III. Táblázat: A baromfitojás héján előforduló mikrobák (Aygün, 2017a) felhasználásával (\pm esetenként előfordul; + a legtöbb esetben kis mennyiségben előfordul; ++ mindig nagy mennyiségben jelen van)

Mikroba	Előfordulás gyakorisága
<i>Streptococcus</i>	\pm
<i>Staphylococcus</i>	+
<i>Micrococcus</i>	++
<i>Sarcina</i>	\pm
<i>Arthrobacter</i>	+
<i>Bacillus</i>	+
<i>Pseudomonas</i>	+
<i>Acinetobacter</i>	+
<i>Alcaligenes</i>	+
<i>Flavobacterium</i>	+
<i>Cytophage</i>	+
<i>Escherichia</i>	+
<i>Aerobacter</i>	+
<i>Aeromonas</i>	\pm
<i>Proteus</i>	\pm
<i>Serratia</i>	\pm

Ezért a gyártás során felhasználásra kerülő héjas tojásokat egy, a technológia többi részétől elválasztott, külön üzemszben dolgozták fel törés (héj eltávolítása), homogenizálás alkalmazásával úgynevezett tojáslevé, majd pasztörözést követően juttatták a feldolgozás helyére. A pasztörözést a tojás állati eredete indokolja, a szárnyas bélcsatornájával és környezetével való kapcsolat révén külső felülete erősen szennyeződik (Moats, 1980), (Deák, 2006)(III. Táblázat). A feltört tojásba mikrobák kerülhetnek a héjról, amelyek ott gyorsan elszaporodhatnak, mivel a tojáslé kiváló táptalaj a baktériumok számára.

A tojás beltartalmába kerülő mikrobák számát napjainkban főként hőkezeléssel csökkentik, mely hőmérsékletének és időtartamának megválasztásánál két fontos problémát kell szem előtt tartani: a tojásleiben jelen lévő romlást okozó mikrobák minél nagyobb arányban, a vegetatív patogén baktériumok teljes mértékben pusztuljanak el, ugyanakkor a tojás értékes összetevői – főleg a fehérjék – ne károsodjanak. Így, a tojásle hőkezelése során a kezelési hőmérséklet és idő optimalizálására van szükség. A gyakorlatban leginkább olyan pasztörözési eljárások terjedtek el, amelyek során a tojáslevet szakaszosan vagy folyamatosan hőcserélőn vezetik át, ahol néhány perces hőkezeléssel csökkentik a sejtszámot.

IV. Táblázat: A USDA tojáslé-termékek pasztörözésére vonatkozó ajánlása

Folyékony tojástermék neve	Minimális kezelési hőmérséklet [°C]	Minimális hőntartási idő [perc]
Tojásfehérje-lé	56,7	3,5
	55,6	6,2
Teljes tojáslé	60,0	3,5
Tojássárgája-lé	61,1	3,5
	60,0	6,2

A fehérjék és baktériumok hőtűrése függ a kezelendő anyag zsírtartalmától, így a különböző tojástermékek (teljes tojáslé, tojássárgája-lé, tojásfehérje-lé) hőkezelési paraméterei eltérők (Froning et al., 2002)(IV. Táblázat). Pasztörözés után a tojáslé dobozolását, ill. kannába töltését követő hűtve tárolás a következő technológiai lépés, majd a tojástermékeket élelmiszerbiztonsági szempontból megfelelő minőségben juttatnak el a fogyasztókhöz.

A piaci verseny megkívánja a hűtve forgalmazott tojáslé-termékek eltarthatósági idejének növelését, ehhez viszont az általánosan elterjedt pasztörözési eljárásoknál nagyobb arányú csíraszám csökkentésre van szükség. Az erre irányuló fejlesztéseket mutatom be a 2.4. és 2.5. fejezetben.

2.3.1. A tojáslevek reológiai tulajdonságai

Egy tanulmányban nyers tojáslevek reológiai tulajdonságait vizsgálták hűtött (4 °C), szoba (25 °C) és pasztörözési (teljes tojáslé, tojássárgája-lé: 60 és tojásfehérje-lé: 55,6 °C) hőmérsékleten. A kísérlet alapján minden tojáslé-termék enyhe pszeudoplasztikus viselkedést mutatott.

A teljes tojáslé és tojásfehérje-lé minták esetében Herschel–Bulkley modellt, míg a tojássárgája-lé esetében a kitevőtörvényt alkalmazták az eredmények értékelésére. A pasztörözés hőmérsékleten *tixotróp* és időfüggő viselkedést tapasztaltak a teljes tojáslé és tojásfehérje-lé mintáknál, míg a tojássárgája-lénél a hűtött hőmérsékleten is jellemző volt a *tixotróp* viselkedés (Atilgan & Unluturk, 2008).

Kumbár munkatársaival három fajtól (tyúk, japán kacska és liba) származó tojáslevek viszkozitását vizsgálta pasztörözési hőmérsékleten. Az eredményekre Herschel–Bulkley és power-law modellt illesztett. Az eredmények alapján itt is mindhárom tojáslére a *pszeudoplasztikus* viselkedés volt jellemző. A fajok között a sárgája mutatta a legnagyobb különbségeket, a legnagyobb látszólagos viszkozitás értékekkel a liba, míg a legkisebbel a japán kacska tojássárgája rendelkezett (Kumbár, Strnková, Nedomová, & Buchar, 2015), a különbség valószínű az eltérő szárazanyag- és lipid-tartalomra vezethető vissza (Wang et. 2014).

2.4. A tojástermékek eltarthatóságának növelése termikus technológiák alkalmazásával

A tojáslé termékek esetében különösen fontos a technofunkcionális tulajdonságok csökkenésének elkerülése. A piac által elfogadott, eltérő módon kezelt termékeknek is jelentősen eltérő lehet a

felhasználhatósága. Így például a sokszorosára növelt eltarthatósági idő sem ellensúlyozza a tojásfehérje-lé habképző és habtartó képességének csökkenését.

Ezt is figyelembe véve a tojáslevek hőkezelési technológiájának továbbfejlesztésére számos kutatás történt, és történik napjainkban is a hosszabban eltarthatósági idő elérésére. A fő fejlesztési irányok azonban már 1990 és 2000 között megszülettek, melyeket egy-egy szabadalom kapcsán mutatok be.

2.4.1. Hőkezelési eljárások rövidebb kezelési idő alkalmazásával

2.4.1.1. Eljárás tojáslé ultrapasztörözésére

Az US 5019408 szabadalmi leirat (Sörqvist, 2003) teljes tojáslé folyamatos áramban történő pasztörözéséről számol be. A fehérjekicsapódás folyamata 80 °C-nál nem enged meg nagyobb egyenérték hőmérsékletet, mert az e fölötti kezelési hőmérsékleten nem tartható a fogyasztók számára még elfogadható, 5%-nál kisebb fehérje koaguláció. 80 °C-on a *Salmonella* spp. száma 9 nagyságrenddel csökken, míg a *Streptococcus faecalis* esetében 7 nagyságrend csökkenés valósul meg 5 perces kezelés során.

Az eljárás során a 4 °C-os, homogénezett tojáslevet fűtött felület segítségével előmelegítik, majd az egyenértékponthoz tartozó ideig egyenérték hőmérsékleten tartják, végül hűtik. Aszeptikus technológiával csomagolva a termék 8-36 hétig tartható el.

2.4.1.2. Eljárás teljes tojáslé pasztörözésére szeparált fehérje és sárgája áramokkal

A teljes tojáslé pasztörözésére izgalmas megoldás, amikor a szeparált fehérje és sárgája áramokat külön hőkezelik, majd ezt elegyítik (Swartzel & Jr, 1991). Ennél az eljárásnál külön fehérje és sárgája áramot hoznak létre. A sárgája áramot felmelegítik egy olyan hőmérsékletre (78 °C), amely a fehérje áram legnagyobb hőmérsékleténél nagyobb (kb. 62 °C, sőt létezik olyan módszer is, melynél a fehérjét külön nem hőkezelik), majd összekeverik a két áramot, amely egy újabb meghatározott hőmérsékletet (67 °C) vesz fel. Ezen a hőmérsékleten az így keletkező keveréket kb. 2,5 percig hűntartják. Az újraegyesítés előtti hűntartás idejét olyan hosszúságúra választják, amely még elegendő mindkét áramban a *Salmonella* spp. 9 nagyságrenddel történő csökkentésére. A második hűntartás után a terméket homogenizálják, majd aszeptikusan csomagolják. A termék 4 °C-on akár 4-6 hétig eltartható.

2.4.1.3. Eljárás folyékony tojástermékek csíracsökkentő kezelésére gőzbefűvéssel

Tojásfehérje-, tojássárgája- és teljes tojáslé pasztörözését írja le az US 6149963 számú szabadalmi leirat. A módszer lényege, hogy a hagyományos, megközelítőleg 60 °C-on, rövid ideig végzett pasztörözést egy nagyon gyors előmelegítés előzi meg. A hőkezelés elvégezhető közvetlen gőzbefűvéssel, így a tojáslé nem érintkezik forró felülettel, míg a hőkezelést követő hűtés megoldható a tojáslé expanziójával. Rendkívül gyors hőkezelést tesz lehetővé az esőáramú

hőcserélő, amelyben nagy precizitással érhető el a kívánt hőmérséklet a termék esése (2-4 m/s) közben (Miller et al., 2010).

A folyamat során a hűtött tojáslevet szivattyú segítségével szállítják az első hőcserélőbe, ahol 30 - 40 másodperc alatt 45 °C-ra melegítik. Ezután egy második hőcserélőben 10 - 20 másodperc alatt 50 - 55 °C-ot ér el a tojáslé hőmérséklete. Innen az esőáramú hőcserélőbe kerül, ahol gyorsan 80-90 °C-ra melegszik fel, kevesebb, mint egy másodperc alatt. A hőcserélőből a „flash” edényen át (gyors hűtés érhető el vele, mialatt a folyadék expandál, addig a gőzbevezetés alatt a tojásához adagolt összes vízgőz formájában távozik) egy első majd egy második kamrába kerül a tojáslé. Az első kamrában a termék 0,1 másodperc alatt 40 °C-ra hűl az expanzió következtében. Végül meleg víz közvetítésével 5 percig 60-65 °C-on pasztörözik, majd 15 másodperc alatt hűtőhőmérsékletre hűtik, végül aszeptikusan csomagolják. Az így kapott termék maximális összesírászáma 20 °C-on tárolva 10 hét után 10^3 TKE/ml.

2.4.2. Hőkezelési eljárások hosszabb kezelési idővel

2.4.2.1. Eljárás tojáslé termékek előállítására rövid pasztörözést követő hőntartással

Amennyiben a tojáslé termékeket hőkezelés utáni csomagolása nem aszeptikusan történik, a termék utófertőződhet. Ennek kiküszöbölésére megoldást jelent, ha a tojáslé pasztörözését már a fogyasztói csomagolásban végzik el (Hamid-Samimi, 2000).

Az eljárás során a későbbi felhasználáshoz, fogyasztáshoz megfelelő térfogatú csomagolásba töltött nyers teljes tojáslevet legalább 57 °C-ra, (a pasztörözés megkezdéséhez megfelelő hőmérsékletre) melegítik elő. A terméket homogenizálják, majd ezen a hőmérsékleten csomagolják és légmentesen zárják. A csomagolóanyag lehet műanyag palack, fóliatasak, fémdoboz, üvegedény. Ezt követően a tojáslevet melegítő kamrába (tulajdonképpeni pasztöröző egység) továbbítják, ahol legfeljebb 60 percig pasztörözik ill. „hőntartják”.

Az ezt követő nagyobb hőmérsékletű hőkezelésnek különböző módjai lehetnek, pl.: mikrohullám, rádiófrekvencia vagy ohmikus fűtés hőcserélőkön keresztül. A melegítő kamrában fűtőfolyadékot vagy levegőt áramoltatnak. A pasztörözés hőmérsékletére 65 - 67 °C-ot, idejére 20-60 percet javasolnak. A szükséges hőmérséklet csökkenthető, ha tartósítószer adagolnak. Ez csökkenti a koaguláció veszélyét. A tojáslevet ezután tárolási hőmérsékletre hűtik (kb. 17 perc alatt 0 - 5 °C-ra, ehhez akusztikus vagy mechanikus rezgést alkalmaznak a folyamatot segítésére), hogy az esetleg benne lévő baktériumspórák csírázását megakadályozzák.

A folyamat eredményeként a 0 - 5 °C-on tárolva hosszan, legalább 10 hétig eltartható tojáslevet lehet előállítani. A módszer előnye, hogy a csomagolási műveletnél nem kell aszeptikus körülményeket biztosítani, ugyanakkor kizárja a pasztörözés utáni fertőződés lehetőségét.

2.4.2.2. *Eljárás tojáslé termék csíramentesítésére hosszantartó hőtárolással*

A csomagolóanyagban történő hőkezelés hőkezelési idejének, és ezzel gyártási folyamatának megnövelésével akár szobahőmérsékleten is tárolható termék állítható elő.

Az eljárás mindhárom tojáslénél alkalmazható, a különbség csak az alkalmazott hőmérsékletben rejlik. A fehérjefrakciót általában 44 - 55 °C közé melegítik fel, míg a sárgáját és a teljes tojáslevet 50 - 70 °C-ra. A felmelegített tojáslevet melegen csomagolóanyagba töltik majd meleg tárolóba helyezik, pl. a teljes tojáslé esetében 55 °C-ra. A tojástermékeknel legkritikusabb *Salmonella* spp. tizedelési ideje ezen a hőmérsékleten viszonylag nagy, ill. a kezelési hőmérséklet időigényes elérése miatt még nagyobbá válhat (Németh, Dalmadi, Friedrich, & Balla, 2011). Akár több napon át tartják a terméket ezen hőmérsékleten, majd a 20 °C-ra hűtik. A késztermék ezt követően szobahőmérsékleten is tárolható (Tóth et al., 2016).

2.5. A tojáslé termékek eltarthatósági idejének növelése nemtermikus technológiákkal

Igaz, a konvencionális hőkezelési eljárások jelentősen csökkentik a tojástermékek mikrobiológiai szennyezettségét, azonban gyakran erőteljes a nemkívánt, negatív hatásuk a technofunkcionális tulajdonságokra (Vieira, Cabral, Noronha, Júnior, & Sant'Ana, 2019). A hőkezelés hatékonysága a kezelési időtől és a hőmérséklettől függ, így a tápanyagtartalom csökkenését és érzékszervi változásokat is eredményezhet (Chemat, Zill-e-Huma, & Khan, 2011).

A tojásfehérjék esetén például a globuláris fehérjék szerkezete szenved károsodást. A kezelések során alkalmazott hőmérséklet, illetve időtartamtól függően ezek a változások a denaturációtól egészen a gélesedésig vagy akár konformációváltozásig is terjedhetnek (Akkouche, Aissat, & Madani, 2012). Más esetben az élelmiszerek elveszíthetik elsődleges jellemzőiket, frissességüket, emellett kedvezőtlen érzékszervi tulajdonságok is jelentkezhettek a termékek ízében, állományában és színében egyaránt. Ezért egyre inkább előtérbe kerülnek olyan módszerek, amelyekben hőközlés nélkül történik a tartósítás. Ezen új, kíméletes technológiák közé soroljuk többek közt az ultrahangot, a pulzáló elektromos térerőt (PEF), a besugárzást és a nagy hidrosztatikus nyomású kezelést (HHP) is (Barbosa-Cánovas, Ghani, Juliano, & Knoerzer, 2011). Viszont ahhoz, hogy ezek az új technológiák az élelmiszeriparban is érvényesüljenek, mindenképp meg kell értenünk az egyes vegyületek (pl. enzimek, tápanyagok, mikroorganizmusok) nyomás, hő vagy akár az ultrahang által kiváltott változásainak mechanizmusát és kinetikáját (Maresca & Ferrari, 2017; Pradal, Vauchel, Decossin, Dhulster, & Dimitrov, 2016).

2.5.1. *A tojáslé termékek minőségmegőrzési idejének növelése tartósítószerrel*

A tojáslé termékek eltarthatósági idejének növelésére a hatékonyabb csíraszám csökkentő kezelési technológiák alkalmazása mellett lehetőség van mikrobaszaporodást gátló tartósítószerrel

használatára. Sokáig Magyarországon csak a citromsav, a nátrium-benzoát és a kálium-szorbát használata volt engedélyezett.

Az étkezési savak különböző funkciókat töltenek be az élelmiszerekben. Tojáslevekben az étkezési savak közül a citromsav használata engedélyezett, melynek funkciója a mikrobákkal szembeni gátló hatása, ill. egyes tartósítószerrel, mint például a savanyú közegben alkalmazható benzoosav hatásának növelése (Brul & Coote, 1999), (Németh & Németh, 2012). A citromsav felhasználhatósága a tojás fehérjéinek pH-érzékenysége miatt korlátozott.

A tojáslé termékekben a Magyar Élelmiszerkönyv sokáig a citromsav mellett kizárólag a nátrium-benzoát és a kálium-szorbát használatát engedélyezte, melyek együttes koncentrációja nem haladhatja meg az 5000 mg/kg-ot. A benzoátok az élelmiszerekben gyakorta használt antimikrobás anyagok, főként élesztő- és penészgombákkal szemben hatásosak. Baktériumok visszaszorítására kevésbé hatásosak, mert 4,5 feletti pH-értéken (amely értékek mellett tojáslében alkalmazható), amikor is a baktériumok szaporodása erőteljesebb, a benzoátok hatásmechanizmusa csökken (Notermans, Dufrenne, & Keybets, 1985).

Napjainkban már engedélyezett a nizin ipari alkalmazása is (152/2009. (XI. 12.) FVM rendelet, 2009). Ez az antibiotikum bizonyos sajtokban az érési folyamat következtében természetesen is jelen lehet. Használata tojáslé termékekben 6,25 mg/l koncentrációig engedélyezett, és különösen más kezelési módszerekkel kombinálva hatékony a tojáslé termékek tartósításában (Ponce, Pla, Sendra, Guamis, & Mor-Mur, 1998).

2.5.2. A tojáslé termékek tartósítása aktív ultrahanggal

Az ultrahangos technika alkalmazása még viszonylag új keletű az élelmiszer-feldolgozásban, mégis jelentős hatással bír az élelmiszeripar különböző folyamataira. Használata magas reprodukálhatóságot és egyszerű feldolgozást tesz lehetővé. Előnye többek közt a gyorsabb energiaátadás, a fokozott termelés és a hatékonyság (Chemat et al., 2011).

Az ultrahang (UH) egy olyan mechanikus hanghullám, amelyet jellemzően 20000 Hz és 20 MHz közötti frekvenciatartományban alkalmazunk. Ez egy olyan tartomány, amelyet az emberi fül nem képes meghallani. A mikroorganizmus pusztító hatását már régóta felismerték, azóta is széles körben alkalmazzák az ipar számos területén, mint az élelmiszer- vagy a gyógyszeriparban. Az ultrahangos kezeléseket intenzitás, teljesítmény, illetve frekvenciatartomány alapján csoportosíthatjuk. Jellemzően az 1 W/cm² teljesítmény alatt kis, míg 10 és 1000 W/cm² között nagy intenzitású ultrahangot különböztetünk meg (Ojha, Mason, O'Donnell, Kerry, & Tiwari, 2017).

A kis frekvenciájú, nagy intenzitású ultrahangot jellemzően 20 és 40 kHz között alkalmazzák (Mason, Chemat, & Ashokkumar, 2015). Fontos szerepe van az enzimek és baktériumok

inaktiválásában. Ennek hátterében a kavitáció jelensége áll (Jambrak et al., 2010), (M. Li, Li, & Zhu, 2018), amely során a nagy intenzitású ultrahang hullámok a folyadékban lévő apró gázbuborékok képződését, növekedését, illetve összeroppanását váltják ki (Ercan & Soysal, 2011). A kavitációs buborékok alapján az egyes rezgések dinamikáját lehet jellemezni (Thiemann, Holsteys, Cairós, & Mettin, 2017).

Az élelmiszer-feldolgozásban az ultrahang számos alkalmazási lehetőségéről számoltak be. Elterjedt többek közt a fermentációs folyamatokban, továbbá javítja a végtermék minőségét, biztonságát is (Ojha et al., 2017). Míg egy másik tanulmányban 20 kHz frekvenciájú ultrahang segítségével kezeltek probiotikus tejet, az eredmények alapján a bifidobaktériumok több tejsavat és kevesebb ecetsavat termeltek az ultrahang hatására (Nguyen, Lee, & Zhou, 2012). Az eredmények alapján felgyorsult laktóz hidrolízist és megnövekedett oligoszacharid-tartalmat tapasztaltak. Vörösborok esetében a nagy intenzitású UH hatását vizsgálták a minták mikroflórájára. A *Pediococcus* sp. sejtek kivételével már 20 perces kezelés után csökkent a mikroorganizmusok élettevékenysége (Luo, Schmid, Grbin, & Jiranek, 2012).

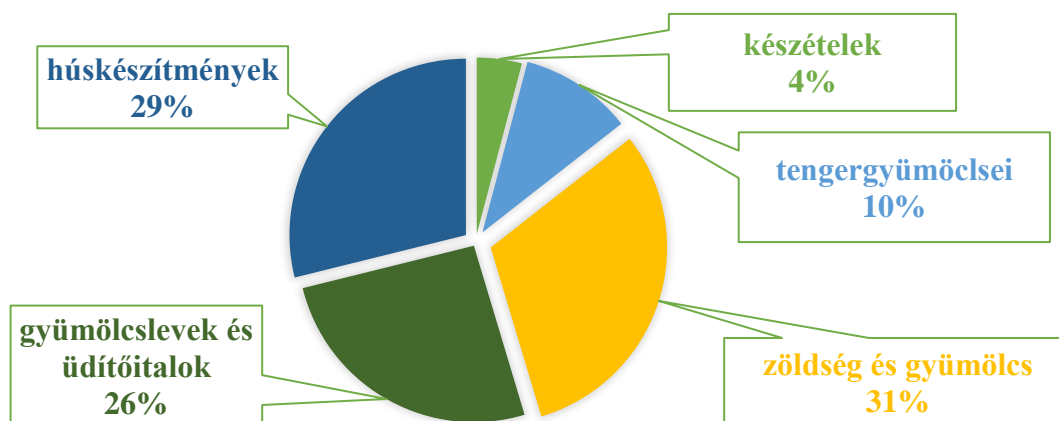
Az ultrahang kiválóan alkalmazható különböző mikroorganizmusok elpusztítására. Tény, hogy a nagy intenzitású ultrahang hullámok képesek a sejteket szétroppantani és az enzimeket inaktiválni, sőt már a kis intenzitású UH is alkalmas a sejtek anyagcseréjének módosítására (Chemat et al., 2011). Az inaktiváló hatás leginkább a kavitáció jelenségének tulajdonítható, ugyanis a mechanikus sokkok a sejteket és funkcionális komponenseket megzavarhatja (Hassan, Williams, & Jaiswal, 2018).

Az ultrahang előnyeire tojást vizsgálva is felfigyeltek. Egy tanulmányban (Sert, Aygun, & Demir, 2011) a tojás 35 kHz frekvencia értéken végzett ultrahangos kezelésének hatásait vizsgálták. A kezelési idők növelésével (5-15-30 perc), a tojás minőségének szignifikáns javulása mellett az összes mezofil baktérium számának csökkenését is tapasztalták. Egy másik tanulmányban pedig egy olyan enzimátikus eljárást dolgoztak ki, amely során ultrahangos kezelés mellett lehetőség van a tojássárgájában lévő koleszterin lebontására (Sun, Yang, Zhong, Zhang, & Wang, 2011).

2.6. A nagy hidrosztatikus nyomású technológia

A nagy hidrosztatikus nyomású kezelést (High Hydrostatic Pressure: HHP) a nemtermikus tartósító eljárások közé soroljuk. Habár maga a technológia már a 19. század végén felkeltette néhány kutató érdeklődését, csak az 1900-as évek végén történtek nagyobb előrelépések, illetve születtek konkrét eredmények (Barba, Ahrné, Xanthakis, Landerslev, & Orlien, 2018). A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés alkalmazása kezdetben az élelmiszer-eltarthatóságra irányult. Azonban hamar felismerték a szerkezetváltozásban megmutatkozó hatásait is (Oey, Lille, Van, & Hendrickx, 2008).

A kezelés lényege, hogy az adott terméket 100 és 1000 MPa közti nyomásnak teszik ki. A kezelendő élelmiszert becsomagolva helyezik el a nyomástartó edényben, amelyben a közvetítő közeg szerepét a víz tölti be (Misra et al., 2017). A nyomás a termék méretétől és alakjától függetlenül azonnal és egyenletesen érvényesül a termékben (izosztatikus) (Knorr, 1999). Az iparban való elterjedését annak köszönheti, hogy előnyösebb tulajdonságokat mutat a hagyományos feldolgozási technikákkal szemben. Bizonyított tény, hogy a HHP kíméletesen hat a kezelendő termékre, ugyanis alkalmazásával az élelmiszerek megőrzik megjelenésüket, textúrájukat és ízüket is (Omer et al., 2015).



3. ábra: A HHP kezelt termékek csoportonkénti eloszlása 2015-ben (Alexandre, Pinto, Moreira, Pintado, & Saraiva, 2019) és (“High Pressure Processing (HPP) Applications—Hiperbaric,” 2019) felhasználásával

A 3. ábra szemlélteti, melyek a legnagyobb mennyiségben nyomáskezelt élelmiszercsoportok. Az állati eredetű élelmiszerek mintegy 39%-át teszik ki a nyomáskezelt élelmiszereknek, amely egyre növekvő arányt jelent (Wgiorgis, 2019). 2015-ben összesen mintegy 350 Hiperbaric gyártmányú ipari nyomáskezelő berendezés üzemelt a világon, hozzávetőleg 88000 liter hasznos kezelési kapacitással (Alexandre et al., 2019). A szektor növekedését jól tükrözi, hogy csak az egyik gyártó, a Hiperbaric, önmaga is az elmúlt két évben mintegy 100 berendezést installált (“High Pressure Processing (HPP) Applications—Hiperbaric,” 2019).

2.6.1.1. A nyomáskezelés hatása az élelmiszerek mikrobiológiai szennyezettségére

A HHP kiválóan alkalmazható romlást okozó mikroorganizmusok és enzimek inaktíválására, ezzel is megnövelve a termék eltarthatóságát és biztonságát. Ezt már számos tanulmányban bebizonyították. Általánosságban elmondható, hogy a hőtűrő mikroorganizmusok jobban ellenállnak a nyomásnak is. Az egyes törzsek között több különbség is megfigyelhető, azonban tény, hogy a Gram-pozitív baktériumok – mint például a *Staphylococcus aureus* – jóval ellenállóbbak, mint a Gram-negatív sejtek (Smelt, 1998).

Szeletelt, vákuumcsomagolt húskészítményekkel végzett vizsgálatok alapján kiderült, hogy a 600 MPa nyomáson történő kezelés megakadályozza a romlást okozó mikroorganizmusok növekedését és az élesztők szaporodását (Garriga, Grèbol, Aymerich, Monfort, & Hugas, 2004). Calligaris és munkatársai (2012) pedig banánból készült gyümölcslével végeztek különböző méréseket, amely során már 200 MPa nyomás is lehetővé tette a mezofil baktériumok számának csökkentését, valamint a pektát-liáz inaktiválódását (Calligaris, Foschia, Bartolomeoli, Maifreni, & Manzocco, 2012).

Fontos megemlíteni, hogy az eljárás során alkalmazott nyomástartomány alapvetően a vegetatív mikroorganizmusok, illetve élesztő- és penészgombák inaktiválására szolgál. Ahhoz, hogy a baktérium spóráit is elpusztítsuk, 1000 MPa fölötti nyomás alkalmazása szükséges. Érdekes azonban, hogy a baktérium spórák 50 és 300 MPa közötti nyomástartományban kicsírázhatnak, végül egy enyhe hőkezeléssel el is pusztíthatók. Ehhez képest az élesztő- és penészgombák spórái már akár 300 MPa nyomáson is inaktiválhatók (Smelt, 1998). Ez alól kivétel a *Byssochlamys* nemzetség, amelynek aszkospóráinak csökkentéséhez még 700 MPa nyomás sem elegendő (Evelyn & Silva, 2015), (Evelyn & Silva, 2017).

Egy tanulmányban központi elrendezésű rotációs kísérletiterv alapján vizsgálták a nyomáskezelés nyomásértékének (349 – 600 MPa) és kezelési idejének (0 – 12,53 min), illetve a minta vízáktivitásának hatását *Listeria monocytogenes* pusztulására spanyol chorizo kolbászban. Az eredmények azt mutatták, hogy 400 MPa nyomásérték alatt nem gyakorolt szignifikáns hatást a mikrobatorzs pusztulására a HHP kezelés. Az eredmények rámutattak arra, hogy a kezelési időnek kisebb a hatása a mikrobapusztulására, mint a nyomásértéknek (Rubio, Possas, Rincón, García-Gimeno, & Martínez, 2018).

2.6.1.2. A HHP technológia fizikai és kémiai jellemzőkre gyakorolt hatása

A termékekben a kezelés során a *hőmérséklet* növekedése tapasztalható. A hőmérséklet emelkedése a nyomásérték növelésével arányos, azonban nagymértékben függ a termék összetételétől, pl.: a nagymennyiségű vizet tartalmazó gyümölcsleveknél, tejtermékeknél 3 °C/100 MPa, míg a marhafaggyúnál 6,3 °C/100 MPa is lehet a növekedés (Balasubramaniam, Martínez-Monteagudo, & Gupta, 2015). A nyomás kémiai reakciókra gyakorolt hatása leginkább a *Le Chatelier elvvel* magyarázható. Ez azt jelenti, hogy a nyomás fokozza a kémiai folyamatokat, ezáltal csökkenést eredményez a *térfogatban* (Lee, 2002). A nyomás továbbá a *fehérjék* szerkezetét is befolyásolja, amely azok aggregálódását, denaturációját eredményezheti. Erre már 1914-ben felfigyeltek (Bridgman, 1914). A fehérje denaturáció egy olyan jelenség, amely során, a molekulán belüli polipeptidláncok térbeli elrendeződése megváltozik. Ezáltal a fehérje natív konformációja rendezetlen állapotba kerül (Kauzmann, 1959). A nyomás befolyásolja a van der Waals kölcsönhatásokat és a hidrogénkötéseket is, mivel ezek a molekuláris erők távolságfüggők.

Azonban azt is érdemes megjegyezni, hogy a kovalens kötésekre nincs hatással a nagy nyomás (Balasubramaniam et al., 2015), így a fehérjék elsődleges szerkezete érintetlen marad a nyomáskezelést követően. A másodlagos szerkezetben ugyan történhet némi változás, de ez csak nagyon nagy nyomáson fordul elő, ez a hidrogénkötések felszakadásával magyarázható. Többnyire a 300 MPa feletti nyomáskezelés irreverzibilis, míg az ennél kisebb tartomány reverzibilis fehérjedenaturációt eredményez (Knorr, 1999). A HHP kezelés a tojásfehérjét denaturálhatja, vagy aggregátumokat képezhet, ezen folyamatok mértéke függ azonban a kezelés nyomásértékétől, idejétől, hőmérsékletétől, valamint a pH-értéktől és a fehérjék koncentrációjától (Gharbi & Labbafi, 2018). Korábbi kutatási eredmények rávilágítottak azonban arra is, hogy a fehérjék szerkezetére gyakorolt hatás erőteljesen függ a fehérjék minőségétől, illetve a HHP kezelés paramétereitől is (Ambrosi, Polenta, Gonzalez, Ferrari, & Maresca, 2016), (De Maria, Ferrari, & Maresca, 2015), (Kim, Kim, Shin, Kim, & Kim, 2015).

Fontos tényező a megfelelő nyomás-hőmérséklet kombinációjának kiválasztása, hiszen így a kívánt textúra és szín érhető el (Lopes, Mota, Delgadillo, & Saraiva, 2016). A **növényi nyersanyagokból** készült termékek közül leggyakrabban a gyümölcsleveket vizsgálják. Például görögdinnyélé színét hasonlították a kezeletlen minta színéhez. Kiderült, hogy a vörös színezet (+a*) értékét a 300 MPa-os kezelés növelte, míg a 900 MPa-os kezelés csökkentette (Zhang et al., 2011). Egy másik tanulmányban, zöldbabot vizsgálva egy intenzívebb zöld szín megjelenését figyelték meg a HHP kezelés hatására. Azonban ez a zöld szín fokozatosan halványult a tárolás során. Habár az elszíneződés mértéke egyenletes volt, egy hónap tárolás után a zöldbab megjelenése elfogadhatatlanná vált. Ezt a negatív hatást valószínűleg az enzimaktivitás okozta (Krebbers, Matser, Koets, & Van den Berg, 2002).

A narancslé a világon a legnagyobb mennyiségben fogyasztott gyümölcslé (Neves, 2018), amely – egyébként is kedvező - élettani tulajdonságait számos módon próbáljuk javítani. Például tejjel készült funkcionális italt készítenek belőle, amelyet nyomáskezeléssel tartósítanak. A kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a 100 és 400 MPa között 7 és 9 percig végzett nyomáskezelés nem csupán a termék C-vitamin tartalmát őrizte meg 91%-ban, de a teljes karotinoid tartalmat szignifikánsan növelte is (Barba, Cortés, Esteve, & Frígola, 2012). A nyomáskezelt narancslé esetében is kedvező érzékszervi és mikrobiológiai eredményekről számoltak be. Az 500 MPa-on 2 percig kezelt narancslevek színe nem változik szignifikánsan 70 nap tárolás alatt, miközben nem tapasztalható élesztő- és penésznövekedést a felülfertőzésen átesett mintákban (Tóth, Friedrich, Jónás, & Salamon, 2015). Hartyáni és munkatársai eredményei alapján, az elektronikus orr segítségével nem lehet megkülönböztetni a kontroll, illetve 200, 400 és 600 MPa-on kezelt narancslevek illatát (Hartyáni, Dalmadi, & Knorr, 2013).

Az **állati eredetű** termékeket szintén igen széleskörben vizsgálják. Az első ezzel kapcsolatos irodalmi források a 19. század végéről származnak, amikor is a nagynyomás *tejre* gyakorolt hatásait vizsgálták (Hite, 1899). Egy másik tanulmány célzata a *tehéntej* egyik fő allergénjének, a β -laktoglobulin szerkezetének vizsgálata volt. Az eredményekből kiderült, hogy az elsődleges és másodlagos szerkezetben nem, azonban a harmadlagos szerkezetben jelentős változások következtek be a HHP kezelés hatására. Ezzel együtt járt az allergenitás megváltozása is (Meng, Bai, Gao, Li, & Chen, 2017). Egy tanulmányban a teljes tej 200, 400 és 600 MPa, 15 perc HHP kezelését követően azt tapasztalták, hogy az egyes fehérje frakciók más-más módon reagálnak a nyomáskezelésre. A savófehérjék (első sorban a β -laktoglobulin) mennyisége a nyomás növelésével csökkent (600 MPa-on 30%-kal), míg a kazein molekulák bomlását eredményezte a 400 és 600 MPa-on történt kezelés (Needs, Stenning, Gill, Ferragut, & Rich, 2000). Reggianito Argentino típusú zsíros *kemény sajtot* vizsgálva azt tapasztalták, hogy a sajt készítését követő első napon alkalmazott 400 MPa, 5 és 10 perc HHP kezelés a sajt 90 napos érlelési idejét 60 napra csökkentette a proteolitikus folyamatok meggyorsítása révén. A tanulmány egy további érdekes megállapítása, hogy a hosszabb nyomáskezelés idő a sajtok pH-értékét növelte (Costabel et al., 2016). Ehhez hasonló pH-változást tapasztaltak más sajtok esetében is (Saldo, McSweeney, Sendra, Kelly, & Guamis, 2002), (Rynne et al., 2008), (Ozturk et al., 2013). A pH-érték növekedés hátterében valószínű az érlelés alatti proteolitikus folyamatok és a kalciumfoszfát érlelés alatti oldódása áll (Lawrence, Creamer, & Gilles, 1987).

Egy állati eredetű fehérjéket vizsgáló kutatásban megállapították, a nyomáskezelés nagyobb nyomásértékeken (500, 600 MPa) a folyadék halmazállapotú élelmiszerek (marhavér, tej, tojáslé) lévő fehérjékre kisebb hatással van, mint a szilárd élelmiszerekben (csirkemell, marhahátszín) (Csehi, 2019). Erre a nagyobb „nyomásrezisztenciára” utal az is, hogy a tejben a β -laktoglobulin immunreaktivitásának csökkenéséhez legalább 300 MPa nyomásértékre van szükség (Pásztor-Huszár, 2008), míg a sertés karaj denaturálható fehérjéinek mennyisége már 200 MPa, 5 perces kezelés hatására is mintegy 15%-kal csökken (Kenesei, Jónás, Salamon, & Dalmadi, 2017).

Egy 12,5 m/m% koncentrációjú *glikomakropeptid* oldattal végzett kísérletben a HHP és hőkezelés reológiai tulajdonságokra gyakorolt hatását vizsgálták. Az elsőként nyomáskezelt (100 – 400 MPa, 30 min), majd hőkezelt (20 – 80 °C, 15 min) mintákat rotációs módszerrel vizsgálták (0 és 200 1/s nyírási sebesség tartományban), majd az eredményekre Herschel–Bulkley modellt illesztettek. A modell értékelése során arra a következtetésre jutottak a szerzők, hogy a glikomakropeptid oldat nyírásra vékonyodó folyadék. A konzisztencia állandót és a látszólagos viszkozitást a nyomáskezelés 300 MPa-ig növeli, azonban a 400 MPa-on végzett HHP kezelés csökkenti. A nagyobb nyomásértékre bekövetkező különbséget a szerzők a 300 MPa felett bekövetkező fehérje denaturációval indokolják (Ahmed & Ramaswamy, 2003). A növekvő hőkezelési hőmérséklet

hatására a nyírófeszültség, konzisztencia állandó és a folyásindex értékei is csökkentek. Egy másik tanulmány szerint a hőhatására a savófehérjékben fellépő denaturáció gélesedéshez vezet. Elektromikroszkópos felvételek alapján a hőkezelés több keresztkötést hoz létre, mint a nyomáskezelés (Van Camp & Huyghebaert, 1995). Ez a szerkezeti (és fázis) átalakulás okozhatja a n és k értékének csökkenését.

A *húsok* esetében szintén számos irodalmi adattal rendelkezünk a HHP, mind a fehérjékre, mind a színre gyakorolt hatásáról. A 0 és 300 MPa közötti (1 – 3 perc) kezelés a csirkehús világossági tényezőjét növeli, míg vöröses színezetét csökkenti, a NaCl és a HHP együttesen alkalmazása pedig szignifikánsan növeli a pH-értékét (Ros-Polski, Koutchma, Xue, Defelice, & Balamurugan, 2015).

Marhahús pogácsákon végzett kísérletek eredményei alapján a NaCl koncentráció (0 – 2%), a nátrium-trifoszfát koncentráció (0 – 0,5%), a nyomáskezelés nyomásértéke (100 – 300 MPa) szignifikáns hatással bírnak a nyers húspogácsák pH-értékére és színére, míg a kezelési idő hatása nem szignifikáns. Azonban a húspogácsák sütést követő színét nem befolyásolják a változtatott paraméterek (Szerman, Ferrari, Sancho, & Vaudagna, 2019).

Párolást, sütést és nyomáskezelést követően hasonlították össze egy tanulmányban a *tőkehal* fehérjéinek bioaktív jellemzőit. Az eredmények alapján Zhang munkatársaival (2019) arra a következtetésre jutott, hogy a párolás és sütés nagymértékben csökkenti a fehérjék bioaktív tulajdonságait, miközben a HHP kezelés során szabad, biológiailag aktív aminosavak keletkeznek. Eredményeik alapján sorrendben az aszpartánsav, prolin, arginin és lizin biológiai aktivitása változott a legnagyobb mértékben (Y. Zhang, Wang, Bi, Cheng, & Chen, 2019).

Másrészt érdekes megállapítás, miszerint *húst modellező médiumok*on végzett kísérletek alapján a *Listeria monocytogenes* inaktiválására a nyomásérték (300 – 600 MPa, 0 – 10 perc), kezelési idő és a NaCl koncentráció szignifikáns hatással bír, míg a modellmédium pH-értéke, illetve a NaNO₂ különböző koncentrációja nem (Possas, Pérez-Rodríguez, Valero, Rincón, & García-Gimeno, 2018).

2.6.2. *A tojáslé-termékek tartósítása nagy hidrosztatikus nyomással*

Az V. Táblázatban foglaltam össze az elmúlt évek legfontosabb tojáslevek nyomáskezeléséről szóló publikációit. A HHP kezelés a tojásiparban is növekvő figyelmet kap. Annak ellenére, hogy a HHP kezelés az atomos kötésekkel minimálisan befolyásolja, módosíthatja a tojás fehérje- és lipid-összetételét. Számos kutató végzett kutatásokat különböző nyomás-, és időkombinációkat alkalmazva, hogy a tojástermékekre gyakorolt hatást vizsgálja (N. Naderi, House, Pouliot, & Doyen, 2017).

Azonban ezen hatások már korábban is megfigyelésre kerültek, Bridgman (Bridgman, 1914) a tojásfehérjét hidrosztatikus nyomás alá helyezve koagulációt tapasztalt. A fehérjék strukturális változásai azonban nem feltétlenül károsak, ugyanis a fehérjék jelentik a tojás fő allergénjeit, amelyek közül az ovalbumin, ovomucin, lizozim és az ovotranszferrin érdemelnek nagyobb figyelmet (Benedé, López-Expósito, Molina, & López-Fandiño, 2015).

V. Táblázat: A HHP alkalmazása egyes tojástermékeknél és a tojásnál

Alkalmazott paraméterek	Kezelt minta	A kezelés célja	Forrás
600 MPa, 5 perc	tojássárgája frakció	folsav és foszvitin kinyerése	(Nassim Naderi, Doyen, House, & Pouliot, 2017); (N. Naderi et al., 2017)
300 MPa, 3 perc; 300 MPa, 3 perc + 52 °C/3.5 perc vagy 55 °C/2 perc +2% trietil-citrát	teljes tojáslé	a hőkezelés kiváltása: viszkozitás, <i>E. coli</i> és <i>L. innocua</i> inaktiválása	(Monfort et al., 2012)
100 & 400 MPa, 30 perc	teljes tojáslé tojásfehérje- és sárgája-lé	a reológiai tulajdonságok vizsgálata	(Ahmed, Ramaswamy, Alli, & Ngadi, 2003)
200 & 400 MPa, pH 5,0 & 7,0	tojásfehérje - bazsalikom mag gél	a reológiai tulajdonságok vizsgálata	(Razi, Motamedzadegan, Matia-Merino, Shahidi, & Rashidinejad, 2019)
400 MPa	tojásfehérje	a tojásfehérje koagulációja	(Bridgman, 1914)
400 MPa + enzimatis hidrolízis	tojássárgája	a tojássárgája gélesedése	(Thakur & Nleson, 1998)
100 - 400 MPa, 30 perc	teljes tojás	a fehérjék allergizáló hatásának csökkentése	(López-Expósito et al., 2008)
600 MPa	tojáslevek tojássárgája	a reológiai tulajdonságok változása emulzióstabilitás	(Ahmed et al., 2003). (Anton, 2013)
300 és 600 MPa, 10 perc	tojássárgája	a foszvitin vaskötőképességének vizsgálata	(Castellani et al., 2004)
HHP + hőkezelés kombinációi	tojáslevek	az eltarthatósági idő növelése	(Efstathiou, Huston, & Morriss, 2013)
138 MPa, 3 ciklus (2, 2 és 4 perc) önmagában, vagy ultrahanggal	teljes tojáslé	<i>Salmonella enteritidis</i> inaktiválása	(Huang, Mittal, & Griffiths, 2006)
300 és 500 MPa, 10 perc	kacsatojás	fizikai-kémiai tulajdonságok, fehérje denaturáció	(Lai et al., 2010)
200 és 350 MPa között, 5 perc	tojáslevek	fehérjeszerkezeti átalakulások	(Tóth et al., 2017)
100 – 700 MPa + hőkezelés	tojásfehérje	a szulfhidril csoport mennyiségének változása	(Van, Van, & Hendrickx, 2005)
100 – 500 MPa, 10 perc	tojássárgája-lé	emulzió- képzés és stabilitás	(Speroni et al., 2005)
350 – 550 MPa 5 – 15 perc	tojásfehérje-lé	a kalorimetrikus, strukturális és funkcionális tulajdonságok vizsgálatai	(Singh & Ramaswamy, 2015)
hőkezelés (50 – 85 °C) és hő- és nyomáskezelés kombinációi (100 – 700 MPa, 10 – 60 °C)	teljes tojáslé	a szulfhidril-csoportok mennyiségének változása, fehérje agglomerátumok képződése	(Van der Plancken, Van Loey, & Hendrickx, 2005)
hőkezelés (75 °C, 10 perc)/ HHP (200, 400, 600 MPa, 10 perc)	tojásfehérje	a hőkezelés és HHP hatása a fehérjékre	(Zhu, Zhou, Yu, Li, & He, 2014)

A 400 MPa-on végzett nyomáskezelés és pepszinnel történő hidrolízis együttes hatására csökkenthető az ovalbumin allergén hatása. A tanulmány szerint már néhány perc alatt teljesen hidrolizálható az ovalbumin, amely savas pH-értéken még tovább gyorsítható (López-Expósito et

al., 2008). Egyes források szerint a HHP kezelés a tojás fehérjéinek enzimatis hidrolízisére gyakorolt hatásán keresztül lehetőséget kínál arra, hogy hipoallergén tojástermékeket állítsunk elő (Benedé et al., 2015).

A tojás kezelése során azt tapasztalták, hogy a 30 percig tartó, 400 MPa nyomásnak kitett tojássárgájából gél képződik, amely megtartotta az eredeti színét, azonban állománya lágy volt. A nyomás növelésével a gél tapadossága csökkent, keménysége viszont nőtt (Thakur & Nleson, 1998).

Yan munkatársaival tojássárgája-levet kezelt 100 - 500 MPa között 10 percig szobahőmérsékleten. A tojássárgája emulzióképző tulajdonsága csökkent a nagyobb nyomásértékeken, amely 400 MPa felett már szignifikánsnak mutatkozott. Az emulzióstabilitást vizsgálva a 100 MPa-on végzett kezelés kedvezően hatott, míg a nagyobb nyomásértékek rontották a techno-funkciós tulajdonságot. A változásokat a tojássárgájában képződött aggregált fehérje-szerkezetekkel magyarázták. Ez valószínű a felületi hidrofobicitás és a szulfhidril-csoportok csökkenésével magyarázható (Yan et al., 2010), (Liu, Oey, Bremer, Carne, & Silcock, 2019). Anton megállapította, hogy az emulzióképző és stabilizáló tulajdonságokra a HHP kezelés mellett a pH-értéknek is fontos szerepe van. A lúgos pH-értékre (pH 8) beállított tojássárgája-lé esetében a technofunkciós tulajdonságok romlásáról, míg a savas pH (pH 3) esetén jobb emulzióképző és stabilizáló tulajdonságokról számolt be (Anton, 2013).

Ahmed és munkatársai (2003) a 100 és 400 MPa közötti, 30 perces nyomáskezelés hatását vizsgálták a tojáslevek reológiai tulajdonságaira. A teljes tojás- és fehérje-leveket koncentrikus cylinder mérőrendszerrel, míg a sárgája-leveket koncentrikus lap-lap rendszer segítségével vizsgálták. Eredményeik azt mutatták, hogy a teljes és fehérje-lé időfüggő (tixotróp) tulajdonsága a nyomás növelésével csökkent, a fehérje-lé esetében a fehérje denaturáció gélelektroforetikus módszerrel már kimutathatóvá vált, amelyet a minták reológiai vizsgálatai is alátámasztottak. A tojássárgája esetében a tixotróp tulajdonságot szignifikánsan befolyásolta a nyomáskezelés (Ahmed et al., 2003).

A tojássárgájában a foszvitin képes nagy mennyiségben megkötni a vas ionokat. Egy tanulmányban (Castellani et al., 2004) azt állapították meg, hogy a HHP kezelés (300 és 600 MPa, 10 perc) növeli a foszvitin vaskötő képességét semleges és közel semleges kémhatású oldatban (pH 7,0 és 6,5), amely kis pH-értéken (3,5) is stabil marad. Egy másik kísérletben 600 MPa-on, 5 percig nyomáskezelték a tojássárgáját. Az eredmények alapján a granulális részben a foszvitin molekulák szerkezete lényegében nem változott, miközben nagy mennyiségű folsavat tudtak feltárni a HHP kezelés segítségével (Nassim Naderi et al., 2017).

A kacsatojást 300 és 500 MPa, 10 perces nyomáskezelést követően vizsgálták (Lai et al., 2010). A gélelektroforetikus vizsgálatok alapján a kacsatojás fehérje frakciói nem szenvednek

irreverzibilis változásokat még 500 MPa-on sem. Ezzel szemben a nyomáskezelt minták termogramjain már megfigyelhetőek változások.

Ehhez hasonló eredményeket tapasztaltunk saját vizsgálatunk során is, amelyben 150 és 350 MPa között kezeltünk tojásleveket. Az eredményeink arra engedtek következtetni, hogy a 350 MPa és ez alatti nyomásértékeken még nincsenek jelentős fehérjeszerkezeti átalakulások (Tóth et al., 2017).

Egy másik kísérletben 350 és 550 MPa között 5 és 15 perc kezelési idővel nyomáskezelték teljes tojáslé és tojásfehérje-lé mintákat. Azt tapasztalták, hogy a levek pszeudoplasztikus viselkedést mutattak, míg a legnagyobb nyomás- idő kombinációnál a minták teljes gélesedéséről számoltak be, amelyet a fehérjék agglomerációjával és denaturációjával magyaráztak. Ezzel egyidőben a minták színe is szignifikánsan változott. Az eredmények statisztikai értékelése során megállapították azt is, hogy a tojásfehérje-lé vizsgált tulajdonságai érzékenyebbek a nyomáskezelésre, mint a teljes tojáslé paraméterei (Singh & Ramaswamy, 2015).

Egy kísérletben a hő- és HHP kezelés fehérjékre gyakorolt hatását vizsgálták tyúk- és teknős tojásfehérjében. Az alkalmazott hő- és HHP kezelési paraméterek hatására (75 °C, 10 min, vagy 200, 400, 600 MPa, 10 min). A teknős tojásfehérjében lényegében nem következett be fehérjeagglomeráció, míg a tyúktojásban lényeges fehérje-szerkezeti változásokat fedeztek fel. A különbséget a két faj tojásai között az aminosav-összetétel különbségével és az eltérő fehérje-koncentrációval (tyúktojásfehérje: 11,58, teknős: 1,78%) magyarázták. A tanulmányban rámutattak arra is, hogy a 400 MPa-nál kisebb nyomásérték hatására kisebb és jobban oldódó fehérje-agglomerátumok keletkeznek, mint a hőkezelés hatására, mivel a HHP kezelés során keletkező fehérje agglomerátumok felülete kevésbé hidrofób (Zhu et al., 2014).

2.6.3. A tojáslé-termékek tartósítása kombinált tartósítási eljárásokkal

2.6.3.1. A HHP és ultrahang kombinálásának lehetőségei

Egy 2016-ban született tanulmányban arra keresték a választ, hogy mennyire hatékony a nyomáskezelés önmagában, vagy ultrahanggal kombinálva *Salmonella enteritidis* inaktiválására. A tanulmányban megállapították, hogy a 138 MPa, három ciklusból álló (2, 2 és 4 perc) szobahőmérsékletű nyomáskezelés és a 40 W teljesítménnyel, 55 °C-on 5 percig végzett ultrahangos kezelés több, mint három nagyságrenddel csökkentette a patogén jelenlétét teljes tojáslében (Huang et al., 2006).

Egy korábbi kutatásunkban, amelyben aktív ultrahangot kombináltunk HHP kezeléssel (300, 350 MPa, 5 perc), azt tapasztaltuk, hogy a teljes tojáslé minták folyási tulajdonságaira a nyomáskezelés nagyobb hatással van, mint az ultrahang, ahogyan a minták világossági tényezőjére is (Tóth, Németh, Csáti, et al., 2018).

2.6.3.2. A HHP és hőkezelés kombinálásának hatása tojáslevekre

Egyes tanulmányok eredményei azt mutatják, hogy a teljes tojáslé kisebb nyomásértéken (300 MPa), 3 percig végzett HHP kezelése nem befolyásolja lényegesen a termék viszkozitását, és a *Listeria genus surrogate* és *Salmonella* Enteritidis törzsekkel végzett felülfertőzőési kísérletekben is csupán 0,3 és 0,5 nagyságrendnyi csökkenést értek el. Ezért a nagyobb mikroba pusztuláshoz a kezelést hőkezeléssel kombinálták, illetve trietil-citrátot adtak hozzá (300 MPa, 3 perc + 52 °C/3.5 min vagy 55 °C/2 min +2% trietil-citrát). Ebben az esetben mindkét vizsgált mikroba törzsnél legalább 5 nagyságrendnyi csökkenést értek el (Monfort et al., 2012).

A HHP és hőkezelés kombinációja nem csupán az eltarthatósági idő növelésére alkalmas. Egy tanulmányban 100 és 700 MPa között nyomáskezelték, majd 50 és 85 °C között hőkezelték tojásfehérje mintákat. Az eredmények alapján 500 – 600 MPa-nál nagyobb nyomásértéken, vagy 70 °C-nál nagyobb hőmérsékleten kezelt mintákban a kimutatható szulfhidril csoport mennyisége nőtt. Ebből arra következtettek a kutatók, hogy a fehérjék szerkezete denaturálódott, aggregálódott. A kísérletben rávilágítottak arra is, hogy a szulfhidril csoportok kisebb mennyiségben keletkeztek, ha nagyobb hőmérséklettel párosították a nyomáskezelést, tehát a hőmérséklet a szulfhidril-csoportok keletkezésével antagonistá viszonyban áll (Van der Plancken et al., 2005), (Gharbi & Labbafi, 2018).

Egy korábbi kutatásunkban a HHP és hőkezelés sorrendjének hatását vizsgáltuk a tojáslevek pH-értékére, mikrobiológiai állapotára (mezofil aerob összes csíraszám, Enterobacter-szám és *Salmonella* spp.), valamint reológiai tulajdonságaira. Az 57 °C, 10 min és 63 °C, 7 perc hőkezelést 350 és 400 MPa, 5 min nyomáskezeléssel kombináltuk. Eredményeink alapján a kombinált kezelések – sorrendjüktől függetlenül - kimutatási határérték alá csökkentették a mezofil aerob összes csíraszámot (3,5 nagyságrendnyi csökkenés), míg az önmagukban alkalmazott kezelések közül a legnagyobb csíraszám-csökkentő hatást (mintegy 2 nagyságrendnyi csökkenés) a 63 °C, 7 perc hőkezeléssel értük el a tojássárgája-lé esetében.

A tojássárgája-lé reológiai tulajdonságait rotációs módszerrel vizsgáltuk, a mért pontokra Herschel–Bulkley modellt illesztve. Az illesztett modell alapján a tojássárgája-lé minták folyáshatára (τ_0) nőtt az önmagukban alkalmazott hőkezelések és nyomáskezelések hatására is, de a kombinált kezelések hatására még nagyobb mértékű növekedést tapasztaltunk. A konzisztencia állandó értékei ehhez hasonló módon viselkedtek, míg a folyásindex értéke csökkent (Tóth, Németh, Zeke, et al., 2018).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Felhasznált anyagok

A kísérletekben vizsgált tojáslevek alapanyagaként szolgáló tojások minden esetben a Capriovus Kft. szigetcsépi tojótelepéről, ketreces tartású tojóállományból származó, M méretű tojásokat használtam fel. A tojásleveket a Capriovus Kft. szigetcsépi tojásfeldolgozó-üzeméből kaptam, ahol a tojások fertőtlenítését és törését követően a sárgája és fehérje szétválasztásra kerültek, majd homogénezésen estek át. A homogénezést követően a mintákat 4 °C-on tároltam és szállítottam.

3.1.1. A minták előkészítése

A mintákat a színéréshez, a viszkozitás méréséhez, valamint az érzékszervi és késztermék vizsgálatokhoz 200 ml-es PA-PE (poliamid-polietilén) tasakokba (90 µm: 20 µm PA + 70µm PE; AMCO Kft, Magyarország) csomagoltam, míg a mikrobiológiai vizsgálatokhoz, illetve a DSC mérésekhez 10-10 ml-t töltöttem steril PA-PE tasakokba. A minták nem kerültek vákuumcsomagolásra, a zárást követően legfeljebb 2 ml levegő maradt a tasakokban. Minden mintából 3-3 tasakot készítettem a párhuzamos mérésekhez.

3.2. A kísérletek bemutatása

A dolgozat tengelyét öt egymásra épülő kísérlet adja. Az olvasó az egymást követő kísérleteket áttekintve komplex képet kap arról, hogyan is hat a nagy hidrosztatikus nyomású technológia önmagával, illetve hőkezeléssel kombinálva a tojáslevek egyes tulajdonságaira. Minden kísérletben vizsgáltam a tojáslevek pH-értékének, színének, fehérje szerkezeteinek és mikrobaszámának alakulását a kezelések hatására.

3.2.1. Első kísérlet: a HHP kezelés nyomásértékének hatása a tojáslevekre

A HHP kezelés leggyakrabban vizsgált paramétere az alkalmazott nyomásérték (Yan et al., 2010), (Rubio et al., 2018), (Possas, Pérez-Rodríguez, Valero, & García-Gimeno, 2017), így elsőként én is ennek hatásait vizsgáltam. A nyomásértéket 150 és 600 MPa között 50 MPa-onként növeltem. A kezelési idő (a nyomásértéken tartás ideje) minden esetben 5 perc volt.

A jelen kísérletben kezelt tojáslevekből reológiai vizsgálatokat is végeztem.

3.2.2. Második kísérlet: a HHP kezelés kezelési idejének hatása a tojáslevekre

A második kísérletet 400 MPa nyomásértéken végeztem, 1 és 10 perc közötti kezelési idők alkalmazásával. Az első kísérlet eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a 400 MPa-on 5 percig végzett nyomáskezelés kellően csökkentheti már önmagában is a mezofil aerob összes csíraszámot, míg a techno-funkcionális tulajdonságokat csupán kismértékben befolyásolja. Azonban a kezelési idő irodalmi források szerint szintén befolyásolhatja a tojáslevek paramétereit (J. Li et al., 2018), másrésről a kezelési idő optimalizálása gazdaságossági szempontból

(energiaköltségek és termelékenység) is elengedhetetlen (Shahbaz, Kim, Kim, & Park, 2018). A három tojáslejből készült mintákat 1, 3, 5, 7 és 10 perc nyomáskezelési idővel kezeltem.

A 3.2. fejezetben felsorolt vizsgálatok mellett az alábbi vizsgálatokat végeztem el a kontroll és nyomáskezelt mintákból:

- A reológiai tulajdonságok vizsgálata
- Késztermékek készítése a HHP kezelt mintákból („omlett” és habcsók)
- A késztermékek állományának vizsgálata
- Érzékszervi vizsgálat a késztermékekből.

3.2.3. Harmadik kísérlet: a HHP kezelés és a hőkezelés kombinációinak hatása a tojásfehérje-lé tulajdonságaira

Az előző két kísérlet eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy kisebb nyomásértékek, vagy rövidebb kezelési idők alkalmazása önmagában nem feltétlenül éri el a kívánt mikrobaszám-csökkentést a tojáslevekben, ezért a gátelvnek megfelelően érdemes más kíméletes eljárással kombinálni a kezelést. Így a harmadik kísérletben a HHP kezelést hőkezeléssel kombináltam. A HHP kezelést önmagában (350 és 450 MPa, 5 perc), illetve hőkezeléssel kombinálva (350 MPa, 5 perc) is alkalmaztam a *tojásfehérje-lé* esetén.

VI. Táblázat: a tojásfehérje-lé hő- és HHP kezelése során alkalmazott kezelési paraméterek és a minták megnevezése

Minta megnevezése	Hőkezelési hőmérséklete, °C	Hőkezelési idő, perc	HHP kezelés nyomásértéke, MPa	HHP kezelés ideje, perc
kontroll	-	-	-	-
350 MPa	-	-	350	5
450 MPa	-	-	450	5
p + 350 MPa	57	7	350	5
h + 350 MPa	53	360	350	5

A mintákat elsőként hőkezelttem, majd nyomáskezelttem. Az alkalmazott hő- és nyomáskezelési paramétereket a VI. Táblázat tartalmazza. A két eltérő hőkezelés a *pasztőrözést*, illetve a *hőntartást* hivatott modellezni. Előbbinél nagyobb hőmérsékleten (57 °C), csupán 7 percig hőkezelttem a mintákat, míg utóbbinál kisebb hőmérsékleten (53 °C) 6 órán keresztül történt a hőntartás. Irodalmi adatok alapján a tojáslevek hőntartása hasonló mikrobiológiai hatással bír, mint a jóval rövidebb idejű, de nagyobb hőmérsékletű pasztőrözés (Fellows, 2017), (Llave, Fukuda, Fukuoka, Shibata-Ishiwatari, & Sakai, 2018), (Lechevalier et al., 2017). A tojásban található fehérjék rendkívül hőérzékenyek, ezért tartottam fontosnak a minél kisebb hőmérséklet alkalmazhatóságának vizsgálatát is. A 2.4.2.2. fejezetben bemutatott hőkezelési eljárás a tojáslevek hőntartására mintegy 50-55 °C-ot javasol (Németh et al., 2011), ezért ehhez a kísérletben 53 °C-ot választottam. A pasztőrözés hőmérséklete (57 °C) és ideje (7 perc) az

irodalom alapján már elfogadható letalitással bír a *Salmonella* törzsekkel szemben (Shah, Bradshaw, & Peeler, 1991)

A kísérletben a 3.2. fejezetben felsorolt vizsgálatokon túl a tojásfehérje-lé reológiai tulajdonságainak változását is vizsgáltam.

3.2.4. Negyedik kísérlet: A HHP kezelés és a hőkezelés sorrendjének hatása a tojáslevek tulajdonságaira

A harmadik kísérlet eredményei alapján arra a következtetésre jutottam, hogy érdemes a HHP kezelést hőkezeléssel kombinálni. Azonban az előző kísérletben a kezelések **sorrendjének** hatását nem vizsgáltam. Az élelmiszerek rendkívül komplex, heterogén rendszerek, amelyekre a különböző kezelések hatásai nem minden esetben egyszerűen összeadódnak, erre számos példát találunk a hazai és nemzetközi irodalomból egyaránt (Espina, Monfort, Álvarez, García-Gonzalo, & Pagán, 2014; Lee, 2002; Pérez Pulido, Toledo del Árbol, Grande Burgos, & Gálvez, 2012; Ponce et al., 1998). A sorrend hatása nem csupán a technológiai, vagy érzékszervi tulajdonságokban mutatkozhat meg, rendkívül fontos szerepe lehet a megfelelő mikroba inaktiválásban is. Erre kiváló példa a sertéskaraj (*musculus Longissimus thoracis és lumborum*), amely esetében a HHP-t követő hőkezelés kisebb mikrobaszám-növekedést eredményez tárolás során, mint a kezelések fordított sorrendje (Kenesei, 2018).

VII. Táblázat: A kísérletben alkalmazott kezelési paraméterek és mintajelölések

Minta megnevezése	HHP	Hőkezelés
Kontroll	-	-
Pasztörözött	-	53 °C, 12 perc
Hőntartott	-	45 °C, 8 óra
HHP	350 MPa, 5 perc	-
HHP+H	350 MPa, 5 perc	45 °C, 8 óra
HHP+P	350 MPa, 5 perc	53 °C, 12 perc
H+HHP	350 MPa, 5 perc	45 °C, 8 óra
P+HHP	350 MPa, 5 perc	53 °C, 12 perc

A VII. Táblázatban mutatom be a kísérletben alkalmazott paramétereket és a későbbi mintajelöléseket is. A HHP+H és a HHP+P elnevezésű mintákat elsőként nyomáskezelttem, ezt követően hőkezelttem, míg a H+HHP, illetve P+HHP elnevezésű mintákat először hőkezelttem, majd a minták lehűtését követően HHP kezeltem azokat.

A kísérlet során nem csupán kombinált kezeléseket alkalmaztam, hanem az önmagában elvégzett HHP kezelés, illetve hőkezelések hatását is vizsgáltam. Ennek azért éreztem szükségességét, mert a tojás összetétele - így természetesen a tojáslé összetétele is - gyakran mutat nagymértékű heterogenitást (pl. a tojóállomány takarmányozásától, tartásmódjától, vagy éppen évszaktól függően (Seuss-Baum, Nau, & Guérin-Dubiard, 2011), (Chambers et al., 2017)), így más kísérletekből nyert eredményekkel történő összevetéskor a különbségeket gyakran maga az alapanyag eredményezi önmagában.

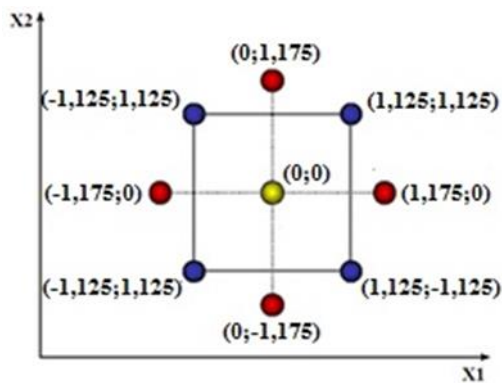
Két különböző hőkezelést alkalmaztam: egy rövid és viszonylag kis hőmérsékletű *pasztörözést* (53 °C, 12 perc), illetve egy hosszabb, ennél még kisebb hőmérsékletű *hőntartást* (45 °C, 8 óra). Előbbi hőmérsékletet (53 °C) azért választottam, mert az irodalom alapján ez még nem befolyásolja szignifikánsan a hőérzékeny fehérjék szerkezetét. Viszont az ehhez a hőmérséklethez választott kezelési idővel (12 perc) már 1,5-2 nagyságrendnyi csökkenés érhető el a tojáslevek *Listeria monocytogenes* számában. Ez a mikrobaszám-csökkentő hatás megegyezik az előző kísérletben (3.2.3. fejezet) alkalmazott pasztörözési paraméterek mikrobacsökkentő hatásával (Sharif & Moshtaghi, 2014). A hőntartási paramétereket a 2.4.2.2. fejezetben bemutatott szabadalom alapján választottam.

A nyomáskezelésnél 350 MPa-on, 5 percre kezeltem a mintákat. Az előző kísérletek eredményeiből ugyanis azt feltételeztem, megfelelő mikrobiológiai hatékonysággal bír a választott paraméter-kombináció.

A kombinált kezelések között, illetve a kezeléseket követően a mintákat 4-6 °C-on tároltam a mérésekig. A kezelést követően *tárolási kísérletet* állítottam be. A mintákat négy héten keresztül tároltam 4-6 °C-on, a tojáslevekből a kezeléseket követő 14. és 28. napon vettem ismét mintákat. A minden kísérlet esetén vizsgált paramétereken túl (3.2. fejezet) a kezelt mintákból késztermékeket is készítettem, amelyekből érzékszervi vizsgálatot végeztem.

3.2.5. Ötödik kísérlet: a hőkezelés hőmérsékletének és a HHP kezelés nyomásértékének együttes hatásainak vizsgálata központi összetett rotációs elrendezésű kísérlettervvel

Az előző kísérletekből már számos következtetést tudtam levonni, azonban az egyes hő- és nyomáskezelési paraméterek változásának hatását minden esetben érdemes komplexen vizsgálni. Erre számos módszer, statisztikai kísérleti terv létezik, amelyek közül én a központi összetett rotációs kísérleti tervet választottam. A kísérletterv előnye, hogy viszonylag kis mintaszámmal optimalizálható legalább két változó paraméter értéke (Németh, 2012), (Ozturk et al., 2013). Ennek segítségével a két változó, azaz a hőmérséklet és a nyomás egymással szemben mutatott kölcsönhatását tudtam vizsgálni. A változók két szélsőértéke közötti távolság felénél kiegészítettem a kísérleti tervet egy centrumponttal, ahol ismételt méréseket végeztem, melynek segítségével ellenőrizhető a folyamat stabilitása. Mivel a faktorok a legritkább esetben hatnak egymástól függetlenül, ezért célszerű együtt változtatni az összes faktort, és nem külön-külön keresni az optimumot. A kísérletterv előnye, hogy kevés mérés mellett is átfogó, jól értékelhető adatokat kapunk. A kísérletterv felépítését mutatom be a 4. ábra segítségével.



4. ábra: A központi összetett rotációs elrendezésű kísérleti terv felépítése

A vizsgálat során használt másodfokú polinomiális modell általános formájában két X változó szerepel, amelyet a következő egyenlet ír le:

$$Y = \beta_{11} + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_{11} * X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{12} X_1 X_2, \quad \text{1. egyenlet}$$

ahol:

- Y = a modellezendő független változó
- $\beta_1, \beta_2, \beta_{11}, \beta_{22}, \beta_{12}$ = a modell regressziós együtthatói
- X_1 = a hőkezelés hőmérséklete
- X_2 = a nyomáskezelés nyomásértéke

VIII. Táblázat: A kísérleti terv felépítése és a faktorok szintje a kódolt értékekkel

változó	Kódolt faktor	-1,175	-1,125	0	+1,125	+1,175
A hőkezelés hőmérséklete (°C)	X_1	53	55	60	65	67
A nyomáskezelés nyomásérték (MPa)	X_2	330	350	400	450	470

Az egyes kísérletekben alkalmazott kezelési hőmérséklet és a hozzájuk tartozó nyomáskezelési érték a VIII. Táblázatban található.

IX. Táblázat: A központi összetett rotációs elrendezésű kísérlettertven alkalmazott hő- és nyomáskezelési kezelési paraméterek

Kezelés sorszáma	Minta jelölése	Hőkezelési hőmérséklet (°C) (12 perc)	HHP kezelés (MPa) (5 perc)
kontroll	K	0	0
1	53+400	53	400
2	55+450	55	450
3	55+350	55	350
4	60+470	60	470
5	60+400	60	400
6	60+400	60	400
7	60+400	60	400
8	60+330	60	330
9	53+450	65	450
10	65+350	65	350
11	67+400	67	400

Az elvégzett kezelések paramétereit az IX. Táblázatban foglaltam össze. A mintákat a továbbiakban a IX. Táblázatban is használt megnevezésekkel fogom jelölni.

A kísérlet terv *középpontján* az alkalmazott paraméterek 60 °C és a 400 MPa. Ezen paramétereket a korábbi kísérleteim alapján választottam, ügyelve arra, hogy a kísérletben felhasznált legkisebb hőmérséklet (53 °C) és nyomásérték (330 MPa) a korábbi méréseim alapján még mikrobiológiai szempontból önmagukban is hatásosak legyenek a tojáslevek esetén (Tóth et al., 2017). A legnagyobb kísérletben alkalmazott hőmérséklet (67 °C) a 2.4.1.2. fejezetben ismertetett hőkezelési eljárás legnagyobb hőmérsékletével egyezik meg, tehát a szakirodalom alapján a még alkalmazható tartományba esik.

Ezt a kísérleti összeállítást elvégeztem a teljes, a fehérje- és a sárgájalevek esetén is. A különböző paraméterű kezeléseket véletlenszerű sorrendben végeztem el. A kontroll minta nem képezi a modell részét, így a statisztikai értékeléskor sem fogom figyelembe venni a kontroll minták eredményeit. A 3.2. fejezetben felsorolt méréseken felül vizsgáltam a minták viszkozitását, a tojássárgája-lé emulzióképző tulajdonságait, valamint a teljes tojáslé és tojásfehérje-lé habképzési és -stabilitási tulajdonságait is.

A modell kiértékelésekor a következő adatokat használtam fel:

- pH-értékek átlaga
- színmérés: L*, a*, b* átlaga
- fehérjék szerkezetének vizsgálata: denaturációs entalpia és csúcshőmérsékletek
- reológiai vizsgálat: az első szakasz utolsó mérési pontján mért nyírási feszültség (Pa)
- mikrobiológia: mezofil aerob mikrobaszám (log TKE/ml)

3.3. Alkalmazott módszerek

3.3.1. Az alkalmazott HHP kezelések

A minták nyomáskezelését RESATO FPU 100-2000 HHP (Assen, Hollandia) típusú nyomáskezelő berendezésben végeztem. A félüzemi berendezésben a nyomás növelésének sebessége 100 MPa/perc volt, míg a nyomás csökkentése a légköri nyomásra pillanatszerűen történt. A HHP kezelés szobahőmérsékleten zajlott, a nyomás növelésével, majd csökkentésével történő hőmérséklet-változás a mintákban elenyészőnek tekinthető.

A mintákat kezelést követően 4-6 °C-ra hűtöttem vissza és a mérésekig ezen a hőmérsékleten tároltam. Az egyes kísérleteknél alkalmazott nyomásértéket és kezelési időt az adott kísérletnél mutatom be.

3.3.2. Az alkalmazott hőkezelések

Az egyes hőkezeléseket 25 literes vízfürdős termosztátban (Labor Műszeripari Művek, LP 507/1) végeztem. A hőkezeléseket követően minden esetben jeges vízben hűtöttem vissza a mintákat 4-6

°C közötti hőmérsékletre, majd nyomáskezelttem, vagy vizsgáltam azokat. Az egyes kísérletekben alkalmazott hőkezelési paramétereket az adott kísérletnél mutatom be.

3.3.3. A pH-érték változásának vizsgálata

Az élelmiszerek pH-értéke rendkívül fontos tulajdonságuk, hiszen befolyásolhatja a mikroba szaporodását, ezáltal az eltarthatóságukat, valamint az érzékszervi tulajdonságok (illat, íz és szín) kialakulásában is fontos szerepet tölt be. A pH-értéket Testo 206 szűrőelektródás pH-mérőt (Testo AG, Lenzkirch, Németország) alkalmaztam. A mintákból 3 – 3 párhuzamos mérést végeztem.

3.3.4. A minták színének meghatározása

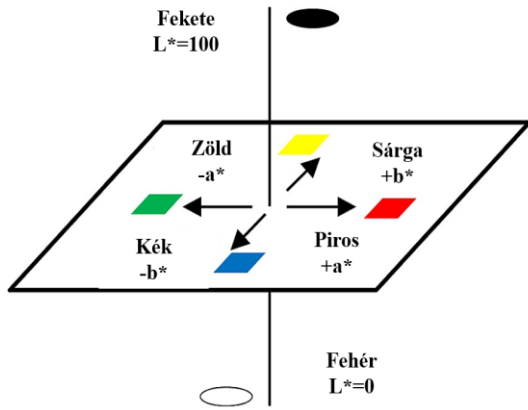
3.3.4.1. A szín objektív meghatározása műszeres méréssel

A szín az élelmiszerek egyik legfontosabb érzékszervi tulajdonsága, hiszen a fogyasztók gyakran ez alapján döntenek el, mely termék a tetszetősebb, melyiket vásárolják meg. Például az élénkebb, teltebb színű termékeket szívesebben vásároljuk, mint a halványabb, fakóbb árnyalatú terméket (Lee, Lee, Lee, & Song, 2013). Ezért objektív módon történő vizsgálatának egyre nagyobb a jelentősége (Xu, 2019).

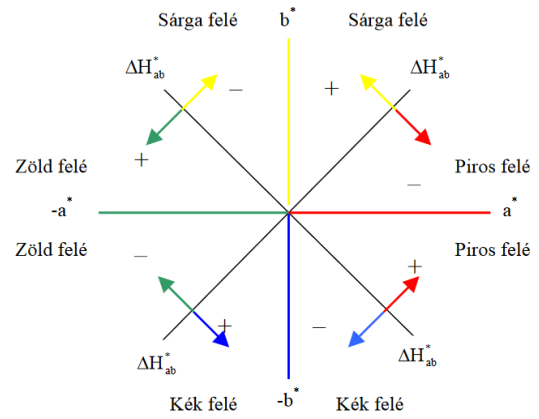
A műszeres színmérés segítségével szimulálhatjuk, hogy az emberi szem hogyan lát egy tárgyat és erről objektív, számszerű adatokat is kapunk. A szín mérésére több, nemzetközileg, a CIE (Commission Internationale d'Éclairage, Nemzetközi Világítástechnikai Bizottság) által elfogadott rendszer létezik. Ezek segítségével bármely anyag színét számszerű adatokkal írhatjuk le. A módszer azon alapszik, hogy bármelyik szín előállítható a három alapszínből, azaz a vörösből, a zöldből és a kékből. A fehér szín a három alapszín megegyező erősségű sugarainak, míg bármely más szín a három alapszín sugarainak különböző mennyiségű keveréke (Spence, 2019). A CIE Lab színrendszere hazánkban is szabványos, számos iparágban elterjedt módszer. A háromdimenziós színrendszer három tengelye: L*: világosság (0 – 100), a* vörös-zöld (+50 - -50) színezet és b* sárga-kék (+50 - -50) színezet (Wenzelné Gerőfy, 2015).

Az 5. ábra alapján minden színhez egyértelműen hozzárendelhető a színtérben egy színpont három koordinátával megadva. A CELab *színezeti szög* (h_{ab}°) a színpont színezetét jellemzi, a színvektor irányának a vörös iránytól való elforgatását jelzi a színtérben:

$$h_{ab}^{\circ} = \arccot \left[\frac{b^*}{a^*} \right] \quad \mathbf{2. \text{ egyenlet}}$$



5. ábra: A CIELab színrendszer sematikus ábrázolása (W. Liu, Ji, Chen, & Ye, 2014) alapján



6. ábra: A színezeti különbség (ΔH_{ab}^*) előjelének jelentése, forrás: (Hovorkáné Horváth, 2007)

A CIELab króma a telítettség jellemzője, a színpontnak az L^* tengelytől való távolságát jelenti. A színezeti értékek vektorszorzatával definiáljuk, vagyis, az a^* és b^* befogók által meghatározott derékszögű háromszög átfogója:

$$C_{ab}^* = ((a^*)^2 + (b^*)^2)^{\frac{1}{2}} \quad \text{3. egyenlet}$$

A színezeti különbséget (ΔH_{ab}^*) az alábbi képlettel számolhatjuk:

$$\Delta H_{ab}^* = [(\Delta E_{ab}^*)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C_{ab}^*)^2]^{\frac{1}{2}} \quad \text{4. egyenlet}$$

A színezeti különbség előjeléből következtethetünk a színezet változására a vonatkoztatási ponthoz képest, ezt szemlélteti a 6. ábra (Hovorkáné Horváth, 2007).

A minta színparamétereinek változását, vagy adott színmintától való eltérését a két színpont közötti térbeli távolsággal, a **színkülönbséggel/színingerkülönbséggel** (ΔE_{ab}^*) lehet jellemezni. A ΔE_{ab}^* színinger-különbség értékeit, azaz a két színpont közti színkülönbséget a CIE által 1976-ban elfogadott képlet segítségével a következő módon számolhatjuk:

$$\Delta E^* = \sqrt{(a^* - a_0^*)^2 + (b^* - b_0^*)^2 + (L^* - L_0^*)^2} \quad \text{5. egyenlet}$$

ahol a_0^*, b_0^* és L_0^* a kontroll mintára, a^*, b^* és L^* pedig a kezelt mintákra vonatkozó értékek.

X. Táblázat: Az érzékelhető színkülönbségek számszerűsített értékei (Dawson & Acton, 2018) nyomán

ΔE^*	Érzékelhető színkülönbség
<0,20	nem észrevehető
0,20 – 0,50	igen csekély
0,50 – 1,50	csekély
1,50 – 3,00	észrevehető
3,00 – 6,00	feltűnő
6,00 – 12,00	erősen észlelhető
> 12,00	igen nagy különbség

Minél nagyobb ΔE_{ab}^* értéke, annál inkább észrevehető az emberi szem számára a színkülönbség, ezt számszerűsítve az X. Táblázatban mutatom be.

3.3.4.2. A minták színének meghatározása

A szín mérését Konica Minolta CR-400 típusú színmérővel végeztem. A műszert a minták csomagolása során felhasznált PA_PE tasakon keresztül az etalon segítségével kalibráltam, majd 5-5 párhuzamos mérést végeztem minden minta esetében. Az így kapott értékeket átlagoltam, ezeket az adatokat használtam fel a kiértékelés során.

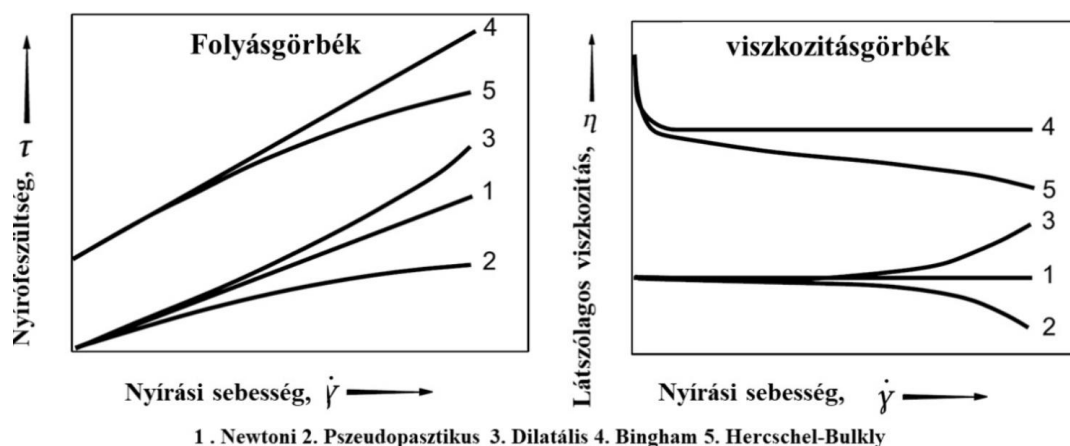
Kiszámoltam a minták színinger-különbségét (ΔE_{ab}^*), krómáját (C_{ab}^*), valamint színezeti különbségét (ΔH_{ab}^*) is, amelyeket a kontroll mintákhoz viszonyítottam. A minták színéből színezeti szöget is számoltam, amellyel a színezetben a kontrollhoz képest bekövetkező változást vizsgáltam.

3.3.5. A reológiai tulajdonságok vizsgálata

3.3.5.1. A reológiai mérések elméleti háttere

A reológia az anyagok erőhatására fellépő deformációját tárgyaló tudományág. A folyadékmolekulák kölcsönös vonzásának következménye, hogy a folyadékoknak van saját térfogatuk, azonban nincs állandó alakjuk. Az alakváltoztatás erő kifejtést igényel, ugyancsak erő szükséges ahhoz, hogy két folyadékréteget egymáshoz képest elmozdítsunk. Ez makroszkopikusan a *belső súrlódásban* (viszkózitásban) nyilvánul meg, azaz az áramlás előidézésére és fenntartására a belső súrlódás ellenében munkát kell végezni (Nagy, 2012).

Az élelmiszerek állománya rendkívül fontos tulajdonság, hiszen alapvetően határozza meg az adott élelmiszer küllemét, csomagolását, gyártástechnológiáját. A tojásleveknél a reológiai tulajdonságok közül talán a legcélszerűbb a látszólagos viszkózitást vizsgálnunk, hiszen ez meghatározza a termék feldolgozhatóságát (pl. szivattyúzhatóságát, keverhetőségét).



7. ábra: A nemnewtoni folyadékok folyás- és viszkózitásgörbéi (Figura & Teixeira, 2007) felhasználásával

A többkomponensű folyadékok, a kolloid rendszerek folyási tulajdonságai eltérést mutatnak a tiszta, egykomponensű folyadékok viselkedését leíró, ún. Newton-egyenlettől. Viszkózitásuk csak ún. *látszólagos viszkózitás* (η^*), mely adott nyírófeszültség értékhez tartozik. Ezen folyadékoknál

nem áll fenn egyenes arányosság a sebességgradiens és a nyírófeszültség között, a látszólagos viszkozitás változik a nyírófeszültség függvényében. A nem-newtoni folyadékok reológiai tulajdonságainak egzakt jellemzésére a folyás ($D-\tau$) és viszkozitás ($\eta^*-\tau$) görbék szolgálnak (Nagy, 2012), (Tatar, Sumnu, & Sahin, 2017), amelyeket a 7. ábra szemléltet. A tojáslevek úgynevezett nem-newtoni folyadékok, vagyis legjobban a folyás- és viszkozitásgörbékkel jellemezhetők (de Souza & Fernández, 2013).

A Herschel–Bulkley modell a hatványtörvény (power-law modell) egy módoszata, amelyet a következő képlettel írhatjuk le:

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n, \quad \text{6. egyenlet}$$

ahol:

- τ : nyírófeszültség, Pa
- τ_0 : folyáshatár, Pa
- K : konzisztencia állandó, $\text{Pa}\cdot\text{s}^{-n}$
- $\dot{\gamma}$: deformációs sebesség, $1/\text{s}$
- n : folyásindex: a newtoni közegtől való eltérést számszerűen kifejező hatványkitevő (Ahmed, 2017), (Ahmed, Ptaszek, & Basu, 2017), (Herschel & Bulkley, 1926).

A modell illesztése során az előző képletben feltüntetett értékeket kapjuk meg, illetve a modell illeszkedésének jóságát (R^2), amelyeket a későbbiekben táblázatos formában mutatok be.

A második kísérletnél (4.2.3 fejezet) vizsgáltam a minták *trixotróp* viselkedését is. A *tixotrópia* oka az, hogy nagyobb erő (nyírási feszültség) hatására az anyag belsejében átrendeződnek, tömörödnek a korábban kialakult szerkezetek (pl. fehérje- és lipid szerkezetek) (Figura & Teixeira, 2007), (Bourne, 2002). A tixotrópia mértékére a hiszterézis hurok nagyságából következtethetünk (Nagy, 2012). A hiszterézis hurok területét a viszkozitásgörbék gyorsuló és lassuló mérési szakaszai közötti területként számoltam ki.

3.3.5.2. A tojáslevek reológiai tulajdonságainak vizsgálata

Kísérletimben Anton Paar típusú viszkozimétereket alkalmaztam. A műszereket a RheoCompass TM v. 1.23 program vezérelte. A méréshez CC27-SN16145; ($d=0$ mm) típusú, koncentrikus cylinder mérőrendszert használtam.

XI. Táblázat: A reológiai vizsgálatok során alkalmazott beállítások áttekintése

Kísérlet	Műszer típusa	mérési tartomány (1/s)	intervallumok száma	intervallumomként felvett mérési pontok száma
1.	MCR 82	10 - 1000 TTL, TFL: 100 –	2	31
2.	MCR 82	1000 TSL: 10 - 1000	2	31
3.	MCR 82	100 – 1000	1	19
5.	MCR 92	10 - 1000	2	31

A mérés hőmérséklete 15 °C volt, a mérési tartomány és a felvett pontok száma a XI. Táblázatban látható. Mintánkként 3 – 3 párhuzamos mérést végeztem, amelyek eredményeit a Herschel–Bulkley modell segítségével értékeltem ki, amelyet a lassuló szakasz mérési pontjaira illesztettem. A *harmadik kísérletnél* más mérőfejet alkalmaztam. Ebben az esetben azonban csupán a gyorsuló szakaszt vettem fel, így a Herschel–Bulkley modellt is erre a szakaszra illesztettem., Az alkalmazott mérőrendszer ezúttal a ST24-2D/2V/2V-30-SN13856; (d=0 mm) volt.

3.3.6. A mezofil aerob csíraszám vizsgálata

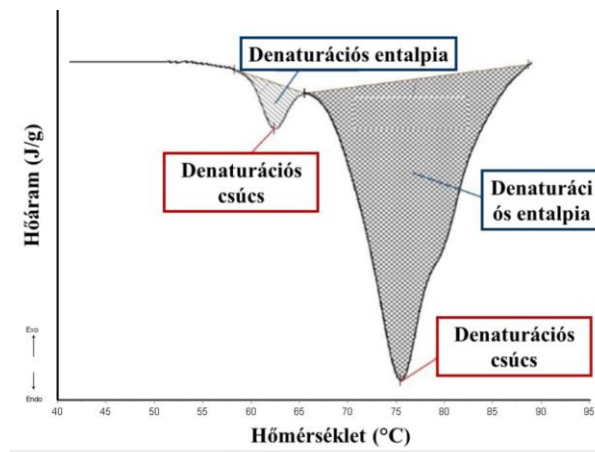
A mikrobiológiai vizsgálatok középpontjában a mezofil aerob összescsíraszám kezelése hatására bekövetkező változása állt. A mintákat a HHP kezelést követő 24 órán belül Nutrient agarra decimális hígítási sorból szélesztettem. A minták inkubálása 24 órán át 30 °C-on történt (Gill, Greer, & Nattress, 2014). Minden mintából 3 – 3 lemezre történt leoltás.

3.3.7. DSC vizsgálatok

A differenciáló pásztázó kalorimetrikus mérésekkel (differential scanning calorimetry, DSC) arra következtethetünk, hogy az alkalmazott kezelés (pl. a hőkezelés, vagy HHP kezelés) milyen mértékben módosítja a fehérjék szerkezetét, mennyire denaturálja azokat (Nakai, 1996). Kalorimetrikus vizsgálataimat a Micro DSC III differenciáló pásztázó kaloriméterrel (SETARAM, Calurie, Franciaország) végeztem.

Mintánkként 778±5 mg mintát mértem be az erre a célra kialakított rozsdamentes acél mintatartókba, referenciaként desztillált vizet alkalmaztam. A mérési program 2 perc 20 °C-on történő termosztálással kezdődött, majd a felmelegítési sebességet 1,5 °C/percre állítottam a 20 és 95 °C közötti tartományban. A 95 °C-os maximális hőmérsékletet elérve a minták lehűtéséhez 1,5 °C/perc hőmérséklet-csökkenést alkalmaztam, a mérési programot a SetSoft2000 szoftver irányította. Minden mintából 3-3 párhuzamos mérést végeztem.

A teljes denaturációs entalpia számításához a termogramokat 45 és 90 °C között ábrázoltam és Callisto 7.6 szoftver segítségével értékeltem. A teljes denaturációs entalpia a görbe alatti területből számítható, amely tojásfehérje- és teljes tojásle esetén két minimum ponttal rendelkező görbe, ezt szemlélteti a 8. ábra. A két csúcs 60 és 80 °C körül jelentkezik, az első az ovotransferrin, míg a második első sorban az ovalbumin denaturációjából származik. A kettő között – esetenként – felfedezhető csúcs a lizozim denaturációjára utal (Talansier et al., 2009).



8. ábra: A nyers teljes tojásra jellemző termogram (Tóth et al., 2017) alapján

3.3.8. Késztermékek előállítása a hő- és nyomáskezelt tojáslevekből

A második és negyedik kísérletnél késztermékeket készítettem a mintákból. A második kísérletnél „omlett” és habcsók mintákat, míg a negyediknél a tojásfehérje-léből is „omlettet” sütöttem. A nyomáskezelt teljes tojásleéből, illetve tojássárgája-léből „omlettet” készítettem. Egy 12 adagos szilikon muffinsütő formába 50-50 g mintát mértem ki konyhai mérleg segítségével. Ezt követően a Lainox VE 051P típusú vákuumfőző berendezést légkeveréses módban 180 °C-ra felmelegítettem és 10 percen keresztül sütöttem a mintákat ezen hőmérsékleten. Minden mintából 10 – 10 „omlettet” sütöttem, amelyekből hármat az érzékszervi bírálatokra, hetet pedig az állományméréshez használtam fel.

A HHP kezelt tojásfehérje-léből konyhamérleg segítségével 100 – 100 g mintát mértem ki, amelyeket egy keverőtálban SilverCrest kézihabverő (600 W) segítségével 10 perc alatt kemény habbá vertem. A hab felverése közben 100 g kristálycukrot adtam a fehérje-léhez, amelyet a 2. és 5. perc keverés után adtam a mintákhoz. Az így nyert tojásfehérjehabot habzsákba töltöttem és 5 cm átmérőjű, 2 cm magas habcsókokat formáztam belőlük zsírpapírral borított sütőlapra. A Lainox VE 051P típusú vákuumfőző berendezést légkeveréses üzemmódra állítva, 130 °C-on szárítottam a habcsókokat 20 percen keresztül.

3.3.9. A HHP kezelt mintákból készült késztermékek állományának vizsgálata

A második kísérletben kezelt mintákból objektív módszerrel is vizsgáltam az állomány-jellemzőket.



9. ábra: Az omlett minták állományának vizsgálata TPA módszerrel

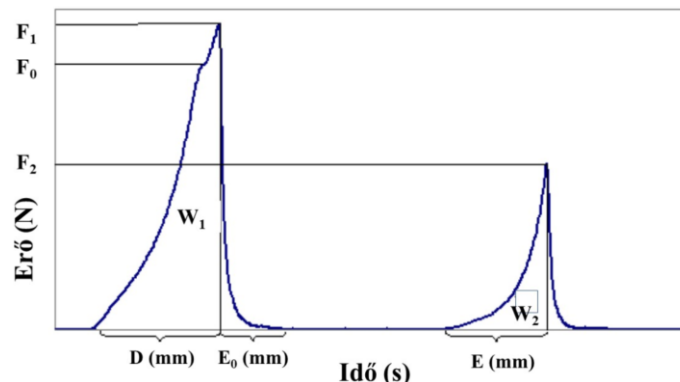


10. ábra: A habcsók minták roppanóságának vizsgálata

A termékek állományának mérését a Stable Micro System (SMS) TA. XT Plus (Godalming, Egyesült Királyság) állománymérő berendezés segítségével vizsgáltam. A teljes tojásléből, illetve a tojássárgája léből készült omletten a keménységet és tapadást (9. ábra), míg a tojásfehérjéből sült habcsókon a roppanóságot (10. ábra) vizsgáltam. Az eredmények kiértékeléséhez a Texture Exponent 32 szoftvert használtam.

3.3.9.1. TPA módszer

Az omlett minták esetében a TPA (texture profile analysis), vagyis állományprofil analízis módszert alkalmaztam. A mérésből kapott erő-deformáció görbékből a keménység (F , N) és a tapadás (F_2 , N) közvetlenül leolvasható, amelyet a 11. ábra szemléltet.



11. ábra: A tipikus TPA görbe (Koncz, Pásztorné Huszár, Horti, & Dalmadi, 2005) alapján

A vizsgált minta rugalmassága, kohezivitása, rághatósága a következő számítási módon határozható meg (Darnay, 2016), (Koncz et al., 2005):

- W_1 , W_2 (mJ): az adott deformáció eléréséhez szükséges munka az első, illetve második összenyomás során, a görbe alatti terület az első, illetve második összenyomásig
- K (-): a mintát összetartó belső kötések ereje,

$$K = \frac{W_1}{W_2} \quad 7. \text{ egyenlet}$$

- E (mm) a mintát deformáló erő megszüntetése után visszanyert magassága, a rugalmasság
- R (J): rághatóság, a szilárd élelmiszer teljes szétrágásához szükséges energia, mértéke a keménység, kohezivitás és a rugalmasság elsődleges paramétereirez kapcsolódik:

$$R = F_1 * K * E \quad \text{8. egyenlet}$$

A TPA módszerhez az állománymérő 100 mm átmérőjű hengeres feltétjét használtam. a 60 mm átmérőjű és 12 mm magasságú omlett mintákat 20 °C-on temperáltam a mérést megelőzően. A mérés során a mintákat 2 mm/s sebességgel nyomtam össze kétszer, az összenyomás mértéke 20% volt.

3.3.9.2. A roppanósság vizsgálata

A tojásfehérje-léből készült habcsókrok roppanósságának vizsgálatához penetrációs módszert választottam. A penetrációhoz 10 mm átmérőjű tűmérőfejjel, 2 mm/s mérési sebességgel szúrtam meg a habcsókrokot. A mérőfej 2 mm mélységig hatolt a mintákba, mintegy megroppantva a habcsók felszínét. A mért maximális erő jelenti a habcsók szerkezetének megroppantásához szükséges erőt, amelyet a továbbiakban csak roppanósságként fogok nevezni.

3.3.10. A HHP kezelt mintákból készült késztermékek érzékszervi vizsgálata

A bírálatokon összesen 12 – 12 laikus bíráló vett részt. Mindhárom késztermék esetében 1 és 10 pont közötti pozitív pontozásos rendszerben kellett bírálniuk a mintákat (1: nem kedvelt, 10 nagyon kedvelt). A bírálati szempontok minden esetben a következők voltak: szín, illat, alak, állomány (rágás közben), íz és összbenyomás. Az érzékszervi bírálatához a teljes tojásleéből, illetve a tojássárgája-léből készült omletteknél a mintákat még melegen tálaltam a bírálóknak, hiszen az omlettet, tojásrántottát általában melegen szoktuk fogyasztani (12. ábra). A bírálatok során használt bírálati lapot az 1. Melléklet szemlélteti.



12. ábra: Az érzékszervi bírálatra elkészített tojássárgája-omlettek a második kísérletnél

A habcsókrokot az érzékszervi bírálat során szobahőmérsékleten bírálták a bírálók. Minden bírálatnál háromjegyű számkóddal láttam el a mintákat, így a bírálók a minták jelöléséből nem állítanak fel sorrendet, nem vonnak le következtetéseket. A mintákat minden esetben véletlenszerű

sorrendben kapták meg a bírálók, ezzel is elkerülve a sorrendből származó torzító hatásokat (Miller, 2017).

3.3.11. *Az emulzióképző tulajdonság vizsgálata*

Az emulzió két vagy több, egymással nem elegyedő folyadék által képzett diszperz rendszer, melyben a nagyobb arányban jelen lévő alkotó összefüggő fázisában a másik alkotó kisebb-nagyobb cseppek formájában oszlik el. Az emulziók nem stabil rendszerek, mert a sűrűségkülönbség és a folyadékok közötti eltérő felületi feszültség hatására szétválhatnak (Tatar et al., 2017). A kísérlet során a sárgája levek emulzióképző tulajdonságát vizsgáltam. A tojássárgája fehérjéi többnyire zsírokhoz kötődnek, melyek nagy részét a 80-90% zsírt tartalmazó LDL (kis sűrűségű fehérje-zsír komplex) adja, mely jó emulzióképző tulajdonságokkal rendelkezik (Zychowski et al., 2019).

A mintákból mérőhengerrel kimértem 100 ml-t, majd 50 ml étolajjal elegyítettem őket egy SilverCrest (300 W) márkájú kézi habverő segítségével. A habverőt a legmagasabb fordulaton használtam 1 percen keresztül. Az így elkészült emulzióból 45 - 45 ml-t centrifugacsövekbe öntöttem, lezártam, majd 24 óra elteltével 7000 1/perces fordulatszámon 10 percig centrifugáltam őket szobahőmérsékleten. A felülúszó étolajat egy mérőhengerbe töltöttem, és feljegyeztem, hány ml vált ki az emulzióból. Mintánkként 3 párhuzamos mérést végeztem.

3.3.12. *A habképződési és habstabilitási tulajdonságok vizsgálata*

Az élelmiszerhabok folytonos folyadék- vagy félszilárd hártákba ágyazott gázbuborék-diszperziók. Ezeknek a hártáknak a rugalmasságát a bennük található felületaktív anyagok, mint például a fehérjék biztosítják (Csapó & Csapóné Kiss, 2003). A tojás fehérjéi az egyik legjobb habképző fehérjék, ezért előszeretettel alkalmazzák az élelmiszeriparban lazítóanyagként sütőipari termékek, sütemények, kekszek előállításakor.

A mérést (Patrignani et al., 2013) módszere alapján végeztem, melynek során a tojásfehérje leveket és a teljes tojásleveket vizsgáltam. A mintákból 100-100 ml-t kimértem egy mérőhenger segítségével. SilverCrest (300 W) habverő legerősebb fokozatán 60 mp-ig vertem a tojásleveket, majd 30 percig hagytam állni a habot szobahőmérsékleten. A 30 perc letelte után az edény oldalán lévő skála segítségével leolvastam, mennyi a kiváló lé térfogata. Mintánkként három párhuzamos mérést végeztem.

A habképződést a következő képlettel számoltam ki:

$$\text{Habképződés (\%)} = \frac{\text{a képződött hab térfogata}}{\text{kiindulási folyadék térfogata}} * 100 \quad \text{9. egyenlet}$$

A habstabilitást a következő képlet alapján számoltam:

$$\text{Habstabilitás (\%)} = \frac{\text{a hab térfogata a 30.percben}}{\text{a hab térfogata a 0.percben}} * 100 \quad \text{10. egyenlet}$$

3.3.13. *Az eredmények statisztikai értékelése*

A szín változásának statisztikai értékeléséhez egytényezős varianciaanalízist (egytényezős ANOVA-t) végeztem SPSS Statistics v20.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) szoftver segítségével. A különbségeket mindhárom szintényező, L*, a* és b* esetén vizsgáltam. A szignifikancia szintet $p < 0,05$ -ra állítottam. Az eredmények további elemzéséhez post hoc vizsgálatokat is végeztem, amelyek pontos képet adnak arról, mely kezelések hatása között volt szignifikáns az eltérés (Brown, 2005), (Kucuk, Eyuboglu, Kucuk, & Degirmencioglu, 2016). A két általam alkalmazott post hoc vizsgálat a Tukey HSD és LSD tesztek voltak. Ugyanezen módszert alkalmaztam a pH-nál, illetve a DSC mérésből származó adatoknál is. A statisztikai elemzésben megvizsgáltam a denaturációhoz szükséges hőáram változását, illetve a denaturációs hőmérsékletek változását.

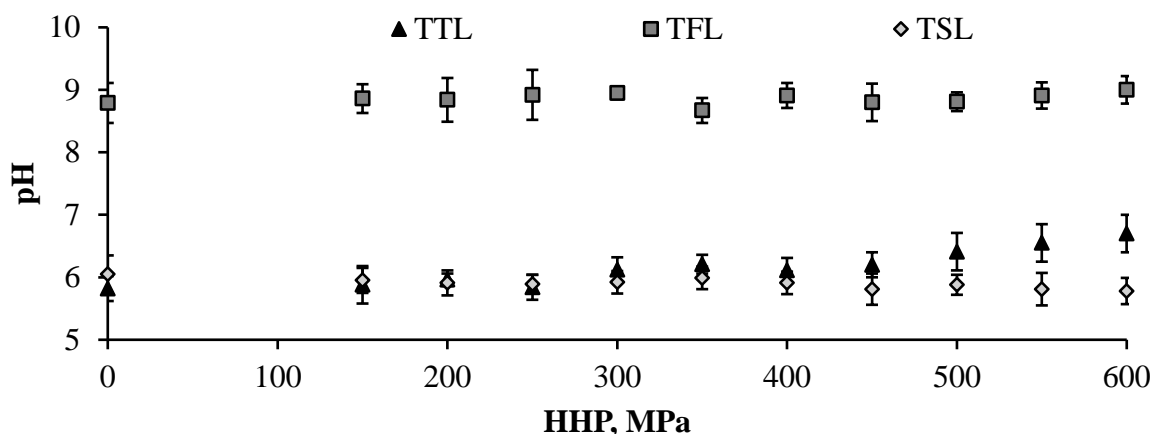
A negyedik kísérlet eredményeit kéttényezős varianciaanalízissel értékeltem a kombinált kezelések sorrendjének hatását vizsgálva. A statisztikai értékeléshez SPSS Statistics v20.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA) statisztikai szoftvert használtam. A statisztikai értékelést a többi kísérletnél is vizsgált paraméterekre végeztem el.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A HHP kezelés nyomásértékének hatása a tojáslevekre

4.1.1. A tojáslevek pH-értékének változása

Az élelmiszerek pH-értéke rendkívül fontos jellemzőjük. A nagy fehérje tartalmú élelmiszereknél változásának nyomon követése elengedhetetlen, mivel, ha a változás a fehérjék izoelektromos pontja körül történik, ez befolyásolja a fehérjék szerkezeti változásait.



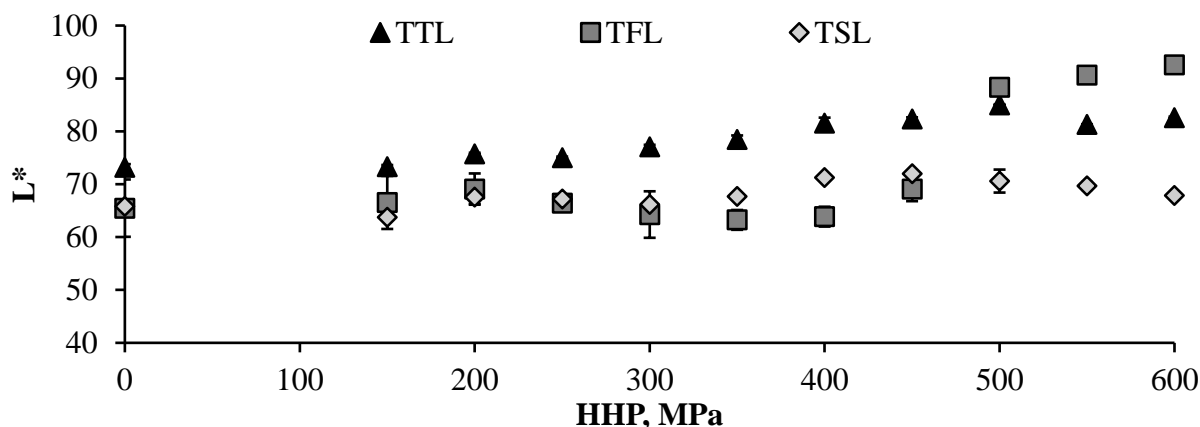
13. ábra: A tojáslevek pH-értékének alakulása az alkalmazott HHP kezelés nyomásértékének hatására

A HHP kezelés kismértékben befolyásolta csak a tojáslevek pH-értékét (13. ábra). A *fehérje-lé* esetében a 600 MPa-on történt kezelés is csupán 0,21 emelkedést eredményezett. Ez gyakorlati szempontból elenyésző, ugyanis a tojóállomány takarmányozása, illetve a héjas tojásban tárolás alatt lejátszódó folyamatok is legalább ekkora pH-növekedést eredményeznek (Wang et al., 2015). Ennek ellenére a statisztikai értékelés alapján a *sárgája-lé* pH-értékében minden kezelés szignifikáns változást eredményezett, a *fehérje-lénél* a 250 MPa fölötti nyomásértékek, míg a teljes tojásnál egyik kezelés sem okozott szignifikáns változást.

A *teljes tojáslé* esetén kontrollhoz képest 0,88-dal nagyobb pH-értéket állapítottam meg a 600 MPa-on kezelt mintánál. Ezzel szemben a *sárgája-lé* esetében csökkenést tapasztaltam, pH-értéke 6,05-ről 5,78-ra csökkent. Ez jól mutatja, hogy a *sárgája-* és a *fehérje-lé* bioaktív komponensei különbözően reagálnak a nyomáskezelésre. A 600 MPa-on kezelt tojássárgája pH-értéke a lipovitelinek izoelektromos pontját (ip) megközelítette (5,7), míg a teljes tojáslé pH-értéke a nyomáskezelések hatására az ovotranszferrin (6,1) és ovoglobulin (5,5-5,8) ip-ja fölé emelkedett. A pH-érték változását valószínű, a fehérjék szerkezetében bekövetkező változásokkal magyarázhatjuk, míg a nagy fehérjetartalmú termékeknél (pl. húskészítmények (Ros-Polski et al., 2015)) gyakran számolnak be pH-változásról, addig a kismennyiségű fehérjét tartalmazó élelmiszereknél (pl. gyümölcslevek) gyakran nincs szignifikáns változás (Varela-Santos et al., 2012).

4.1.2. A tojáslevek színének változása

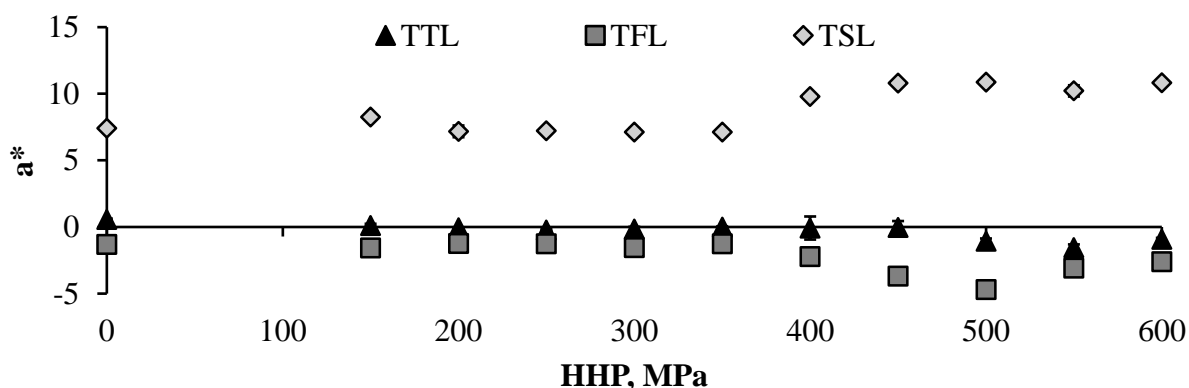
Az élelmiszerek színe az egyik legfontosabb érzékszervi jellemzőjük, hiszen a fogyasztó gyakran ezt érzékeli elsőként az élelmiszer jellemzői közül. Általában ez alapján választjuk ki a megvásárolni kívánt élelmiszert a boltok polcairól, vagy a szín alapján társítunk érzelmeket a termék elfogyasztásakor (Lee et al., 2013).



14. ábra: A HHP kezelt tojásle minták L* világossági tényezőjének alakulása az alkalmazott nyomás függvényében

A világossági tényezőt (14. ábra) vizsgálva látjuk, hogy a teljes tojásle a kisebb nyomásértékek hatására világosodott, azonban nem a legnagyobb nyomásértékek eredményezték a legnagyobb változásokat. A legvilágosabbnak 500 MPa-on mutatkoztak a teljes tojásle minták, majd 550 és 600 MPa-on némileg kisebb L* értékeket állapítottam meg. A statisztikai értékelés alapján az 500 MPa és annál nagyobb nyomásértékek okoztak szignifikáns változást.

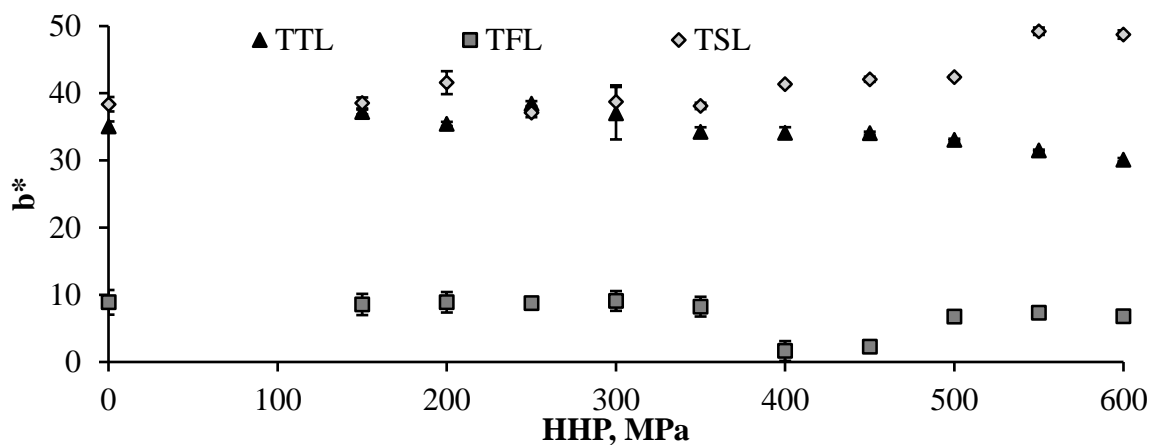
A fehérje-lé világossági tényezőjére a 250 MPa fölötti nyomásértékek szignifikáns hatással voltak. 200 és 400 MPa között a fehérje-lé L* értéke csökkent, majd a nagyobb nyomásértéken L* értékei nőttek.



15. ábra: A HHP kezelt tojásle minták a* vörös-zöld tényezőjének alakulása az alkalmazott nyomás függvényében

A 18. ábra illusztrálja, hogy a 400 MPa-nál nagyobb nyomásértékek hatására már valóban igen jól látható a minta világosodása és a fehérje agglomerátumok képződése. A sárgája-lénél 150 MPa

csökkentette L^* értékét, míg afelett növekedést tapasztaltam. A post hoc tesztek alapján a 400 MPa és afölötti nyomásértékek okoztak szignifikáns változást. A statisztikai értékelés alapján a* változása a teljes tojáslénél 500 MPa-tól, fehérje- és sárgája-lénél 400 MPa-tól szignifikáns.



16. ábra: A HHP kezelt tojáslé minták b^* sárga-kék tényezőjének alakulása az alkalmazott nyomás függvényében

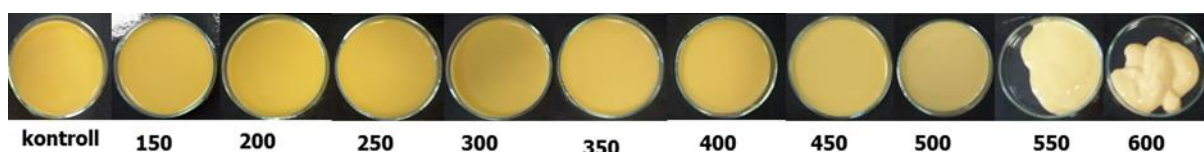
A teljes tojáslé sárga-kék szintényező értékei 350 MPa-ig nő (16. ábra), majd ennél nagyobb nyomásértékeken csökken. A fehérje-lé mintáknál csökkenést tapasztaltam a sárga színezetben. Ez valószínű a fehérjék szerkezeti átalakulásával, részleges denaturációjával hozható összefüggésbe.

A sárgája-lé sárga színárnyalata nőtt a 16. ábra alapján, azonban a mintákról készült fényképeken ezt szabad szemmel nem látjuk (19. ábra). A teljes tojáslé és fehérje-lé b^* értékei nem változtak szignifikánsan, ugyanakkor a sárgája-lénél a 200 MPa-on végzett kezelés okozott szignifikáns különbséget a kontroll b^* értékéhez viszonyítva. Eredményeim alapján a teljes tojáslé és tojássárgája-lé pH-értéke és b^* értékei ellentétes irányú változásokat mutatnak a nagyobb nyomásértékeken: 350 MPa és annál nagyobb nyomásérték hatására a teljes tojáslé minták pH-értéke növekedést mutatott, míg b^* értékei csökkentek. Ezzel szemben a sárgája-lé pH-értéke csökkent, míg a b^* nőtt.

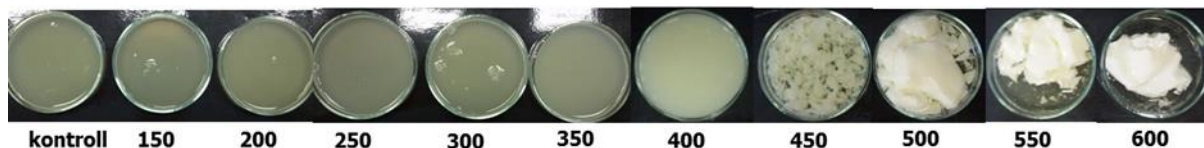
A kontroll mintához számított legnagyobb ΔH_{ab}^* értékeket, tehát a kontrollhoz viszonyított legnagyobb színezeti különbségeket a fehérje-lénél számoltam, ahogyan a legnagyobb színíngerekülönbségeket (ΔE_{ab}^*) is. Ezzel szemben a fehérje-lé C_{ab}^* értékei csökkentek, vagyis színe „fakult”, kevésbé telített lett. A fehérje-lé színtelítettsége annál kisebb volt, minél nagyobb nyomásértéken kezeltem (2. Melléklet). A teljes tojáslé esetében szintén csökkent a króma értéke. A teljes tojáslé ΔE_{ab}^* értékei növekedtek a legkisebb mértékben a három tojáslé közül. A teljes tojáslé színére volt a legkisebb hatással a nyomásérték növelése.

A sárgája-lé nagy mennyiségű karotinoid vegyületet tartalmaz, amelyről azt feltételezhetnénk, hogy nyomás okozta szerkezeti átalakulása eredményezhette a változásokat a^* és b^* értékeiben. Mangóleveken végzett HHP kezelés hasonló eredményeket hozott b^* értékében. A mangólé sárga-

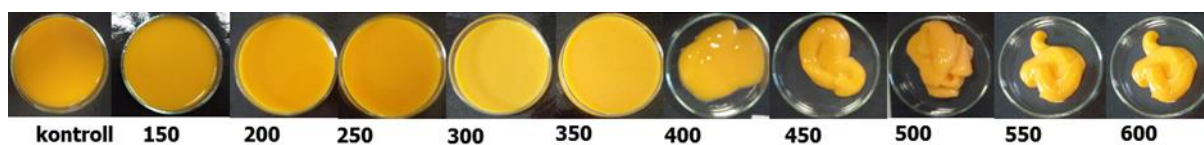
kék színezete már a nyomáskezelést (600 MPa, 1 perc) követően is csökkent, majd tovább csökkent a 16 hetes tárolás során (F. Liu, Wang, Li, Bi, & Liao, 2014).



17. ábra: A HHP kezelés hatására bekövetkező szín- és állomány-változás a teljes tojáslé mintákban



18. ábra: A HHP kezelés hatására bekövetkező szín- és állomány-változás a tojásfehérjélé mintákban



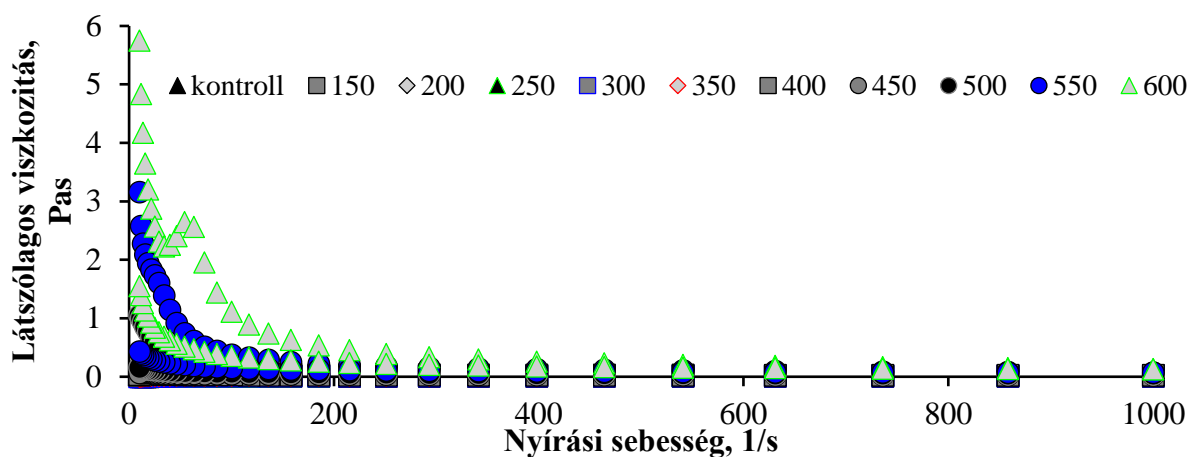
19. ábra: A HHP kezelés hatására bekövetkező szín- és állomány-változás a tojássárgájálé mintákban

A tojássárgája karotinoid vegyületei ugyanazon mechanizmussal oxidálódnak, mint a lipidek (Zanardi, Novelli, Ghiretti, & Chizzolini, 2000). Ennek ellenére Andrassy és munkatársai tanulmányukban, amelyben a sárgája színét vizsgálták 500 MPa, 5 perc HHP kezelést követően, rámutattak, hogy a karotinoid vegyületek szerkezetében nem következik be változás. Azonban lipid-oxidáció lép fel (Andrassy et al., 2006). Tehát a sárgája-lé színének változása a fehérjék denaturációjára és a lipid-oxidációra vezethető vissza.

4.1.3. A tojáslevek reológiai tulajdonságainak változásai

A HHP hatására a színen kívül bekövetkező szemetűnő változása az állományban következett be, amely az egyes tojásleveknel különböző nyomásértéktől figyelhető meg.

A teljes tojáslé szerkezete bizonyult a legellenállóbbnak a kezeléssel szemben (17. ábra), csak az 550 és 600 MPa-on végzett kezelés okozott szabadszemmel is látható változást. A minták viszkozitásgörbéit mutatja be a 20. ábra.



20. ábra: A teljes tojáslé viszkozitásgörbéjének alakulása a nyomáskezelés nyomásértéknek hatására

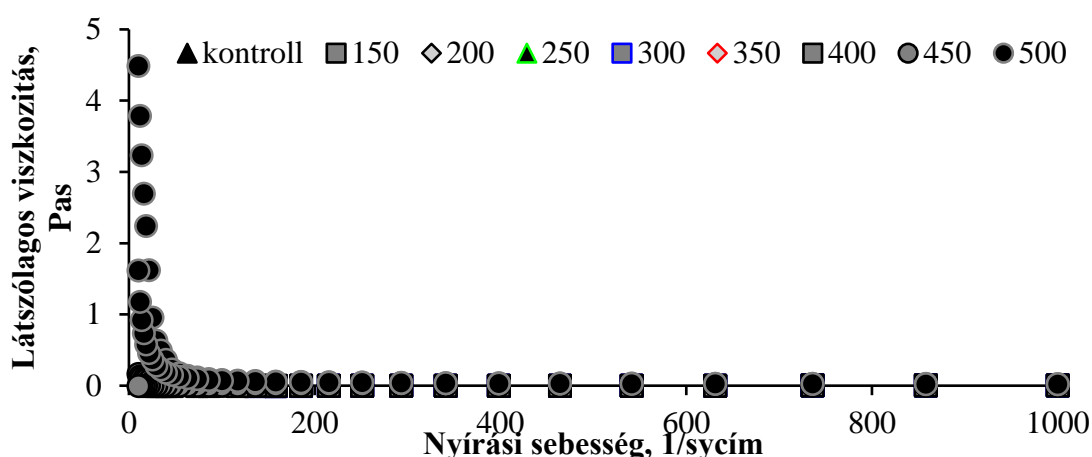
A kontroll viszkozitásgörbéjéről olvashatjuk le a legkisebb látszólagosviszkozitás-értékeket. Minél nagyobb nyomásértéket alkalmaztam, annál nagyobb nyírásifeszültség-értékeket mértem a nyírási sebesség függvényében, tehát a minták látszólagos viszkozitása is nőtt. A gyorsuló és lassuló szakasz mérési pontjai nem esnek egymásra, a lassuló szakasz mérési pontjai kisebb látszólagos viszkozitás-értékeket mutatnak. Ennek oka, hogy a teljes tojáslé állományát roncsolja a mérőfej forgása. Ez a tixotróp viselkedés valószínű a fehérjeagglomerátumok és lipid vegyületek nagyobb nyomásértékek hatására kialakult térbeli szerkezetének roncsolását jelentette. Hasonló tixotróp viselkedés figyelhető meg pl. habart állományú, zsíros joghurtoknál is (Wong, Wicklund, Bridges, Whaley, & Koh, 2019).

XII. Táblázat: A Herschel–Bulkley modell számolt értékei a különböző nyomásértékeken 5 percig nyomáskezelt teljes tojáslé mintáknál

HHP, MPa	τ_0 (Pa)	K (Pas ⁻ⁿ)	n	R ²
0	0,00E+00 ±0,00	8,45E-03 ±3,1E-04	1,10 ±0,06	0,9998
150	0,00E+00 ±0,00	9,58E-03 ±1,8E-04	1,08 ±0,05	0,9997
200	0,00E+00 ±0,00	9,19E-03 ±2,4E-04	1,08 ±0,03	0,9998
250	0,00E+00 ±0,00	1,36E-02 ±1,1E-04	1,04 ±0,11	0,9999
300	0,00E+00 ±0,00	1,68E-02 ±2,1E-04	1,02 ±0,02	0,9999
350	1,04E-02 ±0,002	2,25E-02 ±2,1E-04	1,00 ±0,09	0,9999
400	1,20E-02 ±0,09	4,38E-02 ±9,4E-04	0,94 ±0,08	0,9999
450	2,07E-02 ±0,09	1,22E-02 ±3,4E-04	0,91 ±0,08	0,9998
500	6,48E-01 ±0,21	1,81E-01 ±9,4E-04	0,81 ±0,06	0,9999
550	2,46E+00 ±0,34	4,53E-01 ±2,4E-04	0,73 ±0,05	0,9997
600	1,28E+01 ±0,61	8,22E-01 ±1,1E-04	0,72 ±0,07	0,9995

A XII. Táblázatban foglaltam össze a mérési pontokra illesztett Herschel–Bulkley modell számolt értékeit. Látjuk, hogy a folyáshatár, τ_0 értékei nőttek a nyomásérték növelésével, ahogyan a konzisztencia állandó, K értékei is növekedést mutatnak. Ezzel szemben a folyásindex, n kismértékű csökkenést mutat. A newtoni folyadékok tulajdonságaitól való eltérést n jellemzi: ha n értéke 1-hez közelít newtoni folyadékról beszélünk, ha 0 és 1 közötti értéket vesz fel, pszeudoplasztikus folyadékkal van dolgunk. Az eredményeim alapján a teljes tojáslé a közel

newtoni folyadékból pszeudoplasztikussá válik, ami a nyomásérték növelésével korrelációt mutat. Korrelációs együtthatójuk -0,93.



21. ábra: A tojásfehérje-lé viszkozitásgörbéjének alakulása a nyomáskezelés nyomásértéknek hatására

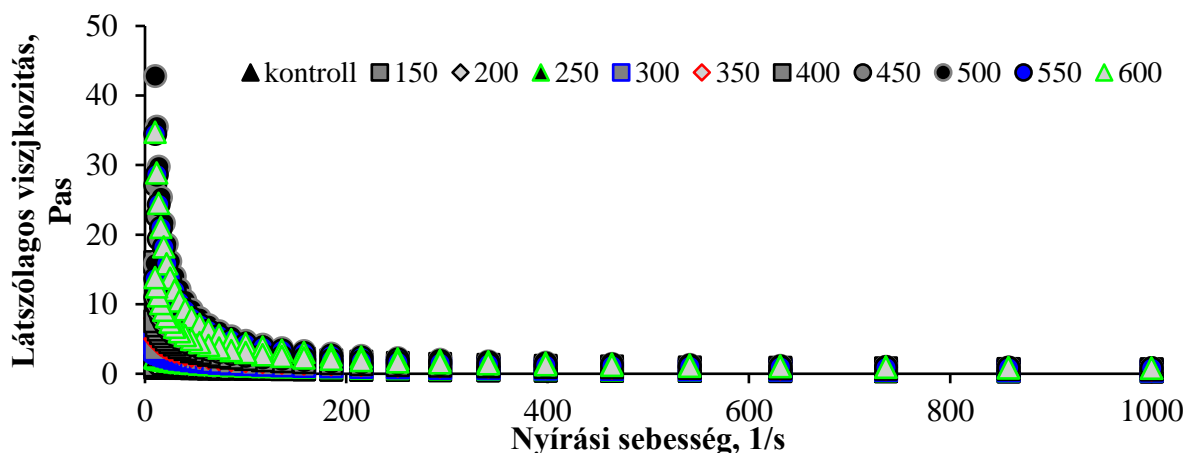
A fehérje-lé állománya 450 MPa-tól változott olyan mértékben, hogy azt szabad szemmel is jól érzékeljük. A 18. ábra szemlélteti, hogy a fehérje-lé nem homogén, géles szerkezetet vett fel, hanem darabos, fehérje agglomerátumokból és „savóból” álló mintákat kaptam. Ez a jelenség az 550 és 600 MPa-on kezelt mintáknál olyan mértéket öltött - ezt kiválóan szemlélteti a 18. ábra -, hogy az alkalmazott módszerrel már nem vehető fel a folyásgörbe, ezért ezek az értékelésbe sem kerülhettek be. A 21. ábra mutatja be a fehérje-lé viszkozitásgörbéit. A legnagyobb látszólagos viszkozitás-értékeket az 500, 550 és 600 MPa-on kezelt mintáknál mértem.

XIII. Táblázat: A Herschel–Bulkley modell számolt értékei a különböző nyomásértékeken 5 percig nyomáskezelt tojásfehérje-lé mintáknál

HHP, MPa	τ_0 (Pa)	K (Pas ⁻ⁿ)	n	R ²
0	0,00E+00 ±0,00	1,26E-05 ±2,2E-06	1,93 ±0,027	0,9983
150	0,00E+00 ±0,00	1,27E-04 ±6,1E-05	1,59 ±0,086	0,9982
200	0,00E+00 ±0,00	1,50E-04 ±2,1E-05	1,60 ±0,142	0,9979
250	0,00E+00 ±0,00	1,93E-04 ±2,1E-05	1,60 ±0,119	0,9981
300	0,00E+00 ±0,00	8,42E-05 ±3,5E-06	1,54 ±0,057	0,9978
350	0,00E+00 ±0,00	9,88E-05 ±2,6E-06	1,52 ±0,042	0,9979
400	0,00E+00 ±0,00	1,46E-04 ±2,8E-06	1,47 ±0,029	0,9956
450	0,00E+00 ±0,00	8,85E-04 ±1,3E-05	1,47 ±0,245	0,9977
500	9,19E+00 ±1,51	9,86E-04 ±1,4E-05	1,40 ±0,287	0,9274
550	-	-	-	-
600	-	-	-	-

A XIII. Táblázatban foglaltam össze az eredményekre illesztett Herschel–Bulkley modell számolt értékeit. Az 500 MPa-on kezelt fehérje-lé esetében a folyáshatár nagyobb, mint 0, ennek oka valószínű a fehérjegócok megjelenése. K értékében igen kis változások figyelhetők meg, míg n értéke csökkent a nyomásérték növelésével.

A nyomásérték és n korrelációs együtthatója $-0,92$. A modell értékei alapján a tojásfehérje-lé minták egyike sem newtoni folyadék, hiszen minden mintánál $n > 1$, az 500 MPa-on kezelt mintánál $\tau_0 \neq 0$. Ez alapján a fehérje-lé minták dilatális (shear-thickening) típusú folyadékok, mint például a nyers kukoricakeményítő-oldat.



22. ábra: A tojássárgája-lé viszkozitásgörbéjének alakulása a nyomáskezelés nyomásértéknek hatására

A sárgája-lé állománya már 400 MPa-tól tapintással is jól érezhetően változott, egy „keményebb”, viszkózus, homogén géles szerkezet alakult ki, amelyet a 19. ábra is szemléltet. A 22. ábra mutatja be a sárgája-lé viszkozitásgörbéit. A teljes tojásléhez és a fehérje-léhez képest a sárgája-lénál akár egy nagyságrenddel nagyobb látszólagos viszkozitás-értékeket is számoltam. A görbék lefutása hasonló tendenciát mutat, mint a két másik tojáslénél:

XIV. Táblázat: A Herschel–Bulkley modell számolt értékei a különböző nyomásértékeken 5 perccig nyomáskezelt tojássárgája-lé mintáknál

HHP, MPa	τ_0 (Pa)	K (Pas ⁻ⁿ)	n	R^2
0	0,00E+00 ±0,00	2,77E+00 ±0,02	0,69 ±0,00	0,9992
150	0,00E+00 ±0,00	3,60E+00 ±0,04	0,66 ±0,00	0,9995
200	0,00E+00 ±0,00	3,89E+00 ±0,06	0,65 ±0,00	0,9995
250	0,00E+00 ±0,00	7,51E+00 ±0,61	0,58 ±0,01	0,9997
300	0,29E+00 ±0,01	1,08E+01 ±0,12	0,55 ±0,01	0,9985
350	0,00E+00 ±0,00	1,65E+01 ±0,17	0,51 ±0,01	0,9999
400	2,08E+01 ±0,08	1,83E+01 ±0,32	0,51 ±0,02	0,9998
450	5,44E+01 ±0,82	1,92E+01 ±0,30	0,51 ±0,02	0,9998
500	6,54E+01 ±0,68	2,11E+01 ±0,23	0,48 ±0,01	0,9998
550	6,96E+01 ±0,94	2,27E+01 ±0,28	0,49 ±0,01	0,9998
600	7,11E+01 ±0,82	2,43E+01 ±5,4	0,49 ±0,00	0,9998

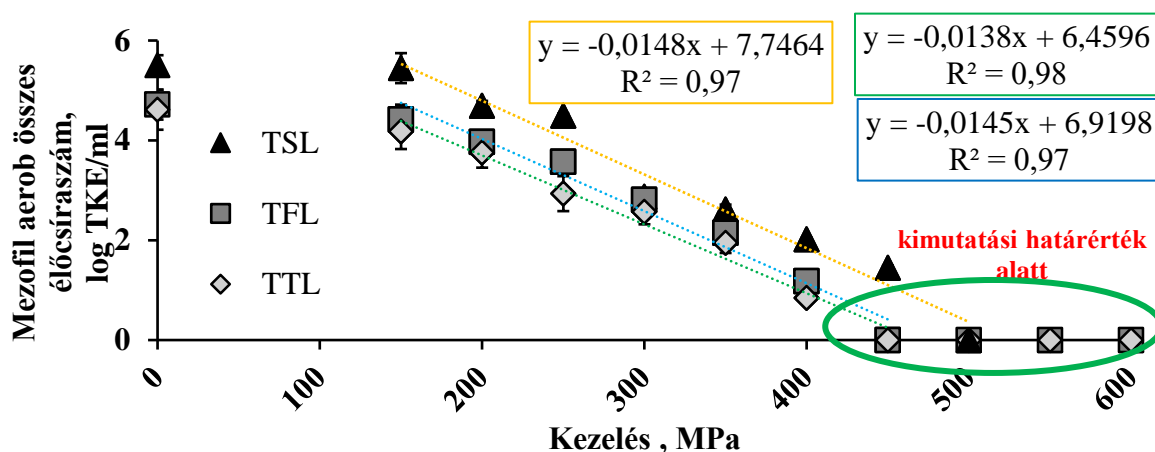
Az eredményekre illesztett Herschel–Bulkley modell számított τ_0 értékei (XIV. Táblázat) növekvő tendenciát mutatnak a nyomás növelésével, ahogyan K is. A nyomásértékkel K korrelációja $0,96$, amely szoros összefüggésre enged következtetni. A két másik tojásléhez hasonlóan n értéke csökkent a nyomásérték növelésével. A modell illesztett paramétereit alapján a tojássárgája-lé

pszeudoplasztikus folyadékként írható le, amely egybevág az irodalmi adatokkal (Castellani et al., 2006).

A reológiai vizsgálatok alapján tehát a három tojáslé különböző módon viselkedik a HHP nyomásértékének növelésére. A teljes tojáslé és sárgája-lé pszeudoplasztikus, a fehérje-lé dilatális folyadéknak tekinthető az illesztett Herschel–Bulkley modellek alapján.

4.1.4. Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai

A tojás kiváló táptalaja a mikrobáknak (Aygün, 2017a). Mivel a tojáslevek esetében a tojáshéj természetes mikrobaellenes hatását elveszítjük, ezért elengedhetetlen a megfelelő mikrobiológiai csíraszám-csökkentés elérése.



23. ábra: A HHP kezelés nyomásértéknek hatása a tojáslevek mezofil aerob összes csíraszámára

A sárgája-lében mértem a legnagyobb kiindulási mikrobaszámot (log 5,5 TKE/ml, 23. ábra), amelyet az 500 MPa és afeletti nyomásértékek csökkentettek kimutatási határérték alá. A fehérje-lében közel egy nagyságrenddel kisebb kiindulási mikrobaszámot mértem (4,7 log TKE/ml), amelyet már 450 MPa a kimutatási határérték alá csökkentett. A teljes tojáslé kiindulási csíraszám a legkisebb, ez az összes nyomásértéken megfigyelhető. A fehérje-léhez hasonlóan már 450 MPa-on kimutatási határérték alá csökkent a teljes tojáslé mezofil aerob csíraszám.

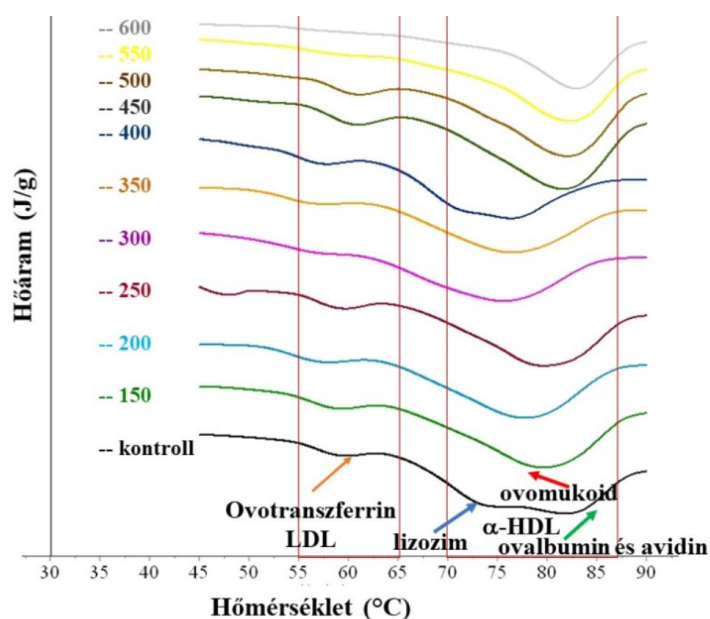
A tojáslevek 5 perces HHP kezelése során a teljes tojáslé és fehérje-lé 150-450 MPa, míg a sárgája-lé esetében 150 – 500 MPa tartományban a nyomásérték növelésével a mezofil aerob csíraszám lineárisan csökken. Megállapítottam, hogy a teljes tojáslé, fehérje- és a sárgája-lé esetében az aerob összes csíraszám 4 nagyságrendnyi csökkentése 450 MPa nyomású, 5 perces nagy hidrosztatikus kezeléssel valósítható meg.

Mengden és munkatársai megállapították, hogy az európai harcsából készült filé esetében az 5 perces 200, 400 és 600 MPa-on szobahőmérsékleten végzett nyomáskezelés 0,5, 1,5 és 2,5 nagyságrendnyi csökkenést okoz a mezofil aerob csíraszámokban (Mengden, Röhner, Sudhaus, & Klein, 2015). A 200 MPa-on végzett nyomáskezelés a teljes tojáslé esetében szintén 0,5

nagyságrendnyi, míg a két másik tojásnél már ennél nagyobb csökkenést eredményezett. A 400 és 600 MPa a tojásleveknél szintén nagyobb mikrobapusztító hatással volt, mint a harcsa esetében. Ez jól mutatja, hogy a kezelés mikrobiológiai hatása függ az élelmiszer mátrixától.

4.1.5. A kezelések fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel

Az élelmiszerekben található fehérjék a legtöbb technológiai eljárás során sérülnek, sérülhetnek. Ezt leggyakrabban a hőkezelésnél fellépő fehérje denaturáció kapcsán emlegetjük, azonban nem csupán a hőmérséklet növekedése okozza a fehérjékben fellépő változásokat. Akár mechanikai hatások (pl. rázás), vagy a környezetükben uralkodó nyomás is befolyásolja szerkezetüket (Gharbi & Labbafi, 2018).



24. ábra: A HHP kezelésen átesett teljes tojáslé minták termogramjai

A 24. ábrán mutatom be a 150 és 600 MPa között kezelt teljes tojáslevek termogramjait. Látható, minél nagyobb nyomásértéket alkalmaztam, annál kisebb a görbék inflexiós pontjaira illeszthető érintők és a görbe által bezárt terület nagysága. Ez arra enged következtetni, hogy a még denaturálható fehérjék mennyisége csökken. Az első denaturációs csúcs, amely a teljes tojáslé mintáknál körülbelül 55 és 65 °C között található, az ovotranszferrin és LDL fehérjék mennyiségére enged következtetni, míg a második csúcs, amely 70 és 85 °C közé tehető, az ovalbumin, ovomukoid, avidin, lizozim és α -HDL fehérjék együttes mennyiségére utal. Jól láthatjuk, hogy az első denaturációs csúcs az 550 és 600 MPa-on kezelt mintáknál szinte eltűnik, míg a többi mintánál a nyomás növelésével a görbe alatti területe csökken.

A második csúcs görbe alatti területe szintén csökkenést mutat, sőt formája jelentősen megváltozik, illetve a denaturációs hőmérséklet (T_{d2}), nő. A jelenség oka valószínű az, hogy a kisebb hőmérsékleten denaturálódó lizozim (70 °C) és ovomukoid (79 °C) denaturációja nagyobb a nyomásérték növelésének hatására, mint az ovalbumin (84 °C) és avidin (85 °C) denaturációja.

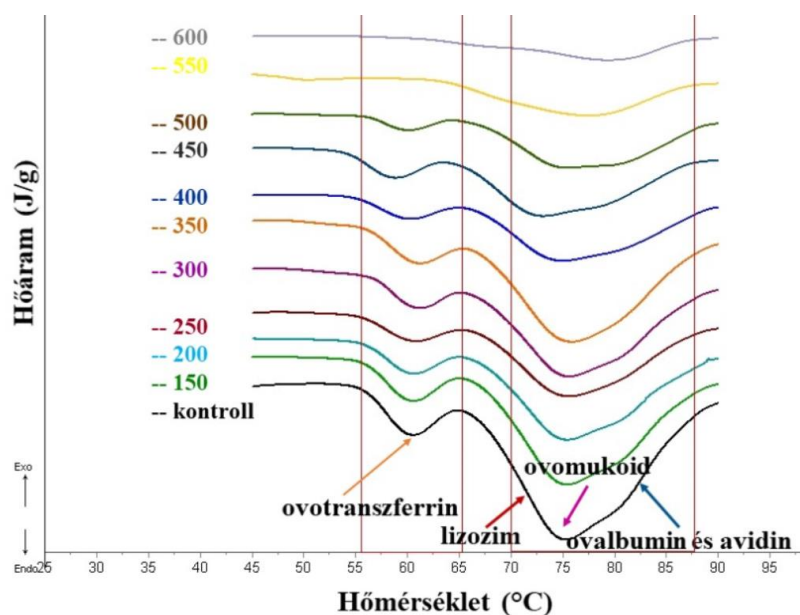
A dolgozatomban bemutatott termogramok a görbék szemléletesebb ábrázolása miatt nem tartalmaznak számszerűsíthető hőáram-értékeket. A számszerűsített mérési adatokat minden esetben táblázatos formában mutatom be.

XV. Táblázat: A teljes tojáslé minták különböző nyomásértékeken történő HHP kezelés hatására bekövetkező fehérjeszerkezeti változásainak nyomon követése DSC módszerrel, a statisztikailag szignifikáns értékeket a felső kitevők jelölik: A: Turkey HSD, B: LSD post hoc

nyomásérték, MPa	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C	T_{d2} , °C
kontroll	1,22±0,03	58,11±0,03	73,78±0,11
150	1,21±0,01	58,43±0,63 ^B	78,67±0,44 ^{AB}
200	1,15±0,03	58,26±1,44 ^B	78,57±0,51 ^{AB}
250	1,12±0,06	59,04±0,87 ^A	77,44±1,27 ^{AB}
300	1,06±0,08	58,55±0,96	77,43±1,35 ^{AB}
350	1,01±0,06 ^B	57,98±0,48 ^{AB}	77,35±0,69 ^{AB}
400	0,89±0,03 ^{AB}	57,39±0,61 ^A	76,90±0,19 ^{AB}
450	0,94±0,11 ^{AB}	57,31±0,42 ^A	80,31±0,61 ^{AB}
500	1,00±0,03 ^{AB}	59,46±0,42 ^A	79,16±2,17 ^{AB}
550	0,74±0,05 ^{AB}	-	82,21±0,13 ^{AB}
600	0,48±0,02 ^{AB}	-	82,80±0,13 ^{AB}

A XV. Táblázatban összesítettem a teljes tojáslé termogramjairól leolvasott adatokat számszerűsített formában. A denaturációs entalpia (ΔH) értéke csökken a nyomásérték növelésével. A 150 MPa-on végzett kezelés alig csökkenti a denaturációs entalpiát, míg 600 MPa hatására a fehérjék már közel 60%-a denaturálódott. A statisztikai értékelés alapján a ΔH 350 MPa-tól szignifikánsan csökken. Ha a denaturációs hőmérsékleteket vizsgáljuk, az első denaturációs csúcs eltolódásában nem látunk egyértelmű tendenciát. A második denaturációs csúcs esetében egyértelműen nőtt a denaturációs csúcshőmérséklet, mindkét csúcshőmérsékletnél a 150 MPa-on végzett kezelés is szignifikáns hatással bírt.

A teljes tojáslé **pH-értéke** 5,82-ről 6,7-re nőtt a nyomáskezelés hatására (4.1.1. fejezet), ebben a tartományban található az ovotranszferrin (6,1) és a G3 globulin (5,8) izoelektromos pontja (II. Táblázat). Mivel a fehérjék izoelektromos pontjukon kifelé nem rendelkeznek töltéssel, hidratburkuk ezen a pH-értéken a legvékonyabb. Így ezen a pH-értéken denaturálódnak a legkönnyebben. Ezt bizonyítja az a tanulmány is, amelyben *tejsavófehérje*-oldatban vizsgálták a fehérje denaturációt különböző pH-értékeken. A pH 3,75-re beállított oldatban mérték a legkisebb hő indukálta denaturációt. A tejsavó α - és β -laktoglobulinjainak izoelektromos pontját (pH 5,2) meghaladva nőtt a denaturáció mértéke. A 6,9 feletti pH-értékeknél, tízszer nagyobb denaturációs entalpiát mértek, mint a svav pH esetében (Nikolaidis, Andreadis, & Moschakis, 2017).



25. ábra: A különböző nyomásértékű HHP kezeléseken átesett tojásfehérje-lé minták termogramjai

A 25. ábrán szemléltetem a tojásfehérje-lé termogramjait. Látható, hogy a denaturációs csúcsok alatti terület egyértelműen csökken a nyomásérték növelésével. Az első denaturációs csúcs 550 és 600 MPa nyomáskezelés hatására lényegében eltűnik, ahogyan a teljes tojáslénél is tapasztaltam. Ez alapján a fehérje-lében is nagy mértékben csökken az ovotranszferin denaturálható mennyisége.

XVI. Táblázat: A tojásfehérje-lé minták különböző nyomásértékeken történő HHP kezelés hatására bekövetkező fehérjeszerkezeti változásainak nyomon követése DSC módszerrel, a statisztikailag szignifikáns értékeket a felső kitevők jelölik: ^A: Tukey HSD, ^B: LSD post hoc

nyomásérték, MPa	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C	T_{d2} , °C
kontroll	1,33±0,02	60,01±0,78	75,23±0,09
150	1,33±0,11	58,41±1,60 ^{AB}	75,30±0,04
200	1,32±0,12	58,34±1,00 ^{AB}	75,30±0,06
250	1,3±0,35	58,63±1,01 ^{AB}	75,32±0,04
300	1,28±0,07	60,48±0,04	75,29±0,07
350	1,23±0,04	60,39±0,18	75,63±0,09
400	1,18±0,01	60,03±0,10	75,51±0,21
450	1,14±0,14	59,06±0,64 ^B	73,45±0,59 ^{AB}
500	1,00±0,03 ^B	58,86±0,90 ^{AB}	73,73±1,29 ^{AB}
550	0,61±0,04 ^{AB}	58,37±0,59 ^{AB}	78,53±1,05 ^{AB}
600	0,33±0,08 ^{AB}	58,62±0,24 ^{AB}	80,90±0,70 ^{AB}

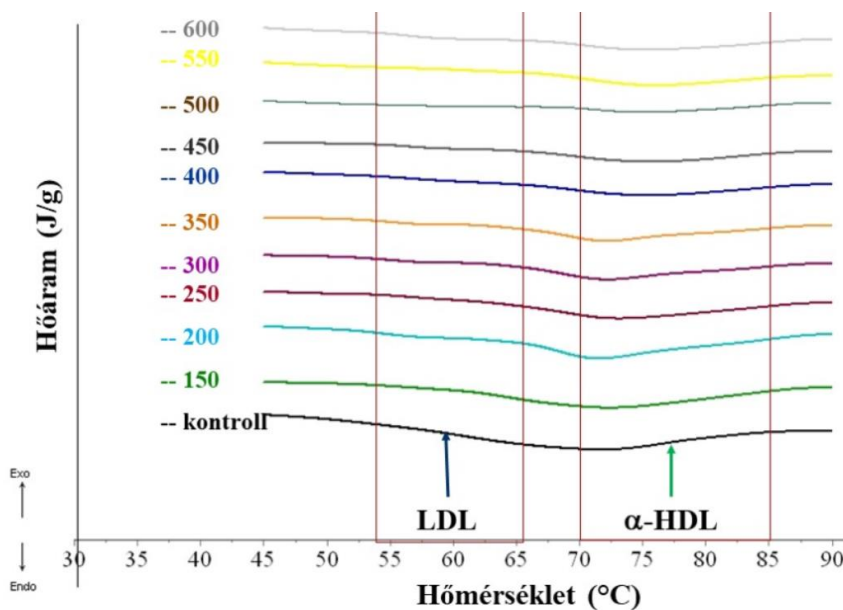
A XVI. Táblázat alapján az fehérjék mennyiségének mintegy 75%-a denaturálódik, vagy képez agglomerátumokat a 600 MPa, 5 perc kezelés hatására. A második denaturációs csúcs esetében a denaturációs hőmérséklet kismértékű növekedését tapasztaltam a teljes tojásléhez hasonlóan, azonban ez a növekedés, kisebb, mint a teljes tojáslénél (XV. Táblázat).

A denaturációs entalpia a 150, 200 és 250 MPa nyomásérték hatására alig csökken, míg 500 MPa-tól már szignifikáns a változás. A T_{d1} hőmérséklet csökkenést mutat a kezelésekre hatására, már a

150 MPa is szignifikáns változást okozott T_{d1} . T_{d2} lényegében 400 MPa-ig nem változik, azonban afeletti nyomásértékeknél a változás szignifikáns.

A pH-érték nem csupán a fehérje denaturáció mértékét befolyásolja, hanem a csúcshőmérsékletet is. Rios-Mera munkatársaival rámutatott arra, hogy a *marhahús*ban található fehérjék denaturációs hőmérsékleteit akár 4 °C-kal is növeli a hús (0,5-del) nagyobb pH-értéke (Rios-Mera, da Silva Pinto, & Contreras-Castillo, 2017). Így a tojásfehérje-lé és teljes tojáslé minták második csúcshőmérsékletében bekövetkező növekedéshez a minták pH-értékének növekedése is hozzájárulhat.

A fehérje-lé (XVI. Táblázat) és teljes tojáslé (XIV. Táblázat) esetében a HHP kezelés hatását összehasonlítva azt láthatjuk, hogy a teljes tojáslében kisebb mértékben denaturálódtak a fehérjék. Ennek lehetséges oka, hogy a tojássárgája fehérjei védőhatással bírnak az albumin fehérjéire. Irodalmi források azt támasztják alá, hogy a sárgája foszvitin molekulái csökkentik a tojásfehérje hő okozta gélesedését, mivel a foszvitin különböző pH-értékeken legalább 80 °C-ig gátolja az ovotranszferrin irreverzibilis szerkezeti átalakulását (Matsudomi et al., 2006). Kísérletemben ennek ellenére az ovotranszferrin részleges denaturációját tapasztaltam.



26. ábra: A különböző nyomásértékű HHP kezelésen átesett tojássárgája-levek termogramjai

A 26. ábra mutatja be a sárgája-lé termogramjait. A sárgája-lénél csupán egy denaturációs csúcsot tudtam megállapítani, amely azonban sokkal szélesebb hőmérséklettartományt ölel fel, mint a két másik tojáslé egy-egy denaturációs csúcsa. A denaturációs csúcs minden termogramon kifejezetten lapos, már a kontroll mintánál is. Ezt a XVII. Táblázat ΔH értékeiből is láthatjuk.

A tojássárgája fehérjefrakcióinak hőstabilitásáról, denaturációs hőmérsékletéről kevés és gyakran ellentmondó irodalmi adat áll rendelkezésünkre. A források szerint azonban a leghőérzékenyebb frakció a kissűrűségű lipoproteinek csoportja (LDL1 és LDL2), amelyek a tojássárgája

fehérjetartalmának mintegy 66%-át teszik ki. Míg a foszvitin a leghőstabilabb frakció (egyes kutatások szerint denaturációs hőmérséklete 79,7, míg mások szerint 110 °C), amely azonban csupán 4%-át teszi ki a sárgája fehérjének (2. ábra, 2.2.3.2. fejezet)

Ezek alapján arra következtettek, hogy a kezelés nyomásértékének növelése első sorban nem a foszvitinre van hatással, hanem az LDL frakciók egyes fehérjeire. Erre utal Speroni és munkatársai kísérlete is, amelyben 200, 400 és 600 MPa-on kezelték 3 és 8 pH-értékre beállított sárgájából nyert LDL fehérje-frakciót. A nyomásérték növelése nem okozott jelentős változást a fehérjék oldhatóságában. Azonban az enyhén lúgos pH nagymértékben növelte az aggregátumok kialakulását (Speroni et al., 2005). Ezzel szemben a granuláris frakcióból kivont foszvitin 600 MPa, 10 perc nyomáskezelés hatására sem veszíti el vaskötő-képességét. Castellani munkatársaival arra a következtetésre jutott, hogy ez a foszvitin molekula „rendezetlen” elsődleges szerkezetének és nagy negatív töltésének köszönhető (Castellani et al., 2004), (N. Naderi et al., 2017).

XVII. Táblázat: A tojássárgája-lé minták különböző nyomásértékeken történő HHP kezelés hatására bekövetkező fehérjeszerkezeti változásainak nyomon követése DSC módszerrel, a statisztikailag szignifikáns értékeket a felső kitevők jelölik: A: Turkey HSD, B: LSD post hoc

nyomásérték, MPa	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C
kontroll	0,93±0,06	73,74±0,62
150	0,89±0,13	72,28±0,78 ^{AB}
200	0,77±0,06 ^B	73,05±0,30 ^{AB}
250	0,71±0,33 ^{AB}	73,69±0,33
300	0,65±0,19 ^{AB}	73,69±0,78
350	0,64±0,47 ^{AB}	74,02±0,74 ^{AB}
400	0,55±0,52 ^{AB}	74,04±1,04 ^{AB}
450	0,54±0,21 ^{AB}	73,22±0,56 ^{AB}
500	0,43±0,04 ^{AB}	73,61±0,93
550	0,37±0,24 ^{AB}	73,85±0,82
600	0,31±0,11 ^{AB}	73,48±0,94 ^{AB}

A XVII. Táblázatból kitűnik, hogy a kontroll minta mért denaturációs entalpiája is jóval kisebb, mint a két másik tojáslénél. A 600 MPa-on végzett HHP kezelés ΔH értékét 66%-kal, sőt a 200 MPa-on végzett kezelés is szignifikáns csökkenést eredményez. A denaturációs csúcshőmérséklete csupán kismértékben változik, ennek ellenére a legtöbb kezelésnél szignifikáns.

Ugyan a sárgájában nagyobb mennyiségű fehérje található, mint a tojásfehérjében (I. Táblázat), ennek ellenére jóval kisebb ΔH értékeket mértem, mint a fehérje-, vagy teljes tojáslénél. Azonban arról sem feledkezhetünk meg, hogy a tojássárgája nagymennyiségű zsírszerű anyag is található, ez gátolhatja a fehérjék denaturációját, szerkezeti átalakulását a méréséhez alkalmazott hőmérsékleti program (20 – 95 °C) mellett.

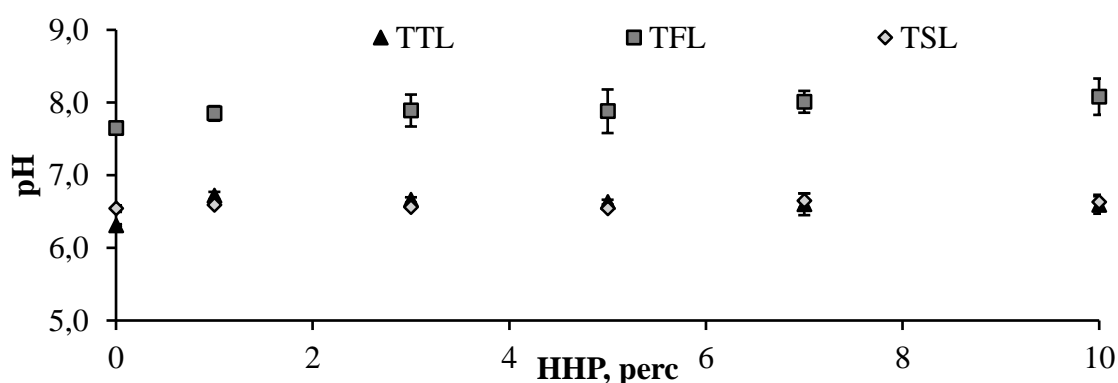
Egy korábbi, 200 és 350 MPa közötti nyomásértékeken végzett kísérletemben - a bemutatott eredményeimhez hasonlóan - azt tapasztaltam, hogy a kisebb nyomásértékek a sárgája-lé fehérjeire

van a legnagyobb hatással (Tóth et al., 2017). A 350 MPa-nál nagyobb nyomásértéken végzett kezelések esetében a teljes tojáslében mértem a legkisebb denaturációs entalpia-változást, míg a legnagyobbat a fehérje-lében.

A nyomásérték-növelése ugyan mikrobiológiai szempontból előnyös, a teljes és fehérje-lénél már 450 MPa, míg a sárgája-lénél 500 MPa és afeletti nyomásértékek kimutatási határérték alá csökkentik a mezofil aerob összes csíraszámot. Azonban a vizsgált fizikai és kémiai tulajdonságok (szín és fehérjeszerkezeti átalakulások) tekintetében a 400 MPa-nál nagyobb nyomásértékek alkalmazása előnytelen. Összességében javaslom, hogy a kezelés nyomásértékét annak megfelelően válasszuk meg, mi a célunk a kezelésen átesett tojáslevekkel. A mikrobiológiai szempontok alapján alkalmazhatunk nagyobb nyomásértéket. Azonban, ha a tojásleveket tovább mozgatjuk csőrendszerekben (pl. töltésre kerülnek), vagy a tojásléből habot szeretnék készíteni, vagy olyan keverési műveletet alkalmazni, amelynél a teljesen homogén keverék kialakítása a cél, célszerű 400 MPa, vagy ennél kisebb nyomásértéket választani. Ez alapján a következő kísérletben 400 MPa nyomásértéket választottam a kezelési idő hatásának vizsgálatához.

4.2. A HHP kezelés idejének hatása a tojáslevek egyes tulajdonságaira 400 MPa-on

4.2.1. A tojáslevek pH-értékének változása



27. ábra: A HHP kezelés idejének hatása a tojáslevek pH-értékére 400 MPa-on

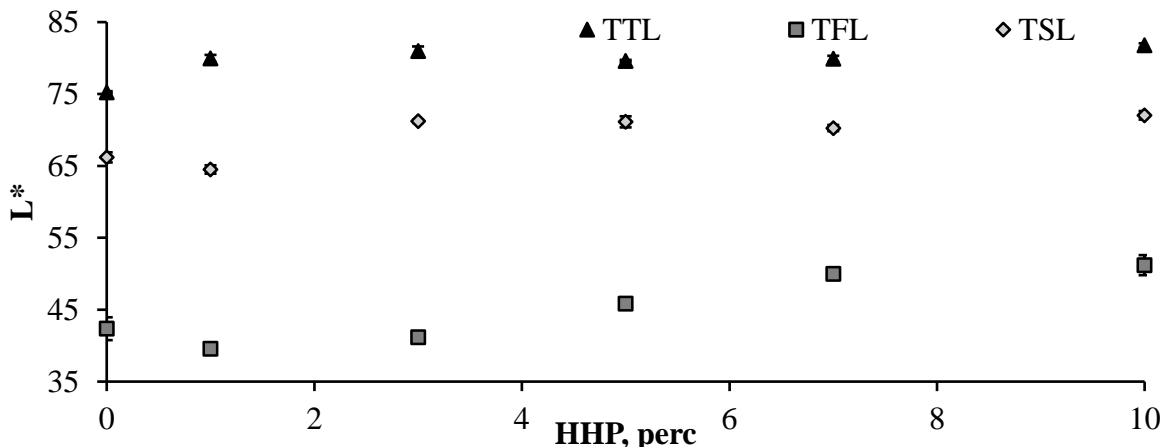
A HHP kezelés idejének növelésével mindhárom tojáslé pH-értéke kismértékben nőtt. A teljes tojáslénél mintegy 0,3-0,4-nyi emelkedést tapasztaltam. A fehérje-lénél egyértelmű trendet látunk (27. ábra): minél hosszabb kezelést alkalmaztam, annál nagyobb pH-értéket mértem. A 10 perc HHP kezelés mintegy 0,4 emelkedést eredményezett.

A sárgája-lénél tapasztaltam a legkisebb változásokat. A sárgája pH-értéke vagy nem változott, vagy alig 0,1-del nőtt a különböző kezelési idők hatására. A post hoc tesztek alapján csupán a 7 és 10 perc bírt szignifikáns hatással, míg a teljes tojáslé és fehérje-lé esetében minden kezelési idő szignifikáns hatást gyakorolt a statisztikai értékelés alapján. Ennek ellenére a pH-érték változása a gyakorlat szempontjából elenyésző. A nyomásérték növelése a legkisebb változást szintén a

sárgája-lénél eredményezte (4.1.1. fejezet). A nyomásérték növelése teljes tojáslé esetében is nagyobb változást eredményezett, míg a fehérje-lénél a kezelési idő okozott nagyobb növekedést a pH-értékben.

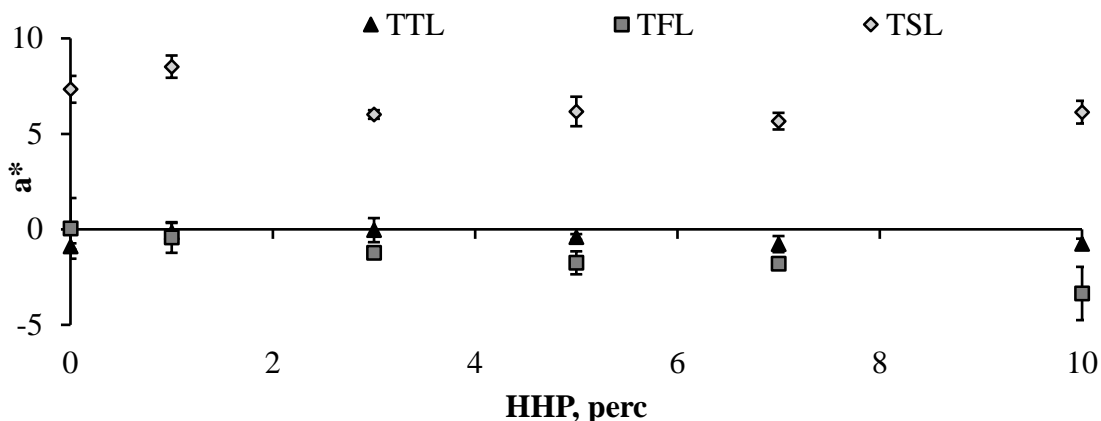
4.2.2. A tojáslevek színének változása

A 28. ábra mutatja be a nyomáskezelés idejének hatását a tojáslevek világossági tényezőjére.



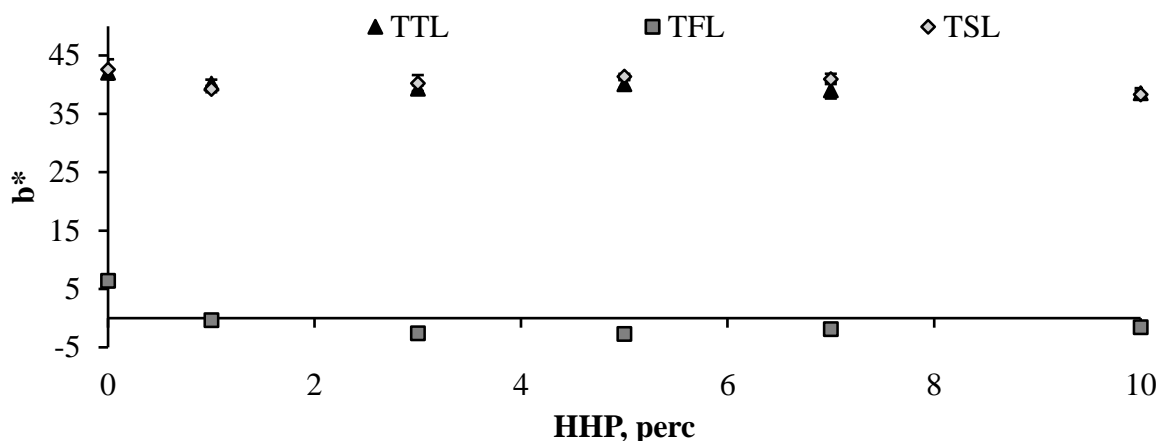
28. ábra A HHP kezelés idejének hatása a tojáslevek világossági tényezőjére

Minden minta esetében növekedést tapasztaltam, tehát a minták világosodtak. A legnagyobb mértékben a fehérje-lénél nőtt L^* értéke, egyértelmű tendenciát mutatva. A 32. ábra ezt jól szemlélteti: minél hosszabb volt a HHP kezelés ideje, annál opálosabb, világosabb fehérje-levet kaptam. Ennek ellenére a nyomáskezelés hatása csak 5 perctől szignifikáns, míg a két másik tojáslénél minden kezelési idő szignifikáns volt a statisztikai értékelés alapján.



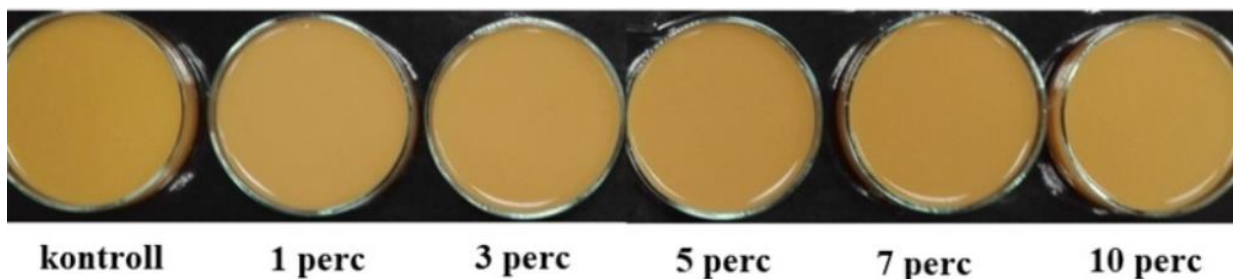
29. ábra: A HHP kezelés idejének hatása a tojáslevek vörös-zöld szintényezőjére

A minták vörös-zöld színezetében igen kis változásokat tapasztaltam a nyomáskezelési idő növelésének hatására, ezért eredményeimet igen szűk intervallumon ábrázoltam. A teljes tojáslé a^* értékei lényegében nem változtak, míg a fehérje- és sárgája-lé esetében csökkenést látunk (29. ábra). Ezt mutatja a statisztikai értékelés is: a teljes tojáslénél csupán az 5, 7 és 10 perc kezelési idő okozott szignifikáns különbséget a kontrollhoz hasonlítva.

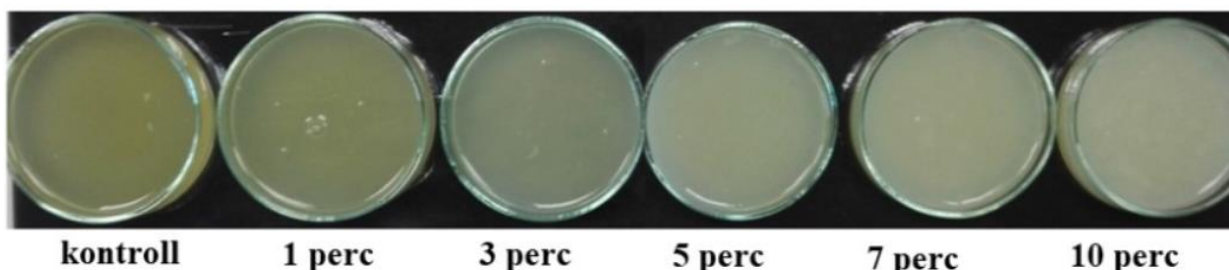


30. ábra: A HHP kezelés idejének hatása a tojáslevek kék-sárga szintényezőjére

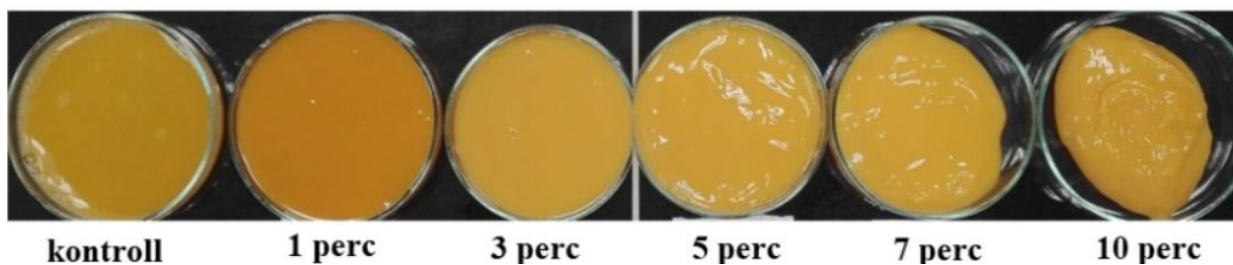
A sárga-kék színezete minden mintának csökkent a kezelések hatására (30. ábra). A legnagyobb mértékben a fehérje-lé színe tolódott el a kékes színárnyalat felé. Ennek ellenére minden kezelési idő szignifikánsan befolyásolta a tojáslevek b^* értékét (kivéve a sárgája-lé: 5 és 7 perces kezelése).



31. ábra: A 400 MPa-on, különböző ideig nyomáskezelt teljes tojáslevek megjelenése



32. ábra: A 400 MPa-on, különböző ideig nyomáskezelt tojásfehérje-levek megjelenése



33. ábra: A 400 MPa-on, különböző ideig nyomáskezelt tojássárgája-levek megjelenése

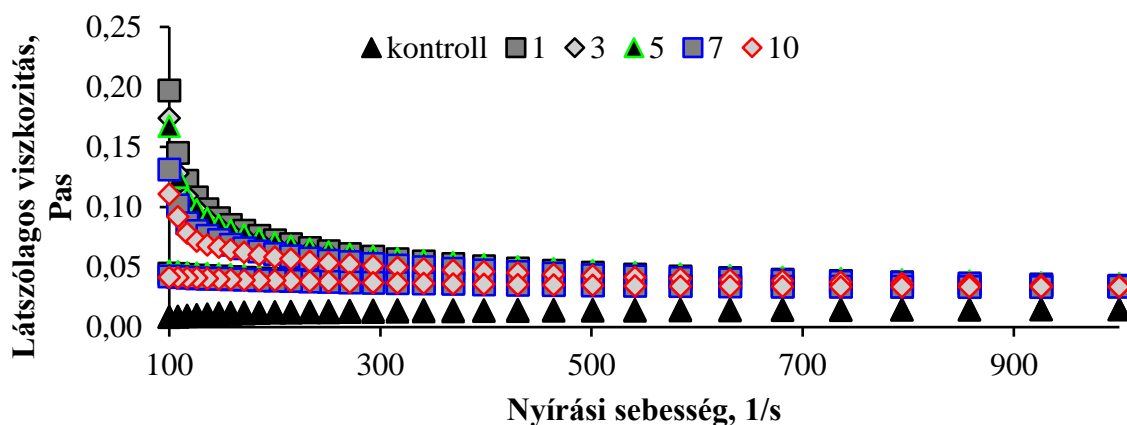
A minták színében bekövetkezett színváltozások kisebbek a kezelési idő növelésének hatására, mint a nyomásérték növelésének hatására a vizsgált nyomásértékek és kezelési idők esetében. Ezt jól mutatja a ΔH^* **színezeti különbség** is, amelyet a 2Melléklet foglalja össze. Azonban a minták

színtelítettsége (C_{ab}^* , króma) csökken a kezelési idő hatására, amelyet szabad szemmel a sárgája-lénél láthatunk is (33. ábra).

A HHP nyomásértékének és idejének hatásait összehasonlítva a tojáslevek színére különböző eltéréseket tapasztaltam. A teljes tojáslé és fehérje-lé L^* értékét nagyobb mértékben növelte a nyomásérték növelése, mint a kezelési időé. Ezzel szemben a sárgája-lé világossági tényezője a kezelési idő növelésével nőtt nagyobb mértékben (4.1.2. fejezet). A minták vörös-zöld színezete (a^*) ugyan kisebb változáson ment át a két paraméter változtatásakor, a teljes tojáslénél, illetve a sárgája-lénél a nyomásérték gyakorolt nagyobb hatást a^* -ra, míg a fehérje-lénél a kezelési idő. A sárga-kék színezet esetében ugyanezt tapasztaltam.

A színtényezőkből számolt színínger-különbségeket (2. Melléklet) tekintve mindhárom mintánál a nyomásérték növelése nagyobb különbséget eredményezett a kontroll mintához képest. A minták színtelítettségét a nyomásérték és a kezelési idő növelése is csökkentette, kivéve a sárgája-lénél, amelynél a nyomásérték növelése növelte króma értékét. A teljes tojáslénél, illetve a sárgája-lénél a nyomásérték volt nagyobb hatással a krómára, míg a fehérje-lénél a kezelési idő. A színváltozás tekintetében a tojáslevek 7 és 10 perces kezelését nem javaslom.

4.2.3. A tojáslevek reológiai tulajdonságainak változásai



34. ábra: A teljes tojáslé viszkozitásgörbéjének alakulása a nyomáskezelés idejének hatására 400 MPa-on

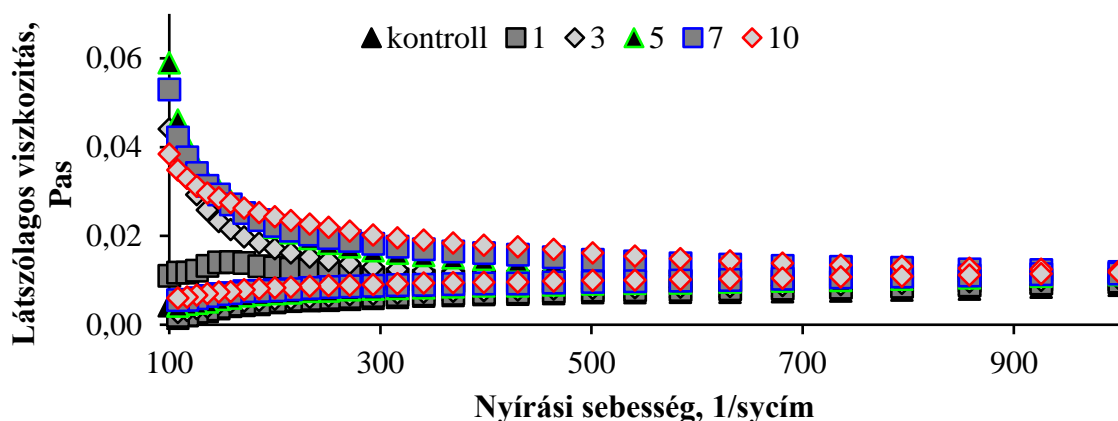
XVIII. Táblázat: A 400 MPa HHP kezelésen átesett teljes tojáslé mintákra illesztett Herschel-Bulkey modell értékei, valamint a számolt hiszterézis terület

HHP, perc	τ_0 (Pa)	K (Pas ⁻ⁿ)	n	R ²	A (Pa)
0	1,37E-02 ±0,02	5,13E-03 ±1,1E-04	1,16 ±0,01	0,9996	378,17±43,72
1	1,26E+00 ±0,03	3,78E-02 ±4,2E-04	0,98 ±0,01	0,9999	4146,39±5,74
3	9,78E-01 ±0,05	4,15E-02 ±3,2E-04	0,96 ±0,02	0,9999	4146,39±5,74
5	1,40E+00 ±0,26	4,22E-02 ±3,2E-04	0,99 ±0,11	0,9996	3898,72±54,92
7	1,98E+00 ±0,96	3,26E-02 ±8,2E-04	0,97 ±0,09	0,9993	3244,47±58,50
10	6,93E+00 ±0,65	2,44E-02 ±6,8E-04	0,96 ±0,05	0,9998	2959,08±14,24

A 34. ábra szemlélteti a 400 MPa-on 1 és 10 perc közötti kezelési idővel kezelt teljes tojáslé viszkozitásgörbéit. A kontroll minta viszkozitásgörbéje szinte vízszintes, míg a kezelt mintáknál a kisebb nyírási sebességek függvényében nagyobb látszólagos viszkozitás-értékeket számoltam. A XVIII. Táblázatban összegeztem a teljes tojáslé folyásgörbéire illesztett Herschel–Bulkley modellek számított értékeit. Ez alapján megállapítottam, hogy ugyan τ_0 értéke nőtt, azonban korrelációja kisebb a kezelési idővel (0,86), mint a nyomásérték növelésekor tapasztaltam (4.1.3 fejezet). A konzisztencia állandó szintén növekedést mutat a kezelési idő hosszával, A folyásindex, n ezzel szemben a kezelési idő növelésével csökken. Ez alapján minél hosszabb a HHP kezelés, a teljes tojáslé annál kevésbé viselkedik newtoni-folyadékként. ehelyett egyre inkább nyírásra vékonyodó (pszeudoplasztikus) folyadékként jellemezhető.

Ahmed munkatársaival azt vizsgálta, hogy a 400 MPa-on végzett, 30 perces nyomáskezelés milyen hatással bír a tojáslevek reológiai tulajdonságaira. Az eredményei azt mutatták, hogy az ilyen hosszú ideig történő kezelés szignifikánsan befolyásolja a tojáslevek reológiai tulajdonságait. Mindhárom tojáslé tixotróp viselkedést mutatott a kezelést követően (Ahmed et al., 2003).

Kísérletemben a hiszterézis értékei a kezelésekre hatására nőttek, az egy perces kezelés hatására is több, mint tizenegyszeres hiszterézis értéket kaptam. Ez arra enged következtetni, hogy a nyomáskezelés ideje jelentősen befolyásolja a teljes tojáslé makromolekuláinak és azok hálózatának szerkezetét, amelyeket azonban a mérőfej nagymértékben károsít.



35. ábra: A tojásfehérje-lé viszkozitásgörbéjének alakulása a nyomáskezelés idejének hatására 400 MPa-on

A 35. ábra illusztrálja a fehérje-lé viszkozitásgörbéit. Minél hosszabb kezelési időt alkalmaztam, annál nagyobb nyírófeszültség-értékeket mértem, így a látszólagos viszkozitás számított értékei is nagyobbak. A görbék lefutása hasonló a 4.1.3 fejezetben bemutatotthoz.

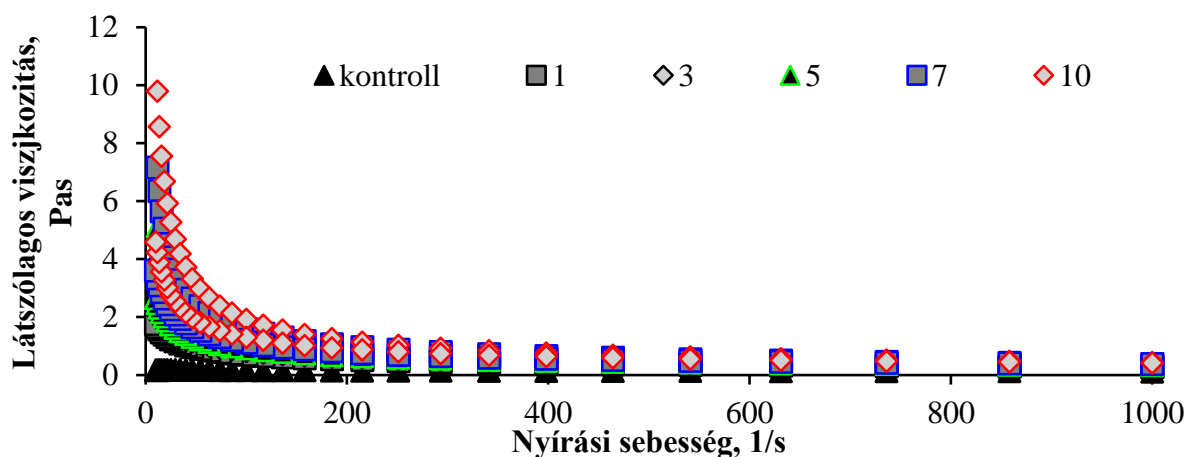
A XIX. Táblázatban foglaltam össze a fehérje-lére illesztett Herschel–Bulkley modell állandóit. Látjuk, hogy a folyáshatár számolt értéke nő a HHP kezelés idejének növelésével. K szintén nő a

kezelési idő növelésével, ezzel szemben n értéke csökken. τ_0 , K és n korrelációs együtthatója sorrendben: 0,92; 0,97; -0,98.

XIX. Táblázat: A 400 MPa HHP kezelésen átesett tojásfehérje-lé mintákra illesztett Herschel-Bulkey modell értékei, valamint a számolt hiszterézis terület

HHP, perc	τ_0 (Pa)	K (Pas ⁻ⁿ)	n	R^2	A (Pa)
0	5,02E-03 ±0,01	6,93E-04 ±1,5E-05	1,38 ±0,03	0,9979	418,02±46,68
1	6,15E-03 ±0,01	7,38E-04 ±9,2E-05	1,38 ±0,02	0,9989	816,32±34,52
3	8,68E-03 ±0,01	8,80E-04 ±2,3E-05	1,36 ±0,03	0,9995	1319,52±31,89
5	9,73E-03 ±0,01	1,39E-03 ±2,4E-04	1,31 ±0,02	0,9996	1945,01±13,8
7	3,60E-02 ±0,04	1,91E-03 ±2,6E-04	1,27 ±0,02	0,9997	2081,22±12,86
10	6,10E-02 ±0,03	2,08E-03 ±2,4E-04	1,25 ±0,02	0,9997	2380,13±183,09

A 10 percig kezelt minta hiszterézis területe közel hatszor akkora, mint a kontroll mintáé. Ez arra utal, hogy a kezelés hatására keletkező fehérje agglomerátumok nagymértékben meghatározzák a tojásfehérje-lé szerkezetét (32. ábra). A Herschel-Bulkey modell értékei alapján a fehérje-lé leginkább pszeudoplasztikus folyadékként jellemezhető.



36. ábra: A tojássárgája-lé viszkozitásgörbéjének alakulása a nyomáskezelés idejének hatására 400 MPa-on

A 36. ábrán mutatom be a 400 MPa-on kezelt sárgája-lé fviszkozitásgörbéit. A kontroll hiszterézis területe elhanyagolható a kezelt mintákhoz képest.

XX. Táblázat: A 400 MPa HHP kezelésen átesett tojássárgája-lé mintákra illesztett Herschel-Bulkley modell értékei, valamint a számolt hiszterézis terület

HHP, perc	τ_0 (Pa)	K (Pas ⁻ⁿ)	n	R^2	A (Pa)
0	9,46E-02 ±0,9	2,89E-01 ±0,02	0,87 ±0,012	0,9998	1,00±0,01
1	5,17E-01 ±0,90	4,42E+00 ±0,37	0,72 ±0,009	1,0000	13254,50±341,08
3	3,75E+00 ±0,19	5,07E+00 ±0,02	0,64 ±0,001	0,9999	17757,84±3691,56
5	6,27E+00 ±0,29	5,77E+00 ±0,04	0,58 ±0,001	0,9999	24805,85±258,72
7	1,09E+01 ±0,47	7,52E+00 ±0,10	0,54 ±0,001	0,9999	31688,03±349,83
10	1,84E+01 ±0,67	8,50E+00 ±0,67	0,51 ±0,004	0,9998	40303,48±959,64

Az ábrán jól látható, minél hosszabb volt a kezelési idő, annál nagyobb látszólagos viszkozitást és hiszterézis területet kaptam az egyes mintáknál. A XX. Táblázatban mutatom be a sárgája-lére illesztett Herschel-Bulkley modell állandóit. A folyáshatár számított értéke nő a kezelési idő

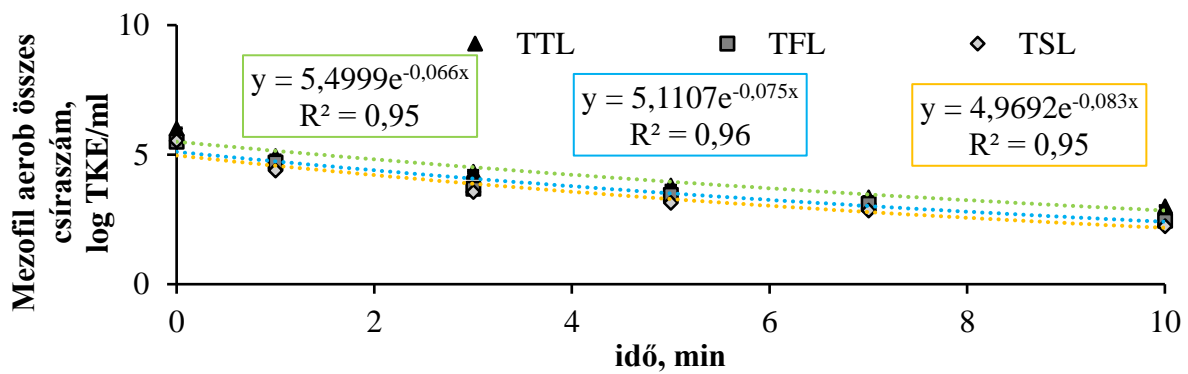
növelésével. K értéke szintén nőtt, míg n értéke csökkent a kezelési idő növelésének hatására. Korrelációs együtthatóik sorrendben: 0,98; 0,91 és -0,91. A modell értékei alapján a 400 MPa-on kezelt sárgája-lé Herschel–Bulkley folyási tulajdonsággal jellemezhető a legjobban. Ez gyakorlati szempontból azt jelenti, hogy a hosszabb nyomáskezelés nehezebben „folyásra bírható” tojássárgája-levet eredményez. Nagyobb munka befektetése szükséges a tojássárgája áramoltatásához.

A nyomásérték és kezelési idő hatásait összehasonlítva a teljes tojáslé esetében mindkét paraméter növelése növelte a folyáshatárt, a konzisztenciaállandót, míg a folyásindexet csökkentette (XII. Táblázat és XVIII. Táblázat). A teljes tojáslé mindkét kísérletben pseudoplasztikus folyadékként jellemezhető. A fehérje- és sárgája-lénél szintén τ_0 és K növekedését és n csökkenését tapasztaltam a kezelés nyomásának és idejének növelésével (XIII. Táblázat, XIV. Táblázat, XIX. Táblázat és XX. Táblázat), de első esetben inkább dilatális, míg utóbbiban inkább pseudoplasztikus folyadékként jellemezhető. A nyomásérték növelésével a sárgája-lé pseudoplasztikus, míg a kezelési idő növelésekor Herschel-Bulkey folyadékként jellemezhető.

Ahogy a három különböző tojáslénél is látjuk, az egyes nagy fehérjetartalmú élelmiszerekre eltérő hatással van a HHP, ezt bizonyítja a glutén és szója keverékekkel, valamint a tej-zselatin oldatokkal végzett vizsgálatok is. A glutén-szója keverékek esetén a 700 MPa-on végzett HHP kezelés növeli a keverékek G' és G'' modulusainak értékeit, amelyek a fehérjék interakciójára vezethetők vissza (Apichartsrangkoon & Ledward, 2002). Ezzel szemben a zselatin oldat, illetve a teljes tejben oldott zselatin folyási tulajdonságait sem befolyásolja a HHP. Csak akkor figyelhető meg változás, ha a tejből származó szárazanyag-tartalmat (15 és 30%-ra) növelték. Ekkor a 300 és 600 MPa-on történt kezelés csökkentette a minták viszkozitását (Hemar, Liu, Meunier, & Woonton, 2010).

4.2.4. Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai

A teljes tojáslénél az egy perces kezelés 1,5, míg a 10 perces 3 nagyságrendnyi csökkenést eredményezett (37. ábra). Ehhez hasonló csökkenést tapasztaltam a sárgája- és fehérje-lénél is. A 4.1.4. fejezetben bemutatott, a nyomásérték-növelésének hatására bekövetkező, csökkenés nagyobb, mint a kezelési idő hatására.

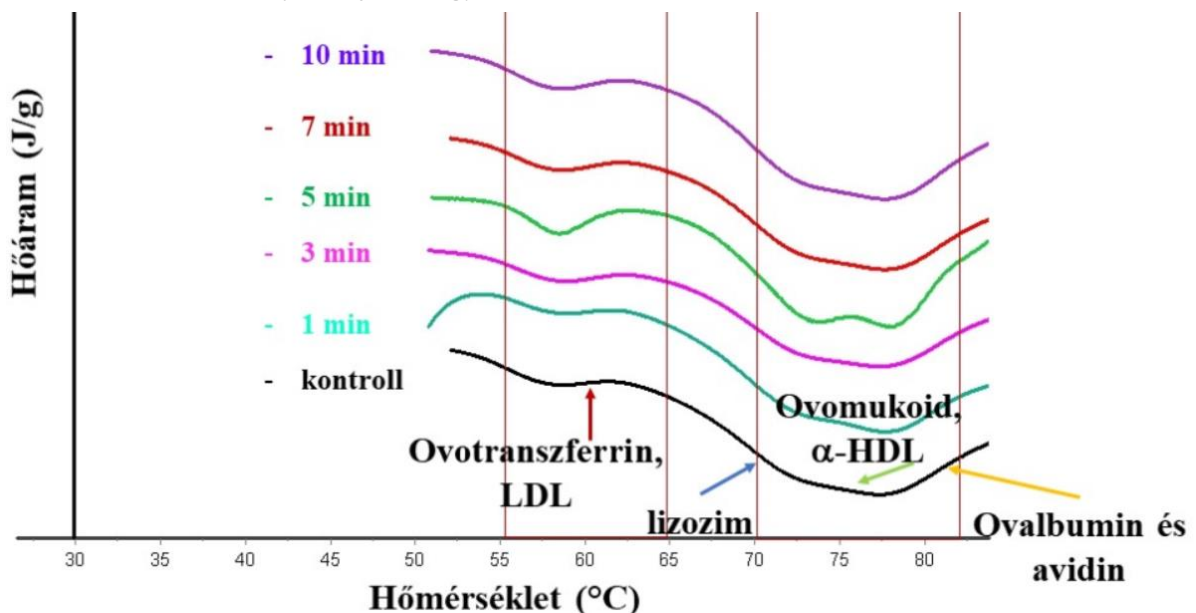


37. ábra: A HHP kezelés idejének hatása a tojáslevek mezofil aerob csíraszámára 400 MPa-on

Az irodalmi adatok alapján a nyomásérték és kezelési idő hatását összehasonlítva, a kezelési idő hatása chorizo kolbászban kisebb a *Listeria monocytogenes* esetén, mint a nyomásérték (Rubio et al., 2018). A tojáslevekkel végzett kísérleteim során hasonló eredményt kaptam: míg 450 MPa, 5 perc 4 nagyságrenddel csökkenti a mezofil aerob mikrobaszámot (23. ábra), addig a 400 MPa 10 perc is már 3 nagyságrenddel csökkenti azt.

A HHP hatására bekövetkező mikrobiológiai változásokat gyakran nem lineáris modellekkel közelítik a legjobban, hanem az élelmiszer mátrixától függő, bonyolultabb összefüggésekkel (Possas et al., 2017). Saját munkám során a tojáslevek esetében a kezelési idő és a mezofil aerob összes csíraszám között 0 – 10 perc kezelési idő tartományban 400 MPa nyomásértéken exponenciálisan csökkenő összefüggést találtam.

4.2.5. A kezelési idő fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel



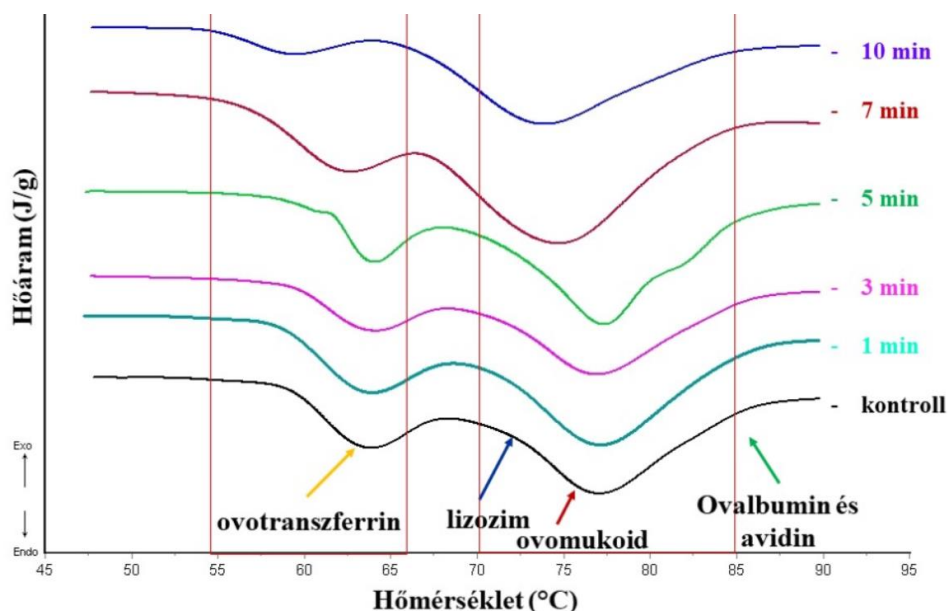
38. ábra: A 400 MPa-on, különböző ideig nyomáskezelt teljes tojáslevek termogramjai

A 38. ábra segítségével mutatom be a 400 MPa-on kezelt teljes tojáslé termogramjait. A nyomásérték hatásával összehasonlítva (24. ábra) látjuk, hogy a kezelési idő növelésének hatására nem tűnik el az első denaturációs csúcs, ahogyan a görbe alatti terület csökkenése is kisebb.

XXI. Táblázat: A 400 MPa-on nyomáskezelt teljes tojáslevek denaturációs entalpiája és csúcshőmérsékletei

Kezelés	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C	T_{d2} , °C
Kontroll	0,895 \pm 0,0039	58,11 \pm 0,78	73,69 \pm 1,52
1 perc	0,839 \pm 0,0024 ^{AB}	57,78 \pm 1,01	72,99 \pm 2,02 ^{AB}
3 perc	0,831 \pm 0,0023 ^{AB}	59,09 \pm 0,99	77,27 \pm 1,01 ^{AB}
5 perc	0,828 \pm 0,0081 ^{AB}	57,39 \pm 0,84	76,48 \pm 0,45 ^{AB}
7 perc	0,814 \pm 0,0018 ^{AB}	58,23 \pm 0,95	77,22 \pm 0,98 ^{AB}
10 perc	0,785 \pm 0,0097 ^{AB}	58,07 \pm 0,77	77,83 \pm 1,11 ^{AB}

A XXI. Táblázatban összefoglalt eredményekből látható, hogy a teljes tojáslé ΔH értéke a 10 perces kezelés hatására is mintegy 13%-kal csökkentek csupán. Az első csúcshőmérsékletre nincs hatással a kezelési idő növelése, míg T_{d2} növekvő tendenciát mutat. A statisztikai értékelés alapján a kezelés ideje szignifikáns hatással bír a ΔH értékére, ahogyan T_{d2} változására is.



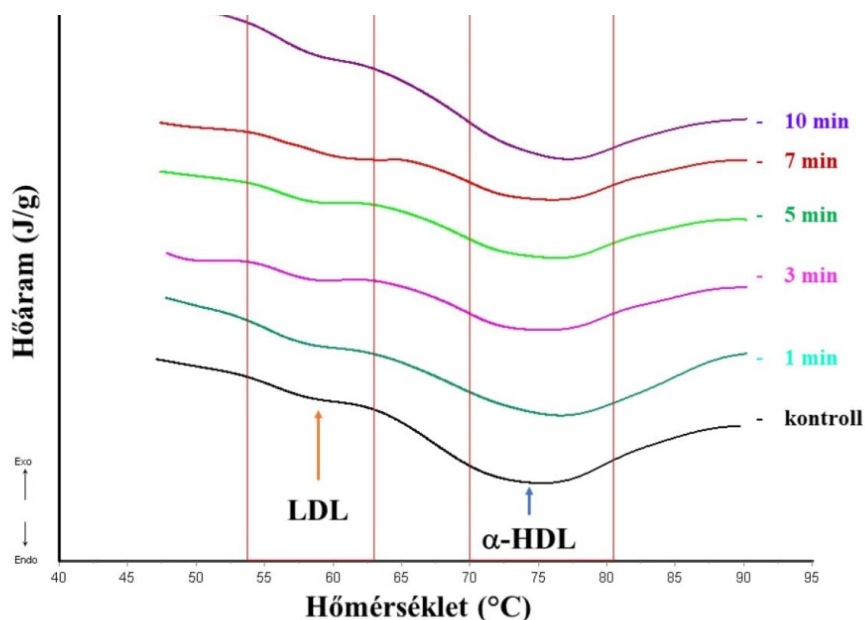
39. ábra: A 400 MPa-on, különböző ideig nyomáskezelt tojásfehérje-levek termogramjai

A 39. ábrán mutatom be a fehérje-lé termogramjait. Látjuk, hogy a kezelési idő növelése szintén kevésbé befolyásolja az első csúcs területének csökkenését (25. ábra), mint a nyomásérték növelése, bár a 10 perces kezelés már jól látható csökkenést okozott. A denaturációs entalpia számszerű értékei folyamatosan csökkennek a kezelés hosszának növelésével, amely a 10 perces kezelés esetén már mintegy 35%-kal, szignifikánsan csökkent a kontrollhoz képest.

XXII. Táblázat: A 400 MPa-on nyomáskezelt tojásfehérje-levek denaturációs entalpiája és csúcshőmérsékletei

Kezelés	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C	T_{d2} , °C
Kontroll	2,091 ±0,239	64,21 ±0,66	77,02 ±0,59
1 perc	1,986 ±0,313	58,75 ±1,67 ^{AB}	75,31 ±0,62
3 perc	1,815 ±0,157	64,11 ±0,54	77,09 ±0,37
5 perc	1,845 ±0,121	64,23 ±0,71	77,21 ±0,69
7 perc	1,756 ±0,103	63,88 ±0,75	73,12 ±0,66
10 perc	1,351 ±0,305 ^{AB}	59,61 ±1,54 ^{AB}	73,67 ±1,71

A XXII. Táblázatból leolvashatjuk azt is, hogy az első csúcshőmérsékletre a kezelési idő növelése nincs egyértelmű növelő, vagy csökkentő hatással, ahogyan a második csúcshőmérsékletre sem, utóbbi változása a varianciaanalízis alapján sem szignifikáns. Ebből arra következtettek, hogy a kezelések nem specifikusan egy-egy, a második csúcs hőmérsékletén denaturálódó, fehérje-frakcióra voltak hatással.



40. ábra: A 400 MPa-on, különböző ideig nyomáskezelt tojássárgája-levek termogramjai

A 40. ábra demonstrálja a HHP kezelési idejének hatását a sárgája-lé termogramjainak lefutására. Látjuk, hogy a termogramok csúcshőmérséklete a nagyobb hőmérséklet irányába tolódik, míg a görbe alatti terület enyhén csökken. Az előző kísérletben bemutatott sárgája-lé termogramjával szemben (26. ábra) ezúttal megjelenik egy kisebb csúcs a kisebb hőmérsékleti tartományban. Egyes tanulmányok szerint a natív tojássárgájára jellemző termogramon kettő endoterm hőmérsékletcsúcs figyelhető meg (Llave et al., 2018), amelyek közül az első a kis sűrűségű lipoproteinek (LDL), míg a második az α nagy sűrűségű lipoproteinek (α -HDL) denaturációjakor jelenik meg (Anton, Le, & Gandemer, 2000). Ugyan nem ismerjük a pontos denaturációs hőmérsékleteit a sárgájában található LDL fehérjéknek, viszont ezen frakciók közül valamelyik (LDL1, vagy LDL2) denaturációs csúcsát látjuk külön is megjeleníteni.

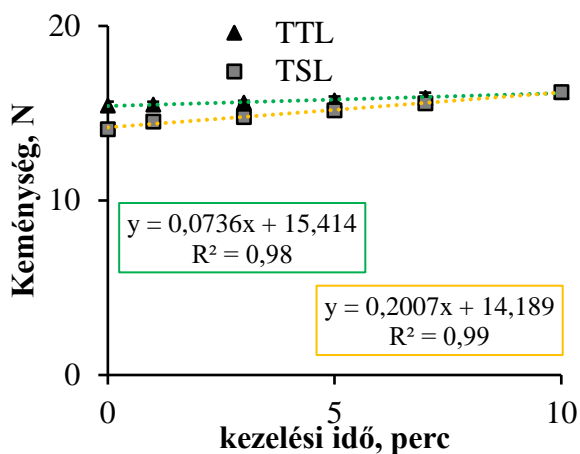
XXIII. Táblázat: A 400 MPa-on nyomáskezelt tojássárgája-levek denaturációs entalpiája és csúcshőmérséklete

Kezelés	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C
Kontroll	0.714 \pm 0.0092	73.74 \pm 1.36
1 perc	0.639 \pm 0,0078	77,49 \pm 1,17 ^{AB}
3 perc	0,567 \pm 0,0039	74,09 \pm 0,86
5 perc	0,541 \pm 0,0031	76,04 \pm 0,27 ^{AB}
7 perc	0,506 \pm 0,0034	76,25 \pm 0,42 ^{AB}
10 perc	0,499 \pm 0,0021	76,16 \pm 0,36 ^{AB}

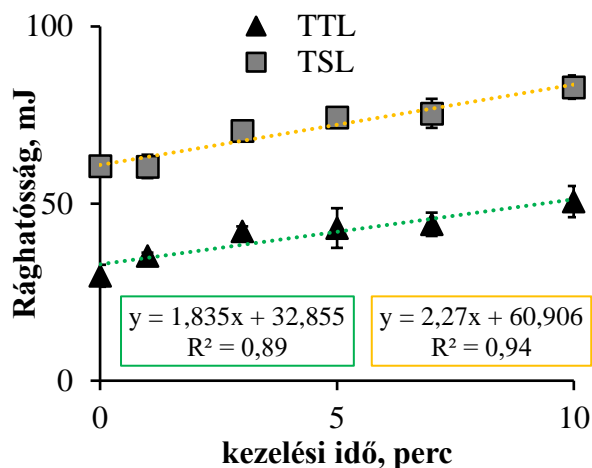
A XXIII. Táblázatban látjuk, hogy a kezelési idő növelésével csökken a denaturációs entalpia, bár ez a csökkenés kisebb, mint a nyomásérték növelésénél (XVII. Táblázat). A 10 perces HHP kezelés hatására mintegy 30%-a denaturálódott a fehérjéknek. A denaturációs hőmérséklet növekedést mutat a kezelési idő növelésével, amelyet viszont a nyomásérték növelésénél nem tapasztaltam. Az egytényezős varianciaanalízis alapján a T_{d1} változása szignifikáns, míg ΔH csökkenése nem. A nyomásérték és kezelési idő hatásait összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy a kezelési idő növelése kisebb mértékben csökkentette a denaturációs entalpia-értékeket. A teljes tojásleves esetében a 600 MPa, 5 perc kezelés a fehérjék mintegy 60%-át denaturálta (XXI. Táblázat), míg a 400 MPa, 10 perces kezelés csak 12%-át (XXI. Táblázat). A fehérje-lénél ugyanezen kezelések mintegy 75% és 35% csökkenést okoztak a denaturálható fehérjék mennyiségében (XXII. Táblázat és XVI. Táblázat). A sárgája-lénél a 600 MPa, 5 perc kezelés 66%, míg a 400 MPa, 10 perc kezelés 30% csökkenést okozott a denaturálható fehérjék mennyiségében (XVII. Táblázat és XXIII. Táblázat). Ez alapján a HHP nyomásértékének növelése nagyobb mértékben csökkenti a denaturálható fehérjék mennyiségét mindhárom tojáslevesben, tehát ha a techno-funkcionális tulajdonságok (pl. emulzió- és habképző és stabilizáló tulajdonságok) megóvása fontos a késztermékben, akkor célszerűbb kisebb nyomásértéket, hosszabb kezelési idővel választanunk. Míg mikrobiológiai szempontból épp ellentétesen kell döntenünk.

4.2.6. A késztermékek állományában bekövetkezett változások

A félkésztermékek vizsgálatán túl, fontos megismernünk a kezeléseket átesett félkésztermékekből készült termékekre gyakorolt hatásait. Különösen fontos ez olyan termékeknél, mint a tojáslevesek, amelyekkel a fogyasztók első sorban csak késztermékké formálva találkoznak.

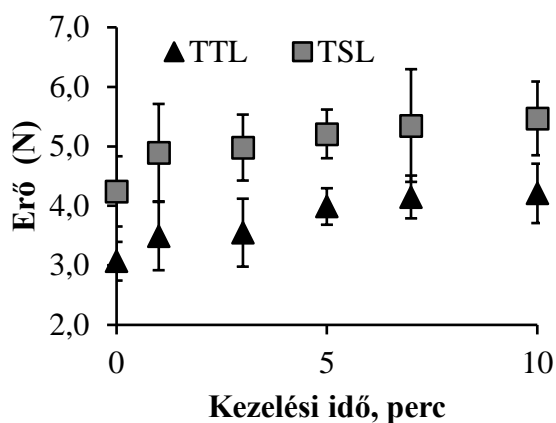


41. ábra: A nyomáskezelt tojáslevekből készült „omlettek” keménysége

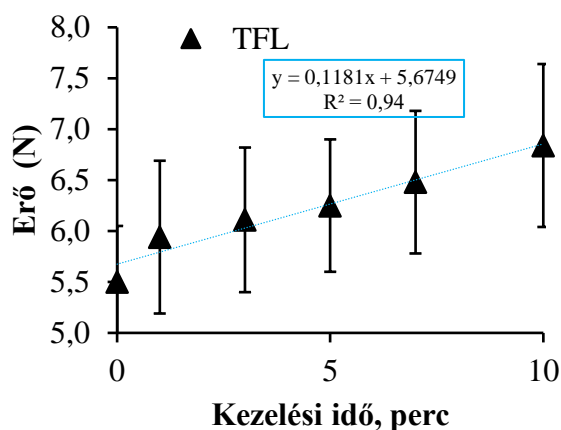


42. ábra: A nyomáskezelt tojáslevekből készült „omlettek” rágóssága

A teljes tojásleából, illetve sárgája-léből készült „omlettek” TPA módszerrel számolt keménységének alakulását mutatja be a 41. ábra. A teljes tojásleából készült minták keményebbek bizonyultak, mint a sárgája-léből készültek. Mindkettő keménysége nőtt a kezelési idő hosszával. A teljes tojásle és sárgája-lé „omlettek” TPA módszerrel mért eredményeiből számolt rágósságot mutatja be a 42. ábra. A sárgája-léből készült „omlettek” rágósabbak, mint a teljes tojásleából készültek. Ez arra enged következtetni, hogy a sárgája-léből készült termék rugalmassága nagyobb, mint a teljes tojásleából készültté. A keménységhez hasonlóan, minél hosszabb kezelést alkalmaztam, annál rágósabb készterméket kaptam.



43. ábra: A nyomáskezelt tojáslevekből készült „omlettek” átszűréséhez szükséges erő



44. ábra: A nyomáskezelt tojásfehérje-léből készült habcsókok megroppantásához szükséges erő

A *penetrációs* módszerrel mért maximális erő, amely ahhoz szükséges, hogy átszűrjük a mintát, hasonló tendenciát mutat, mint a TPA módszerrel számolt rágósság: a sárgája-léből készült „omlett” átszűréséhez nagyobb erő szükséges, mint a teljes tojásleából készülnél. Ezt szemlélteti a 43. ábra. Minél hosszabb volt a kezelés, annál nagyobb erőre volt szükség az átszűréshez. Ez azzal

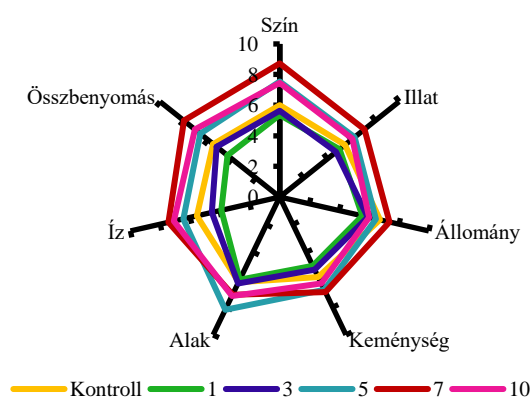
magyarázható, hogy a sárgája-lé kezelés során kialakult géles szerkezete az „omlett” sütése közben szilárdabb szerkezetet képez, mint a teljes tojásleából készült mintáé.

Penetrációs módszerrel határoztam meg a fehérje-léből készült habcsókok ropogósságát is. A habcsókok megroppantásához szükséges erőt a 44. ábrán mutatom be. A habcsóknál is azt tapasztaltam, hogy a HHP kezelés ideje növeli a minták roppanósságát.

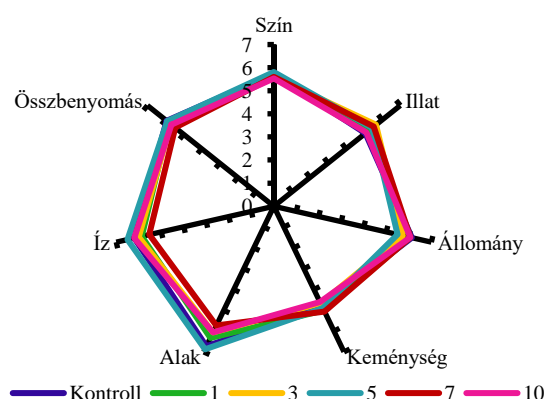
A nyomáskezelt tojáslevekből készült késztermékek keményebb állománya a fehérjeszerkezetek átalakulására is visszavezethető. Minél hosszabb kezelést alkalmaztam, annál kisebb denaturálható fehérje mennyiséget mértem (4.2.5. fejezet) mindhárom tojásleánél. Hasonló állománymódosító hatásról számoltak be csirkehús nyomáskezelésekor (Ros-Polski et al., 2015), azonban egy marhahúspogácsák nyomáskezelését vizsgáló tanulmány rávilágít arra, hogy az állományra a nyomásérték nagyobb hatással van, mint a kezelési idő (Szerman et al., 2019). Vélhetően, a tojásleveknél is a nyomásérték növelése keményebb készterméket eredményez, mint a hosszabb kezelési idő (4.4.5. fejezet).

4.2.7. A késztermékek érzékszervi tulajdonságainak alakulása

Mivel a tojáslevek alapvetően ipari felhasználásra szánt félkésztermékek, ezért a végfogyasztó ritkán találkozik velük lé formában. Ezért fontos tehát a belőlük készíthető késztermék érzékszervi tulajdonságait is vizsgálni. Az érzékszervi bírálatok számszerűsített eredményeit a 7. Mellékletben összegeztem.



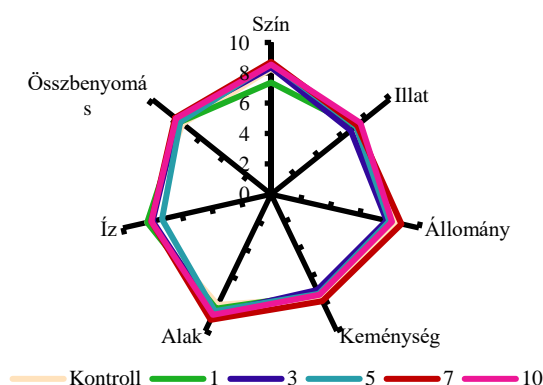
45. ábra: A teljes tojásleából készült omlettek érzékszervi bírálatának eredményei



46. ábra: A tojássárgája-léből készült omlettek érzékszervi bírálatának eredményei

A bírálat során a legnagyobb különbséget a teljes tojásleából készült „omlettek” állományánál tapasztalták a bírálók, amelyet a 45. ábra szemléltet. Minél hosszabb volt a teljes tojásle „omlett” alapanyagának kezelési ideje, annál nagyobb pontszámot adtak az egyes szempontokra, vagyis annál jobban kedvelték az adott terméket (8. Melléklet).

A sárgája-lé „omlettek” esetében a pontszámokban megmutató különbségek már kisebbek, mint a teljes tojásnál, azonban a bírálatok alapján a nyomáskezelt minták jobb érzékszervi tulajdonságokkal rendelkeztek, mint a kontroll (46. ábra).



47. ábra: A tojásfehérje-léből készült habcsókok érzékszervi bírálatának eredményei

A fehérje-léből készült habcsókok bírálatánál szintén látjuk, hogy a HHP kezelt alapanyagból készült habcsókokat a bírálók jobban kedvelték (47. ábra). A bírálat eredményei viszonylag kis különbségeket mutatnak a minták érzékszervi tulajdonságai között. A minták színe között tapasztalták a bírálók a legkisebb különbséget, míg a legnagyobb különbség a bírálat alapján az állomány kedveltségében volt.

A nyomáskezelt fehérje-léből készült habcsókok alakját jobban kedvelték a bírálók. A jobb alaktartó tulajdonság valószínű a jobb habstabilitásra vezethető vissza. Egy tanulmány szerint a fehérjék denaturációjának fontos szerepe lehet a habképződés és stabilitás szempontjából. A legjobb habképzési és stabilitási tulajdonságokkal a tojásfehérje 20%-nyi denaturált fehérje mennyiség mellett rendelkezett (Nicorescu et al., 2011). A kísérletem során a 7 és 10 perces HHP kezelés közelítette meg a 20%-os fehérje denaturációt (XXII. Táblázat). Ezen habcsókok kapták a legkedvezőbb bírálatokat a keménységre. A kezelt tojáslevekkel készült termékek színére minden esetben jobb pontszámot adtak a bírálók, mint a kontrolléra, ezt fontos kiemelni, mert a kezeléseket a tojáslevek színét befolyásolta a különböző kezelési idővel alkalmazott 400 MPa-on végzett kezelés (4.2.2 fejezet).

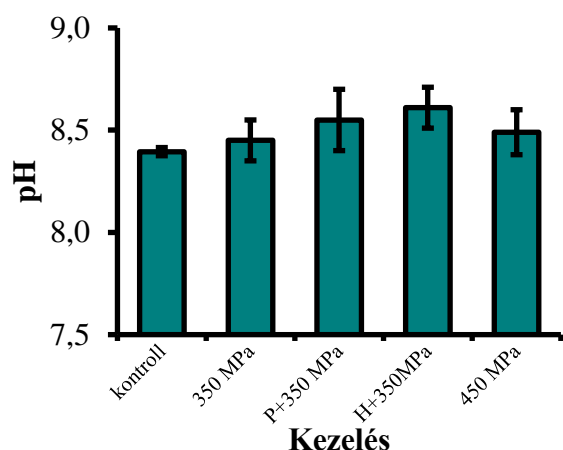
A tojáslevekkel készült termék bírálatát alapján megállapítottam, hogy a kezelés pozitív hatást gyakorolt a késztermékek érzékszervi tulajdonságaira. Tojáslevekkel végzett ilyen jellegű kísérletekről nem számol be az irodalom, azonban tojást tartalmazó salátadressingeknél a HHP kedvezően hat a termék organoleptikus tulajdonságaira (Salamon et al., 2016), (Waite et al., 2009).

4.3. A nyomás- és a hőkezelés kombinációinak hatása a tojásfehérje-lé tulajdonságaira

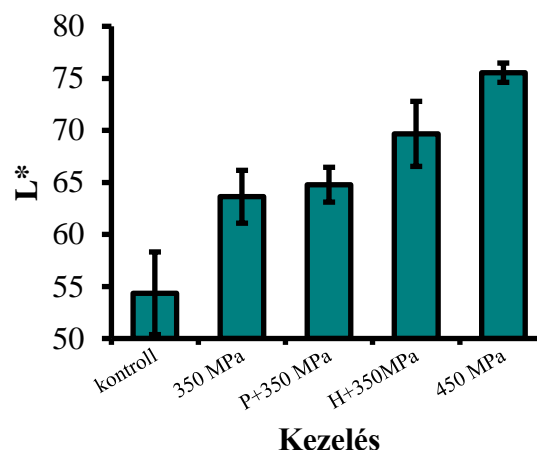
4.3.1. A tojásfehérje-lé pH-értékének változása

A fehérje-lé nyomáskezelés és kombinált hő- és nyomáskezelés hatására bekövetkező pH-érték változásait szemlélteti a 48. ábra. Minden kezelés hatására a pH-érték szignifikánsan növekedett. A legnagyobb növekedést a hőntartás és a 350 MPa HHP együttesen eredményezte (mindössze 0,2 növekedés). Ez a pH-változás gyakorlati szempontból elenyészőnek tekinthető.

A nyomásérték (4.1.1. fejezet) és a kezelési idő (4.2.1. fejezet) növelésével nőtt a fehérje-lé pH-értéke. Az előző két kísérlet alapján a fehérje-lére nagyobb hatással bírt az önmagában alkalmazott HHP, mint hőkezeléssel kombinálva. Ennek lehetséges oka, hogy ugyan önmagában a HHP növeli a minta pH-értékét, azonban a hőkezelés ezzel ellentétesen hat. Tehén tején végzett kísérletek alapján a nagyobb hőmérsékleten végzett hőkezelés mintegy 0,35-dal, statisztikai szempontból szignifikánsan csökkenti a tej pH-értékét (Ma & Barbano, 2003).



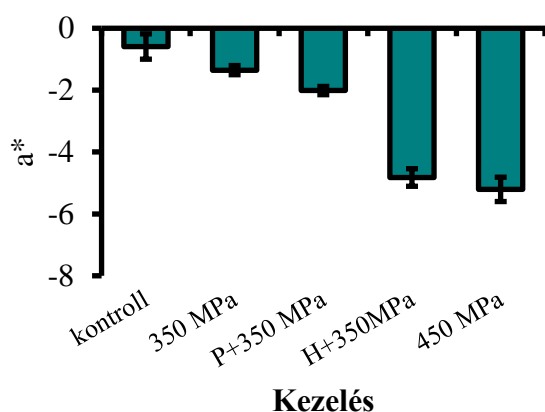
48. ábra: A kombinált kezelések hatása a tojásfehérje-lé pH-értékére



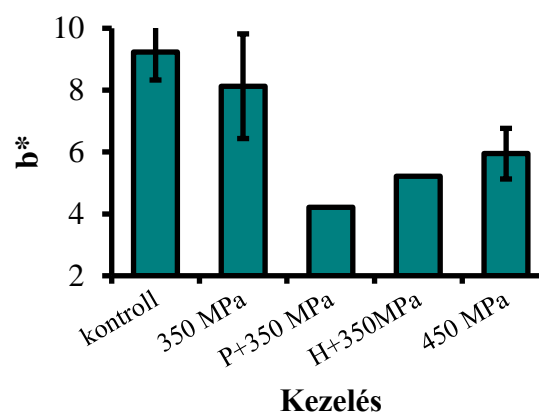
49. ábra: A kombinált kezeléskén átesett tojásfehérje-lé minták világossági tényezőinek alakulása

4.3.2. A tojásfehérje-lé színének változása

A legnagyobb változást L* értékében tapasztaltam. Minden kezelés a tojásfehérje-lé világosodásához vezetett, ezt jól szemlélteti az 50. ábra. Azonban csupán a H + 350 MPa, illetve a 450 MPa kezelés hatása volt szignifikáns. A fehérje-lénél azt tapasztaltam, hogy 350 MPa-nál nagyobb L* értékeket kaptam, ha a kezelést hőkezeléssel kombináltam.



50. ábra: A tojásfehérje-lé minták vörös-zöld színezetének alakulása kombinált kezeléseket követően

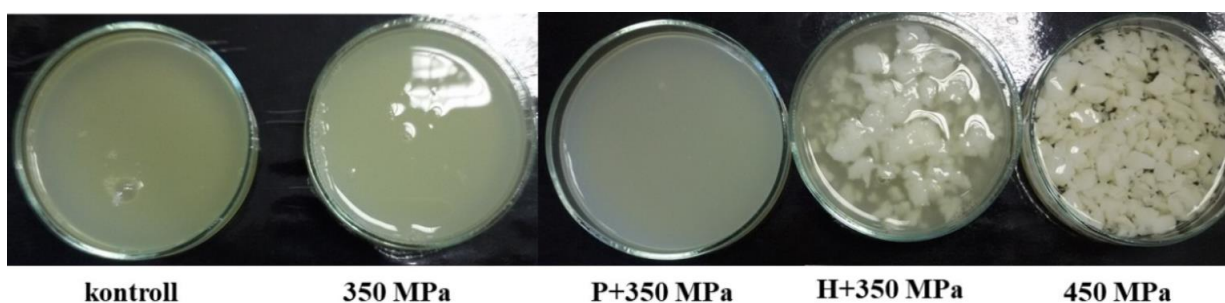


51. ábra: A kombinált kezeléseken átesett tojásfehérje-lé minták sárga-kék szintényezőjének alakulása

A színinger-különbség szintén nagyobb értéket vett fel ezen mintáknál, mint a csupán 350 MPa-on kezelt mintánál (4. Melléklet).

Az a^* -ra (50. ábra) szintén a H+350 MPa és a 450 MPa közel azonos hatást gyakoroltak. Minden kezelt minta a^* értéke csökkent, tehát színük a zöldes árnyalat fele tolódott, ahogyan a nyomásérték növelése, illetve a hosszabb kezelési idő is ilyen változást okozott a fehérje-lében. Statisztikai szempontból a 350 MPa, 5 perc kezelés nem okozott szignifikáns változást.

A sárga-kék színezet értékei (51. ábra) csökkentek a kezelésekre hatására. A legnagyobb csökkenést a pasztörözés és HHP együttes alkalmazása okozta, amely a statisztikai értékelés alapján szignifikáns volt. L^* és a^* értékét a H+HHP kezelés nagyobb mértékben befolyásolta, mint a P+HHP kezelés. A növekvő nyomásérték nagyobb, míg a kezelési idő kisebb mértékben növelte a fehérje-lé L^* -értékét, mint a kombinált kezeléseket.



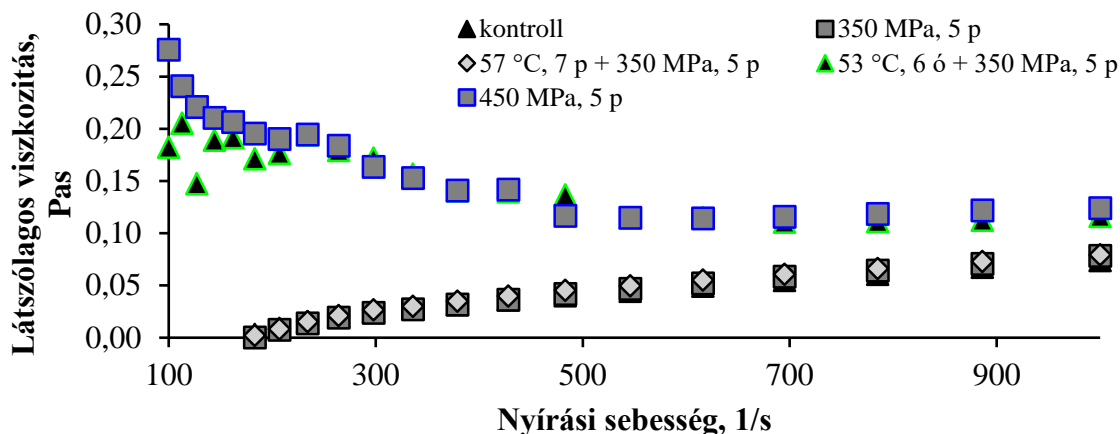
52. ábra: A hő- és HHP kezeléseken átesett tojásfehérje-lé minták

Az 52. ábrán szemléltetem, hogy minden kezelés hatással volt a fehérje-lé színére, míg a 350 MPa önmagában egy opálosabb, világosabb árnyalatot eredményezett, hőkezeléssel kombinálva már a minta darabossá vált, ahogyan a 450 MPa-os HHP után is.

A a^* -ban ezzel szemben a hőntartás és HHP kezelés nagyobb csökkenést eredményezett, mint a nyomásérték növelése. A 400 MPa-nál kisebb nyomásértékek a pasztörözéssel kombinált HHP kezelésnél is kisebb csökkenést eredményeztek a^* -ban. A kezelési idő növelésének hatása a P+HHP kezelésnél nagyobb volt, míg a H+HHP kezelésnél kisebb a^* -ra.

A sárga-kék színezetet a HHP kezelési idejének növelése nagyobb mértékben csökkentette, mint a két kombinált kezelés (30. ábra). A 400 és 450 MPa-on végzett HHP kezelés (16. ábra) nagyobb mértékű csökkenést eredményezett, mint a kezeléseket kombinációi. Azonban minden más nyomásérték kisebb mértékben csökkentette b^* értékét, mint a két hő- és HHP kombináció.

4.3.3. A tojásfehérje-lé reológiai tulajdonságainak változásai



53. ábra: A kombinált kezelésen átesett tojásfehérje-levek viszkozitásgörbéi

Az 53. ábra mutatja be a fehérje-lé viszkozitásgörbéit. Jól látható, hogy az előző kísérletekhez képest változik a görbék lefutása. A 450 MPa-on végzett HHP, illetve a H+350 kombináció is a görbe lefutását jelentősen befolyásolta, kisebb nyírási sebességnél (kb. 100 és 400 1/s tartományban) a látszólagos viszkozitás megugrik. Ennek magyarázata valószínű a mintában található agglomerátumok jelenléte. Ehhez hasonló lefutású folyásgörbéket publikáltak 56,6 °C-on hőkezelt fehérje-lé minták esetén (de Souza & Fernández, 2013), a tanulmány rámutatott, hogy a görbe lefutásának változása és a DSC módszerrel mért denaturációs entalpia csökkenése szoros összefüggésben áll.

XXIV. Táblázat: A kombinált kezelésen átesett tojásfehérje-levek folyásgörbéire illesztett Herschel–Bulkley modell értékei

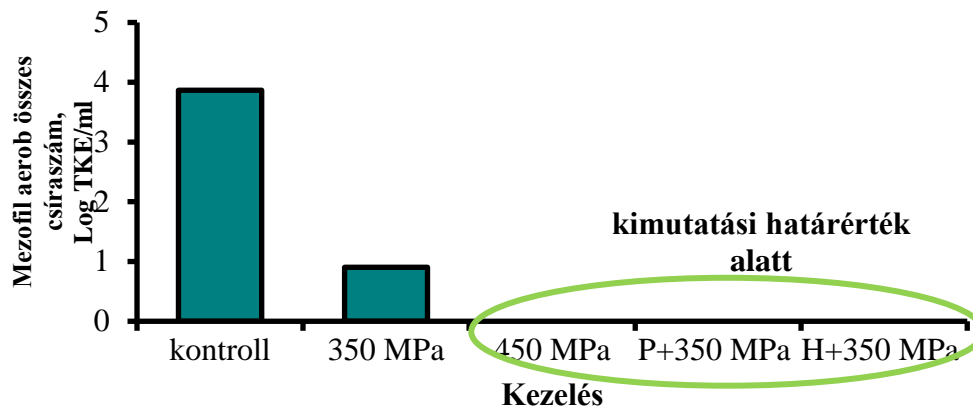
Kezelés	τ_0 (Pa)		K (Pas ⁻ⁿ)		n	R ²	
kontroll	0,00	±0,00	1,21E-04	±3,5E-05	1,97	±0,04	0,9976
350 MPa	0,00	±0,00	9,94E-04	±4,1E-05	1,93	±0,02	0,9973
P+350 MPa	0,00	±0,00	1,63E-04	±2,3E-05	1,90	±0,02	0,9969
H+350 MPa	0,55	±0,02	9,15E-01	±1,4E-03	0,87	±0,08	0,9723
450 MPa	2,13	±0,09	2,16E-01	±1,4E-03	1,25	±0,09	0,9790

A folyásgörbék lefutását jól magyarázzák az illesztett Herschel-Bulkley modell paraméterei (XXIV. Táblázat). A minták folyáshatárára (τ_0) számolt értékek a kontroll, a 350 MPa és a P+350 MPa minták esetében 0, míg a 450 MPa-on kezelt, illetve H+350 MPa mintáknál értéke nőtt. A K ugyanezen mintáknál kismértékben növekedett. Az n értékére minden kezelés hatására csökkent. A Herschel-Bulkley modell értékei alapján a kezelt fehérje-levek dilatális (shear-thickening), esetleg Casson folyadékoknak tekinthetők.

A nyomáskezelés nyomásértékével és kezelési idejének hatásával összevetve a hatványtörvénnyel számolt τ_0 értéke nagyobb a 450 MPa, 5 perc és a H+350 MPa kezelésekre. Az előző két kísérlethez hasonlóan n csökkent (XIV. Táblázat és XXII. Táblázat) A minták darabossága z ipari alkalmazhatóság szempontjából azt jelenti, hogy a kombinált kezeléseken átesett fehérje-lé

nehezebben szivattyúzható, továbbítható és keverhető. A nagyobb agglomerátumok miatt (52. ábra) nehezebben verhető belőle hab, illetve nem, vagy nagyobb erő befektetésével keverhető össze más alapanyagokkal homogén terméké. Tehát ebből a szempontból célszerűbb a fehérjelevet önmagában nyomáskezeln.

4.3.4. Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai

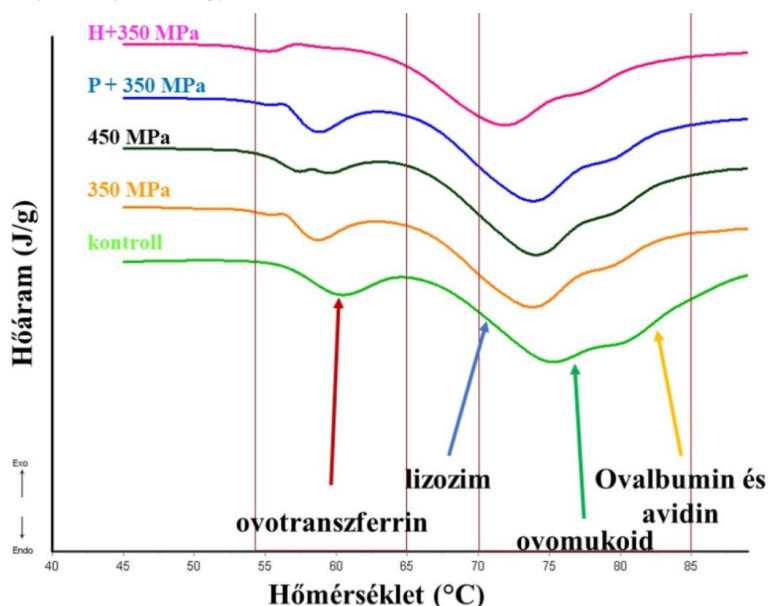


54. ábra: A kombinált kezelésen átesett tojásfehérje-lé minták mikrobiológiai változásai

Az 54. ábra szemlélteti az egyes kezelésekre bekövetkező csökkenést a minták mezofil aerob összecsíraszámában. A kontroll mikrobiológiai szennyezettsége közel egy nagyságrenddel kisebb, mint az előző két kísérletben bemutatott fehérje-lénél (23. és 37. ábra), ha összehasonlítom a 350 MPa, 5 perc hatására bekövetkező mikrobaszám-csökkenést, mindkét kísérletben több, mint 3 nagyságrendnyi csökkenést tapasztaltam (4.2.4. fejezet). A többi kezelés kimutatási határérték alatti mezofil aerob mikrobaszámot eredményezett (a 450 MPa, 5 perc ezen hatása egybevág a 4.2.4. fejezettel).

Ez alapján megállapítottam, hogy mikrobiológiai szempontból előnyös, ha 450 MPa-nál kisebb nyomásértéken végzett nyomáskezelést hőkezeléssel kombinálok.

4.3.5. A kezelések fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel



55. ábra: A hő- és HHP kezeléseken átesett tojásfehérje-lé minták hőáram-görbéi

Az 55. ábra mutatja be a fehérje-lé termogramjait. Látjuk, hogy a kontrollhoz képest egyértelműen csökken az első és második csúcs denaturációs hőmérséklete, ahogyan a görbe alatti területek is. Azonban a nagyobb nyomásérték és hőkezelés hatására azonos marad a görbék lefutása.

Ha összehasonlítjuk a görbéket a 4.1.5. fejezetben bemutatott termogramokkal (25. ábra), azt láthatjuk, hogy az 500 MPa, és annál nagyobb nyomásértékek jobban denaturálták, befolyásolták a fehérje-lé fehérjéinek szerkezetét, mint a kisebb mértékű nyomáskezelés és hőkezelés kombinációja. Ez alapján megállapítom, hogy a kombinált kezelések alkalmazása előnyösebb a fehérjékre, mint az 500 MPa, vagy annál nagyobb nyomáson végzett HHP kezelés.

XXV. Táblázat: A HHP kezelésen és a hő- és nyomáskezelésen átesett tojásfehérje-lé minták DSC méréseinek összesítő eredményei

kezelés	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C	T_{d2} , °C
kontroll	1,504±0,06	66,74±0,26	85,96±0,21
350 MPa	1,356±0,01	56,64±0,84 ^{AB}	80,49±1,14 ^{AB}
450 MPa	1,237±0,09	66,41±1,21 ^{AB}	81,16±1,31 ^{AB}
P + 350 MPa	1,176±0,01	56,71±0,62	80,59±0,96 ^{AB}
H + 350 MPa	1,147±0,04 ^{AB}	63,9±0,91	79,02±0,41 ^{AB}

A XV. Táblázatban összegzem a termogramokról leolvasott értékeket. A denaturációs entalpia értéke nagyobb mértékű csökkenést mutat a kombinált kezeléseknél, mint a nyomáskezelésnél önmagában. A két hőkezelést összehasonlítva viszont a hőntartás és pasztörözés hatásának különbsége csekély. Jelen kísérletben ugyan nagyobb ΔH mértem, mint a 4.1.5 fejezetben. Azonban, ha a 350 és 450 MPa 5 perc kezelés hatását a kontroll minta ΔH értékének százalékában fejezem ki, akkor közel azonos változásokat fedezünk fel (a 4.1.5 fejezetben: 350 MPa, 5 perc: mintegy 14%, 450 MPa, 5 perc: 20%, míg jelen kísérletben: 12 és 17% csökkenést eredményez).

A T_{d1} hőmérséklete minden mintánál csökkent, amely a legnagyobb (közel $10\text{ }^{\circ}\text{C}$) a 350 MPa -on kezelt, illetve pasztőrözött és 350 MPa -on kezelt minta esetében. Ezzel szemben T_{d2} hőmérséklete csökkent, illetve az ábrán is jól látható, hogy a legalább két fehérjefrakció denaturációjából keletkező második csúcs nagyobb hőmérsékletű része csökkent a kezelések hatására. Ez valószínű az ovalbumin ($84\text{ }^{\circ}\text{C}$), az avidin ($85\text{ }^{\circ}\text{C}$) esetleg az ovomukoid ($79\text{ }^{\circ}\text{C}$) kezelések hatására bekövetkezett nagyobb denaturációja okozhatja. A csúcs $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ körüli része változatlan, ez arra enged következtetni, hogy a lizozim ($70\text{ }^{\circ}\text{C}$) szerkezetére a kezelések nem voltak hatással.

Llave munkatársaival megállapította, hogy az Ohmikus melegítés, illetve a laboratóriumi vízfürdőben végzett hőkezelés egyaránt csökkenti a tojásfehérjében denaturálható fehérjék mennyiségét. Ez első sorban – hőmérséklettől függően – az ovalbumin mennyiségét csökkenti, tehát a második csúcs területe csökken. A tanulmány kitér arra is, hogy minél kisebb a második csúcs alatti terület, annál nagyobb turbiditás mérhető a tojásfehérjében (Llave et al., 2018).

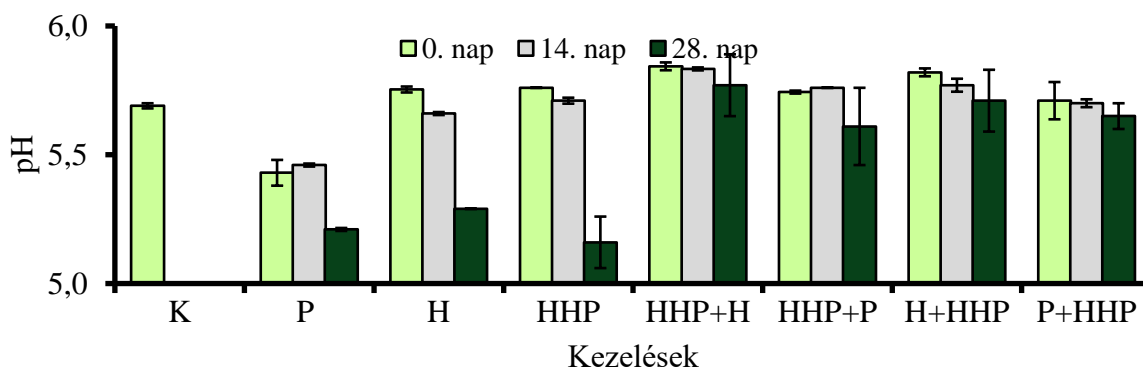
A kísérletemben hasonló tendencia figyelhető meg: ahogyan csökkent a mintában a ΔH értéke (XXV. Táblázat), csökkent a második csúcs területe, úgy nőtt a L^* értéke (49. ábra), illetve a^* értéke is (50. ábra), a minta opálosabbá vált (52. ábra).

A kombinált hő- és HHP kezeléseken átesett fehérje-lé denaturációs entalpiáját kisebb mértékben csökkentették a kombinált kezelések, mint a hosszabb nyomáskezelési idő (XXII. Táblázat), vagy a nagyobb nyomásérték alkalmazása (XVI. Táblázat). Tehát a hő- és HHP kezelés kombinációja a fehérje-lénél a fehérjék szempontjából kedvezőbbek, mint az 500 MPa , vagy annál nagyobb nyomáson, vagy a 400 MPa -on 7 perc, vagy annál hosszabb ideig végzett nyomáskezelés.

4.4. A HHP és a hőkezelés sorrendjének hatása a tojáslevek tulajdonságaira

4.4.1. A tojáslevek pH-értékének változása

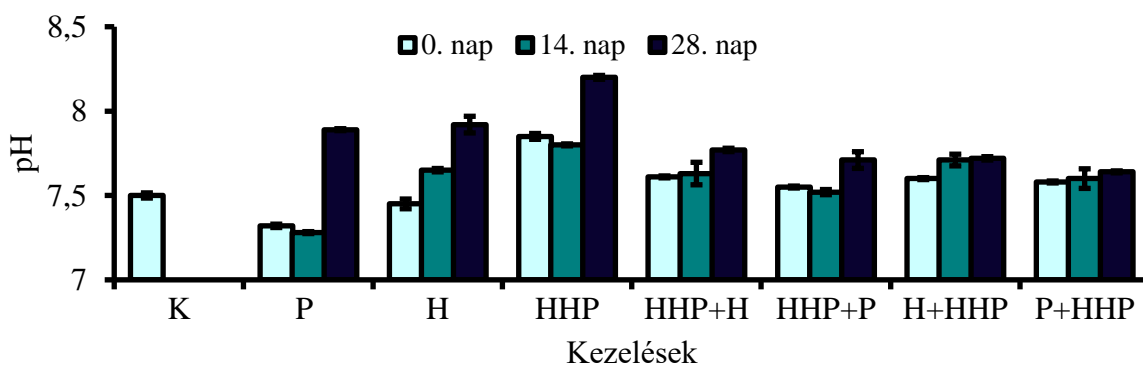
Ahogy az előző kísérletekben bemutattam, a HHP nyomásértéke, a kezelés ideje, illetve a hőkezelések is különböző módon hatnak a tojáslevek tulajdonságaira. A kezelések sorrendje azonban szintén gyakran befolyásoló tényező, így ennek hatásait is meg kell vizsgálnunk. Az előző kísérleteimhez hasonlóan, a tojáslevek pH-változása rendkívül kicsi, a gyakorlati szempontból gyakran nem tekinthető számottevőnek.



56. ábra: A kombinált kezelésekben átesett teljes tojáslé minták pH-értékének alakulása a tárolás során

A teljes tojáslé pH-értékének változását szemlélteti az 56. ábra a tárolás és a kezelések hatására. A kezelések növelték a pH-t, kivéve a pasztörözés. A tárolás 14. napjára a 0. naphoz képest minden minta pH-értéke csökkent, kivéve a P mintát, amely lényegében nem változott. A 28. napra azonban már ezen minta pH-értéke is csökkent. Legnagyobb mértékben a csupán HHP kezelt mintáé változott, ez a többi mintánál nagyobb mikrobiológiai szennyezettségre utal (68. ábra).

A kezelések kombinációi jobban növelték a teljes tojáslé pH-értékét a kezeléseket követően, mint az önmagukban alkalmazott kezelések, majd pH-juk a tárolás alatt kisebb mértékben csökkent. A kezelések sorrendjének a statisztikai értékelés alapján a hőntartással kombinált HHP kezelés szignifikáns változást okozott a teljes tojáslé pH-jában, míg a többi kezelés nem. A nyomáskezelés nyomásértékének és kezelési idejének növelése nagyobb mértékben növelték a teljes tojáslé pH-értékét (13 és 27. ábra), mint a hő- és HHP kezelés kombinációi.

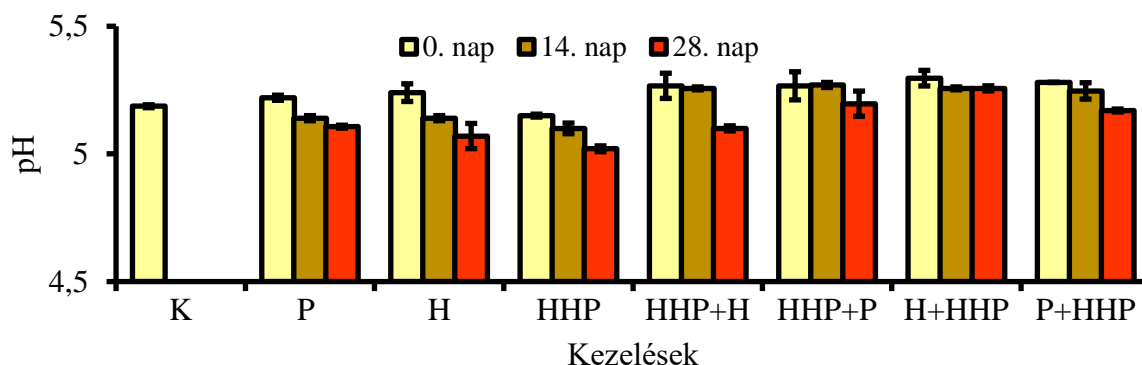


57. ábra: A kombinált kezelésekben átesett tojásfehérje-lé minták pH-értékének alakulása a tárolás és a kezelések hatására

Az 57. ábra szemlélteti, hogy a fehérje-levek pH-értéke a kezeléseket követően nőtt, ez alól kivétel hőntartáson átesett minta, amely pH-ja kismértékben ugyan, de csökkent. A statisztikai értékelés alapján egyik kezelés hatása sem szignifikáns.

A szakirodalomnak megfelelően a fehérje-lé pH-ja a tárolás során nő (Hester, 2017). A legnagyobb változás a csak pasztörözött és csak nyomáskezelte mintáknál tapasztaltam. Az eltérő mértékű növekedése a mikrobák szaporodására is utalhat (69. ábra). Az előző kísérletek eredményeivel

összevetve az önmagában alkalmazott HHP nagyobb mértékben növeli a fehérje-lé pH-ját, mint a hő- és HHP kombinációja (13. 27. és 48. ábra).



58. ábra: A kombinált kezelésekén átesett tojássárgája-lé minták pH-értékének alakulása a tárolás és a kezelések hatására

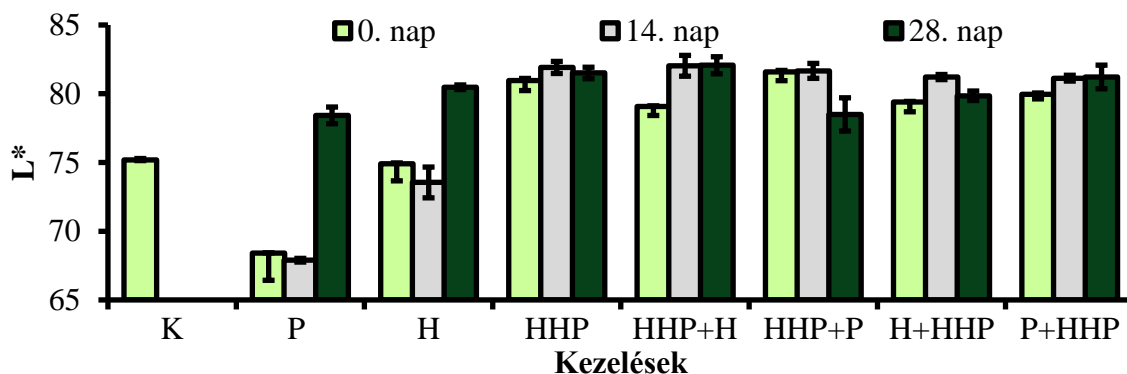
A kezelések növelték a sárgája-lé pH-értékét, kivéve az önmagában alkalmazott HHP, amely lényegében nem befolyásolta azt (58. ábra), majd a tárolás során minden minta pH-értéke csökkent. A kezelések sorrendjének nem volt eltérő hatása a pH-ra. A statisztikai értékelés alapján minden kombinált kezelés szignifikánsan befolyásolja a sárgája-lé pH-ját.

Az előző kísérletek alapján az önmagában alkalmazott HHP nyomásértéke nagyobb hatással van a sárgája-lé pH-jára, mint a kombinált kezelések (13. ábra), a kezelési idő viszont kisebb hatással bír (27. ábra).

A kezelések, a sorrendnek csupán a teljes-tojáslénél volt hatása: a tárolás 28. napján az elsőként hő-, majd nyomáskezelte minták pH-értéke kisebb mértékben változott. A sárgája- és fehérje-lénél a kezelések sorrendje nem okoz eltérést, tehát ez alapján mindegy, mely kezelési sorrendet választunk.

4.4.2. A tojáslevek színének változása

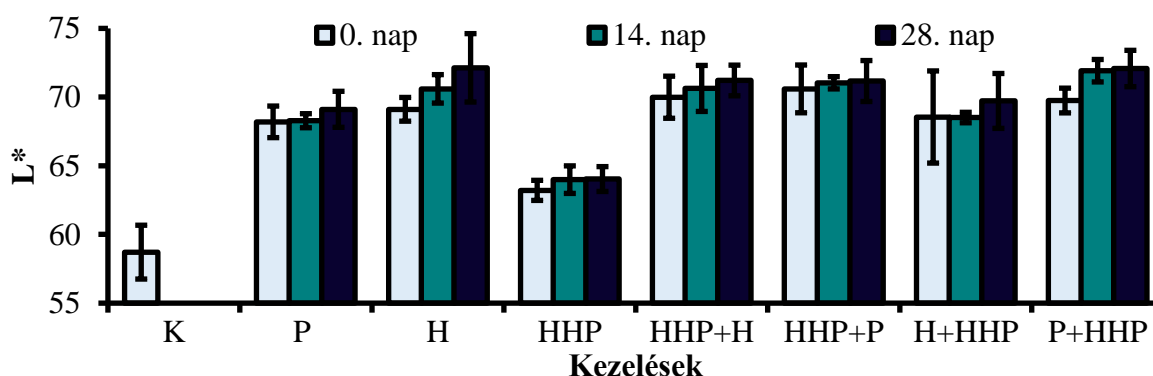
Az előző kísérleteket követően megvizsgáltam, hatással van-e a hő- és nyomáskezelés sorrendje és a tárolás a tojáslevek színére.



59. ábra: A teljes tojáslevek világossági tényezőjének alakulása a tárolás alatt a kezelések hatására

Minden hő- és nyomáskezelésen átesett teljes tojáslé minta L^* értéke nőtt (59. ábra), míg a két szimpla hőkezelés kismértékben, de csökkentette. A tárolás 14. napján ugyanezt tapasztaltam: a P és H minta tovább sötétebb lett, míg a többi minta színe világosodott. A 28. napon már minden minta nagyobb L^* értéket vett fel, mint a kontroll. Az előbb hőkezelt, majd nyomáskezelt minták L^* értékei kisebb mértékben változtak, mint a fordított sorrend alkalmazása esetén. Ez alapján célszerűbb előbb hő-, majd nyomáskezelt a teljes tojáslevet.

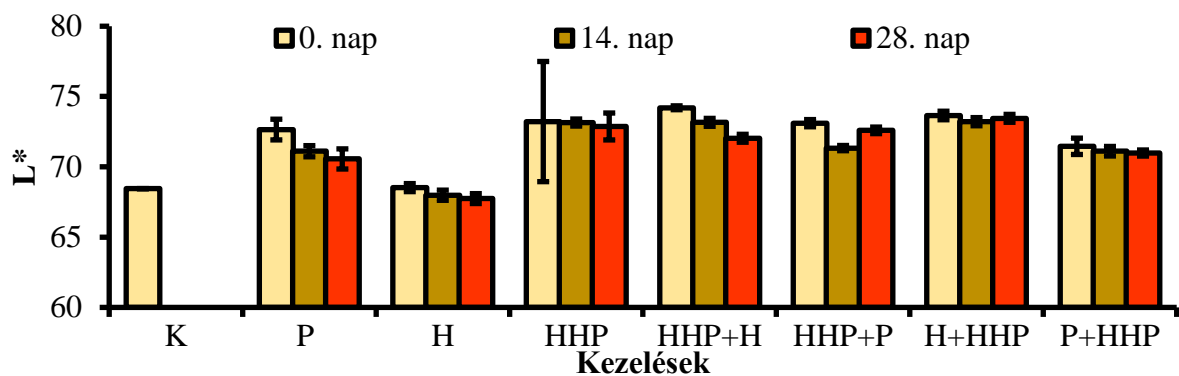
A teljes tojáslevek világossági tényezője nagyobb mértékben nő a nyomásérték növelésének hatására (14. ábra:), míg a kezelési idő növelése közel azonos növekedést okoz (28. ábra), mint a kombinált kezelések alkalmazása. A statisztikai értékelés alapján azonban a kombinált kezelések hatása nem szignifikáns L^* értékére.



60. ábra: A tojásfehérje-levek világossági tényezőjének alakulása a tárolás alatt a kezelések hatására

Minden kezelés hatására nőtt a fehérje-lé világossági tényezője (60. ábra), ahogyan az előző kísérletben is (49. ábra). A tárolás során is kismértékű emelkedést tapasztaltam L^* értékében. A statisztikai értékelés alapján a hőntartással kombinált kezelések hatása szignifikáns, tehát a fehérje-levet célszerűbb nagyobb hőmérsékleten, rövidebb ideig kezelni (pasztőrözni). A kezelések sorrendjének viszont nincs hatása statisztikai szempontból. Az önmagában alkalmazott HHP nyomásértékének növelése nagyobb mértékben növeli L^* értékét (14. ábra), a kezelési idő kisebb hatással van L^* -ra (28. ábra), mint a kombinált kezelések. Vagyis a fehérje-levet célszerű 450 MPa-nál kisebb nyomásértéken, vagy kombinálva kezelni.

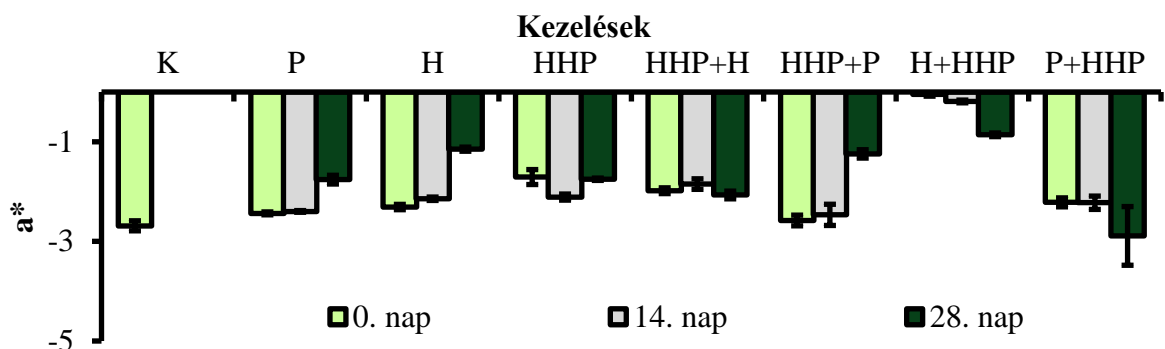
Egy csirkehúson folytatott kísérlet alapján a hőkezelés nagyobb hatással bír a fehérjék denaturációjára, mint a HHP, így a hús világossági tényezőjét és színíngert-különbségét is nagyobb mértékben növeli (Ros-Polski et al., 2015). Eredményeim alapján ez igaz a fehérje-lére is: az önmagában végzett hőkezelés nagyobb mértékben növeli a fehérje-lé L^* értékét, mint az önmagában végzett HHP (4.4.2. fejezet, 60. ábra).



61. ábra: A tojássárgája-levek világossági tényezőjének alakulása a tárolás alatt a kezelések hatására

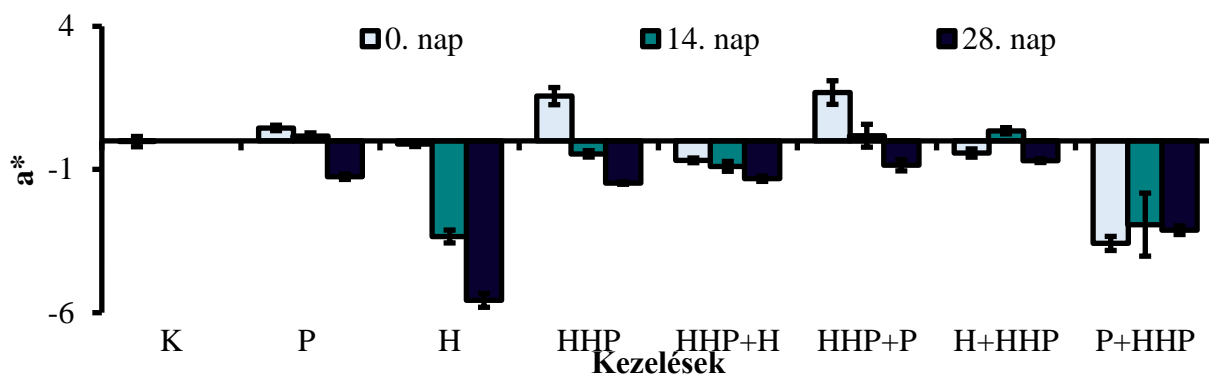
A sárgája-lé L^* értékei a kezelések hatására a fehérje- és teljes tojásléhez hasonlóan nőttek, míg a tárolás alatt némi csökkenést mutatnak (61. ábra). A kezelések sorrendje hasonló hatással bír, mint a fehérje-lé esetében, tehát kisebb változást eredményez a hő-, majd nyomáskezelés alkalmazása. A statisztikai értékelés alapján a hőntartással kombinált kezelések hatása szignifikáns.

A kombinált kezelések és az önmagában alkalmazott nyomáskezelés hatását összehasonlítva lényegében ugyanakkora növekedést eredményez a 400MPa-nál nagyobb nyomásérték (14. ábra) és a kezelési idő 7 és 10 percre növelése (28. ábra) is, mint a kombinált kezelések.



62. ábra: A vörös-zöld színezet alakulása a tárolás alatt a kezelések hatására a teljes tojáslé mintákban

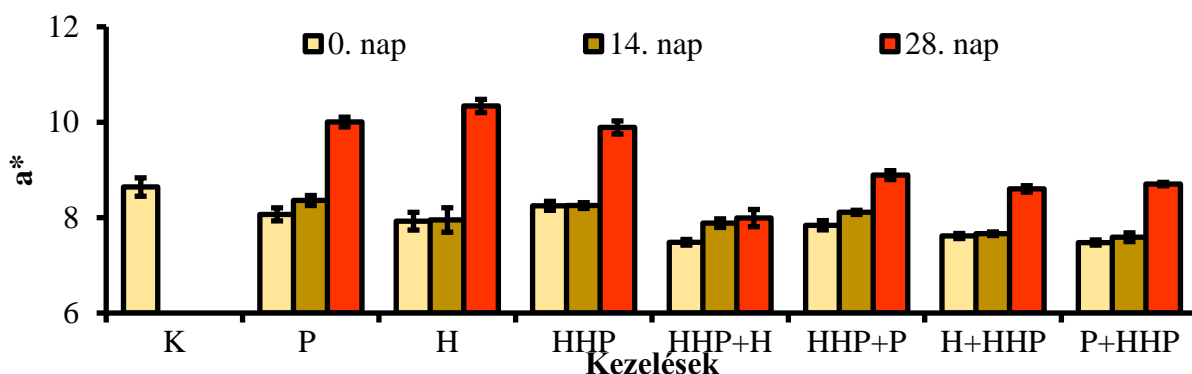
A teljes tojáslé zöld színezetét kismértékben, de növelik a kezelések, ezt a 62. ábrán mutatom be, amelyet a kismértékű változás jobb szemléltetése érdekében kisebb intervallumon ábrázolok. Statisztikai szempontból szignifikáns változást okozott az önmagában alkalmazott HHP, valamint a H+HHP kezelés. A kezelések sorrendje kedvezőbb, ha előbb hő- majd nyomáskezeltem a mintákat. A tárolás alatt a^* értéke tovább növekedett a mintáknál, kivéve a HHP+H, H+HHP és a P+HHP, amelyek színe a zöldes irányba tolódott a 28. napra. Az előző kísérleteim alapján a nyomásérték növelése kisebb mértékben befolyásolta a^* értékét (15. ábra:). A HHP kezelési idejének növelése szintén kisebb eltérést eredményezett (29. ábra).



63. ábra: A vörös-zöld színezet alakulása a tárolás alatt a kezelések hatására a tojásfehérje mintáknál

A fehérje-lé a^* értékeit csökkentették a kezelések, kivéve az önmagában alkalmazott pasztörözés és nyomáskezelés, illetve kombinációjuk (HHP+P). A tárolási 28. napjára azonban ezen mintáknál is csökkenést tapasztaltam (63. ábra). Statisztikai szempontból a H, illetve az elsőként történő hőkezelések okoztak szignifikáns változásokat.

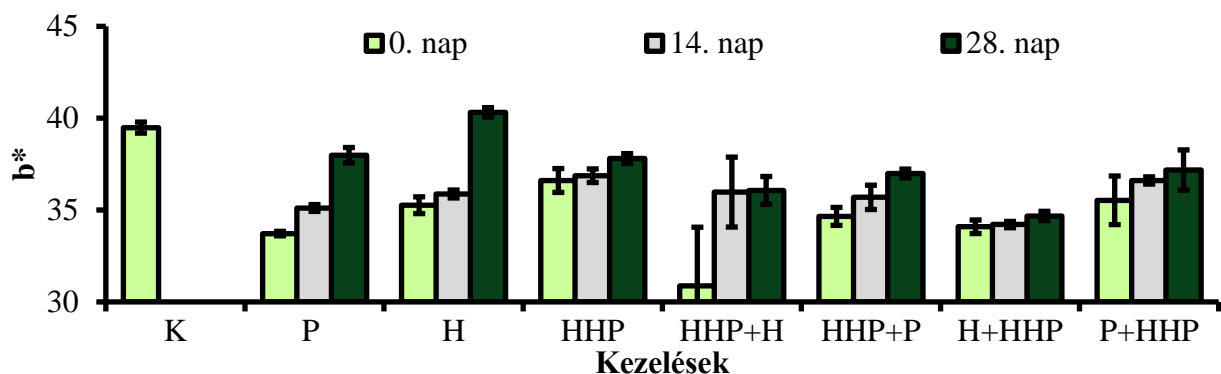
A kezelések hatására bekövetkező csökkenést tapasztaltam az előző kombinált kezelést vizsgáló kísérletben is (50. ábra). A nyomáskezelés nyomásértékének növelésekor tapasztaltam a legkisebb változást a^* értékében (15. ábra:), míg a kezelési idő 10 percre növelése közel azonos változást jelent (29. ábra), mint a kombinált kezelések alkalmazása.



64. ábra: A vörös-zöld színezet alakulása a tárolás alatt a kezelések hatására a tojássárgája mintákban

A sárgája-lé vörös árnyalatát kismértékben csökkentették a kezelések, viszont a tárolás 28. napjára a minták vörös színezete nőtt a kontrollhoz képest (kivéve HHP+H). A teljes tojásnál ehhez hasonló változásokat tapasztaltam (64. ábra). A kombinált kezelések kisebb mértékben befolyásolták a vörös-zöld színezet alakulását (15. ábra:). A statisztikai értékelés alapján a HHP+H és a P+HHP kezelések szignifikánsan hatottak a^* értékére.

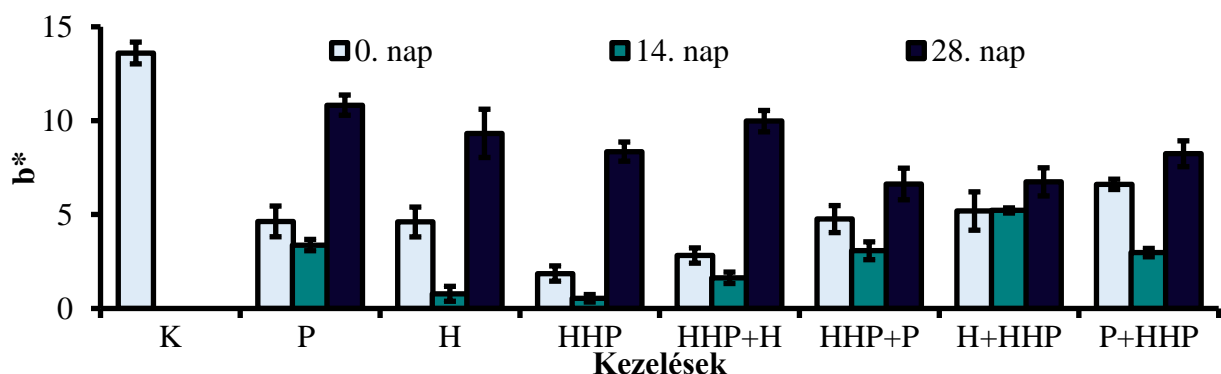
A HHP kezelési idejének 10 percre növelése hasonló mértékben csökkentette a sárgája-lé a^* -értékeit, mint a kombinált kezelések (29. ábra). Ezzel szemben a 450 MPa és ennél nagyobb nyomásértékek nagyobb mértékben növelték a sárgája a^* -értékei (15. ábra).



65. ábra: A sárga-kék színezet alakulása a tárolás során a kezelések hatására a teljes tojásnál

A teljes tojáslé sárga-kék színezetét csökkentették a kezelések, amit a legnagyobb mértékben a HHP+H mintánál tapasztaltam (65. ábra). A tárolás során ugyan b^* nőtt, de csak a H minta b^* értéke érte el a kontroll mintáét. Az önmagában alkalmazott HHP-n kívül minden kezelés hatása szignifikáns. A kezelések sorrendjét tekintve előnyösebb az elsőként hő-majd nyomáskezelés alkalmazása, mivel ez kisebb mértékben csökkentette b^* értékét.

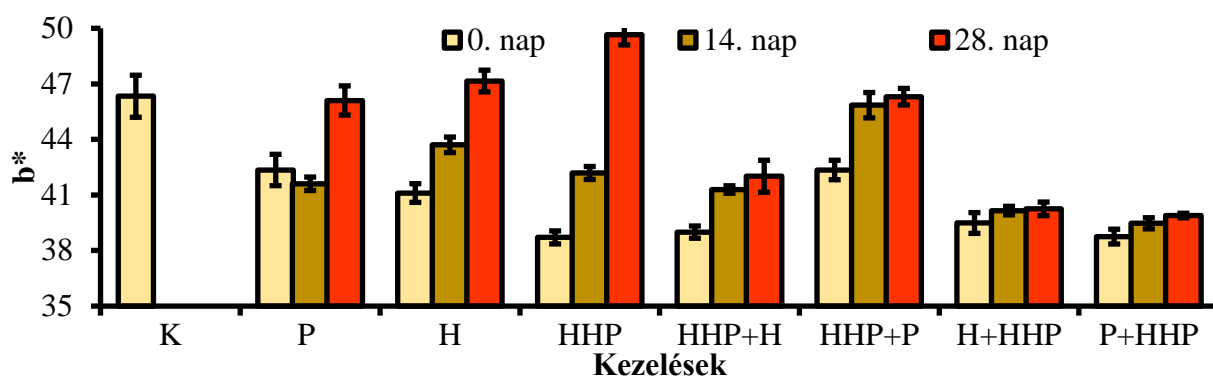
A HHP kezelés idejének 10 percre növelése sem okozott akkora csökkenést, mint a kombinált kezelések (30. ábra), míg a 600 MPa 5 perc kezelés közel azonos változást eredményezett, mint a kombinált kezelések (16. ábra).



66. ábra: A sárga-kék színezet alakulása a tárolás során a kezelések hatására a tojásfehérje-lénél

A teljes tojásléhez hasonló eredményt kaptam a fehérje-lénél is (66. ábra). A kontroll sárgás színárnyalatát legnagyobb mértékben a HHP kezelés csökkentette, míg legkevésbé az először hőkezelt, majd HHP kezelt minták b^* értékei változtak. A tárolás 28. napjára nőtt b^* értéke, azonban a kontroll értékét nem érte el. Minden kezelés szignifikáns változást eredményezett. A változások mértéke alapján a hőkezelést követő HHP az előnyösebb sorrend.

A HHP nyomásértékének növelése kisebb csökkenést okoz a fehérje-lé b^* -értékében (16. ábra), mint a kombinált kezelések. A kezelési idő 10 percre növelése közel azonos hatással bír (30. ábra).



67. ábra: A sárga-kék színezet alakulása a tárolás során a kezelések hatására a tojássárgája-lénél

A sárgája-lé sárgás színét szignifikánsan csökkentették a kezelések a 0. napon, azonban ezt követően b^* értékei növekedést mutatnak, amelyet a 67. ábra szemléltet. A sorrend tekintetében a HHP kezelést követő hőkezelés okoz kisebb változást b^* értékében.

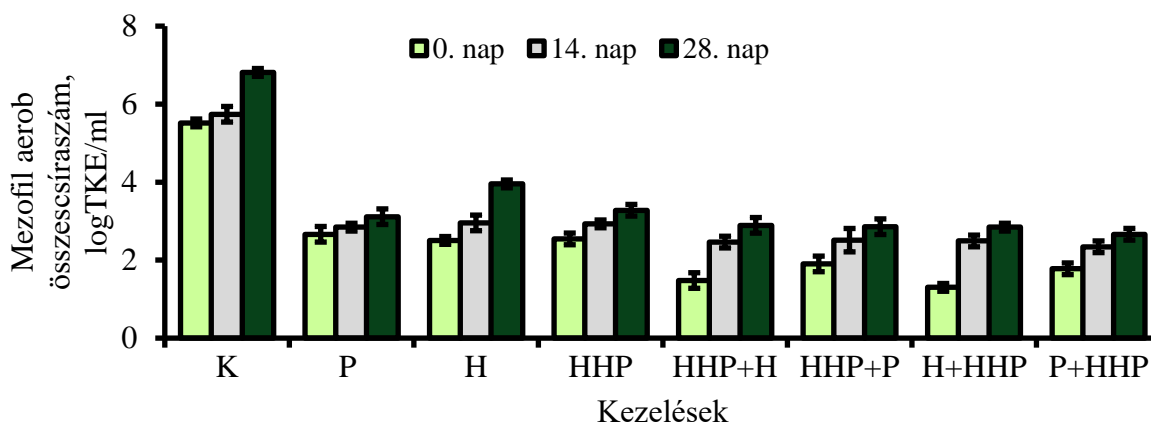
A HHP 500 MPa feletti nyomásértéken b^* értékeit nagyobb mértékben növeli (16. ábra), mint a kezelési idő 10 percre növelése (30. ábra) A kombinált kezelések hatása a legnagyobb, a sárgája b^* értékeire.

A tojáslé minták színingerkülönbsége (ΔE_{ab}^*) minden mintánál jól látható, illetve a nagyon jól látható tartományba esik (5. Melléklet). A 0. napon mért értékekből látszik, hogy a kezelések a legnagyobb hatással a fehérje-lé színére voltak, ugyanezt tapasztaltam a 14. és 28. napon. Ehhez hasonlóan a legnagyobb színezeti különbséget is a fehérje-lénél kaptam. A tárolás alatt azonban ΔH^*_{ab} értéke általában csökkent minden tojáslénél. Ezzel szemben a legnagyobb króma értékeket a sárgája-lénél kaptam, míg a legkisebbeket a fehérje-lénél. Ez alapján a fehérje-lé világossági tényezője változott első sorban és nem a^* és b^* értékei.

A kombinált kezelések sorrendjét vizsgálva összességében elmondható, hogy a tojáslevek színét kisebb mértékben befolyásolta az először történő hőkezelés majd HHP kezelés, mint a kezelések fordított sorrendje. Tehát ez alapján kedvezőbb elsőként hőkezelni a tojásleveket.

4.4.3. Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai

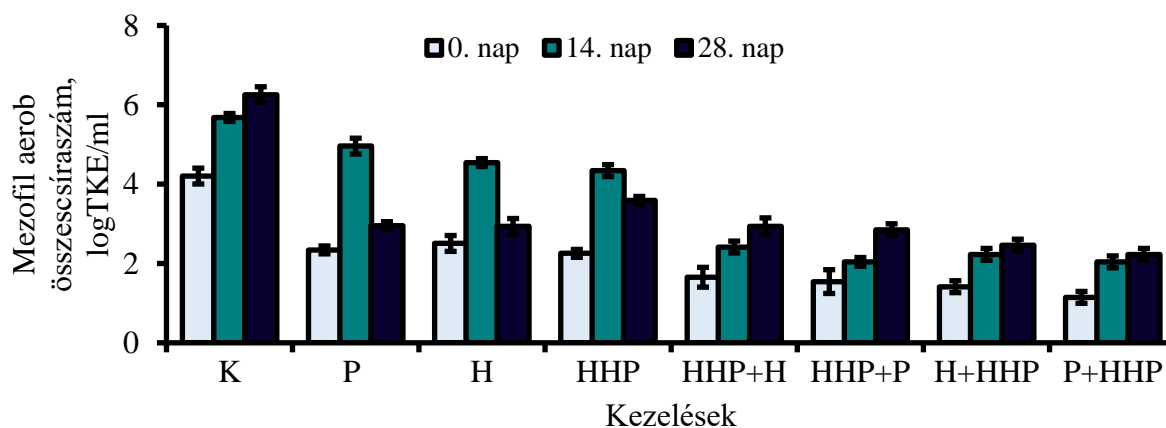
A 68. ábrán mutatom be a kombinált kezelések mikrobapusztító hatását, illetve a tárolás alatt bekövetkezett mikrobiológiai változásokat a teljes tojásleben. A kiindulási mezofil aerob mikrobaszám mintegy három nagyságrenddel csökkent az önmagukban alkalmazott hőkezelések és HHP hatására, míg a kombinált kezelések 3,5 – 4 nagyságrendű csökkenését eredményezték.



68. ábra: A teljes tojáslé mezofil aerob csíraszámának változása a tárolás alatt a kezelések hatására

A 14. napra a kombinált kezelésem átesett mintákban is láthatunk szaporodást, ez azonban csupán mintegy 1-1,5 nagyságrendnyi növekedés. A tárolás alatt a legnagyobb növekedést a kontroll és H mintában tapasztaltam. Arányaiban a legnagyobb szaporodás a kombinált kezelésem átesett mintáknál történt a 28. napra, de ez is 2-2,5 nagyságrenddel kisebb, mint a kiindulási mikrobaszám.

Ezzel szemben az önmagában alkalmazott HHP 450 és afeletti nyomásértékeken már kimutatási határérték alá csökkentette a teljes tojáslé mikrobaszámát (4,7 nagyságrendnyi csökkenés, 23. ábra). A kezelési idő 10 percre növelésével viszont csak 3 nagyságrendnyi csökkenést értem el (37. ábra). Tehát a kombinált kezelések ugyan hatásosabbak mikrobiológiai szempontból, mint a hosszabb kezelési idő, azonban a nagyobb nyomásérték jobb mikrobiológiai hatással bír.

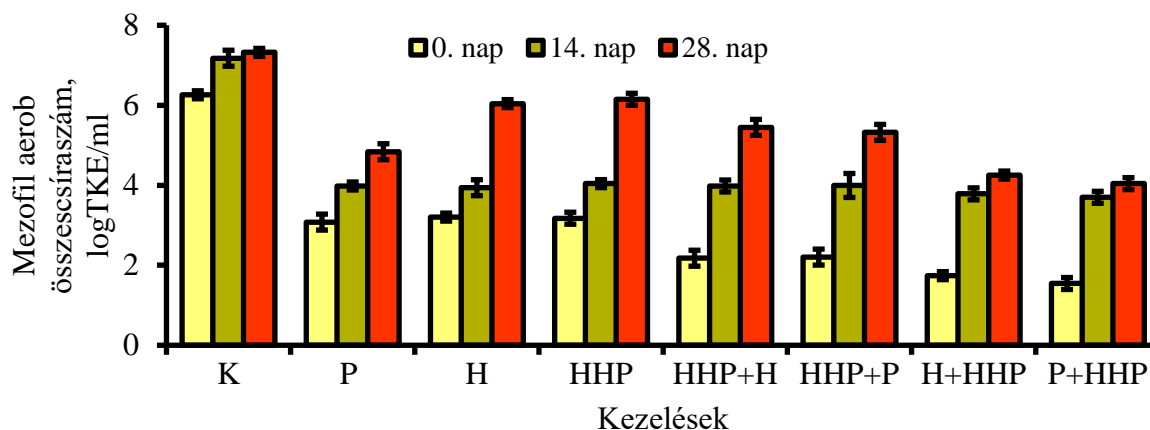


69. ábra: A tojásfehérje-lé mezofil aerob csíraszámának változása a tárolás alatt a kezelések hatására

A 69. ábra szemlélteti, a fehérje-lé kisebb kezdeti mikrobaszámmal bír, mint a teljes tojáslé. Ennek ellenére a fehérje-lé kombinált kezelése is 2-2,5 nagyságrendnyi mezofil aerob mikrobaszám csökkenést eredményeztek, míg az önmagukban alkalmazott kezelése 1,5 nagyságrendnyi csökkenést értek el. A kezelése sorrendje közül kedvezőbb a hőkezelést követő

HHP kezelés, amely a 0. napon 0,1-0,2, míg a 28. napon 0,5 nagyságrendnyi különbséget jelent a különböző sorrendben kezelt fehérje-levek csíraszámában.

A fehérje-lénél a leghatásosabb a 450 MPa, vagy afeletti nyomásértékek alkalmazása (23. ábra), ezt követi a hosszabb kezelési idő (37. ábra). A legkisebb mikrobapusztító hatást a kombinált kezelésekkel értem el. Ez alapján nem a kombinált hő- és HHP kezelést javaslom a fehérje-lé mikrobaszámának csökkentésére.



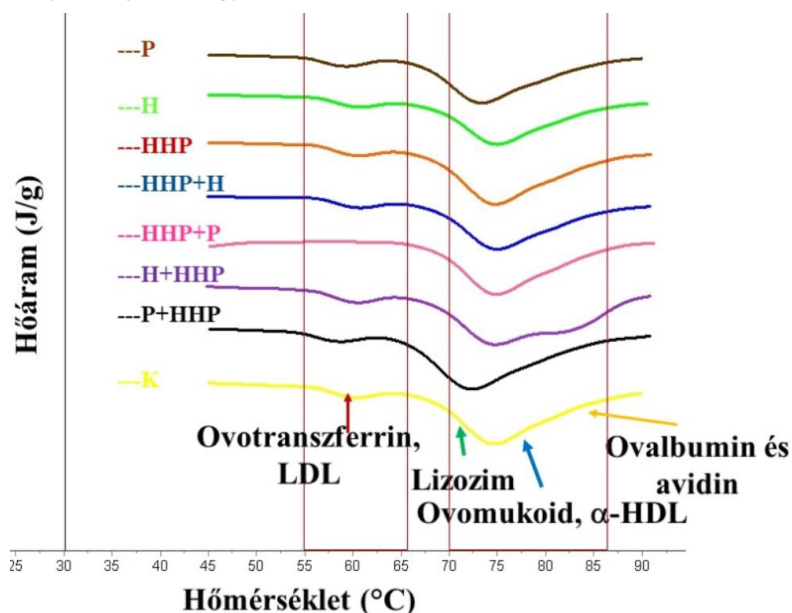
70. ábra: A tojássárgája-lé mezofil aerob csíraszámának változása a tárolás alatt a kezelések hatására

A három tojáslé közül a legnagyobb kiindulási mikrobiológiai szennyezettséget a sárgája-lénél tapasztaltam. A 70. ábra alapján, több, mint 6 nagyságrendnyi volt a kontroll kiindulási mezofil aerob csíraszám. Ezt legjobban a kombinált kezelésekkel tudtam csökkenteni (mintegy 4 nagyságrenddel). A tárolás alatt a sárgája-lénél tapasztaltam a legnagyobb mikrobaszám-növekedést, ez a 28. napra 3,5-4 nagyságrendnyi növekedést jelentett. Ez igen kedvezőtlen, hiszen a szaporodás megakadályozása, minimalizálása a cél. A sárgája-lénél – a fehérje-léhez hasonlóan – kedvezőbb a hőkezelést követő nyomáskezelés, amely a 0. napon 0,5-1, míg a 28. napon 1,1-1,3 nagyságrenddel kisebb mikrobaszámot jelent a fordított sorrendhez képest.

Az önmagában alkalmazott HHP kezeléssel 500 MPa és afeletti nyomásértékeken 5,5 nagyságrendnyi csökkenést tudtam elérni (23. ábra), míg a kombinált kezeléseknél legfeljebb 4,5 nagyságrendnyi csökkenést állapítottam meg. A kezelési idő növelése volt a legkisebb mikrobiológiai hatással a sárgája-lénél, mintegy 3,5 nagyságrendnyi csökkenéssel (37. ábra).

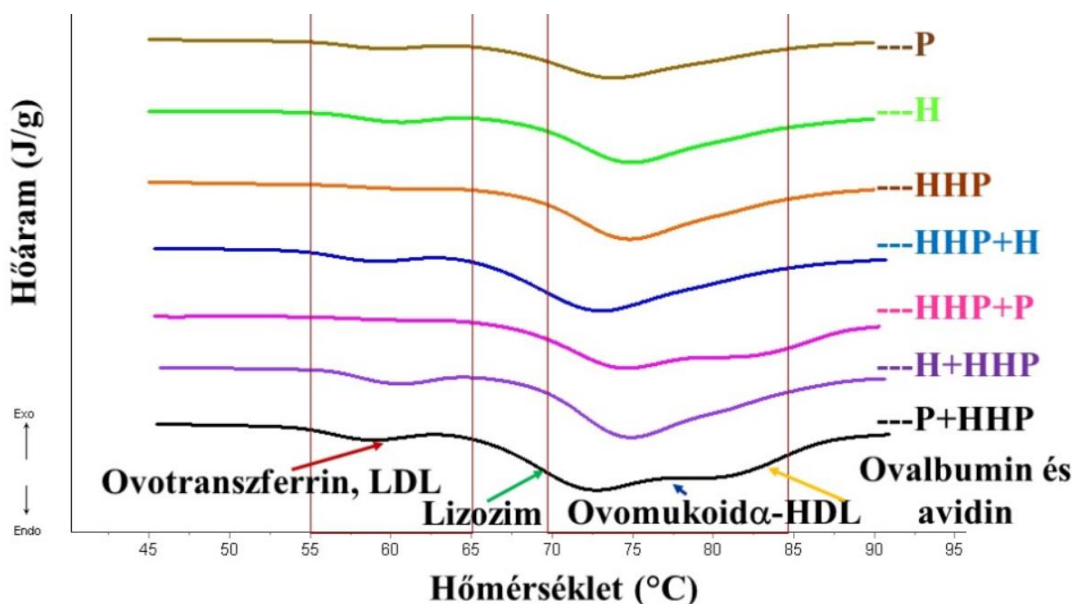
A mikrobiológiai szennyezettség csökkentésére a kezelések sorrendjének hatása a teljes tojáslénél nem figyelhető meg, míg a fehérje- és sárgája-levek esetében az először hő-, majd nyomáskezelt mintákban kisebb mezofil aerob összes csíraszámot mértem. Így célszerű – ahogyan a szín változásai alapján is – elsőként hő-, majd nyomás kezelni a tojásleveket.

4.4.4. A kezelések fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel



71. ábra: A teljes tojáslé minták termogramjai a kezeléseket követően

A 71. ábrán mutatom be a teljes tojáslé termogramjait a kezeléseket követően, míg a 72. ábra a tárolás 28. napján felvett termogramokat összegzi. A kombinált kezeléseken átesett mintáknál láthatunk olyan termogramokat, amelyeknél a második denaturációs csúcs több részből tevődik össze (0. nap: H+HHP, míg a 28. napon a P+HHP, H+HHP és HHP+P is megfigyelhető). Ehhez hasonló tapasztaltam a 4.1.5 és 4.2.5 fejezetekben bemutatott eredményeknél is. Ez ebben az esetben is a lizozim, ovomukoid és az ovalbumin különböző arányban jelentkező denaturációjából ered.



72. ábra: A teljes tojáslé minták termogramjai a kezelés utáni 28. napon

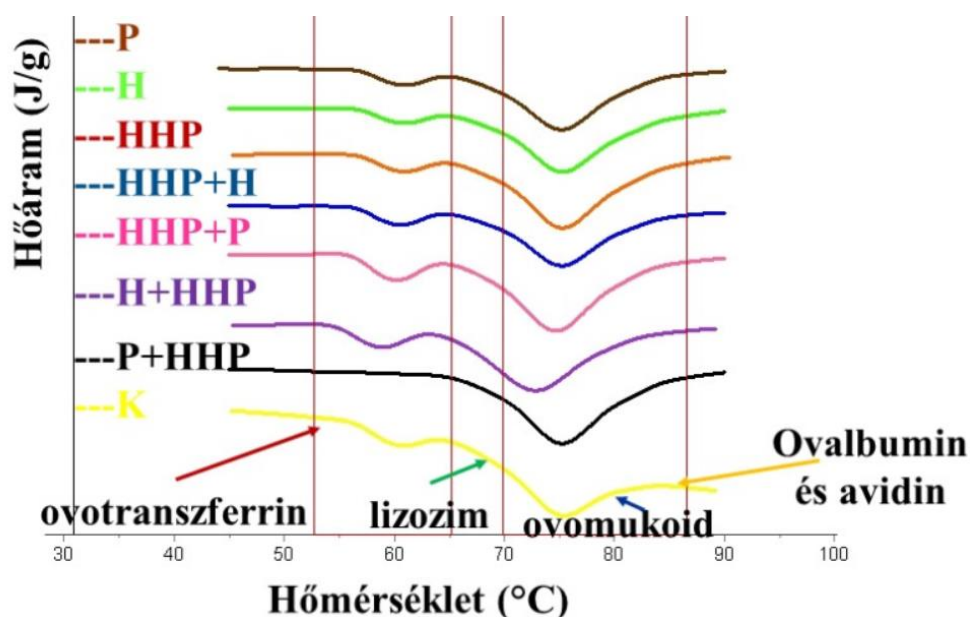
A XXVI. Táblázatban foglaltam össze a teljes tojáslé minták termogramjairól leolvasható információk számszerűsített értékeit.

XXVI. Táblázat: A teljes tojáslé minták denaturációs entalpiái és csúcshőmérsékletei a 0. és 28. napon

	0. nap			28. nap		
	ΔH (J/g)	T _{d1} , °C	T _{d2} , °C	ΔH (J/g)	T _{d1} , °C	T _{d2} , °C
k	1,326±0,035	60,45±0,25	74,93±0,15	-	-	-
H	1,217±0,037	59,93±0,45	73,96±0,35	1,205±0,039	56,33±0,85	69,12±0,92
P	1,238±0,031	58,22±0,38	72,67±0,53	1,215±0,03	58,78±0,81	72,69±0,45
HHP	1,2535±0,039	60,40±0,59	74,84±0,84	1,1365±0,031	59,89±0,62	74,17±0,95
HHP+H	1,138±0,033	57,91±0,73	77,36±0,66	0,945±0,035	58,99±0,24	72,71±0,1
HHP+P	1,1495±0,034	59,85±0,44	74,56±0,95	1,115±0,038	60,25±0,95	74,31±0,74
H+HHP	1,1335±0,031	59,34±0,69	73,5±0,1	0,996±0,033	60,10±0,6	74,6±0,55
P+HHP	1,145±0,035	60,45±0,51	74,93±0,66	1,116±0,037	57,75±0,19	72,13±0,23

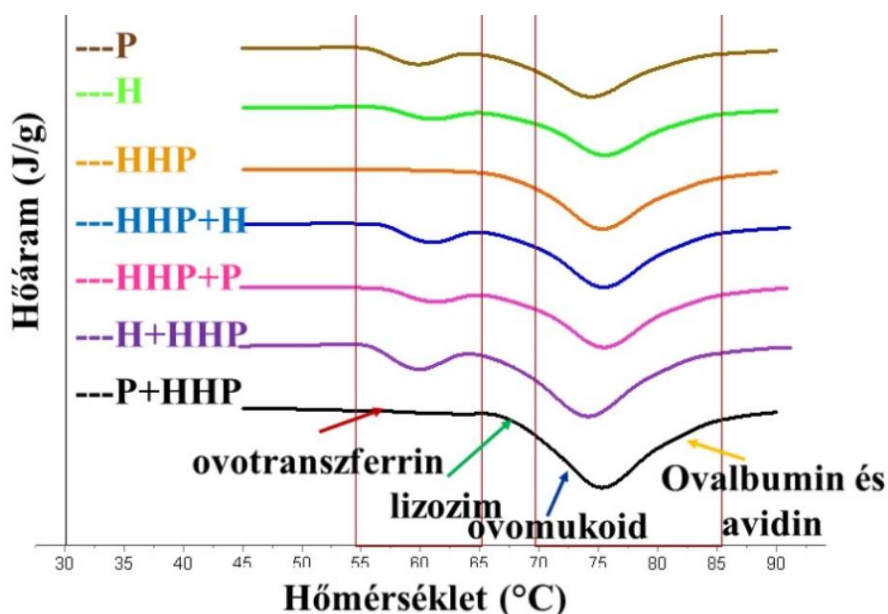
A 0. napon az önmagukban alkalmazott kezelések csupán kismértékben, kevesebb, mint 9%-kal, csökkentették a denaturációs entalpia értékét, míg a kombinált kezelések hatása nagyobb volt (mintegy 14 – 15% csökkenés). A kezeléseket összehasonlítva a pasztörözéssel kombinált HHP denaturálta kevésbé a fehérjéket, bár a különbség igen elenyésző. A csúcshőmérsékletekre a kezelések hatása kismértékű csupán, egyértelmű csökkenésük, vagy növekedésük nem tapasztalható.

A 28. napra a ΔH értékei csökkentek, a 0. naphoz hasonló tendenciát figyeltem meg értékeiben: a kombinált kezelések közül a P+HHP kezelésnél nagyobb ΔH értékeket mértem, ahogyan a szimpla hőkezeléseken átesett mintáknál is. Ez arra enged következtetni, hogy a két alkalmazott hőkezelés közül a pasztörözés kíméletesebb, mint a hőntartás a teljes tojáslé fehérjéire. Az önmagában alkalmazott HHP-hez viszonyítva a kombinált kezelések kisebb mértékben denaturálták a teljes tojáslé fehérjéit, mint a nyomásérték növelése (XVI. Táblázat), viszont a kezelési idő növelésével közel azonos ΔH csökkenést tapasztaltam (XXII. Táblázat).



73. ábra: A tojásfehérje-lé minták termogramjai a kezeléseket követően

A 73. ábra mutatja be a fehérje-lé termogramjait a kezeléseket követően, a 74. ábra szemlélteti a 28. napon felvett termogramokat.



74. ábra: A tojásfehérje-lé minták termogramjai a kezelést követő 28. napon

A két ábrát összehasonlítva csupán kismértékű változások következtek be a második csúcs alatti terület esetén. A 0. napon a P+HHP mintánál, míg a 28. napon a HHP mintánál is lényegében eltűnt az első denaturációs csúcs. Ez a denaturálható ovotranszferrin mennyiségének csökkenésére utal.

XXVII. Táblázat: A tojásfehérje-lé minták denaturációs entalpiái és csúcshőmérsékletei a 0. és 28. napon

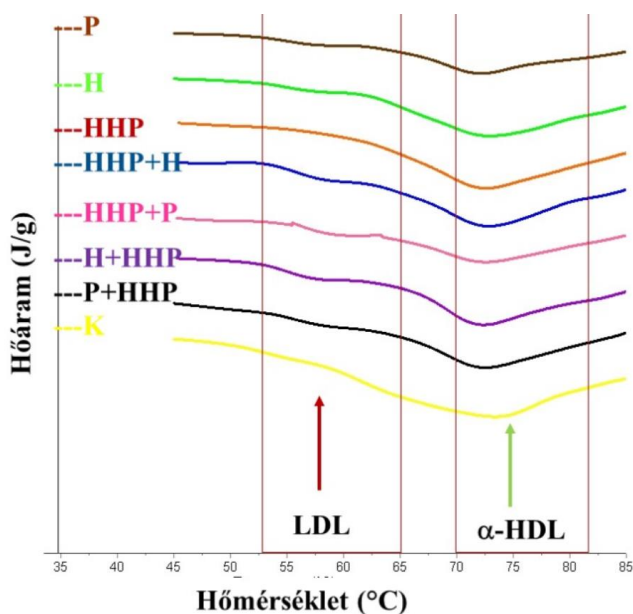
	0. nap			28. nap		
	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C	T_{d2} , °C	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C	T_{d2} , °C
k	1,477±0,031	60,81±0,73	75,46±1,05	-	-	-
H	1,4525±0,037	60,6±0,24	75,46±1,54	1,2795±0,032	63,47±0,72	73,87±0,25
P	1,469±0,034	59,37±0,35	73,71±0,95	1,249±0,031	60,21±0,48	74,635±1,38
HHP	1,4335±0,039	58,58±0,98	71,75±0,62	1,1935±0,034	61,27±0,64	75,405±0,87
HHP+H	1,2385±0,037	60,28±0,41	75,095±0,94	1,118±0,038	57,60±0,56	70,98±0,64
HHP+P	1,24±0,030	57,88±0,38	72,06±1,21	1,1645±0,031	59,82±0,41	74,24±1,29
H+HHP	1,204±0,033	58,44±0,25	84,56±0,25	1,1325±0,033	65,84±0,73	75,305±1,45
P+HHP	1,2295±0,035	60,81±0,66	75,46±1,34	1,163±0,037	60,94±0,28	75,65±0,94

A XXVII. Táblázatban összegeztem a fehérje-lé DSC vizsgálatának számszerűsített eredményeit.

A két hőkezelés és az önmagában alkalmazott HHP kezelés csupán kismértékben csökkentette a denaturációs entalpia értékét, míg a kombinált kezeléseknél már nagyobb hatása volt ΔH értékére. Az előző kísérletben végzett kombinált kezeléseknél hasonló eredményeket kaptam: az önmagában végzett HHP kezelés a 4.3.5 fejezetben is kisebb mértékben csökkentette a ΔH értékét, ahogyan a pasztörözéssel kombinált HHP kezelés is. Ezt a tendenciát tapasztaltam a teljes tojáslé mintáknál is (XVI. Táblázat).

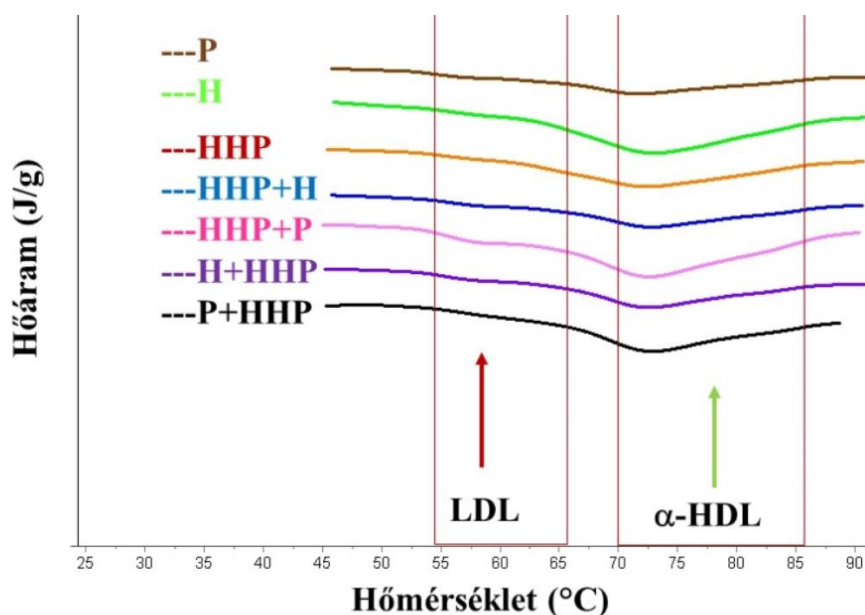
Az önmagában alkalmazott HHP nyomásértékének növelése csökkenti a legnagyobb mértékben a fehérje-lé denaturációs entalpiáját (akár 75% csökkenés, XVI. Táblázat). A kezelési idő növelése ugyan ennél kisebb csökkenést okoz, de a kombinált kezeléseknél nagyobb hatással bír (mintegy 35% csökkenés (XXII. Táblázat). Ez alapján a kombináltkezelések alkalmazása kedvezőbb a fehérje-lénél. Tehát amennyiben a fehérjék szerkezetének megóvása az elsődleges célunk nem a nagymértékű mikrobaszám-csökkenés, célszerű a hő- és nyomáskezelést kombinálva alkalmaznunk.

A tárolás alatt csökkent a denaturálható fehérjék mennyisége, amely a mikrobák szaporodásának mértékére enged következtetni. A 69. ábra alapján a kombinált kezeléseket követően kisebb a mikroba-növekedés, mint a szimpla kezeléseken átesett mintáknál. Míg a denaturációs entalpia csökkenése nagyobb a tárolás során a szimpla kezeléseken átesett mintáknál, mint a kombinált kezeléseken átesett fehérje-leveknél.



75. ábra: A tojássárgája-lé minták termogramjai a 0. napon

A 75. ábrán mutatom be a sárgája-lé 0. napon felvett termogramjait, míg a 76. ábra a 28. napon mért eredményeket szemlélteti.



76. ábra: A tojássárgája-lé minták termogramjai a kezelést követő 28. napon

A kontroll minta termogramján nagyobb görbe alatti területet figyeltem meg, mint a kezelt mintáknál. Azonban ezen kísérletben sem tudtam a mérés során két jól elkülönülő denaturációs csúcsot elválasztani, ahogyan a 4.1.5 fejezetben bemutatott eredményeimnél sem. A tárolás hatására a görbék lefutásában nem következett be változás. A denaturációs csúcs hőmérséklete a 70 és 75 °C közé esett mindkét mérési időpontban.

XXVIII. Táblázat: A tojássárgája-lé minták denaturációs entalpiái és csúcshőmérsékletei a 0. és 28. napon

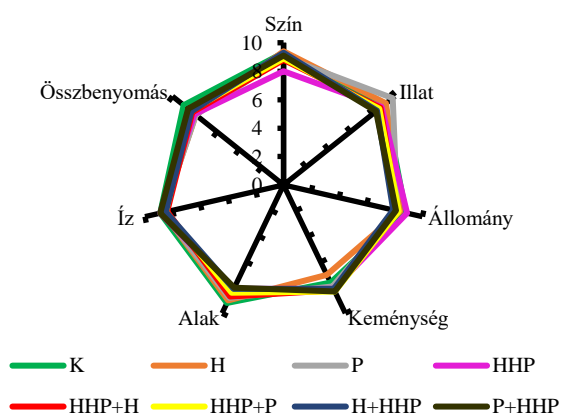
	0. nap		28. nap	
	ΔH (J/g)	T_d , °C	ΔH (J/g)	T_d , °C
k	1,062±0,036	71,71±0,15	-	-
H	0,9565±0,038	78,99±0,52	0,877±0,035	73,05±0,62
P	0,76±0,030	78,13±0,35	0,722±0,033	71,905±0,51
HHP	0,804±0,033	80,535±0,15	0,764±0,037	71,43±0,63
HHP+H	0,537±0,031	72,22±0,55	0,4755±0,031	71,735±0,11
HHP+P	0,6235±0,037	77,58±0,95	0,555±0,039	71,415±0,46
H+HHP	0,5865±0,038	80,385±0,94	0,4785±0,035	72,495±0,66
P+HHP	0,674±0,030	80,115±0,84	0,578±0,036	71,6±0,85

A XXVIII. Táblázatban összegeztem a sárgája-lé DSC méréseinek eredményeit. A teljes tojáslé és fehérje-lével szemben a sárgája-lénél nagyobb denaturációs entalpia értékeket mértem a hőntartott mintáknál, mint a pasztörözésen átesetteknél, míg a HHP kezelés a két kezelés közötti ΔH értéket eredményezett. A kombinált kezeléseket vizsgálva azonban már nagyobb ΔH értékeket mértem a P+HHP mintáknál, ahogyan a két másik tojáslénél is. A 0. napon mért denaturációs csúcshőmérsékletek egyértelműen növekedtek a kezelések hatására, míg ez a 28. napra már megfigyelhető. A kombinált kezeléseket összehasonlítva az előbb hőkezelt, majd nyomáskezelt sárgája-lében nagyobb ΔH értékeket mértem, vagyis ezek a kezelések kíméletesebbek a sárgája-lé fehérjeszerkezetére.

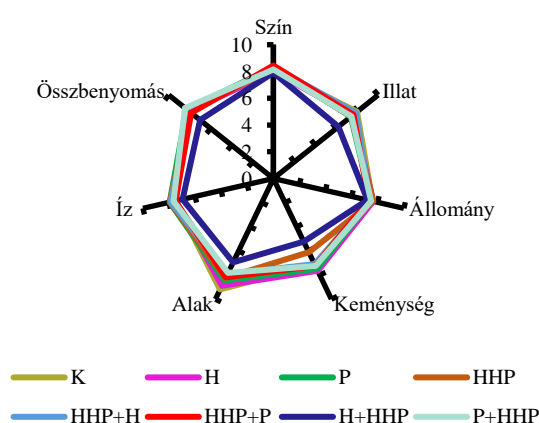
Az önmagában alkalmazott HHP hatásaival összehasonlítva a nyomásérték növelése nagyobb mértékben csökkentette ΔH értékét (mintegy 66%-kal, XVII. Táblázat). A kezelési idő növelése kisebb mértékben csökkentette (mintegy 30%-kal, XXIII. Táblázat), mint a kombinált kezelések (legfeljebb 44% csökkenés).

4.4.5. A kezelések hatása a késztermékek érzékszervi tulajdonságaira

A félkésztermékek vizsgálatán túl, átfogó képet kell kapnunk arról is, hogy az alkalmazott kezelések milyen hatással bírnak a kezelt tojáslevekből készült késztermék érzékszervi tulajdonságaira.



77. ábra: A teljes tojásleéből készült omlettek érzékszervi bírálatának eredményei



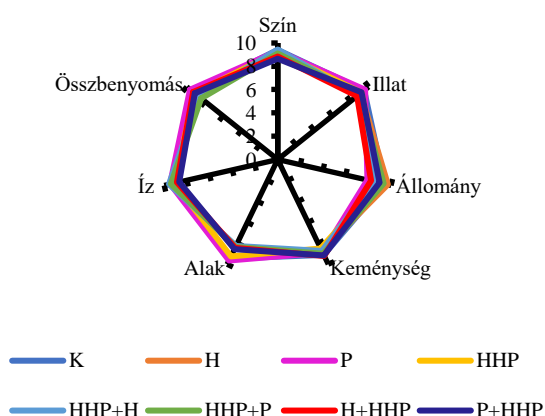
78. ábra: A tojásfehérje-leéből készült omlettek érzékszervi bírálatának eredményei

Minden teljes tojásleéből készült „omlett” (77. ábra) minta jó pontértékeket kapott az egyes vizsgált szempontokra, a 10-es skálán a legrosszabb átlagpontértékek is 7 körül alakultak (8. Melléklet). A HHP mintából készült termék színét kedvelték legkevésbé a bírálók, ugyanakkor ez a minta kapta a legnagyobb pontszámot az állományra.

A a HHP vagy kombinált kezeléseket követően készült teljes tojásle „omlettek” keménységét kedvezőbbnek ítélték a bírálók, ahogyan a 4.2.7. fejezetben bemutatott kísérletnél is. A kontroll, HHP, illetve P+HHP minta ízét találták a legjobbnak, míg az összbenyomásra a HHP+P és P+HHP minták kapták a legnagyobb pontszámot. Ez alapján a teljes tojásle hő- és nyomáskezelései kedvezően hatottak a belőle készült késztermék organoleptikus tulajdonságaira. Ha a kezelések sorrendjét vizsgáljuk, a hőkezelést követő nyomáskezelés a kedvezőbb.

A 78. ábrán szemléltetem a fehérje-leéből készült „omlettek” érzékszervi bírálatának eredményeit a kezeléseket követően. A teljes tojáslehez képest nagyobb eltérések adódtak az egyes kezelések között. A HHP+H minden szempontból (kivéve a szín) a legkisebb pontszámot kapta. Ezzel szemben a minták, amelyeket elsőként hő-, majd HHP kezeltem, a legnagyobb pontértéket kapták az íz és összbenyomás szempontokra. A kombinált kezelések, ahogyan teljes tojásleénél, nem

gyakoroltak összességében negatív hatást a késztermék érzékszervi tulajdonságaira. A kezelések sorrendjében a hőkezelést követő HHP kezelés a kedvezőbb a bírálókat alapján.



79. ábra: A tojássárgája-léből készült minták érzékszervi bírálatának eredményei

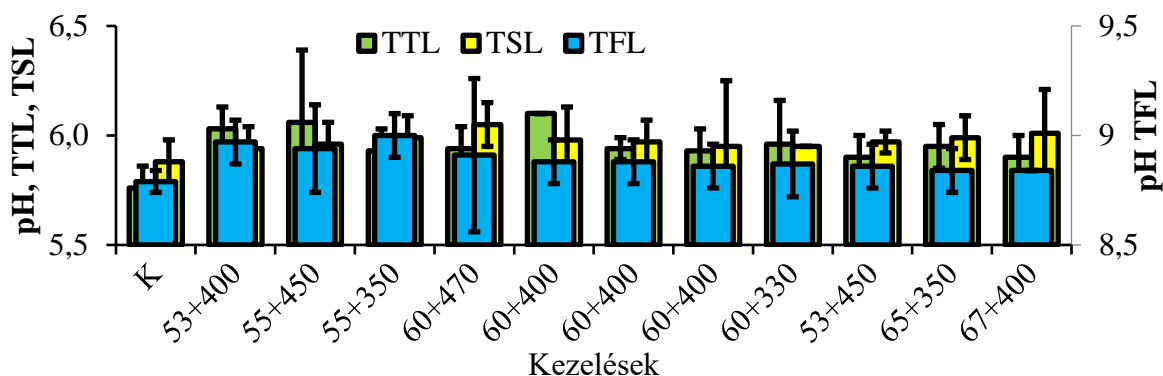
A 79. ábra mutatja be a sárgája-léből készült késztermékek („omlettek”) érzékszervi bírálatának eredményeit. A teljes tojásléhez hasonlóan 8 és 10 közötti pontértékeket kapott minden minta minden vizsgált érzékszervi tulajdonságra. Az egyszeres kezelésen átesett minták közül a bírálók az összbenyomás alapján a hőntartott mintából készült „omlettet” kedvelték, míg a kombinált kezeléseknél – a teljes tojáslé és fehérje-lénél is látottak szerint – jobban kedvelték az elsőként hő-, majd nyomáskezelt sárgája-léből készült „omlettet”.

Ha a kombinált kezelésen átesett mintákból készült termékek összbenyomásra kapott pontértékeit hasonlítom össze, a teljes tojáslé és fehérje-lé „omletteknél” a bírálók legjobban a P+HHP tojásléből készült terméket kedvelték a legjobban, míg a sárgája-lénél a H+HHP mintát. Az érzékszervi bírálat eredményeiből arra következtetnek, hogy kedvezőbben hat a hőkezelést követő nyomáskezelés a késztermékek érzékszervi tulajdonságaira, mint a kezelések fordított sorrendje.

4.5. A hő- és nyomáskezelés kombinációinak hatása a tojáslevek egyes tulajdonságaira

4.5.1. A tojáslevek pH-értékének változása

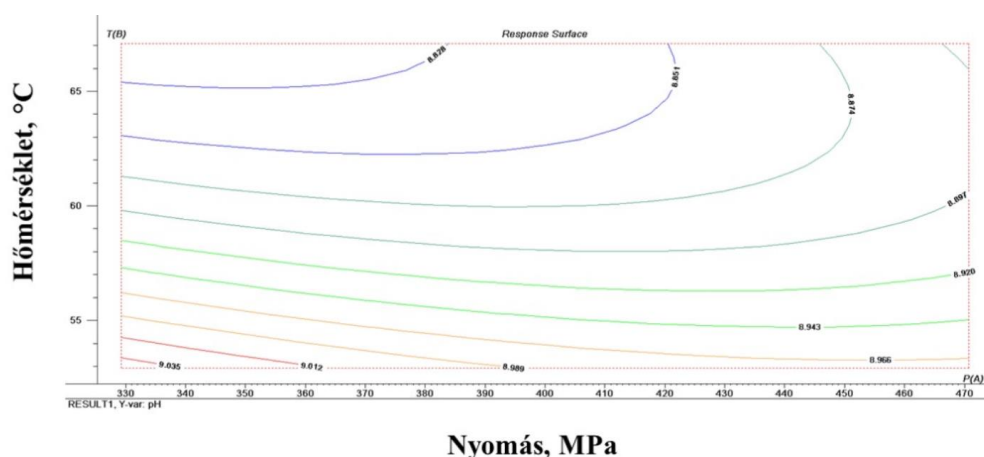
Miután az önmagában alkalmazott HHP kezelést és a hő- és HHP kezelések sorrendjét megvizsgáltam, következő lépésként arra kerestem a választ, a kezelési paraméterek (nyomásérték, hőkezelési hőmérséklet) hogyan változtathatók a központi elrendezésű, rotációs statisztikai modell alapján.



80. ábra: A kezeléseken átesett teljes tojáslé, tojásfehérje-lé és tojássárgája-lé pH-értékeinek változása a kombinált kezelések hatására

A kombinált hő- és nyomáskezeléseken átesett tojáslevek pH-értékének alakulását mutatja a 80. ábra. A teljes tojáslé pH-értéke minden kezelés hatására nőtt a kontrollhoz viszonyítva. A legnagyobb növekedést (pH 5,76-ról pH 6,1-re) a kísérleti terv középpontjaként meghatározott 60 °C és 400 MPa kezelés okozta. Az eredmények értékelése alapján azonban az illeszthető modell nem szignifikáns ($p > 0,05$). A sárgája-lé pH-értéke a kezelésekek hatására szintén nőtt. A legnagyobb növekedést a 60 °C+470 MPa kezelés eredményezte (0,17). Azonban az illesztett modell nem szignifikáns ($p > 0,05$).

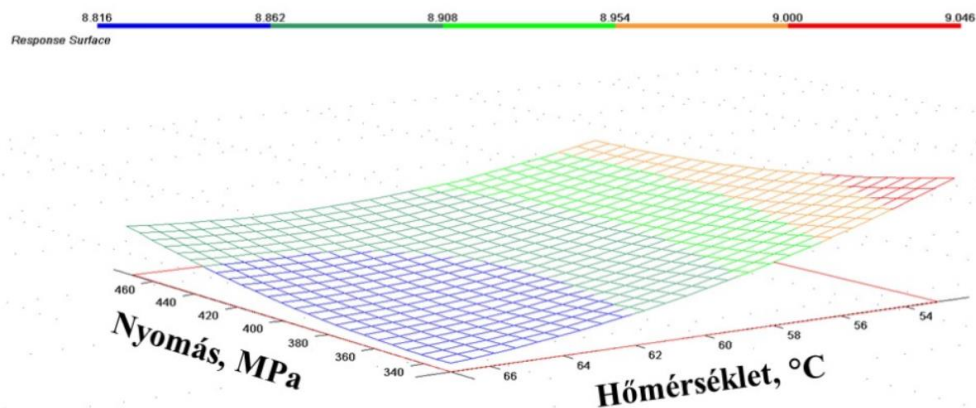
A fehérje-lé esetében legfeljebb 0,21 emelkedést eredményeztek a kezelésekek a kontroll minta pH-értékéhez képest. A fehérje-lé pH-értékére illesztett modell ennek ellenére szignifikáns, ($p = 0,0077$), amely alapján a hőkezelés hőmérséklete hat szignifikánsan a fehérje-lé pH-jára ($p = 0,0008$), ezzel szemben az alkalmazott nyomásérték és a nyomásérték és a hőmérséklet együttes hatása nem szignifikáns (81. ábra).



81. ábra: A tojásfehérje-lé minta pH-értékére illesztett modell válaszfelülete

A modell mért pontokra való illeszkedését a 33. Mellékletben összegeztem, míg 81. és 82. ábra szemlélteti a modell alapján létrehozott válaszfelületet. A 81. ábra y-tengelyén a hőkezelés hőmérsékletét (°C), míg x-tengelyén a HHP kezelés nyomásértékeit (MPa) olvashatjuk le. A két tengelyen egy-egy tetszőleges értékeket kiválasztva az ábrázolt színes görbék mentén haladva

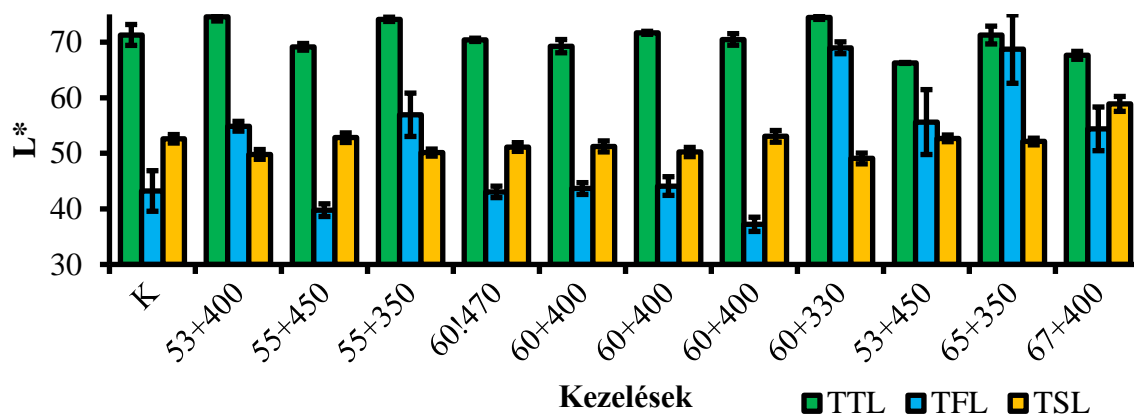
olvashatjuk le, hogyan alakul a fehérje-lé pH-ja a két kezelés kiválasztott paramétereinek kombinálásával.



82. ábra: A tojásfehérje-lé pH-értékére illesztett modell válaszfülete háromdimenziós térben ábrázolva

A 82. ábra háromdimenziós térben szemlélteti, hogyan változik a fehérje-lé pH-értéke a hőkezelés hőmérsékletének (T-tengely), vagy a HHP nyomásértékének (p-tengely) változtatásával. Mindkét ábra a kisebb pH-értékeket kék, a nagyobbakat pirossal míg, a kettő közti értékeket zölddel jelöli. Az önmagukban alkalmazott HHP kezelések nyomásértékének és kezelési idejének növelése (13. és 27. ábra) is nagyobb mértékben befolyásolta a tojáslevek pH-értékét, mint a jelen kísérletben bemutatott kombinált kezelések.

4.5.2. A tojáslevek színének változása

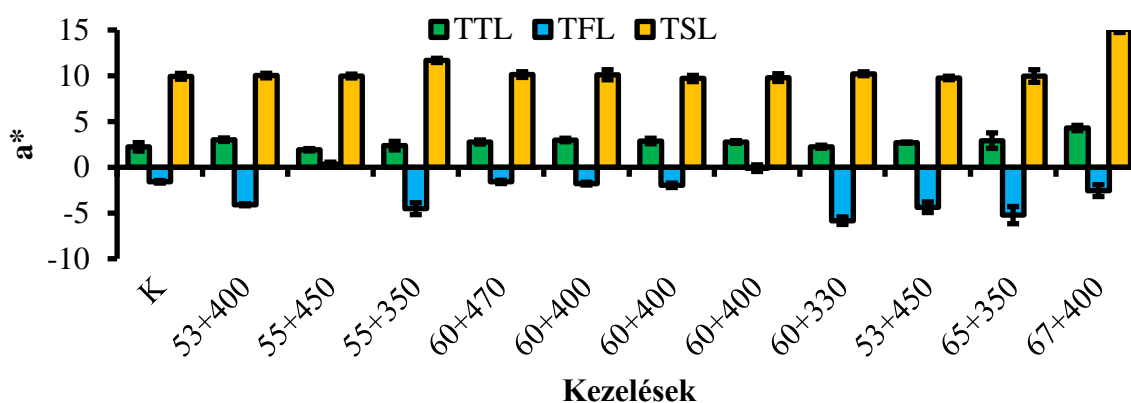


83. ábra: A kezelt minták világossági tényezőjének változásai a kezelések hatására

A minták világossági tényezőjét (L^*) mutatja be a 83. ábra. A teljes tojásle világossági tényezője nem mutat egyértelműen növekvő, vagy csökkenő tendenciát a kezelések hatására, a kísérleti terv középpontjában 60 °C és 400 MPa közel 0,8-es csökkenést állapítottam meg L^* értékében. A sárgája-lénél az illesztett modell alapján a világossági tényezőre a nyomásérték bír szignifikáns hatással (12. és 13. Melléklet), a modell alapján a nyomásérték növelésével a L^* értéke csökken (32Melléklet). Ezzel szemben a 4.1.2. fejezetben bemutatott kísérletben a nyomásérték

növelésével a sárgája-lé világossági tényezője növekvő értéket vett fel, ahogyan a 4.4.2 fejezetben is nőtt L* értéke, mind a szimpla, mind a kombinált kezelések hatására. Az eltérést okozhatja az is, hogy jelen kísérletben kisebb léptékű a nyomás növelése, mint a 4.1.2. fejezetben, illetve a 4.4.2 fejezetben a HHP kezelés nyomásértékét nem változtattam.

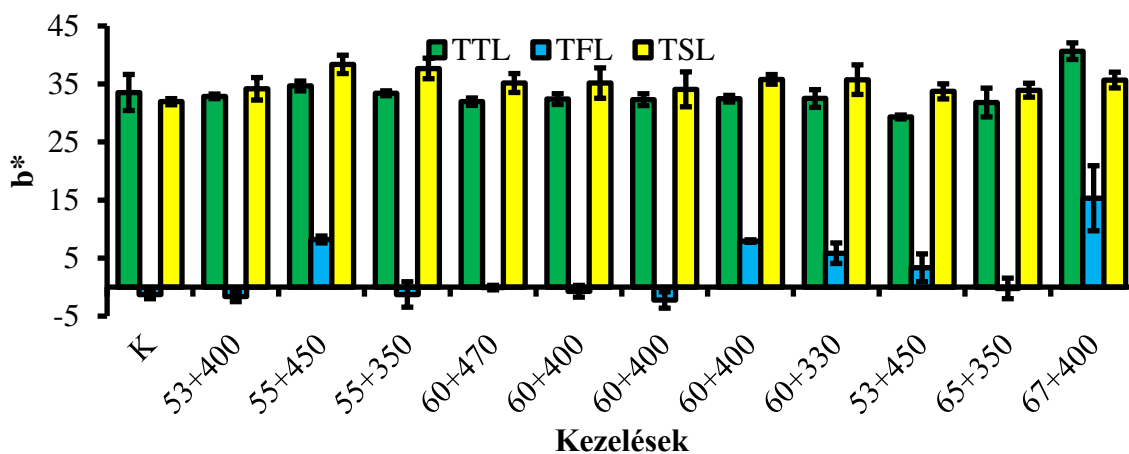
A statisztikai értékelés alapján a fehérje-lé L* értékére szintén szignifikáns hatással bírnak a kezelések. A fehérje-lé esetében (14. és 15. Melléklet) a nyomásérték és a hőmérséklet növelése is szignifikáns hatással bír, mindkét paraméter növelése növeli a fehérje-lé világossági tényezőjét. Ez egyes tanulmányok szerint egyértelműen összefüggésbe hozható a fehérje-lében a HHP hatására fellépő fehérje denaturációval (Singh & Ramaswamy, 2015). A pH-értékhez hasonlóan, az önmagában alkalmazott HHP kezelés paraméterei nagyobb mértékben befolyásolják a tojáslevek L* értékeit – kivéve a fehérje-levet -, mint ebben a kísérletben bemutatott a kombinált kezelések (14. és 28. ábra).



84. ábra: Az a* változásai a kezelések hatására

A 85. ábra mutatja be a tojáslevek vörös-zöld színtényezőjének alakulását a hő- és nyomáskezelések hatására. A teljes tojáslé esetében minden kezelés hatására nőtt a* értéke (kivéve 55+450), ennek ellenére a statisztikai értékelés során nem tudtam modellt illeszteni az eredményekre ($p=0.1334$). Ez is jól mutatja, a központi elrendezésű kísérleti tervnek nem része a kontroll minta vizsgálata, attól függetlenül tudjuk vizsgálni a kezelések paramétereinek hatását.

A sárgája-lénél szintén nem tudtam modellt illeszteni a nyomásérték és a hőmérséklet változtatásának megfelelően ($p=0.2170$). Azonban a fehérje-lénél már tudtam modellt illeszteni ($p=0.0005$). A modell rámutat arra is, hogy a nyomásérték változtatása, a hőmérséklet változtatása és a kettő együtthatóssá is szignifikánsan befolyásolja a tojásfehérje-lé vörös-zöld színezetét (16. 17. és 33. Melléklet). A pH-értékkel és a világossági tényezővel ellentétben, a fejezetben bemutatott kombinált hő- és HHP kezelések nagyobb mértékben befolyásolták a tojáslé-minták a* értékeit (15. és 29. ábra).

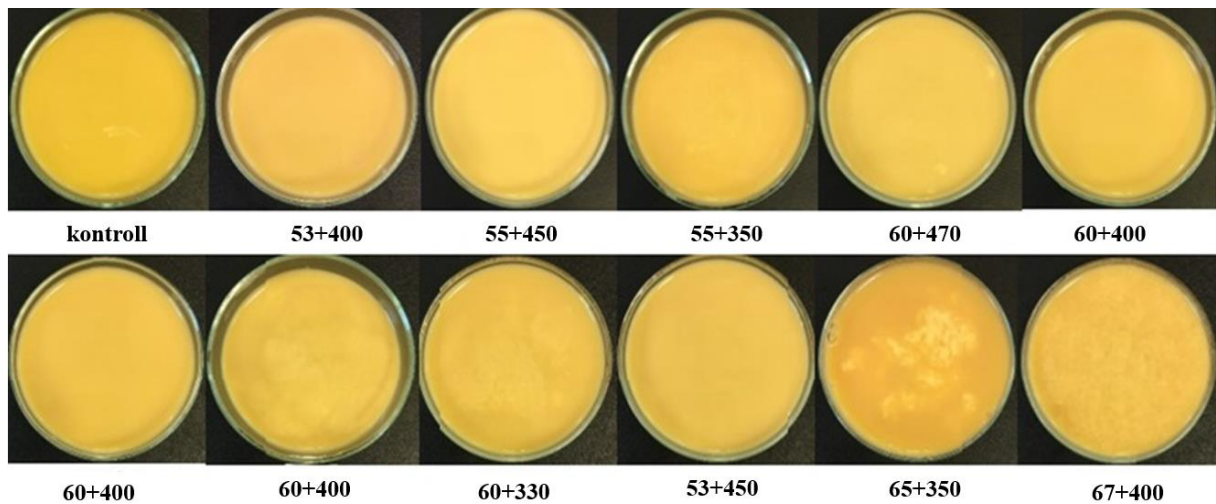


85. ábra: A b* változásai a kezelések hatására

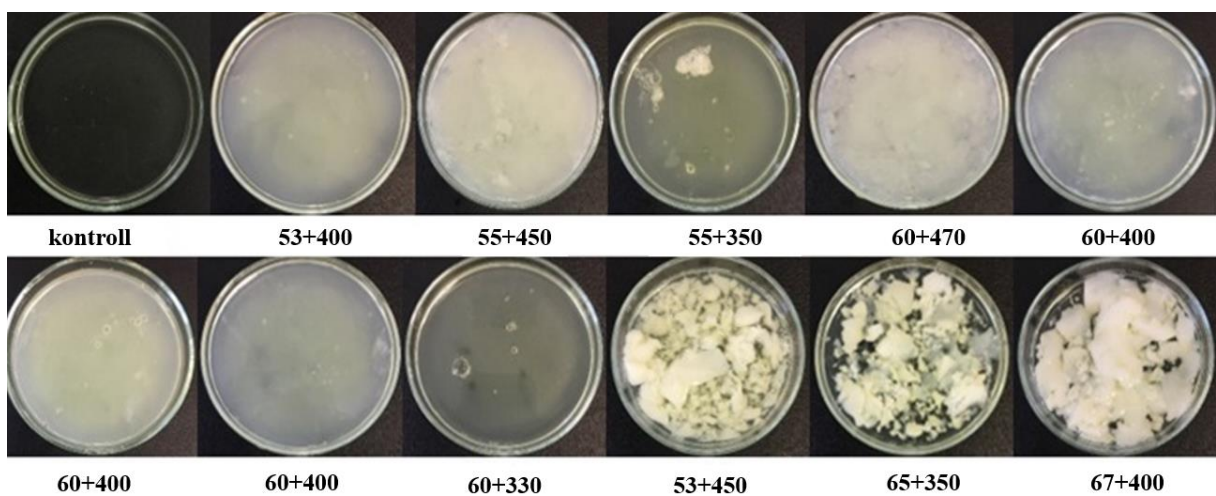
A 85. ábra mutatja be a tojáslevelek sárga-kék színezetében a hő- és nyomáskezelés hatására bekövetkező változásokat. A teljes tojáslé esetén a változások szignifikáns modellt eredményeznek ($p=0,0179$, 20. és 21. Melléklet). A modell részletesebb elemzésekor a hőkezelés nyomásértéke, illetve a két kezelés együttesen hatnak szignifikánsan a teljes tojáslé minták sárga-kék színezetére (31. Melléklet). A modell β -koefficiensei alapján a hőkezelés hőmérsékletének növelése csökkenti b^* értékét, míg a két kezelés paramétereinek együttes növelése együttesen növeli azt.

A fehérje-lé esetében szintén szignifikáns modellt tudtam illeszteni a sárga-kék színezet mért értékeire ($p=0,0290$; 20. és 21. Melléklet). A statisztikai értékelés szerint a nyomásérték növelése csökkenti b^* -értékét, míg a két kezelés együttesen növeli azt.

A sárgája-lénél nem tudtam modellt illeszteni a mért eredményekre, holott minden kezelés növelte b^* értékét. Ezt a változást ugyan szabad szemmel nem érzékeljük (88. ábra), azonban a sárgája-lé színíngerkülönbségei (6. Melléklet) a látható, jól látható és igen jól látható tartományba estek. Ezzel együtt a minták színezeti különbségei csupán kismértékben változtak, míg a króma értékei minden kezelés hatására nőttek a sárgája-levekben.



86. ábra: A teljes tojáslé minták színének alakulása a kezelések hatására



87. ábra A tojásfehérje-levek megjelenésének változásai a kezelések hatására

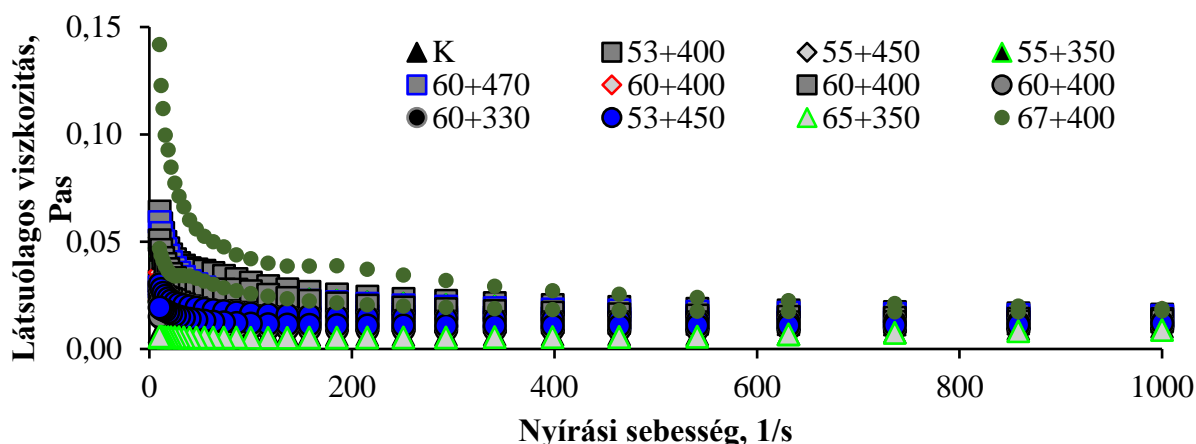


88. ábra: A tojássárgája-levek megjelenésének változásai a kezelések hatására

Az önmagában alkalmazott HHP kezelés nyomásértéke (16. ábra) és kezelési ideje (30. ábra) a teljes tojáslé sárga-kék színezetére nagyobb hatással bírt, mint a kombinált kezelések. Ezzel szemben a fehérje-lénél a HHP paramétereinek növelése kisebb különbséget eredményezett, mint

a kombinált kezelés. A sárgája-lénél a HHP nyomásértékének növelése nagyobb hatással volt, míg a kezelési idő növelésével kisebbel, mint a hő- és HHP kezelés kombinációja.

4.5.3. A tojáslevek reológiai tulajdonságainak változásai



89. ábra: A kezeléseken átesett teljes tojáslé minták viszkozitásgörbéi

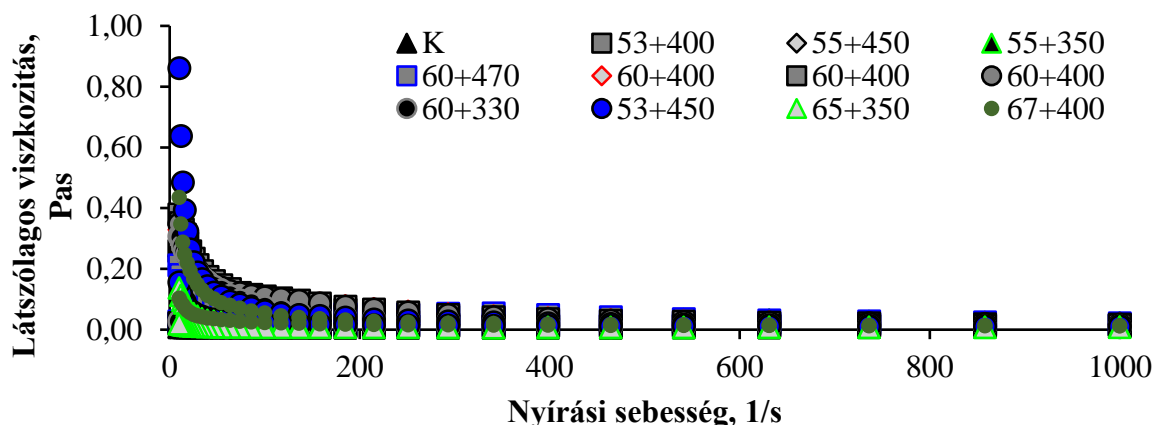
A teljes tojáslé viszkozitásgörbéit mutatom be a 89. ábrán. A legnagyobb hőmérsékletű hőkezelésen (67C°) átesett teljes tojáslében mértem a legnagyobb nyírófeszültség-értékeket, így a számolt látszólagos viszkozitás is ennél a mintánál lett a legnagyobb. A gyorsuló és lassuló szakasz között hiszterézist látunk, ez a mérőfej forgásának hatására is kialakuló jelenség, másrészt a nagyobb hőmérsékleten hőkezelt teljes tojáslében szabad szemmel is látható agglomerátumok jelentek meg, amelyet a 86. ábra is szemléltet.

XXIX. Táblázat: A Herschel-Bulkey modell számolt értékei a teljes tojáslé mintákra

TTL	τ_0 (Pa)	K (Pas ⁻ⁿ)	n	R ²
K	1,99E-01 ±1,1E-03	1,01E-02 ±3,1E-03	1,09 ±0,03	0,9995
53+400	4,02E-01 ±1,4E-03	1,00E-02 ±3,0E-03	1,06 ±0,03	0,9995
55+450	2,85E-01 ±7,5E-03	8,06E-03 ±1,4E-03	1,08 ±0,01	0,9998
55+350	2,31E-01 ±5,3E-03	2,92E-03 ±1,9E-04	1,13 ±0,10	0,9973
60+470	3,77E-01 ±3,4E-03	9,92E-03 ±6,1E-04	1,05 ±0,03	0,9998
60+400	2,20E-01 ±1,7E-03	1,18E-02 ±,5E-03	1,02 ±0,09	0,9997
60+400	2,68E-01 ±2,3E-03	2,31E-02 ±2,1E-03	1,00 ±0,06	0,9986
60+400	2,26E-01 ±3,1E-03	4,49E-02 ±6,9E-03	1,00 ±0,58	0,9569
60+330	1,84E-01 ±1,0E-03	4,89E-03 ±6,5E-04	1,21 ±0,17	0,9960
53+450	2,35E-01 ±7,4E-03	5,56E-03 ±3,4E-04	1,13 ±0,09	0,9991
65+350	1,87E-01 ±3,8E-03	1,81E-03 ±1,3E-05	1,06 ±0,01	0,9981
67+400	4,55E-01 ±1,8E-03	2,67E-02 ±1,9E-03	1,08 ±0,12	0,9991

A XXIX. Táblázatban összegeztem a hatványtörvény segítségével számolt Herschel-Bulkey modell állandóit. A folyáshatár minden kezelés hatására nőtt, míg a konzisztencia állandóra a kezeléseknél küldöző hatással bírtak. A folyásindex értéke pedig csökkent. Mivel τ_0 és K értéke is kicsi, n pedig 1-hez közeli érték, a kísérletben a teljes tojáslevet tekinthetjük közel newtoni folyadéknak.

A teljes tojáslé minták 1000 1/s nyírási sebességen felvett nyírófeszültség-értékeire állított modell szignifikáns ($p=0.0190$). A 22. és 23. Melléklet illusztrálja az 1000 1/s nyírási sebesség értékekhez tartozó nyírófeszültség értékekre illesztett válaszfelületet. A modell értékeléséből kiderül azonban, hogy a nyomásértéknek volt szignifikáns hatása a nyírófeszültségre, a hőkezelésnek és a paraméterek kombinációinak nem (31. Melléklet). A β -koefficiens alapján a nagyobb nyomásérték alkalmazásával nagyobb nyírófeszültség-értéket kapunk.



90. ábra: A tojásfehérje-lé minták viszkozitásgörbéi

A87. ábrán láthatjuk, a fehérje-lében a nagyobb nyomásértékek és nagyobb hőkezelési hőmérsékletek hatására nagy méretű agglomerátumok jelentek meg. Ezek a 90. ábra által demonstrált viszkozitásgörbe lefutásánál a teljes tojáslénél nagyobb kezdeti látszólagos viszkozitás-értékekben mutakozhatnak meg. Így az 53+450 mintánál, amely az egyik legtöbb fehérje agglomerátumot tartalmazó minta (87. ábra), számoltam a legnagyobb látszólagos viszkozitás-értékeket.

XXX. Táblázat: A Herschel-Bulkey modell számolt értékei a tojásfehérje-lé minták esetében

TFL	τ_0 (Pa)	K (Pas ⁻ⁿ)	n	R ²
K	1,39E-01 ±8,8E-04	2,22E-04 ±1,2E-04	1,55 ±0,10	0,9979
53+400	2,27E-01 ±6,1E-03	5,04E-03 ±4,3E-04	1,13 ±0,0,1	0,9995
55+450	2,59E-01 ±1,9E-03	1,52E-02 ±4,6E-04	1,02 ±0,0,4	0,9998
55+350	4,37E-01 ±7,5E-03	8,53E-03 ±4,7E-04	1,04 ±0,0,9	0,9971
60+470	7,97E-01 ±8,4E-03	1,57E-02 ±2,7E-03	1,04 ±0,0,2	0,9998
60+400	1,75E-01 ±1,5E-03	8,20E-03 ±1,5E-04	1,09 ±0,01	0,9997
60+400	1,84E-01 ±5,9E-03	1,84E-02 ±2,1E-03	1,06 ±0,11	0,9988
60+400	1,81E-01 ±6,5E-03	1,04E-02 ±1,6E-03	1,04 ±0,0,2	0,9996
60+330	1,73E-01 ±8,2E-03	1,16E-02 ±6,5E-03	0,99 ±0,11	0,9917
53+450	1,07E+00 ±1,1E-02	1,88E-02 ±2,3E-03	0,99 ±0,16	0,9964
65+350	1,83E-01 ±4,6E-03	3,30E-03 ±2,7E-03	1,16 ±0,13	0,9996
67+400	1,81E-01 ±3,8E-03	8,65E-02 ±4,3E-03	0,72 ±0,07	0,9940

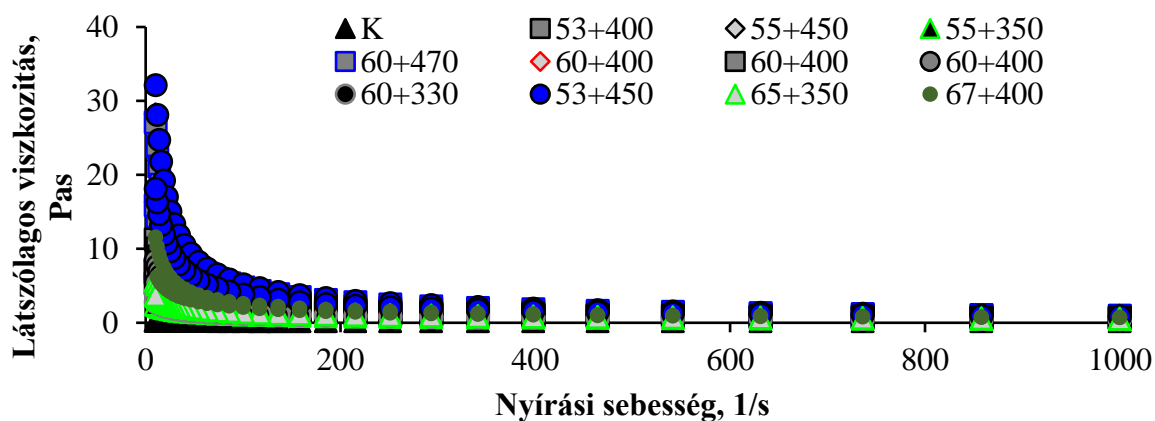
A XXX. Táblázatban foglaltam össze a Herschel-Bulkey modell számított értékeit. A folyáshatár minden kezelés hatására nőtt, a konzisztencia állandó esetén ennél nagyobb növekedést tapasztaltam. Ezzel szemben a folyásindex értéke csökkent a kezelésekre hatására. Ezek alapján a

fehérje-lé szintén közel newtoni, de inkább Herschel-Bulkley folyadékként viselkedik a kombinált kezeléseket követően.

Egy tanulmány szerint a teljes tojáslé és fehérje-lé hosszabb idejű, vagy nagyobb nyomásértéken végzett nyomáskezelése önmagában, vagy hőkezeléssel kombinálva a tojáslevek gélesedését okozza, sőt olyan erős gélstruktúrát képes létrehozni, amelyet rotációs rendszerű műszerekkel már nem lehet vizsgálni (Singh & Ramaswamy, 2015). Az 550 és 600 MPa, 5 perc nyomáskezelést követően a fehérje-lénél szintén ezt tapasztaltam (4.1.3. fejezet).

Egy glikomakropeptid oldatot vizsgáló kutatás alapján a hőkezelés csökkentette a tejsavó fehérje oldat konzisztencia állandóját és n értékét is (Ahmed & Ramaswamy, 2003). Az eredményeim alapján a fehérje-lé n értéke szintén csökken a kezelésekre hatására, azonban k értéke nem. Ebből arra következtek, hogy a tiszta glikomakropeptid oldatból (12 m/m%) a fehérje-létől eltérő térbeli szerkezet alakul ki, holott a tojásfehérje közel azonos mennyiségű fehérjét tartalmaz (12,8%).

A 24. és 25. Mellékletben mutatom be a fehérje-lé nyírási feszültségére illesztett modell válaszfelületét. A modell alapján a HHP kezelés nyomásértéke és a hőkezelés hőmérséklete is szignifikánsan hatnak a τ -értékekre, azonban míg a nyomásérték növelésével nő, addig a hőmérséklet növelésével csökken a nyírófeszültség a legnagyobb nyírási sebesség alkalmazásakor a β -koefficiens alapján (33. Melléklet).



91. ábra: A tojássárgája-lé minták viszkozitásgörbéi

A 91. ábrán mutatom be a hő- és nyomáskezelt sárgája-levek viszkozitásgörbéit. Ahogyan a 88. ábra szemlélteti, a sárgája-levekben nagyfokú gélesedés lépett fel a kezelésekre hatására, amely első sorban a nyomásérték növelésével hozható összefüggésbe. A 400 MPa feletti nyomásértéken kezelt minták esetében már szabad szemmel is jól látható a gélstruktúra kialakulása. A tojássárgájában már nem csupán a fehérjék járulnak hozzá a gélstruktúra kialakulásához, hanem feltételezhetően a nagymennyiségű lipidszerű vegyületek is (Anton, 2013). A kezelt sárgája-levek viszkozitásgörbéi jóval meredekebben futnak, mint a kontrollé. A legmeredekebb görbék a 450 és

470 MPa-on kezelt sárgája-levekhez tartoznak, ez alapján a nyomásérték növelése nagyobb hatással bír a sárgája-lé látszólagos viszkozitására, mint a hőkezelés hőmérséklete.

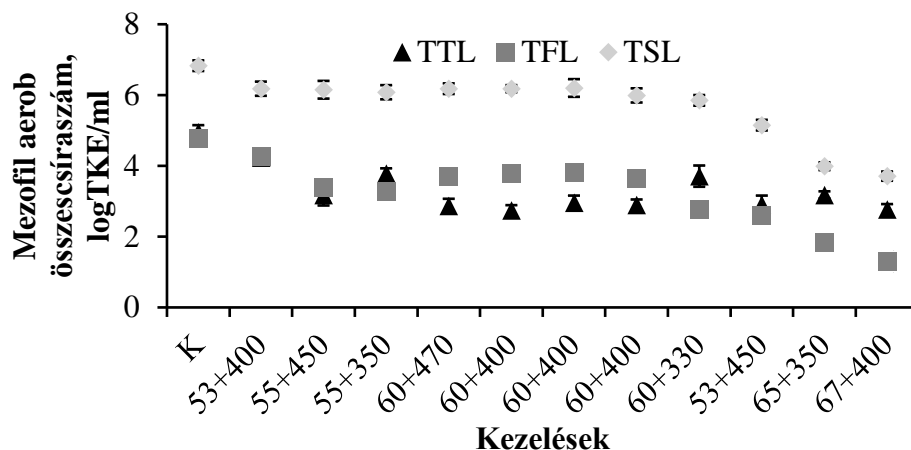
XXXI. Táblázat: A Herschel-Bulkey modell számolt értékei a tojássárgája-lé mintákra

TSL	τ_0 (Pa)		K (Pas ⁻ⁿ)		n	R^2	
K	0,09	±1,6E-03	1,06	±0,000	1,51	±0,03	0,9977
53+400	7,32	±1,32	12,64	±1,39	0,56	±0,03	0,9993
55+450	24,22	±2,91	21,23	±1,62	0,44	±0,05	0,9998
55+350	15,64	±4,15	2,98	±0,35	0,72	±0,05	0,9972
60+470	23,56	±4,21	18,63	±1,29	0,41	±0,01	0,9998
60+400	14,03	±1,28	6,24	±0,43	0,43	±0,02	0,9997
60+400	15,56	±2,27	6,58	±0,18	0,41	±0,07	0,9988
60+400	14,89	±2,81	6,71	±0,64	0,43	±0,01	0,9996
60+330	9,31	±0,87	4,21	±0,25	0,63	±0,02	0,9951
53+450	19,89	±3,54	12,42	±1,24	0,43	±0,02	0,9990
65+350	9,09	±0,74	5,24	±0,58	0,48	±0,03	0,9996
67+400	18,32	±2,56	8,64	±0,62	0,39	±0,07	0,9940

A XXXI. Táblázatban összegeztem a sárgája-levek mért értékeire illesztett Herschel-Bulkey modell számolt értékeit. A minták folyáshatára növekedést mutatott, ezt feltételezhetően a gélesedés okozta, ugyanez elmondható K értékeiről is. Ezzel szemben n értéke 0 és 1 közötti értékeket vesz föl a kezelt mintáknál. Ezek alapján a kombinált hő- és HHP kezelésen átesett sárgája-levek Herschel-Bulkey folyadékok, mint a húspép, $\tau_0 < 0$, míg a kontroll minta $\tau_0 \approx 0$ esetén nyírásra vékonyodó (pseudoplasztikus) folyadékok. A sárgája-lé legnagyobb nyírófeszültség-értékeire illesztett modell nem volt szignifikáns ($p=0,45$).

Singh és munkatársai szerint a tojáslé-termékekben fellépő látszólagos viszkozitás-növekedés a nyomáskezelés hatására bekövetkező fehérje denaturáció és aggregáció következménye (Singh, Sharma, & Ramaswamy, 2015). Azonban ezen változások nem csupán a tojáslevek reológiai tulajdonságait befolyásolják, de techno-funkcionális tulajdonságaikra is hatást gyakorolnak (Singh & Ramaswamy, 2015). Ezzel megegyező következtetéseket vontam le saját mérési eredményeimből.

4.5.4. Az alkalmazott kezelések mikrobiológiai hatásai



92. ábra: A kezelt minták mezofil aerob csíraszámának változásai

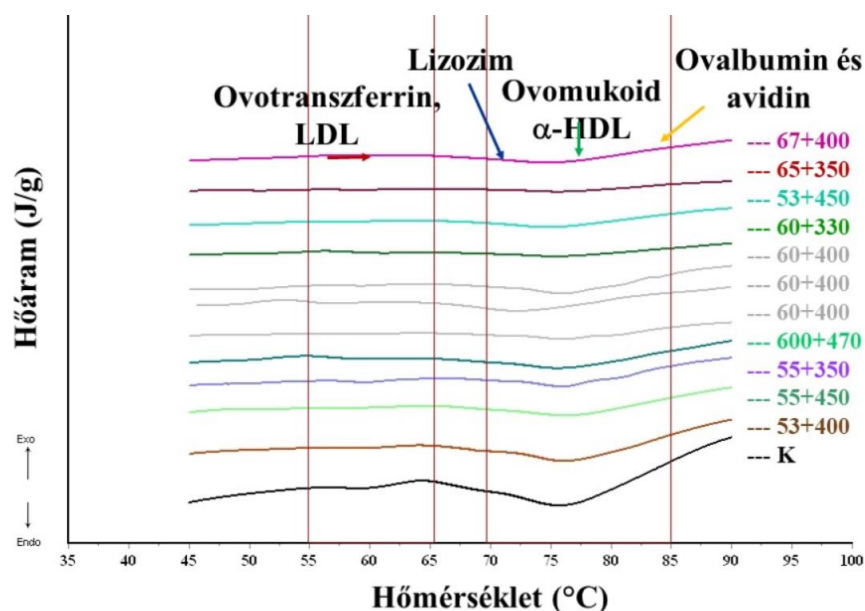
A 92. ábra mutatja be a hő- és nyomáskezeléseken átesett tojáslevek mezofil aerob összes csíraszámát. A teljes tojáslénel nem volt szignifikáns az eredményekre illesztett modell, míg sárgája-lénél igen ($p=0,0326$). A fehérje-lénél az első fajú hiba csak kismértékben haladja meg a megkívánt 0,05 értéket, ezért ebben az esetben szignifikánsnak fogadom el a modellt ($p=0,0564$). A sárgája-lében a legnagyobb mikrobaszám-csökkenő hatással a 67+400 kezelés volt, amely több, mint három nagyságrenddel csökkentette a mezofil aerob csíraszámot. A teljes tojáslében a kísérlet központja a 60+400 volt a legjobb mikrobaszám csökkentő kezelés (2,2 nagyságrenddel), míg a fehérje-lében szintén a 67+400 kezelés kombináció csökkentette a legnagyobb mértékben a mezofil aerob csíraszámot (mintegy 3,4 nagyságrenddel).

A sárgája-lében (26. és 27. Melléklet) a hőkezelés hőmérséklete és a nyomáskezelés nyomásértéke is szignifikánsnak bizonyult, negatív korrelációt mutatva a mikrobaszámmal. Tehát, minél nagyobb nyomásértéket, vagy hőmérsékletet alkalmazunk, annál kisebb a sárgája-lé mikrobiológiai szennyezettsége.

A 28. és 29. Mellékletben mutatom be a fehérje-lé esetén kapott válaszfelületet. A fehérje-lében a hőkezelés és nyomáskezelés külön-külön bizonyult szignifikáns hatással a mikrobaszám-változására, a β -koefficiens negatív előtaggal rendelkezik, a kísérleti terv középpontjával (60 °C, 400 MPa) érhetjük el a legnagyobb mikrobapusztulást.

4.5.5. A kezelések fehérjékre gyakorolt hatásainak értékelése DSC módszerrel

A 93. ábrán szemléltetem a hő- majd nyomáskezelésen átesett teljes tojáslevek hőáramgörbéit. Az ábrán a termogramok viszonylag laposnak tűnnek, azonban ez csak az ábrázolás miatt tűnik így.



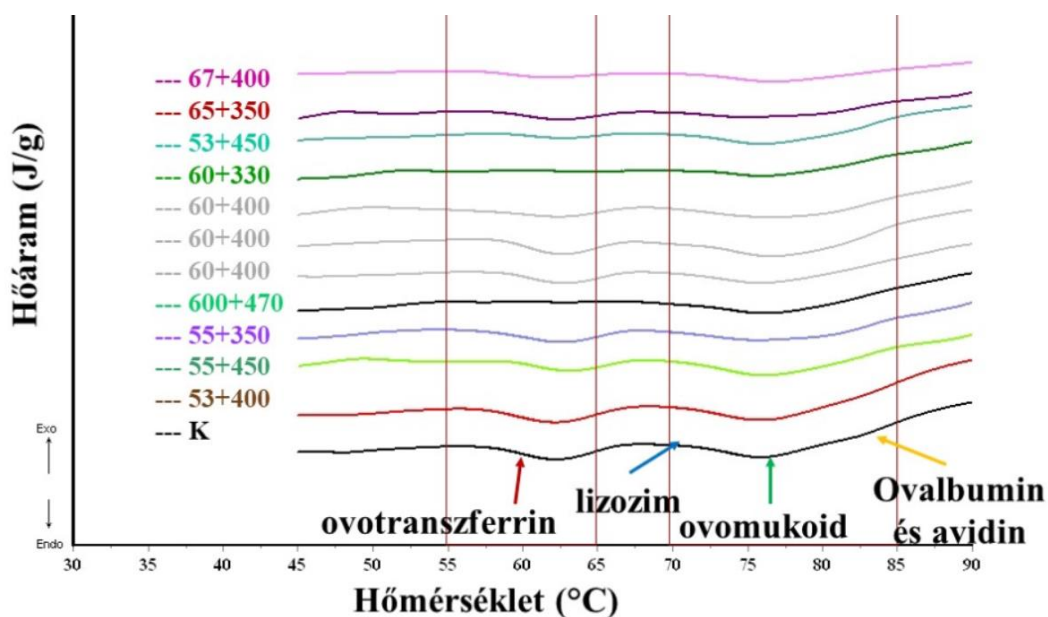
93. ábra: A teljes tojáslé minták termogramjai

A görbék alatti területekből számolt denaturációs entalpia-értékeket és a denaturációs csúcshőmérsékleteket a XXXII. Táblázatban foglaltam össze.

XXXII. Táblázat: A teljes tojáslé termogramjainak mért értékei

Minta	ΔH (J/g)	T_{d1} , °C	T_{d2} , °C
K	1,21±0,02	59,89±0,94	74,26
53+400	1,044±0,03	60,89±0,86	75,62±0,54
55+450	0,845±0,10	59,34±1,01	75,99±1,23
55+350	0,965±0,08	60,81±0,49	76,23±0,94
60+470	0,738±0,74	58,08±0,88	75,44±0,35
60+400	0,780±0,09	59,06±1,56	76,21±1,74
60+400	0,770±0,45	60,04±1,30	76,35±1,22
60+400	0,705±0,25	60,27±1,31	76,05±0,82
60+330	0,757±0,06	60,43±0,55	76,48±0,41
53+450	0,710±0,04	60,35±0,91	77,81±0,95
65+350	0,540±0,06	60,92±1,11	75,41±1,35
67+400	0,498±0,11	59,57±0,67	75,63±1,45

A XXXI. Táblázatból látható, hogy az egyes kezelések nagymértékben csökkentik a denaturációs entalpia értékét, ez arra utal, hogy az egyes kezelések már önmagukban nagymennyiségben denaturálták, vagy aggregálják a teljes tojáslé fehérjéit.



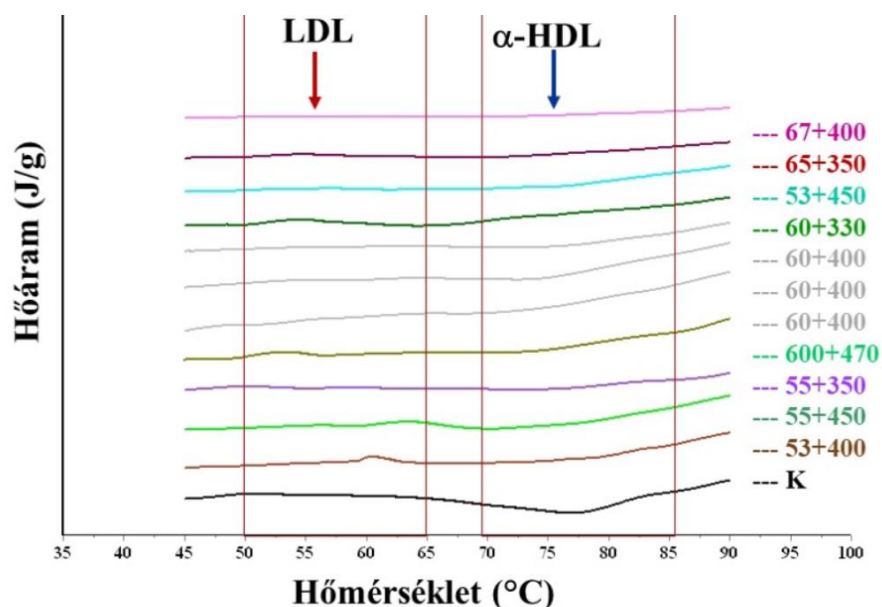
94. ábra: A tojásfehérje-lé minták termogramja

A 94. ábra mutatja be a fehérje-lé termogramjait. A kombinált kezelések alkalmazásának ellenére a teljes tojáslé és tojásfehérje-lé mintáknál is felfedezhető mindkét denaturációs csúcs, azonban a csúcsok hőmérsékletének változása nem egyértelmű. A fehérje-lénél némiképp növekedést tapasztaltam a kontrollhoz képest a második csúcs hőmérsékletben (XXXIII. Táblázat). Ehhez hasonló tendenciát tapasztaltam a HHP nyomásértékének vizsgálatokor is a fehérje-lénél (XVI. Táblázat).

XXXIII. Táblázat: A tojásfehérje-lé termogramjainak mért értékei

Minta	ΔH (J/g)	T_{d2} , °C	T_{d1} , °C
K	1,15±0,11	59,24±0,45	76,78±0,35
53+400	0,953±0,26	60,39±0,61	75,03±0,51
55+450	0,786±0,05	62,64±0,98	76,66±0,93
55+350	0,892±0,31	62,84±0,80	74,65±0,14
60+470	0,625±0,32	59,35±0,99	77,01±0,56
60+400	0,759±0,21	59,54±0,64	74,12±0,84
60+400	0,788±0,21	60,1±0,58	76,16±0,61
60+400	0,767±0,35	59,5±0,62	76,84±0,45
60+330b	0,791±0,09	60,27±1,01	79,12±0,76
53+450	0,699±0,28	59,41±0,98	75,68±0,99
65+350	0,686±0,36	58,58±0,36	76,04±1,11
67+400	0,450±0,30	60,98±0,28	76,81±0,54

A fehérje-lé denaturációs entalpia értékei csökkennek a kezelések hatására (XXXIII. Táblázat). Azonban az értékekre illesztett modell nem szignifikáns ($p=0,68$). Az első csúcs hőmérséklet kismértékű növekedést mutat minden kezelt mintánál a kontrollhoz képest, azonban a második csúcsnál a kontrollnál mértem kisebb csúcs hőmérsékleteket is. A második csúcs hőmérsékletre illesztett modell a denaturációs entalpiához hasonlóan nem illeszkedett megfelelően a mért értékekre ($p=0,12$).



95. ábra: A tojássárgája-lé termogramjai

A 95. ábra mutatja be a sárgája-lé hő- majd nyomáskezelés hatására bekövetkező változásait a termogramok lefutásában.

XXXIV. Táblázat: A tojássárgája-lé termogramjainak mért értékei

Minta	ΔH (J/g)	T_d °C
K	0,968±0,03	78,24±0,45
53+400	0,646±0,08	75,39±0,61
55+450	0,544±0,18	77,64±0,98
55+350	0,595±0,11	78,84±0,80
60+470	0,433±0,26	76,35±0,99
60+400	0,532±0,16	75,54±0,64
60+400	0,517±0,25	75,1±0,58
60+400	0,561±0,21	75,5±0,62
60+330	0,612±0,07	76,27±1,01
53+450	0,530±0,11	76,41±0,98
65+350	0,450±0,31	78,58±0,36
67+400	0,408±0,35	76,98±0,28

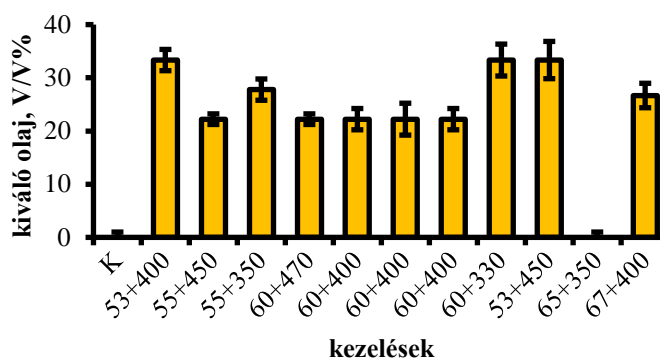
A kombinált kezelések nagy mennyiségben koagulálták, denaturálták a sárgája-lé fehérjét, a 67 °C-on, 400 MPa-on végzett kezelés csökkentette a legnagyobb mértékben a denaturációs entalpia értékét (XXXIV. Táblázat). T_d enyhén csökkent a kezelések hatására (kivéve a 65+350 mintát). Azonban ez a változás igen kismértékűnek tekinthető. A DSC méréssel nyert eredmények egyik tojáslé-mintánál sem adtak megfelelő modellt a $p=0,05$ szignifikancia szinten, ezért ezeket a dolgozatban sem mutatom be.

4.5.6. A kezelések hatása az emulzióképző tulajdonságokra

A tojássárgája-lénél megvizsgáltam, milyen stabil emulziót tudok készíteni a kombinált kezeléseken átesett mintákból.



96. ábra: Az emulziók szétválasztás után



97. ábra: Az emulziókból kiváló olaj térfogata

Az emulzió össztérfogatához viszonyított olaj kiválást a 96. ábrán szemléltetem. A kontroll, valamint a 65 °C-on és 350 MPa-on kezelt minták esetében nem volt kiválás, tehát stabil maradt az emulzió, míg a többi mintánál a teljes térfogat legalább 22%-a kivált (97. ábra).

Yan és munkatársai tanulmányukban megállapították, hogy a HHP nyomásértékének növelésével csökken a sárgája-lé emulzióképző tulajdonsága, azonban ez csupán 400 MPa feletti nyomásértéken szignifikáns (Yan et al., 2010). Egy másik tanulmányban arra mutattak rá, hogy a hőkezelés csökkenti a tojássárgájában megtalálható granulális fehérjék emulzióképző tulajdonságait, miközben növeli viszkozitását (Campbell, Raikos, & Euston, 2005). Ezzel szemben Anton arra a következtetésre jutott, hogy ha sót, vagy cukrot keverünk a tojássárgájához, vagy a granulális fehérjefrakciót elválasztjuk és így történik a kezelés, az emulzióképződésre gyakorolt negatív hatás lényegesen csökkenthető (Anton, 2013). Mivel a tojássárgájából leggyakrabban só vagy cukor hozzáadásával készítünk emulzió alapú késztermékeket (pl. majonéz, süteménytészta), az emulzióstabilitásban fellépett csökkenés nem feltétlenül jelent valós romlást a techno-funkciós tulajdonságban.

4.5.7. A kezelések hatásai a habképződésre és habstabilitásra

A XXV. Táblázatban foglaltam össze a teljes tojáslé és fehérje-lé habstabilitásának és habképző tulajdonságának vizsgálati eredményeit. A fehérje-lé kontroll mintája esetében a kiindulási folyadéktérfogatból (100 ml) 360 ml habot tudtam verni, amely 360% habképzést jelent az alkalmazott módszer alapján. Ehhez képest a többi mintánál lényegesen kisebb térfogatú habot tudtam készíteni azonos körülmények között. A legkisebb térfogatú habot (110 ml) az 53 °C-on hőkezelt, majd 450 MPa-on nyomáskezelt mintából kaptam. A legrosszabb habstabilitással nem ez a minta rendelkezett, hanem a 60 °C és 470 MPa-on kezelt minta, amelynél a kiindulási habtérfogat fele alakult vissza folyadékká.

XXXV. Táblázat: A habstabilitás és habképződési tulajdonságok eredményei a teljes tojáslé és tojásfehérje-lé

kezelés	tojásfehérje-lé			teljes tojáslé		
	képződött hab térfogata (ml)	habképződés (%)	habstabilitás (%)	képződött hab térfogata (ml)	habképződés (%)	habstabilitás (%)
K	360	360	89	250	250	156
53+400	150	150	60	275	275	138
55+450	135	135	44	280	280	151
55+350	220	220	70	350	350	126
60+470	140	140	50	350	350	103
60+400	175	175	66	325	325	118
60+400	190	190	55	395	395	110
60+400	160	160	58	340	340	113
60+330	250	250	76	300	300	128
53+450	110	110	55	300	300	122
65+350	190	190	74	290	290	121
67+400	150	150	67	425	425	115

A teljes tojáslénél a fehérje-lével szemben a kezelések pozitívan hatottak a habképződésre és habstabilitásra. A kontroll mintából csupán 2,5-szörös térfogatra verődött fel a kiindulási folyadéktérfogat, míg a 67 °C-on és 400 MPa-on kezelt mintánál 4,25-szörösére nőtt a minta térfogata. A legstabilabbnak a kontroll mintából nyert tojáshab bizonyult, míg a legkisebb stabilitása a 60 °C és 470 MPa kombinációval kezelt minta habjának volt, azonban ez is 103%-os habstabilitás értéket adott. Összességében tehát a hő- és nyomáskezelésen átesett teljes tojáslé és fehérje-lé közül a teljes tojásléből nagyobb mennyiségű és stabilabb habot tudtam készíteni.

Egyes szerzők szerint a fehérjék denaturációjának, agglomerátum képződésének igen fontos szerepe lehet a habképződés és stabilitás szempontjából. Egy *tojásfehérjén* végzett kísérletben 60 – 80 °C közötti hőkezelést alkalmaztak, ezzel különböző arányban denaturálva a fehérjéket. Ezt követően habot készítettek, amely egyes tulajdonságait vizsgálták. Az eredmények alapján a legjobb habképződési és stabilitási tulajdonságokkal a tojásfehérje 20%-nyi denaturált fehérje mennyiség mellett rendelkezett (Nicorescu et al., 2011). A teljes tojáslénél 20%-os fehérje denaturációt a 55+350 minta esetében mértem (XXXII. Táblázat), de a habképződés a 60+470; 60+400 és a 67+400 mintáknál volt nagyobb, ahol a denaturáció mértéke 32-60% volt. A legstabilabb habot azonban a 55+350 mintából tudtam elkészíteni a kezelt minták közül.

Az 55+350 tojásfehérje-lé mintánál mintegy 23%-a denaturálódott a fehérjéknek a kombinált kezelések hatására (XXVII. Táblázat), de ebből a mintából csupán a második legnagyobb térfogatú és harmadik legstabilabb habot készítettem. Összességében a teljes tojáslé és tojásfehérje-lénél is a 30, 40 és 60%-os fehérje denaturáción átesett mintáknál mértem a legnagyobb habképződés- és stabilitás értékeket.

4.6. Új tudományos eredmények, tézisek

- 1) *Megállapítottam, hogy a tojáslevek 5 perces HHP kezelése során a teljes tojáslé és tojásfehérje-lé 150-450 MPa nyomástartományban, míg a tojássárgája-lé esetében 150-500 MPa tartományban a nyomásérték növelésével a mezofil aerob csíraszám lineárisan csökken. Megállapítottam, hogy a teljes tojáslé, tojásfehérje-lé és a tojássárgája-lé esetében az aerob összes csíraszám 4 nagyságrendnyi csökkentése 450 MPa nyomású, 5 perces nagy hidrosztatikus kezeléssel valósítható meg.*
- 2) *Megállapítottam, hogy a teljes tojáslé (300 MPa, 5 perc) és a tojásfehérje-lé (400 MPa, 5 perc) összes mezofil aerob csíraszám HHP kezeléssel fehérje denaturáció és a látszólagos viszkozitás szignifikáns változása nélkül 2, illetve 4 nagyságrenddel csökkent. A tojássárgája-lé esetében a HHP kezelés (350 MPa, 5 perc) a látszólagos viszkozitás szignifikáns változása nélkül 3 nagyságrendnyi összes csíraszám csökkenést eredményezett.*
- 3) *Megállapítottam, hogy a tojáslevek esetében a kezelési idő és a mezofil aerob összes csíraszám között 0-10 perc kezelési idő tartományban 400 MPa nyomásértéken exponenciálisan csökkenő összefüggést találtam.*
- 4) *Kimutattam, hogy a tojásfehérje-lé esetében az 57 °C, 7 perc hőkezelés és a 350 MPa nyomású 5 perces HHP kezelés kombinációja biztosítja a mezofil aerob csíraszám 4 nagyságrendnyi csökkenését szignifikáns fehérje denaturáció, szín- és látszólagos viszkozitásváltozás nélkül.*
- 5) *Megállapítottam, hogy a tojáslevekben a fehérje denaturáció tekintetében az alkalmazott nyomás nagyságának nagyobb hatása van, mint a kezelés idejének, bár a tojáslevek denaturációja más-más nyomásértéken kezdődik (teljes tojáslé >300 MPa, tojásfehérje-lé >450 MPa, tojássárgája-lé > 150 MPa).*
- 6) *Megállapítottam, hogy a tojáslevek látszólagos viszkozitása 5 perces 400 MPa-nál nagyobb nyomáskezelés mellett, illetve 400 MPa 5 perc feletti kezeléseknél szignifikánsan nő.*
- 7) *Kimutattam, hogy a tojáslevek a HHP kezelés hatására világosodnak. A szignifikáns színváltozás 5 perc kezelési idő esetén a teljes tojáslében 450 MPa nyomás felett, a tojásfehérje-lében 250 MPa felett, a tojássárgája-lében 350 MPa felett kezdődik.*
- 8) *Megállapítottam, hogy a 350 MPa 5 perc nyomáskezelés és az 53 °C 12 perc hőkezelés kombinációja csökkenti a tojáslevek mezofil aerob csíraszámát szignifikáns fehérje denaturáció és világosodás nélkül. A nagy hidrosztatikus nyomás- és a hőkezelés kombinált alkalmazása a sorrendtől függetlenül csökkenti a teljes tojáslé mezofil aerob csíraszámát. A tojásfehérje- és tojássárgája-lé esetében a kezelések sorrendje mikrobiológiai szempontból kedvezőbb, ha elsőként hő- majd nyomáskezelést alkalmazunk.*

9) *Megállapítottam, hogy a központi összetett rotációs kísérleti terv segítségével az 53-67 °C, 12 perc és 330 - 470 MPa, 5 perc tartományban hő- majd nyomáskezelt teljes tojáslé sárga-kék színezete, látszólagos viszkozitása, a tojássárgája-lé világossági tényezője és mezofil aerob összecsíraszám, a tojásfehérje-lé pH-értéke, szintényezői, látszólagos viszkozitása és mezofil aerob összecsíraszám modellezhető.*

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Doktori dolgozatomban a nagy hidrosztatikus nyomású technológia hatásait vizsgáltam önmagában, illetve kéméletes hőkezeléssel kombinálva tojáslevek fizikai-kémiai, mikrobiológiai, érzékszervi, illetve techno-funkcionális tulajdonságaira.

A HHP kezelés önmagában, illetve hőkezeléssel kombinálva is igen csekély, gyakorlati szempontból elhanyagolható, hatással bír a tojáslevek **pH**-értékére.

A tojáslevek a HHP kezelés hatására világosodnak. A tojáslevek **szín**ére összességében a nyomásérték nagysága nagyobb hatása van, mint a kezelési idő. Szignifikáns színváltozás 5 perc kezelési idő esetén a teljes tojáslében 450 MPa nyomás felett, a fehérje-lében 250 MPa felett, míg a sárgája-lében 350 MPa felett kezdődik. A hő- és nyomáskezelés együttesen nagyobb változásokat okoz, mint az önmagukban alkalmazott kezelések. A kezelések sorrendje a színtényezők változását tekintve kedvezőbb, ha előbb hő-, majd nyomáskezeljük (53 °C, 12 min, vagy 45 °C, 8 óra; 350 MPa, 5 perc) a tojásleveket. Amennyiben a tojáslevek színének megőrzése fontos szempont a késztermék minőségében, javaslom, hogy kisebb nyomásértéken, hosszabb kezelési idővel önmagában alkalmazzuk a HHP kezelést.

Mikrobiológiai szempontból nagyobb hatással bír a HHP kezelés nyomásértékének növelése, mint a kezelés idejének növelése. Megállapítottam, hogy a teljes tojáslé, tojásfehérje-lé és a tojássárgája-lé esetében az aerob összes csíraszám 4 nagyságrendnyi csökkentése 450 MPa nyomású, 5 perces nagy hidrosztatikus kezeléssel valósítható meg. A tojáslevek 5 perces HHP kezelése során a teljes tojáslé és fehérje-lé 150-450 MPa nyomástartományban, míg a sárgája-lé esetében 150-500 MPa tartományban a nyomásérték növelésével a mezofil aerob összes csíraszám lineárisan csökken. A kezelési idő és a mezofil aerob összes csíraszám között 0-10 perc kezelési idő tartományban 400 MPa nyomásértéken exponenciális összefüggést találtam.

A nagy hidrosztatikus nyomás- és a hőkezelés kombinált alkalmazása a sorrendtől függetlenül csökkenti a teljes tojáslé mezofil aerob csíraszámát. A fehérje- és sárgája-lé esetében a kezelések sorrendje kedvezőbb, ha elsőként hő- majd nyomáskezelést alkalmazunk. A hő- és HHP kezelés kombinálásával a teljes tojáslében 4, a fehérje-lénél 2,5, míg a sárgája-lénél több, mint 6 nagyságrendnyi csökkenést értem el a mezofil aerob összes csíraszámában. Ez alapján megállapítottam, hogy mikrobiológiai szempontból előnyös, ha a nyomáskezelést önmagában alkalmazva legalább 450 (teljes tojáslé és tojásfehérje-lé), vagy 500 MPa-on (tojássárgája-lé) végzem. Amennyiben a techno-funkcionális tulajdonságok megőrzése is fontos szempont a mikrobaszám csökkentése mellett, célszerű a 450 MPa-nál kisebb nyomásértéken végzett nyomáskezelést hőkezeléssel kombinálni.

A **reológiai** vizsgálataim alapján a nyomásérték és a kezelési idő növelése egyaránt növeli a tojáslevek látszólagos viszkozitását. A teljes tojáslé pszeudoplasztikus folyadékként viselkedik a

két paraméter változtatásakor. A teljes tojáslénél minden önmagában, illetve hőkezeléssel kombinált kezelés esetében a folyáshatár és konzisztenciaállandó növekedését tapasztaltam, míg az önmagában alkalmazott HHP kezelések a folyásindex csökkenését okozták. Ezzel szemben a sárgája-lé a nyomásérték növelésével inkább pszeudoplasztikus, míg a kezelési idő növelésével és a kombinált hő- és nyomáskezelések hatására inkább Herschel-Bulkley folyadékként viselkedik. A sárgája-lé folyáshatárát, konzisztenciaállandóját minden alkalmazott kezelés növelte, míg folyásindexét csökkentette.

A fehérje-lé a nyomásérték növelésének hatására dilatális (shear-thickening) típusú folyadékként viselkedik, míg a kezelési idő növelésének hatására inkább pszeudoplasztikus folyadékként írható le. A fehérje-lénél a nyomásérték és a kezelési idő növelésével τ_0 és K értéke nő, míg n értéke csökken. Az 550 és 600 MPa, 5 perc nyomáskezelés olyan mértékű aggregátum-kialakuláshoz vezet, hogy a fehérje-lé rotációs módszerrel nem vizsgálható. A kombinált kezelések hatására a fehérje-lé pszeudoplasztikus, illetve Herschel-Bulkley folyadékként jellemezhető. Összességében a teljes, fehérje- és sárgája-lé látszólagos viszkozitása a HHP kezelés hatására nő. Szignifikáns állományváltozás 5 perces kezelést alkalmazva 400 MPa nyomás felett, míg 400 MPa nyomásértéket alkalmazva, 5 percnél hosszabb kezelés esetén történik.

A központi elrendezésű, rotációs kísérleti terv alapján a hő- és nyomáskezelés kombinálásának hatására - hasonlóan az önmagában alkalmazott nagyobb nyomásértékű HHP kezelésekhez – gélszerkezet (teljestojáslé, sárgája-lé), illetve aggregátumok (fehérje-lé) kialakulását tapasztaltam. A tojássárgája gélesedését első sorban a nyomásérték növelése okozta – főleg a 400 MPa-nál nagyobb nyomásértékeken - szemben a hőkezelés hőmérsékletének növelésével. A fehérje-lében a 60 °C-nál nagyobb hőmérsékletű hőkezelések és a legalább 400 MPa nyomásértékű HHP együttes alkalmazása eredményezte a legnagyobb mennyiségű aggregátum keletkezését. A teljes tojáslénél a nagyobb hőmérséklet (65 és 67 °C) hatására figyeltem meg nagyobb aggregátum-képződést.

Ez alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a tojásleveket érdemes hosszabb ideig, kisebb nyomásértékeken kezelni, ez kevésbé befolyásolja a reológiai tulajdonságaikat. Amennyiben a HHP-t hővel kombináljuk, a teljes tojáslénél érdemes 60 °C-nál kisebb hőmérsékletet választani (akár nagyobb nyomásértékkel). Míg a fehérje- és sárgája-lénél legfeljebb 400 MPa nyomásértéket célszerű alkalmazni (akár nagyobb hőmérséklettel).

A nyomásérték és kezelési idő hatásait összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy a kezelési idő növelése kisebb mértékben csökkenti a **denaturációs entalpia**-értékeket. A *teljes tojáslé* esetében a 600 MPa, 5 perc kezelés a fehérjék mintegy 60%-át denaturálja, míg a 400 MPa, 10 perces kezelés csak 12%-át. A fehérje-lénél ugyanezen kezelések mintegy 75% és 35% csökkenést

okoztak a denaturálható fehérjék mennyiségében. A sárgája-lénél a 600 MPa, 5 perc kezelés 66%, míg a 400 MPa, 10 perc kezelés 30% csökkenést eredményezett ΔH értékében.

Az önmagában alkalmazott HHP kezeléshez viszonyítva a kombinált kezelések kisebb mértékben denaturálták a *teljes tojáslé* fehérjéit, mint a nyomásérték növelése (mintegy 60% csökkenés), viszont a kezelési idő növelésével közel azonos ΔH csökkenést (12 – 15%) tapasztaltam. A kezelések sorrendjének nincs hatása a fehérje denaturáció mértékére.

A nyomáskezelt tojáslevekből készített „omlett” és habcsók minták keményebb **állománnyal** rendelkeznek, mint a kezeletlen tojáslevekből készültek. A nyomáskezelés ideje egyértelműen növelte a késztermék keménységét. Tehát a nyomáskezelés ideje állománykialakító hatással van a késztermék esetében is, nem csak a nyers tojáslevek reológiai tulajdonságait befolyásolja.

A nyomáskezelt mintákból készült késztermékek („omlett” és habcsók) **érzékszervi tulajdonságait** kedvezőbbnek ítélték a bírálóiban résztvevők. A HHP kezelés önmagában, illetve hőkezeléssel kombinálva is kedvező hatással bír a késztermék érzékszervi minőségére. A legtöbb bírálati szempontra kedvezőbb pontértékeket kaptak a hosszabb nyomáskezelésen átesett minták. Az érzékszervi vizsgálatok igazolták a műszeres mérések eredményeit. A kombinált kezeléseket követően az „omlettek” érzékszervi tulajdonságait kedvezőbbnek ítélték a bírálók, mint a szimpla hő- vagy nyomáskezeléseket követően. A bírálóiban alapján a hőkezelést követő HHP kezelés kedvezőbben hat az egyes érzékszervi tulajdonságokra.

Eredményeim összegzéseként megállapítottam, hogy az általam alkalmazott kezelések különböző módon hatnak a tojáslevek vizsgált tulajdonságaira. Az egyes vizsgált tulajdonságok szempontjából más és más önmagában alkalmazott nyomáskezelési paraméter, vagy kezelés-kombináció a legkedvezőbb. Ez alapján javaslom, hogy nem egy „mindenre viszonylag kedvező” paramétert vagy paraméter-kombinációt válasszunk, hanem a kutatási, vagy ipari célnak legmegfelelőbb tulajdonságra legkedvezőbb paramétert kell kiválasztanunk.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az élelmiszeriparban és a catering rendszerekben a héjas tojás felhasználását egyre inkább visszaszorítja a tojástermékek alkalmazása, amelyek számos előnnyel rendelkeznek a héjas tojással szemben (pl. kisebb munkaerő-igény, egyszerűsödő technológiai sor, kisebb beruházási költségek). Legnagyobb piaci részesedéssel a tojástermékek közül a tojáslevek rendelkeznek. Azonban a tojás feltörését követően beltartalma kiváló táptalajt jelent a mikrobák számára. A mikrobiológiai élelmiszerbiztonság garantálásához az iparban jelenleg hőkezelési eljárásokat (pasztörözést) alkalmaznak. A hő hatására azonban egyes értékes komponensek (pl. fehérjék) sérülhetnek, ami a tojáslevek további feldolgozhatóságát károsan befolyásolja. Ennek ellenére a kíméletes (nem termikus) technológiákat jelenleg nem alkalmazzák a tojáslevek ipari feldolgozása során.

Ezen problémafelvetés hívta életre doktori kutatásom témáját, amelyben a nagy hidrosztatikus nyomású technológia (HHP) hatásait vizsgáltam önmagában és kíméletes hőkezeléssel kombinálva a tojáslevek egyes tulajdonságaira. Célul tűztem ki, hogy egyes vizsgált tulajdonságok alapján meghatározzam, mely technológiai paraméterek (nyomásérték, kezelési idő, illetve hőkezelési hőmérséklet és idő) a legalkalmasabbak a tojáslevek kíméletes tartósítására.

A kísérleteim során a teljes tojáslé, tojásfehérje- és tojássárgája-lé fizikai, kémiai, valamint technofunkcionális tulajdonságaiban bekövetkező változásokat vizsgáltam. A dolgozat öt kísérletre épül. Az első kísérletben a HHP kezelés nyomásértékének hatásait vizsgáltam 100 és 600 MPa közötti nyomásérték-tartományban, 5 perc kezelési idővel. Eredményeim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a tojáslevek színében jól látható különbségek alakultak ki a 350 MPa-nál nagyobb nyomásértékek hatására. A mezofil aerob összes csíraszám lineáris csökkenését figyeltem meg 150 és 450 MPa között a teljes tojáslé és tojásfehérje esetében, míg tojássárgája-lénél 150 és 500 MPa között. A nagyobb nyomásértékek szemmel is jól látható fehérje-agglomerátumok képződéséhez, illetve gélesedéshez vezettek. Az 550 és 600 MPa alkalmazása tojásfehérje-lénél már továbbfeldolgozásra alkalmatlan terméket eredményeztek. A fehérjeszerkezetekben a 400 MPa feletti nyomásértékeket már kedvezőtlennek tekinthetjük a DSC módszerrel mért eredményeim alapján.

A második kísérletben ezért a tojásleveket 400 MPa-on vizsgáltam, 1-10 perces kezelési idő tartományban. Az egyes technofunkcionális tulajdonságoknál (viszkozitás, fehérje-szerkezetek) az 5-7 perc az a maximális kezelési idő, amely még nem befolyásolja olyan mértékben a vizsgált tulajdonságokat, hogy feldolgozásra alkalmatlanná váljanak. Mikrobiológiai szempontból a kezelési idő kisebb hatással bír, mint a nyomásérték növelése. A kezelési idő és a mezofil aerob csíraszám csökkenése között exponenciális összefüggést találtam. Tehát, ha a mikrobaszám-csökkenés a célunk a HHP kezeléssel, javaslom a nagyobb nyomásértékek alkalmazását a

hosszabb kezelési idő helyett. A kísérletben vizsgáltam a késztermékek állományát és érzékszervi tulajdonságait. Eredményeim alapján, a kezelési idő növelésével a tojáslevekből keményebb késztermékeket tudtam készíteni. Tehát, a hosszabb HHP kezelés állománykialakításra alkalmas. Az érzékszervi bírálatok alapján ezen változások kedvezők az érzékszervi paraméterekre. Az állomány- és érzékszervi tulajdonságokat módosító hatás valószínű, a fehérjeszerkezetekben bekövetkező változásokra vezethetők vissza.

Az első két kísérletben az önmagában alkalmazott HHP nem eredményezett szignifikáns fehérje denaturáció és állomány-változás nélküli kielégítő mikroba-szám csökkentést (5 nagyságrendnyi csökkenés). Ezért a harmadik kísérletben a HHP kezelést megelőzően hőkezelést is alkalmaztam tojásfehérje-lé esetében. Eredményeim alapján ugyan a hosszabb idejű hőntartás (53 °C, 6 óra) és HHP (350 MPa, 5 perc) kombinációja nagymértékben befolyásolta a tojásfehérje-lé reológiai tulajdonságait, azonban a pasztörözés (57 °C, 7 perc) és HHP kombinációja kedvező volt mikrobiológiai és techno-funkcionális szempontokból egyaránt.

A negyedik kísérletben mindhárom tojáslénél vizsgáltam a hő- és HHP kezelés kombinációit. Ezúttal a kezelések paraméterei mellett a sorrend hatását is vizsgáltam. A hő- és nyomáskezelés együttesen nagyobb változásokat eredményezett a tojáslevek színében, mint az önmagukban alkalmazott kezelések. A kezelések sorrendje a színtényezők változását tekintve kedvezőbb, ha előbb hő-, majd nyomáskezeljük a tojásleveket. A hő- és HHP kezelés kombinálásával a teljes tojáslében 4, a fehérje-lénél 3, míg a sárgája-lénél több, mint 6 nagyságrendnyi csökkenést értem el a minták mezofil aerob összes csíraszámának csökkentésében. A DSC vizsgálataimban megállapítottam, hogy a teljes tojáslére hasonló hatást gyakorolnak a kombinált kezelések, mint a 10 perces, 400 MPa-on végzett HHP. A kombinált kezelések alkalmazása a tojásfehérje-lénél kedvezőbb, mint a kezelési idő növelése. A kezelések sorrendje lényegében nem befolyásolja a fehérje denaturáció mértékét, a fehérje-lében, azonban a sárgája-lénél kedvezőbb a hőkezelést követő HHP alkalmazása.

A kombinált kezeléseket követően a tojáslevekből készült „omlettek” érzékszervi tulajdonságait kedvezőbbnek ítélték a bírálók, mint a szimpla hő- vagy nyomáskezeléseket követően. A bírálatok alapján az egyes érzékszervi tulajdonságokra kedvezőbben hat a hőkezelést követő HHP kezelés, mint a fordított kezelési sorrend.

Az ötödik kísérletben a hő- és HHP kezelés paramétereinek (hőmérséklet és nyomásérték) együttes változtatásának hatásait vizsgáltam központi elrendezésű, rotáció kísérleti terv segítségével 53 - 67 °C (12 perc) és 330-470 MPa (5 perc) intervallumon. A hőkezelést követően alkalmaztam HHP kezelést, az előző kísérlet eredményei alapján.

Eredményeim alapján az egyes tulajdonságoknál és tojásleveknél más-más kombináció optimális. Például a tojásfehérje-lé színét és reológiai tulajdonságait a nagyobb nyomásértékek befolyásolták nagyobb mértékben, míg a teljes tojásnál inkább a nagyobb hőkezelési hőmérséklet.

A dolgozatomban bemutatott eredmények alapján a nagy hidrosztatikus nyomású technológia a tojásleveknél 400 MPa-nál nagyobb nyomásértékeken alkalmazva megfelelő mikrobiológiai kockázatot csökkentő kezelés lehet, azonban ennél kisebb nyomásértékeken inkább állomány- és érzékszervi tulajdonságokat kialakító eljárásnak tekinthetjük. Amennyiben a technológiai tulajdonságok szempontjából kíméletes tartósítás, mikroba-szám csökkentés a célunk, a HHP kezelést más technológiával (hőkezeléssel) kell kombinálnunk.

Eredményeim alapján az alkalmazott kezelések és paraméterek eltérő módon hatnak a tojáslevek vizsgált tulajdonságaira. Az egyes vizsgált tulajdonságok alapján más és más önmagában alkalmazott nyomáskezelési paraméter, vagy kezelés-kombináció a legkedvezőbb. Úgy gondolom, nem egy „mindenre viszonylag kedvező” paraméter- vagy paraméter-kombinációt kell választanunk, hanem a kutatási, vagy ipari célnak legmegfelelőbb tulajdonsághoz optimális paraméter(ek)t kell alkalmaznunk.

SUMMARY

Egg products are favourable raw materials of modern food industry and catering. Egg products have several advantages like easy application, storage, plannability, easier technological operations and lower investments costs. Liquid egg products (LEP: liquid whole egg (LWE), liquid egg white, (LEW) and liquid egg yolk, (LEY)) own the highest market share of egg products. After breaking an egg egg yolk and white are great media for microbiological growth. Although, several minimal processing technologies are developed for preservation of food materials, egg products are still preserved by application of heat. Heat may cause degradation in functional properties of liquid egg products, through protein aggregation and denaturation. Nonthermal minimal processing technologies, like High Hydrostatic Pressure (HHP) may improve functional characteristic of egg products.

In my thesis, the effects of single and heat combined High Hydrostatic Pressure treatments are investigated on LEP. The goal of my work was to evaluate the effects of treatment parameters (pressure and holding time of HHP, temperature and time of heat treatment) on pH, colour, viscosity attributes, microbiological spoilage, protein denaturation of LEP. Furthermore, texture and sensorial attributes of products made from treated LEP were investigated. In my work five experiments were fitted for these purposes:

In the first experiment the effects of pressure range between 150 and 600 MPa of HHP were investigated applying 5 min holding time on physicochemical, functional and microbiological properties. Pressures above 450 MPa caused significant changes in colour of LWE. LEW became significant brighter from 250 MPa, as long LEY's colour changed significantly above 350 MPa. Mesophilic aerobe cell count of egg products showed a linear decrease between 150 and 450 (LWE, LEW), or 500 MPa (LEY). Pressure ranges above 400 MPa led to a significant change in rheological properties. LEW treated at 550 and 600 MPa, for 5 min is unusable as food ingredient. In the second experiment the effects of high pressure's holding time between 1 – 10 min were investigated at 400 MPa. Following properties were inspected: physicochemical, functional and microbiological properties. Techno functional properties are significant influenced by HHP longer than 5 minutes. Holding time has a smaller effect on mesophilic aerobe cell count than pressure range. Between holding time and mesophilic aerobe cell count an exponential relationship was found. If the goal of HHP is the decontamination of LEP, a pressure above 400 MPa is recommended instead of applying a longer holding time. In this experiment omelettes from LWE and LEY and meringue from LEW were prepared. If the HHP treatment was longer, the texture of omelettes and meringue became harder. It means, that holding time of HHP has a texture forming function in products made from LEP. This textural change was preferred by consumers during

sensorial testing. The longer holding time was used, the better sensorial attributes were liked by panellists. The textural changes may have a high connection with protein denaturation.

In the third experiment the effects of combination of heattreatment (57 °C, 7 min, or 53 °C, 360 min) and HHP (350 MPa, 5 min) were investigated on the physicochemical, functional and microbiological attributes of LEW. Longer heattreatment (45 °C, 360 min) combined with HHP caused significant change in apparent viscosity of LEW, but short pasteurization (57 °C, 7 min) and HHP had no significant impact on rheological properties, while this combination has a favourable effect of microbiological cell count of LEW.

In the fourth experiment the effects of order of heattreatment (53 °C, 12 min, or 45 °C, 360 min) and HHP (350 MPa, 5 min) were inspected. The physicochemical, sensorial attributes of products and microbiological attributes of LEP were investigated during 28 days of storage at 4 °C. Combined heat- and HHP treatments effected higher changes in colour of LEP than single heattreatment or HHP. In aspects of colour of LEP is preferable, if HHP is used after heattreatment. Combined treatments led to a log 4 in LWE, a log 3 in LEW and a log 6 decrease in LEY of mesophilic aerobe cell count. Ratio of protein denaturation in LWE after combined treatments is like 400 MPa, 10 min HHP. In LEW, protein denaturation is smaller after combined treatment than after 400 MPa, 10 min HHP. Order of HHP and heat treatment has no effect on protein denaturation in LWE and LEW, but in LEY applying HHP after heat treatment is favourable. Combined treatments of egg products have a better impact on sensorial attributes of omelettes than single heattreatment or HHP. Applying HHP after heattreatment has a better impact on sensorial characteristics of omelettes.

As last step, in the fifth experiment a central composite design was applied for modelling the effects of temperature of heat treatment (53-67 °C, 12 min) and pressure range of HHP (330-470 MPa, 5 min) on attributes of LEP. According to my results in experiment 4, HHP was carried out after heattreatment. My results pointed out, that the optimum combinations of parameters differ for inspected parameters and differ for every liquid egg product.

Example giving, colour and rheological properties of LEW are highly influenced by higher pressure, but in case of LWE the higher temperature of heat treatment has a higher impact.

Based on my results, HHP is a great opportunity for decontamination, if a pressure above 400 MPa is used. Single HHP under 400 MPa may be considered as a texture and sensorial attribute forming procedure. If our goal is preservation applying gentle parameters, HHP should be combined with other treatments (mild temperature heat treatment). Treatments and parameters investigated in my thesis, have different effects on the characteristics of LEP. In my opinion, there is not a perfect combination of the HHP's parameters for every examined attribute. But there is an adequate combination for every technological aspect.

MELLÉKLETEK

M1 Irodalomjegyzék

- 152/2009. (XI. 12.) FVM rendelet a M. É. 2009. **152/2009. (XI. 12.) FVM rendelet a Magyar Élelmiszerkönyv kötelező előírásairól—Hatályos Jogszabályok Gyűjteménye.** <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0900152.FVM>.
- Abdel-Aal, E.-S. M., Akhtar, H., Chambers, J. R., & Zaheer, K. 2017. Chapter 19—Lutein and Zeaxanthin Carotenoids in Eggs. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements*: 199–206. San Diego: Academic Press.
- Abeyrathne, E. D. N. S., Lee, H. Y., & Ahn, D. U. 2013. Egg white proteins and their potential use in food processing or as nutraceutical and pharmaceutical agents—A review. *Poultry Science*, 92(12): 3292–3299.
- Ahmed, J. 2017. Chapter 15—Rheological Properties of Gelatin and Advances in Measurement. *Advances in Food Rheology and its Applications*: 377–404. Woodhead Publishing.
- Ahmed, J., Ptaszek, P., & Basu, S. 2017. Chapter 1 - Food Rheology: Scientific Development and Importance to Food Industry. *Advances in Food Rheology and its Applications*: 1–4. Woodhead Publishing.
- Ahmed, J., & Ramaswamy, H. S. 2003. Effect of High-Hydrostatic Pressure and Temperature on Rheological Characteristics of Glycomacropeptide. *Journal of Dairy Science*, 86(5): 1535–1540.
- Ahmed, J., Ramaswamy, H. S., Alli, I., & Ngadi, M. 2003. Effect of high pressure on rheological characteristics of liquid egg. *LWT - Food Science and Technology*, 36(5): 517–524.
- Akkouche, Z., Aissat, L., & Madani, K. 2012. *Effect of Heat on Egg White Proteins*, 7.
- Alexandre, E. M. C., Pinto, C. A., Moreira, S. A., Pintado, M., & Saraiva, J. A. 2019. 5—Nonthermal food processing/preservation technologies. In C. M. Galanakis (Ed.), *Saving Food*: 141–169. Academic Press.
- Alleoni, A. C. C. 2006. Albumen protein and functional properties of gelation and foaming. *Scientia Agricola*, 63(3): 291–298.
- Ambrosi, V., Polenta, G., Gonzalez, C., Ferrari, G., & Maresca, P. 2016. High hydrostatic pressure assisted enzymatic hydrolysis of whey proteins. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 38: 294–301.
- Andrássy, É., Farkas, J., Seregély, Zs., Dalmadi, I., Tuboly, E., et al. 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(3): 305–318.
- Anton, M. 2007. Low-density Lipoproteins (LDL) or Lipovitellenin Fraction. In R. Huopalahti, R. López-Fandiño, M. Anton, & R. Schade (Eds.), *Bioactive Egg Compounds*: 7–12. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Anton, M. 2013. Egg yolk: Structures, functionalities and processes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(12): 2871–2880.
- Anton, M., Castellani, O., & Guérin-Dubiard, C. 2007. Phosvitin. In R. Huopalahti, R. López-Fandiño, M. Anton, & R. Schade (Eds.), *Bioactive Egg Compounds*: 17–24. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Anton, M., Le, D., & Gandemer, G. 2000. Thermostability of hen egg yolk granules: Contribution of native structure of granules. *Journal of Food Science*, 65(4): 581–584.
- Anton, M., Nau, F., & Nys, Y. 2006. Bioactive egg components and their potential uses. *World's Poultry Science Journal*, 62(3): 429–438.
- Apichartsrangkoon, A., & Ledward, D. A. 2002. Dynamic viscoelastic behaviour of high pressure treated gluten–soy mixtures. *Food Chemistry*, 77(3): 317–323.

- Atilgan, M. R., & Unluturk, S. 2008. Rheological Properties of Liquid Egg Products (LEPS). *International Journal of Food Properties*, 11(2): 296–309.
- Aygun, A. 2017a. Chapter 13—The Eggshell Microbial Activity. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements*: 135–144. San Diego: Academic Press.
- Aygun, A. 2017b. Chapter 14—Effects of Propolis on Eggshell. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements*: 145–156. San Diego: Academic Press.
- Balasubramaniam, V. M. B., Martínez-Monteaagudo, S. I., & Gupta, R. 2015. Principles and application of high pressure-based technologies in the food industry. *Annual Review of Food Science and Technology*, 6: 435–462.
- Barba, F. J., Ahrné, L., Xanthakis, E., Landerslev, M. G., & Orlien, V. 2018. Chapter 2—Innovative Technologies for Food Preservation. In F. J. Barba, A. S. Sant’Ana, V. Orlien, & M. Koubaa (Eds.), *Innovative Technologies for Food Preservation*: 25–51. Academic Press.
- Barba, F. J., Cortés, C., Esteve, M. J., & Frigola, A. 2012. Study of Antioxidant Capacity and Quality Parameters in An Orange Juice–Milk Beverage After High-Pressure Processing Treatment. *Food and Bioprocess Technology*, 5(6): 2222–2232.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Ghani, A., Juliano, P., & Knoerzer, K. 2011. Introduction to Innovative Food Processing Technologies: Background, Advantages, Issues, and Need for Multiphysics Modeling. *Innovative Food Processing Technologies: Advances in Multiphysics Simulation*, 3–21.
- Benedé, S., López-Expósito, I., Molina, E., & López-Fandiño, R. 2015. Egg proteins as allergens and the effects of the food matrix and processing. *Food & Function*, 6(3): 694–713.
- Bogdán, J. 1979. *Tartósítóiparok állati eredetű nyersanyagai*. Budapest: Kertészeti Egyetem. <http://opac3.entzferenc.szie.hu/results/-/results/d0ff1d7c-438e-474e-9423-34c4c28072f3/solr#/displayResult>.
- Bourne, M. C. 2002. *Food Texture and Viscosity* (2nd ed.). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780121190620/food-texture-and-viscosity>.
- Brand, J., Dachmann, E., Pichler, M., Lotz, S., & Kulozik, U. 2016. A novel approach for lysozyme and ovotransferrin fractionation from egg white by radial flow membrane adsorption chromatography: Impact of product and process variables. *Separation and Purification Technology*, 161: 44–52.
- Bridgman, P. W. 1914. The Coagulation of Albumen by Pressure. *Journal of Biological Chemistry*, 19(4): 511–512.
- Brown, A. M. 2005. A new software for carrying out one-way ANOVA post hoc tests. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 79(1): 89–95.
- Brul, S., & Coote, P. 1999. Preservative agents in foods. Mode of action and microbial resistance mechanisms. *International Journal of Food Microbiology*, 50(1–2): 1–17.
- Calabresi, L., & Franceschini, G. 2010. Lecithin:cholesterol acyltransferase, high-density lipoproteins, and atheroprotection in humans. *Trends in Cardiovascular Medicine*, 20(2): 50–53.
- Calligaris, S., Foschia, M., Bartolomeoli, I., Maifreni, M., & Manzocco, L. 2012. Study on the applicability of high-pressure homogenization for the production of banana juices. *LWT - Food Science and Technology*, 45(1): 117–121.
- Campbell, L., Raikos, V., & Euston, S. 2005. Heat stability and emulsifying ability of whole egg and egg yolk as related to heat treatment. *Food Hydrocolloids*, 19(3): 533–539.
- Castellani, O., Belhomme, C., David-Briand, E., Guérin-Dubiard, C., & Anton, M. 2006. Oil-in-water emulsion properties and interfacial characteristics of hen egg yolk phosvitin. *Food Hydrocolloids*, 20(1): 35–43.
- Castellani, O., Guérin-Dubiard, C., David-Briand, E., & Anton, M. 2004. Influence of physicochemical conditions and technological treatments on the iron binding capacity of egg yolk phosvitin. *Food Chemistry*, 85(4): 569–577.

- Chalamaiah, M., Esparza, Y., Hong, H., Temelli, F., & Wu, J. 2018. Physicochemical and functional properties of leftover egg yolk granules after phosvitin extraction. *Food Chemistry*, 268: 369–377.
- Chalamaiah, M., Esparza, Y., Temelli, F., & Wu, J. 2017. Physicochemical and functional properties of livetins fraction from hen egg yolk. *Food Bioscience*, 18: 38–45.
- Chambers, J. R., Zaheer, K., Akhtar, H., & Abdel-Aal, E.-S. M. 2017. Chapter 1—Chicken Eggs. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements*: 1–9. San Diego: Academic Press.
- Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. 2011. Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4): 813–835.
- Chung, S. L., & Ferrier, L. K. 2006. Heat Denaturation and Emulsifying Properties of Egg Yolk Phosvitin | SIEW LIAN CHUNG. *Journal of Food Science*, 60(5): 906–908.
- Cooke, S. K., & Sampson, H. A. 1997. Allergenic properties of ovomucoid in man. *Journal of Immunology (Baltimore, Md.: 1950)*, 159(4): 2026–2032.
- Costabel, L. M., Bergamini, C., Vaudagna, S. R., Cuatrin, A. L., Audero, G., et al. 2016. Effect of high-pressure treatment on hard cheese proteolysis. *Journal of Dairy Science*, 99(6): 4220–4232.
- Csapó, J., & Csapóné Kiss, Z. 2003. *Élelmiszerkémia*. Budapest: Mezőgazda Kiadó. https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Elelmiszer_kemia/adatok.html.
- Csapó J., & Vargáné Visi A. 2011. *Élelmiszerkémia|Digitális Tankönyvtár*. Kaposvár: Kaposvári Egyetem. https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0059_elelmiszerkemia/ch12s03.html.
- Csehi B. 2019. *Nagy hidrosztatikus nyomáskezelés hatása állati eredetű termékek fehérjeszerkezeti és fiziko-kémiai tulajdonságaira*, 137. Budapest: Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Doktori Iskola.
- Czeglédi, L., Posta, J., & Stündl, L. 1992. A tojás szerkezete és kémiai összetétele. In S. Mihók (Ed.), *Baromfityenyésztés (a termelőkialakítás biológiai alapjai)*. Debrecen: Debreceni Egyetem. http://www.agr.unideb.hu/ebook/baromfityenyesztes/a_tojs_szerkezete_s_kemiai_osszettele.html.
- Darnay L. 2016. *Mikrobiális transzglutamináz alkalmazhatósága tej- és húsipari termékeknél*, 146. Budapest: Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Doktoriiskola.
- Dawson, P. L., & Acton, J. C. 2018. 22—Impact of proteins on food color. In R. Y. Yada (Ed.), *Proteins in Food Processing (Second Edition)*: 599–638. Woodhead Publishing.
- De Maria, S., Ferrari, G., & Maresca, P. 2015. Rheological characterization and modelling of high pressure processed Bovine Serum Albumin. *Journal of Food Engineering*, 153: 39–44.
- de Souza, P. M., & Fernández, A. 2013. Rheological properties and protein quality of UV-C processed liquid egg products. *Food Hydrocolloids*, 31(1): 127–134.
- Deák T. 2006. *Élelmiszer-mikrobiológia*. Budapest: Mezőgazda Kiadó. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_521_Elelmiszer-mikrobiologia/ch05s07.html.
- Deleu, L. J., Wilderjans, E., Van Haesendonck, I., Brijs, K., & Delcour, J. A. 2016. Protein network formation during pound cake making: The role of egg white proteins and wheat flour gliadins. *Food Hydrocolloids*, 61: 409–414.
- Denmat, M. L., Anton, M., & Gandemer, G. 1999. Protein Denaturation and Emulsifying Properties of Plasma and Granules of Egg Yolk as Related to Heat Treatment. *Journal of Food Science*, 64(2): 194–197.
- Dickinson, E., Pinfield, V. J., & Horne, D. S. 1997. On the “Anomalous” Adsorption Behavior of Phosvitin. *Journal of Colloid and Interface Science*, 187(2): 539–541.
- Efstathiou, J. D., Huston, L., & Morriss, J. M. 2013, January 22. *Method of extending shelf life of egg products via high pressure treatment*. <https://patents.google.com/patent/CA2571865C/en>.

- Elkin, R. G. 2017. Chapter 18 - Cholesterol in Chicken Eggs: Still a Dietary Concern for Some. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements*: 189–198. San Diego: Academic Press.
- Ercan, S. Ş., & Soysal, Ç. 2011. Effect of ultrasound and temperature on tomato peroxidase. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(2): 689–695.
- Espina, L., Monfort, S., Álvarez, I., García-Gonzalo, D., & Pagán, R. 2014. Combination of pulsed electric fields, mild heat and essential oils as an alternative to the ultrapasteurization of liquid whole egg. *International Journal of Food Microbiology*, 189: 119–125.
- Evelyn, & Silva, F. V. M. 2015. Inactivation of *Byssoschlamys nivea* ascospores in strawberry puree by high pressure, power ultrasound and thermal processing. *International Journal of Food Microbiology*, 214: 129–136.
- Evelyn, & Silva, F. V. M. 2017. Resistance of *Byssoschlamys nivea* and *Neosartorya fischeri* mould spores of different age to high pressure thermal processing and thermosonication. *Journal of Food Engineering*, 201: 9–16.
- Fellows, P. J. 2017. 8—Overview of heat processing. *Food Processing Technology (Fourth Edition)*: 515–522. Woodhead Publishing.
- Figura, L., & Teixeira, A. A. 2007. *Food Physics: Physical Properties - Measurement and Applications*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-34194-9>.
- Froning, G. W., Peters, D., Muriana, P., Eskridge, K., Travnicek, D., et al. 2002. *Pasteurization Manual—American Egg Board*. USDA. <https://www.aeb.org/food-manufacturers/eggs-product-overview/history-and-safety/pasteurization-manual>.
- Gao, Y., Li, J., Chang, C., Wang, C., Yang, Y., et al. 2019. Effect of enzymatic hydrolysis on heat stability and emulsifying properties of egg yolk. *Food Hydrocolloids*, 105224.
- Garriga, M., Grèbol, N., Aymerich, M. T., Monfort, J. M., & Hugas, M. 2004. Microbial inactivation after high-pressure processing at 600 MPa in commercial meat products over its shelf life. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(4): 451–457.
- Gharbi, N., & Labbafi, M. 2018. Effect of processing on aggregation mechanism of egg white proteins. *Food Chemistry*, 252: 126–133.
- Gill, A. O., Greer, G. G., & Nattress, F. M. 2014. MICROBIOLOGICAL ANALYSIS | Standard Methods. *Encyclopedia of Meat Sciences (Second Edition)*: 306–316. Oxford: Academic Press.
- Guha, S., Majumder, K., & Mine, Y. 2019. Egg Proteins. *Encyclopedia of Food Chemistry*: 74,84.
- Guilmineau, F., Krause, I., & Kulozik, U. 2005. Efficient analysis of egg yolk proteins and their thermal sensitivity using sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis under reducing and nonreducing conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(24): 9329–9336.
- Hamid-Samimi, M. H. 2000, February 15. *Process for producing pasteurized liquid egg products*. <https://patents.google.com/patent/US6024999A/en>.
- Hansstein, F. 2011. 4 - Profiling the egg consumer: Attitudes, perceptions and behaviours. In Y. Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*: 39–61. Woodhead Publishing.
- Hartyáni, P., Dalmadi, I., & Knorr, D. 2013. Electronic nose investigation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* inoculated apple and orange juice treated by high hydrostatic pressure. *Food Control*, 32(1): 262–269.
- Hassan, S. S., Williams, G. A., & Jaiswal, A. K. 2018. Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology*, 262: 310–318.
- Hemar, Y., Liu, L. H., Meunier, N., & Woonton, B. W. 2010. The effect of high hydrostatic pressure on the flow behaviour of skim milk–gelatin mixtures. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 11(3): 432–440.
- Herschel, W. H., & Bulkley, R. 1926. Konsistenzmessungen von Gummi-Benzollösungen. *Kolloid-Zeitschrift*, 39(4): 291–300.

- Hester, P. Y. 2017. Chapter 12—Effects of Temperature and Storage Conditions on Eggs. *Egg Innovations and Strategies for Improvements*: 125–134. San Diego: Academic Press.
- High Pressure Processing (HPP) Applications—Hiperbaric*. 2019. <https://www.hiperbaric.com/en/applications>.
- Hincke, M., Gautron, J., Rodriguez-Navarro, A. B., & McKee, M. D. 2011. 8 - The eggshell: Structure and protective function. In Y. Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*: 151–182. Woodhead Publishing.
- Hite, B. H. (Bert H. 1899). *The effect of pressure in the preservation of milk*. West Virginia University. Agricultural Experiment Station. <http://archive.org/details/effectofpressure58hite>.
- Hovorkáné Horváth Z. 2007. *Fűszerpaprika őrlemények érzékelt és mért színjellemzői*, 147. Budapest: Budapesti Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Kar.
- Huang, E., Mittal, G. S., & Griffiths, M. W. 2006. Inactivation of Salmonella enteritidis in Liquid Whole Egg using Combination Treatments of Pulsed Electric Field, High Pressure and Ultrasound. *Biosystems Engineering*, 94(3): 403–413.
- Iwashita, K., Handa, A., & Shiraki, K. 2017. Co-aggregation of ovalbumin and lysozyme. *Food Hydrocolloids*, 67: 206–215.
- Jambrak, A. R., Herceg, Z., Šubarić, D., Babić, J., Brnčić, M., et al. 2010. Ultrasound effect on physical properties of corn starch. *Carbohydrate Polymers*, 79(1): 91–100.
- Jolivet, P., Boulard, C., Chardot, T., & Anton, M. 2008. New insights into the structure of apolipoprotein B from low-density lipoproteins and identification of a novel YGP-like protein in hen egg yolk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(14): 5871–5879.
- Julià, S., Sánchez, L., Pérez, M. D., Lavilla, M., Conesa, C., et al. 2007. Effect of heat treatment on hen's egg ovomucoid: An immunochemical and calorimetric study. *Food Research International*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300769076>.
- Kauzmann, W. 1959. Some Factors in the Interpretation of Protein Denaturation. The preparation of this article has been assisted by a grant from the National Science Foundation. In C. B. Anfinsen, M. L. Anson, K. Bailey, & J. T. Edsall (Eds.), *Advances in Protein Chemistry*, vol. 14: 1–63. Academic Press.
- Kenesei G. 2018. *Kíméletes hőkezelés és nagy hidrosztatikus nyomáskezelés kombinálásának hatása sertéshús egyes minőségjellemzőire*. doktori (PhD) dolgozat, Szent István Egyetem, Budapest.
- Kenesei, G., Jónás, G., Salamon, B., & Dalmadi, I. 2017. Thermograms of the combined High Hydrostatic Pressure and Sous-vide treated Longissimus dorsi of pork. *Journal of Physics: Conference Series*, 950: 042007.
- Khan, M. V., Rabbani, G., Ahmad, E., & Khan, R. H. 2014. Fluoroalcohols-induced modulation and amyloid formation in conalbumin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 70: 606–614.
- Kim, M. Y., Kim, G. O., Shin, D. H., Kim, T. M., & Kim, J. S. 2015. Metformin enhances the benefit of ALK inhibitors in ALK translocation-positive non-small cell lung cancer cells. *Cancer Res*, 75.
- Kinoshita, K., Shimogiri, T., Ibrahim, H. R., Tsudzuki, M., Maeda, Y., et al. 2016. Identification of TENP as the Gene Encoding Chicken Egg White Ovoglobulin G2 and Demonstration of Its High Genetic Variability in Chickens. *PLOS ONE*, 11(7): e0159571.
- Knorr, D. 1999. Novel approaches in food-processing technology: New technologies for preserving foods and modifying function. *Current Opinion in Biotechnology*, 10(5): 485–491.
- Koncz K., Pásztorné Huszár K., Horti K., & Dalmadi I. 2005. *Félkemény tehén- és kecskesajtok állományának vizsgálata*. Presented at the Lippay János - Ormos Imre - Vas Károly Tudományos Ülésszak, Budapest.
- Krebbers, B., Matser, A. M., Koets, M., & Van den Berg, R. W. 2002. Quality and storage-stability of high-pressure preserved green beans. *Journal of Food Engineering*, 54(1): 27–33.
- Kucuk, U., Eyuboglu, M., Kucuk, H. O., & Degirmencioglu, G. 2016. Importance of using proper post hoc test with ANOVA. *International Journal of Cardiology*, 209: 346.

- Kumbár, V., Strnková, J., Nedomová, Š., & Buchar, J. 2015. Fluid dynamics of liquid egg products. *Journal of Biological Physics*, 41(3): 303–311.
- Laca, A., Paredes, B., Rendueles, M., & Díaz, M. 2014. Egg yolk granules: Separation, characteristics and applications in food industry. *LWT - Food Science and Technology*, 59(1): 1–5.
- Laca, A., Paredes, B., Rendueles, M., & Díaz, M. 2015. Egg yolk plasma: Separation, characteristics and future prospects. *LWT - Food Science and Technology*, 62(1, Part 1): 7–10.
- Lai, K. M., Chuang, Y. S., Chou, Y. C., Hsu, Y. C., Cheng, Y. C., et al. 2010. Changes in physicochemical properties of egg white and yolk proteins from duck shell eggs due to hydrostatic pressure treatment. *Poultry Science*, 89(4): 729–737.
- Lajnaf, R., Picart-Palmade, L., Attia, H., Marchesseau, S., & Ayadi, M. A. 2017. The effect of pH and heat treatments on the foaming properties of purified α -lactalbumin from camel milk. *Colloids and Surfaces. B, Biointerfaces*, 156: 55–61.
- Lawrence, R. C., Creamer, L. K., & Gilles, J. 1987. Texture Development During Cheese Ripening. *Journal of Dairy Science*, 70(8): 1748–1760.
- Lechevalier, V., Guérin-Dubiard, C., Anton, M., Beaumal, V., David Briand, E., et al. 2017. Pasteurisation of liquid whole egg: Optimal heat treatments in relation to its functional, nutritional and allergenic properties. *Journal of Food Engineering*, 195: 137–149.
- Lee, D.-U. 2002. *Application of combined non-thermal treatments for the processing of liquid whole egg*, 109.
- Lee, S.-M., Lee, K.-T., Lee, S.-H., & Song, J.-K. 2013. Origin of human colour preference for food. *Journal of Food Engineering*, 119(3): 508–515.
- Lesnierowski, G., & Kijowski, J. 2007. Lysozyme. In R. Huopalahti, R. López-Fandiño, M. Anton, & R. Schade (Eds.), *Bioactive Egg Compounds*: 33–42. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Lesnierowski, G., & Stangierski, J. 2018. What's new in chicken egg research and technology for human health promotion? - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 71: 46–51.
- Li, J., Li, X., Wang, C., Zhang, M., Xu, Y., et al. 2018. Characteristics of gelling and water holding properties of hen egg white/yolk gel with NaCl addition. *Food Hydrocolloids*, 77: 887–893.
- Li, M., Li, J., & Zhu, C. 2018. Effect of ultrasound pretreatment on enzymolysis and physicochemical properties of corn starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111: 848–856.
- Liao, W., Jahandideh, F., Fan, H., Son, M., & Wu, J. 2018. Chapter One - Egg Protein-Derived Bioactive Peptides: Preparation, Efficacy, and Absorption. In F. Toldrá (Ed.), *Advances in Food and Nutrition Research*, vol. 85: 1–58. Academic Press.
- Liu, F., Wang, Y., Li, R., Bi, X., & Liao, X. 2014. Effects of high hydrostatic pressure and high temperature short time on antioxidant activity, antioxidant compounds and color of mango nectars. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 21: 35–43.
- Liu, L., Zhang, M., Peng, G., Wang, H., & Zhang, S. 2004. [Separation and identification of red pigments in natural red yolk of duck's eggs by HPLC-MS-MS]. *Se Pu = Chinese Journal of Chromatography*, 22(3): 197–201.
- Liu, W., Ji, J., Chen, H., & Ye, C. 2014, March 4. *CIE Lab color space*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090646.g002>.
- Liu, Y.-F., Oey, I., Bremer, P., Carne, A., & Silcock, P. 2019. Modifying the Functional Properties of Egg Proteins Using Novel Processing Techniques: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(4): 986–1002.
- Llave, Y., Fukuda, S., Fukuoka, M., Shibata-Ishiwatari, N., & Sakai, N. 2018. Analysis of color changes in chicken egg yolks and whites based on degree of thermal protein denaturation during ohmic heating and water bath treatment. *Journal of Food Engineering*, 222: 151–161.

- Lopes, R. P., Mota, M. J., Delgadillo, I., & Saraiva, J. A. 2016. *Pasteurization: Effect on Sensory Quality and Nutrient Composition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00524-9>.
- López-Expósito, I., Chicón, R., Belloque, J., Recio, I., Alonso, E., et al. 2008. Changes in the Ovalbumin Proteolysis Profile by High Pressure and Its Effect on IgG and IgE Binding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(24): 11809–11816.
- Luo, H., Schmid, F., Grbin, P. R., & Jiranek, V. 2012. Viability of common wine spoilage organisms after exposure to high power ultrasonics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 19(3): 415–420.
- Ma, Y., & Barbano, D. M. 2003. Milk pH as a Function of CO₂ Concentration, Temperature, and Pressure in a Heat Exchanger1. *Journal of Dairy Science*, 86(12): 3822–3830.
- MacLaren, D. 2007. *Nutrition and Sport—1st Edition*. Elsevier. <https://www.elsevier.com/books/nutrition-and-sport/9780443103414>.
- Maresca, P., & Ferrari, G. 2017. Modelling of the kinetics of Bovine Serum Albumin enzymatic hydrolysis assisted by high hydrostatic pressure. *Food and Bioprocesses Processing*, 105: 1–11.
- Mason, T. J., Chemat, F., & Ashokkumar, M. 2015. 27—Power ultrasonics for food processing. *Power Ultrasonics*: 815–843. Oxford: Woodhead Publishing.
- Matsudomi, N., Ito, K., & Yoshika, Y. 2006. Preventive effect of egg yolk phosphovitin on heat-insolubilization of egg white protein and its application to heat-induced egg white gel. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70(4): 836–842.
- Mátyus, I. 1789. *Ó és Új diaetetica az az: Az életnek és egészségnek fenn-tartására és gyámolgatására, Istentől adattatott nevezetesebb természeti eszközöknek való elszámolása. 2. Köt. Pozsony, Landerer, 1787. (R.sz. 2241) | Könyvtár | Hungaricana* (második kiadás). Pozsony: Fűskúti Landerer Mihály. https://library.hungaricana.hu/hu/view/ORSZ_ORVO_Muzealis_36_2_Matyus_UjDiaetetica_2/?pg=0&layout=s.
- McNamara, D. J. 2013. Eggs. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition)*: 132–138. Waltham: Academic Press.
- Meng, X., Bai, Y., Gao, J., Li, X., & Chen, H. 2017. Effects of high hydrostatic pressure on the structure and potential allergenicity of the major allergen bovine β -lactoglobulin. *Food Chemistry*, 219: 290–296.
- Mengden, R., Röhner, A., Sudhaus, N., & Klein, G. 2015. High-pressure processing of mild smoked rainbow trout fillets (*Oncorhynchus mykiss*) and fresh European catfish fillets (*Silurus glanis*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32: 9–15.
- Meulenaer, B. D., & Huyghebaert, A. 2001. Isolation and Purification of Chicken Egg Yolk Immunoglobulins: A Review. *Food and Agricultural Immunology*, 13(4): 275–288.
- Miller, P., Haveroen, M. E., Solichová, K., Merkl, R., McMullen, L. M., et al. 2010. Shelf life extension of liquid whole eggs by heat and bacteriocin treatment. *Czech Journal of Food Sciences*, 28(No. 4): 280–289.
- Miller, R. K. 2017. Chapter 15 - The Eating Quality of Meat: V—Sensory Evaluation of Meat. In F. Toldra' (Ed.), *Lawrie's Meat Science (Eight Edition)*: 461–499. Woodhead Publishing.
- Mine, Y. 1995. Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 6(7): 225–232.
- Mine, Y., & Kovacs-Nolan, J. 2002. Chicken Egg Yolk Antibodies as Therapeutics in Enteric Infectious Disease: A Review. *Journal of Medicinal Food*, 5(3): 159–169.
- Mine, Y., & Rupa, P. 2004. Immunological and biochemical properties of egg allergens. *World's Poultry Science Journal*, 60(3): 321–330.
- Misra, N. N., Koubaa, M., Roohinejad, S., Juliano, P., Alpas, H., et al. 2017. Landmarks in the historical development of twenty first century food processing technologies. *Food Research International*, 97: 318–339.

- Moats, W. A. 1980. Classification of bacteria from commercial egg washers and washed and unwashed eggs. *Applied and Environmental Microbiology*, 40(4): 710–714.
- Monfort, S., Ramos, S., Meneses, N., Knorr, D., Raso, J., et al. 2012. Design and evaluation of a high hydrostatic pressure combined process for pasteurization of liquid whole egg. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 14: 1–10.
- Naderi, Nassim, Doyen, A., House, J. D., & Pouliot, Y. 2017. The use of high hydrostatic pressure to generate folate-enriched extracts from the granule fraction of hen's egg yolk. *Food Chemistry*, 232: 253–262.
- Naderi, N., House, J. D., Pouliot, Y., & Doyen, A. 2017. Effects of High Hydrostatic Pressure Processing on Hen Egg Compounds and Egg Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(4): 707–720.
- Nagy R. 2012. *Reológia*. Veszprém: Pannon Egyetem.
https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_reologia/ch06.html.
- Nakai, S. 1996. *Food Proteins: Properties and Characterization*. John Wiley & Sons.
- Needs, E. C., Stenning, R. A., Gill, A. L., Ferragut, V., & Rich, G. T. 2000. High-pressure treatment of milk: Effects on casein micelle structure and on enzymic coagulation. *The Journal of Dairy Research*, 67(1): 31–42.
- Nelson, C. n.d. *The Anatomy of a Chicken Egg*.
<https://www.imaginationstationtoledo.org/educator/activities/how-to-make-a-naked-egg/the-anatomy-of-a-chicken-egg>, July 11, 2019.
- Németh, C. 2012. *Tojáslevek kis hőmérsékletű hőkezelése*. Budapesti Corvinus Egyetem. Tojáslevek kis hőmérsékletű hőkezelése.
- Németh C., Dalmadi I., Friedrich L., & Balla C. 2011. *Salmonella Enteritidis és Listeria monocytogenes hőtüroképeségének változása tojásfehérjében a kezelési hőmérséklet és a felmelegítési sebesség függvényében*.
<https://magyarmezogazdasag.hu/2011/10/24/salmonella-enteritidis-es-listeria-monocytogenes-hoturokepessegenek-valtozasa>.
- Németh, C., & Németh, Z. 2012. *Analysis of parameters affecting the shelf life of liquid whole egg*, 4.
- Neves, M. F. 2018, October 3. World Orange Juice Consumption Falls Again. *Citrus Industry Magazine*. <http://citrusindustry.net/2018/10/03/world-orange-juice-consumption-falls-again/>.
- Nguyen, T. M. P., Lee, Y. K., & Zhou, W. 2012. Effect of high intensity ultrasound on carbohydrate metabolism of bifidobacteria in milk fermentation. *Food Chemistry*, 130(4): 866–874.
- Nicorescu, I., Vial, C., Talansier, E., Lechevalier, V., Loisel, C., et al. 2011. Comparative effect of thermal treatment on the physicochemical properties of whey and egg white protein foams. *Food Hydrocolloids*, 25(4): 797–808.
- Nikolaidis, A., Andreadis, M., & Moschakis, T. 2017. Effect of heat, pH, ultrasonication and ethanol on the denaturation of whey protein isolate using a newly developed approach in the analysis of difference-UV spectra. *Food Chemistry*, 232: 425–433.
- Nimalaratne, C., Bandara, N., & Wu, J. 2015. Purification and characterization of antioxidant peptides from enzymatically hydrolyzed chicken egg white. *Food Chemistry*, 188: 467–472.
- Notermans, S., Dufrenne, J., & Keybets, M. J. H. 1985. Use of Preservatives to Delay Toxin Formation by Clostridium botulinum (Type B, Strain Okra) in Vacuum-Packed, Cooked Potatoes. *Journal of Food Protection*, 48(10): 851–855.
- Nys, Y., & Guyot, N. 2011. 6—Egg formation and chemistry. In Yves Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*: 83–132. Woodhead Publishing.
- O'Bryan, C. A., Ricke, S. C., & Crandall, P. G. 2017. Chapter 18—Chemical and Physical Sanitation and Pasteurization Methods for Intact Shell Eggs. *Producing Safe Eggs*: 373–390. San Diego: Academic Press.

- Oey, I., Lille, M., Van, L., & Hendrickx, M. 2008. Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 19(6): 320–328.
- O.j, C., & J.l, G. 1979. Nutrient values for shell, liquid/frozen, and dehydrated eggs derived by linear regression analysis and conversion foactors. *Poultry Science*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19790442278>.
- Ojha, K. S., Mason, T. J., O'Donnell, C. P., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. 2017. Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34: 410–417.
- Oliveira, F. C. de, Coimbra, J. S. R., Silva, L. M. da, Rojas, E. E. G., & Silva, M. do C. H. da. 2009. Ovomucoid partitioning in aqueous two-phase systems. *Biochemical Engineering Journal*, 47: 55–60.
- Omer, M. K., Prieto, B., Rendueles, E., Alvarez-Ordoñez, A., Lunde, K., et al. 2015. Microbiological, physicochemical and sensory parameters of dry fermented sausages manufactured with high hydrostatic pressure processed raw meat. *Meat Science*, 108: 115–119.
- Ozturk, M., Govindasamy-Lucey, S., Jaeggi, J. J., Houck, K., Johnson, M. E., et al. 2013. Effect of various high-pressure treatments on the properties of reduced-fat Cheddar cheese. *Journal of Dairy Science*, 96(11): 6792–6806.
- Pásztor-Huszár, K. 2008. *Protein changes of various types of milk as affected by high hydrostatic pressure processing*, 118.
- Patrignani, F., Vannini, L., Sado Kamdem, S. L., Hernando, I., Marco-Molés, R., et al. 2013. High pressure homogenization vs heat treatment: Safety and functional properties of liquid whole egg. *Food Microbiology*, 36(1): 63–69.
- Peng, D., Liao, F., Pan, Y., Chen, D., Liu, Z., et al. 2016. Development a monoclonal antibody-based enzyme-linked immunosorbent assay for screening carotenoids in eggs. *Food Chemistry*, 202: 141–148.
- Pérez Pulido, R., Toledo del Árbol, J., Grande Burgos, M. J., & Gálvez, A. 2012. Bactericidal effects of high hydrostatic pressure treatment singly or in combination with natural antimicrobials on *Staphylococcus aureus* in rice pudding. *Food Control*, 28(1): 19–24.
- Ponce, E., Pla, R., Sendra, E., Guamis, B., & Mor-Mur, M. 1998. Combined effect of nisin and high hydrostatic pressure on destruction of *Listeria innocua* and *Escherichia coli* in liquid whole egg. *International Journal of Food Microbiology*, 43(1–2): 15–19.
- Possas, A., Pérez-Rodríguez, F., Valero, A., & García-Gimeno, R. M. 2017. Modelling the inactivation of *Listeria monocytogenes* by high hydrostatic pressure processing in foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 70: 45–55.
- Possas, A., Pérez-Rodríguez, F., Valero, A., Rincón, F., & García-Gimeno, R. M. 2018. Mathematical approach for the *Listeria monocytogenes* inactivation during high hydrostatic pressure processing of a simulated meat medium. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47: 271–278.
- Pradal, D., Vauchel, P., Decossin, S., Dhulster, P., & Dimitrov, K. 2016. Kinetics of ultrasound-assisted extraction of antioxidant polyphenols from food by-products: Extraction and energy consumption optimization. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32: 137–146.
- Razi, S. M., Motamedzadegan, A., Matia-Merino, L., Shahidi, S.-A., & Rashidinejad, A. 2019. The effect of pH and high-pressure processing (HPP) on the rheological properties of egg white albumin and basil seed gum mixtures. *Food Hydrocolloids*, 94: 399–410.
- Ren, D., & Zhang, S. 2008. Separation and identification of the yellow carotenoids in *Potamogeton crispus* L. *Food Chemistry*, 106(1): 410–414.
- Rios-Mera, J. D., da Silva Pinto, J. S., & Contreras-Castillo, C. J. 2017. Effect of ultimate pH and ageing on thermal denaturation of bovine muscle proteins. *Meat Science*, 131: 25–27.
- Rodler, I. 2006. *Új tápanyagtáblázat*. Budapest: Medicina Könyvkiadó. https://bookline.hu/product/home.action?_v=Rodler_Imre_szerk_Uj_tapanyagtablaza&type=22&id=75881.

- Rose-Martel, M., & Hincke, M. T. 2017. Chapter 15—The Eggshell Proteome Yields Insight Into Its Antimicrobial Protection. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements*: 157–163. San Diego: Academic Press.
- Ros-Polski, V., Koutchma, T., Xue, J., Defelice, C., & Balamurugan, S. 2015. Effects of high hydrostatic pressure processing parameters and NaCl concentration on the physical properties, texture and quality of white chicken meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 30: 31–42.
- Rubio, B., Possas, A., Rincón, F., García-Gímeno, R. M., & Martínez, B. 2018. Model for *Listeria monocytogenes* inactivation by high hydrostatic pressure processing in Spanish chorizo sausage. *Food Microbiology*, 69: 18–24.
- Rynne, N. M., Beresford, T. P., Guinee, T. P., Sheehan, E., Delahunty, C. M., et al. 2008. Effect of high-pressure treatment of 1 day-old full-fat Cheddar cheese on subsequent quality and ripening. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(4): 429–440.
- Salamon, B., Tóth, A., Palotás, P., Südi, G., Csehi, B., et al. 2016. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) processing on organoleptic properties and shelf life of fish salad with mayonnaise. *Acta Alimentaria*, 45(4): 558–564.
- Saldo, J., McSweeney, P. L. H., Sendra, E., Kelly, A. L., & Guamis, B. 2002. Proteolysis in caprine milk cheese treated by high pressure to accelerate cheese ripening. *International Dairy Journal*, 12(1): 35–44.
- Sert, D., Aygun, A., & Demir, M. K. 2011. Effects of ultrasonic treatment and storage temperature on egg quality. *Poultry Science*, 90(4): 869–875.
- Seuss-Baum, I., Nau, F., & Guérin-Dubiard, C. 2011. The nutritional quality of eggs. *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*, vol. 2: 201–236.
- Shah, D. B., Bradshaw, J. G., & Peeler, J. T. 1991. Thermal Resistance of Egg-Associated Epidemic Strains of *Salmonella enteritidis*. *Journal of Food Science*, 56(2): 391–393.
- Shahbaz, H. M., Kim, J. U., Kim, S.-H., & Park, J. 2018. Chapter 7—Advances in Nonthermal Processing Technologies for Enhanced Microbiological Safety and Quality of Fresh Fruit and Juice Products. In A. M. Grumezescu & A. M. Holban (Eds.), *Food Processing for Increased Quality and Consumption*: 179–217. Academic Press.
- Sharif, A., & Moshtaghi, H. 2014. Heat Treatment of *Listeria monocytogenes* in Liquid Egg Products with Low Temperature—SciAlert Responsive Version. *American Journal of Food Technology*, 9(4): 217–222.
- Singh, A., & Ramaswamy, H. S. 2015. High pressure modification of egg components: Exploration of calorimetric, structural and functional characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 32: 45–55.
- Singh, A., Sharma, M., & Ramaswamy, H. S. 2015. Effect of High Pressure Treatment on Rheological Characteristics of Egg Components. *International Journal of Food Properties*, 18(3): 558–571.
- Smelt, J. P. P. M. 1998. Recent advances in the microbiology of high pressure processing. *Trends in Food Science & Technology*, 9(4): 152–158.
- Smith, M. B., & Back, J. F. 1970. Studies on ovalbumin. V. The amino acid composition and some properties of chicken, duck, and turkey ovalbumins. *Australian Journal of Biological Sciences*, 23(6): 1221–1227.
- Sörqvist, S. 2003. Heat resistance in liquids of *Enterococcus* spp., *Listeria* spp., *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella* spp. And *Campylobacter* spp. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 44(1–2): 1–19.
- Spence, C. 2019. On the changing colour of food & drink. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 17: 100161.
- Speroni, F., Puppo, M. C., Chapleau, N., de Lamballerie, M., Castellani, O., et al. 2005. High-pressure induced physicochemical and functional modifications of low-density lipoproteins from hen egg yolk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14): 5719–5725.

- Spichtig, V., Michaud, J., & Austin, S. 2010. Determination of sialic acids in milks and milk-based products. *Analytical Biochemistry*, 405(1): 28–40.
- Stadelman, W. J., Newkirk, D., & Newby, L. 1995. *Egg Science and Technology, Fourth Edition*. CRC Press.
- Suhajda, J., Fekete, K., Dr Sahin-Tóth, G., Fekete, K., Dr Sahin-Tóth, G., et al. 2011. *Élelmiszerismeret II.: Állati eredetű élelmiszerek és élvezeti szerek*. Budapest: Műszaki Kiadó.
- Sun, X., Gänzle, M., Field, C. J., & Wu, J. 2016. Effect of proteolysis on the sialic acid content and bifidogenic activity of ovomucin hydrolysates. *Food Chemistry*, 212: 78–86.
- Sun, Y., Yang, H., Zhong, X., Zhang, L., & Wang, W. 2011. Ultrasonic-assisted enzymatic degradation of cholesterol in egg yolk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(4): 505–508.
- Swartzel, K. R., & Jr, H. R. B. 1991, May 28. *Method for pasteurizing liquid whole egg products*. <https://patents.google.com/patent/US5019407/en>.
- Szerman, N., Ferrari, R., Sancho, A. M., & Vaudagna, S. 2019. Response surface methodology study on the effects of sodium chloride and sodium tripolyphosphate concentrations, pressure level and holding time on beef patties properties. *LWT*, 109: 93–100.
- Talansier, E., Loisel, C., Dellavalle, D., Desrumaux, A., Lechevalier, V., et al. 2009. Optimization of dry heat treatment of egg white in relation to foam and interfacial properties. *LWT - Food Science and Technology*, 42(2): 496–503.
- Tankrathok, A., Daduang, S., Patramanon, R., Araki, T., & Thammasirirak, S. 2009. Purification process for the preparation and characterizations of hen egg white ovalbumin, lysozyme, ovotransferrin, and ovomucoid. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*, 39(4): 380–399.
- Tatar, B. C., Sumnu, G., & Sahin, S. 2017. Chapter 17—Rheology of Emulsions. In J. Ahmed, P. Ptaszek, & S. Basu (Eds.), *Advances in Food Rheology and its Applications*: 437–457. Woodhead Publishing.
- Thakur, B. R., & Nleson, P. E. 1998. High-pressure processing and preservation of food: Food Reviews International: Vol 14, No 4. *Food Reviews International*, 14: 427–447.
- Thiemann, A., Holsteyns, F., Cairós, C., & Mettin, R. 2017. Sonoluminescence and dynamics of cavitation bubble populations in sulfuric acid. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34: 663–676.
- Tóth A., Friedrich L., Jónás G., & Salamon B. 2015. Frissen préselt narancslé eltarthatóságának növelése HHP- technológia alkalmazásával. *Ipari Ökológia*, 3(1): 23–35.
- Tóth, A., Németh, C., Csáti, R., Zeke, I., Hussein, K. N., et al. 2018. A pilot study of ultrasonication pre-treatment and high pressure processing affecting microbial inactivation and color attributes of liquid whole egg. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 23: 21–24.
- Tóth A., Németh C., Jónás G., Zeke I., Csehi B., et al. 2016. A tojástermékek tartósításának fejlődése az elmúlt 25 évben. *Magyar Állatorvosok Lapja*, (2016/8): 495–502.
- Tóth, A., Németh, C., Palotás, P., Surányi, J., Zeke, I., et al. 2017. *HHP treatment of liquid egg at 200-350 MPa*, 950. Presented at the Journal of Physics: Conference Series. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/950/4/042008>.
- Tóth, A., Németh, C., Zeke, I., Penksza, P., Hidas, K., et al. 2018. Effects of combined HHP and heat treatment on viscosity and microbiological safety of liquid egg yolk. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 25(25): 21–25.
- Tservedi-Goussi, A., & Fortomaris, P. 2011. 22—Production and quality of quail, pheasant, goose and turkey eggs for uses other than human consumption. In Y. Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*: 509–537. Woodhead Publishing.
- Valverde, D., Laca, A., Estrada, L. N., Paredes, B., Rendueles, M., et al. 2016. Egg yolk fractions as basic ingredient in the development of new snack products. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 3: 23–29.
- Van Camp, J., & Huyghebaert, A. 1995. A comparative rheological study of heat and high pressure induced whey protein gels. *Food Chemistry*, 54(4): 354–364.

- Van, D. P., Van, L., & Hendrickx, M. E. G. 2005. Changes in sulfhydryl content of egg white proteins due to heat and pressure treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14): 5726–5733.
- Van der Plancken, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. E. G. 2005. Changes in Sulfhydryl Content of Egg White Proteins Due to Heat and Pressure Treatment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(14): 5726–5733.
- Vander Wal, J. S., Marth, J. M., Khosla, P., Jen, K.-L. C., & Dhurandhar, N. V. 2005. Short-term effect of eggs on satiety in overweight and obese subjects. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(6): 510–515.
- Varela-Santos, E., Ochoa-Martinez, A., Tabilo-Munizaga, G., Reyes, J. E., Pérez-Won, M., et al. 2012. Effect of high hydrostatic pressure (HHP) processing on physicochemical properties, bioactive compounds and shelf-life of pomegranate juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 13: 13–22.
- Varelis, P. 2016. Food Chemistry and Analysis. *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03341-2>.
- Vieira, D. A. P., Cabral, L., Noronha, M. F., Júnior, G. V. L., & Sant’Ana, A. S. 2019. Microbiota of eggs revealed by 16S rRNA-based sequencing: From raw materials produced by different suppliers to chilled pasteurized liquid products. *Food Control*, 96: 194–204.
- Waite, J. G., Jones, J. M., Turek, E. J., Dunne, C. P., Wright, A. O., et al. 2009. Production of Shelf-Stable Ranch Dressing Using High-Pressure Processing. *Journal of Food Science*, 74(2): M83–M93.
- Wang, J., & Wu, J. 2012. Effect of operating conditions on the extraction of ovomucin. *Process Biochemistry*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201600074038>.
- Wang, Q., Jin, G., Jin, Y., Ma, M., Wang, N., et al. 2014. Discriminating eggs from different poultry species by fatty acids and volatiles profiling: Comparison of SPME-GC/MS, electronic nose, and principal component analysis method. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(8): 1044–1053.
- Wang, X., Wu, S., Zhang, H., Yue, H., Qi, G., et al. 2015. Effect of dietary protein sources and storage temperatures on egg internal quality of stored shell eggs. *Animal Nutrition*, 1(4): 299–304.
- Ward, N. E. 2017. Chapter 20—Vitamins in Eggs. In P. Y. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements*: 207–220. San Diego: Academic Press.
- Wenzelné Gerőfy, K. 2015. 4. Fejezet—Szintan. In G. Ábrahám, K. Wenzelné Gerőfy, Á. Antal, & G. Kovács (Eds.), *Műszaki Optika*. Budapest: BME MOGI. http://mogi.bme.hu/TAMOP/muszaki_optika/ch04.html.
- Wgiorgis, G. A. 2019. Review on high-pressure processing of foods. (F. Yildiz, Ed.) *Cogent Food & Agriculture*, 5(1): 1568725.
- Wong, S.-S., Wicklund, R., Bridges, J., Whaley, J., & Koh, Y. B. 2019. Starch swelling behavior and texture development in stirred yogurt. *Food Hydrocolloids*, 105274.
- Xu, C. 2019. 4—Electronic eye for food sensory evaluation. In J. Zhong & X. Wang (Eds.), *Evaluation Technologies for Food Quality*: 37–59. Woodhead Publishing.
- Yan, W., Qiao, L., Gu, X., Li, J., Xu, R., et al. 2010. Effect of high pressure treatment on the physicochemical and functional properties of egg yolk. *European Food Research and Technology*, 231(3): 371–377.
- Yoo, H. 2016. Novel anti-cariogenic phosvitin-phosphopeptides produced by hydrostatic pressure combined with enzymatic hydrolysis. *The FASEB Journal*, 30(1_supplement): 825.4–825.4.
- Yoo, H., Bamdad, F., Gujral, N., Suh, J.-W., & Sunwoo, H. 2017. *High Hydrostatic Pressure-Assisted Enzymatic Treatment Improves Antioxidant and Anti-inflammatory Properties of Phosvitin*. <https://www.ingentaconnect.com/contentone/ben/cpb/2017/00000018/00000002/art00007>.

- Zanardi, E., Novelli, E., Ghiretti, G. P., & Chizzolini, R. 2000. Oxidative stability of lipids and cholesterol in salame Milano, coppa and Parma ham: Dietary supplementation with vitamin E and oleic acid. *Meat Science*, 55(2): 169–175.
- Zhang, C., Trierweiler, B., Li, W., Butz, P., Xu, Y., et al. 2011. Comparison of thermal, ultraviolet-c, and high pressure treatments on quality parameters of watermelon juice. *Food Chemistry*, 126(1): 254–260.
- Zhang, Q., Yang, L., Hu, S., Liu, X., & Duan, X. 2019. Consequences of ball-milling treatment on the physicochemical, rheological and emulsifying properties of egg phosphatidylcholine. *Food Hydrocolloids*, 95: 418–425.
- Zhang, W., Liu, F., Nindo, C., & Tang, J. 2013. Physical properties of egg whites and whole eggs relevant to microwave pasteurization. *Journal of Food Engineering*, 118(1): 62–69.
- Zhang, Y., Wang, Q., Bi, Y., Cheng, K.-W., & Chen, F. 2019. Nutritional and functional activities of protein from steamed, baked, and high hydrostatic pressure treated cod (*Gadus morhua*). *Food Control*, 96: 9–15.
- Zhu, S., Zhou, M., Yu, Y., Li, J., & He, J.-S. 2014. Coagulation of Egg White of Soft-Shell Turtle (*Pelodiscus Sinensis*) at High Pressure or High Temperature. *International Journal of Food Properties*, 17(10): 2332–2343.
- Zhu, Y., Vanga, S. K., Wang, J., & Raghavan, V. 2018. Impact of food processing on the structural and allergenic properties of egg white. *Trends in Food Science & Technology*, 78: 188–196.
- Zychowski, L. M., Mettu, S., Dagastine, R. R., Kelly, A. L., O'Mahony, J. A., et al. 2019. Physical and interfacial characterization of phytosterols in oil-in-water triacylglycerol-based emulsions. *Food Structure*, 19: 100101.

M2

1. Melléklet: Az érzékszervi bírálatok során használt bírálati lap

Érzékszervi bírálati lap

Az omlett mintákat értékelje az alábbi szempontok szerint 1 és 10 között (1 – legkevésbé, 10 – leginkább kedvelt)! Állítson preferencia sorrendet az egyes termékekből!

Kód	Szín	Illat	Állomány	Keményység	Alak	Íz	Összbenyomás	Preferencia sorrend
354								
029								
131								
245								
573								
693								

Megjegyzések:

2. Melléklet: A 150 és 600 MPa között, 5 percig nyomáskezelt tojáslevek színinger-különbségei, színezeti különbségei a kontrollhoz viszonyítva és számolt króma értékei

	ΔE_{ab}^*			ΔH_{ab}^*			C_{ab}^*		
	teljes tojáslé	tojásfehérje- lé	tojássárgája- lé	teljes tojáslé	tojásfehérje- lé	tojássárgája- lé	teljes tojáslé	tojásfehérje- lé	tojássárgája- lé
0	0	0	0	0	0	0	35,05	8,98	38,82
150	2,22	1,15	2,22	0,46	0,30	0,84	37,22	8,70	39,03
200	2,47	3,61	3,68	0,50	0,08	0,35	37,06	8,97	42,02
250	2,67	0,98	1,88	0,62	0,04	0,30	35,44	8,87	37,59
300	4,46	1,25	0,59	0,72	0,19	0,26	37,03	9,22	39,22
350	5,36	11,64	3,02	0,55	0,05	0,40	34,27	8,34	36,51
400	8,71	7,48	6,67	1,33	3,84	2,45	33,24	2,77	41,73
450	9,24	7,88	7,98	1,59	3,94	3,44	34,07	4,34	42,48
500	12,10	23,24	7,14	1,64	3,91	3,54	33,10	8,25	42,78
550	9,11	25,29	11,87	2,17	4,12	3,28	31,52	7,97	49,56
600	10,71	27,24	11,11	2,52	5,24	3,82	30,12	7,30	49,05

3. Melléklet: A 400 MPa-on, különböző ideig nyomáskezelt tojáslevek színinger-különbségei, színezeti különbségei a kontrollhoz viszonyítva és számolt króma értékei

	ΔE_{ab}^*			ΔH_{ab}^*			C_{ab}^*		
	teljes tojáslé	tojásfehérje- lé	tojássárgája- lé	teljes tojáslé	tojásfehérje- lé	tojássárgája- lé	teljes tojáslé	tojásfehérje- lé	tojássárgája- lé
0	0	0	0	0	0	0	42,08	6,42	43,09
1	5,13	7,29	3,93	0,71	3,26	1,24	40,20	0,52	39,76
3	6,43	9,17	5,69	0,82	5,362	1,31	40,34	2,86	40,76
5	4,82	9,90	5,22	0,46	5,69	1,15	40,10	3,20	41,87
7	5,57	11,42	4,70	0,06	7,58	1,66	39,05	3,59	41,46
10	7,44	12,38	7,34	0,06	8,23	1,23	38,57	3,70	38,85

4. Melléklet: A különböző hőkezelések és HHP kezelés egyes kombinációinak hatása a tojásfehérje-lé színíngerkülönbségére, színezeti különbségére, valamint krómájára

	ΔE_{ab}^*	ΔH_{ab}^*	C_{ab}^*
k	0	0	9,25
350 MPa	9,37	0,88	8,24
P+350 MPa	12,51	6,99	2,12
H+350MPa	16,39	5,43	7,10
450 MPa	21,94	5,51	7,90

5. Melléklet: A különböző hő- és nyomáskezelések és ezek sorrendjének hatásai, valamint a tárolás alatti változások hatásai a tojásfehérje-lé színíngerkülönbségére, színezeti különbségére, valamint krómájára

nap	ΔE_{ab}^*									ΔH_{ab}^*									C_{ab}^*								
	teljes tojáslé			tojásfehérje-lé			tojássárgája-lé			teljes tojáslé			tojásfehérje-lé			tojássárgája-lé			teljes tojáslé			tojásfehérje-lé			tojássárgája-lé		
	0.	14.	28.	0.	14.	28.	0.	14.	28.	0.	14.	28.	0.	14.	28.	0.	14.	28.	0.	14.	28.	0.	14.	28.	0.	14.	28.
K	0,00	0,00	84,97	0,00	63,24	47,91	0,00	83,1	83,1	0			0			0			39,58	0,00	13,6	0,00	46,76	0,00			
P	8,91	4,90	3,69	13,06	59,64	58,79	4,03	5,31	3,00	0,15	0,01	0,84	0,79	4,18	1,38	0,32	0,20	1,36	33,81	35,19	38,02	4,66	4,01	10,9	42,75	42,03	46,52
H	4,25	4,00	5,57	13,08	16,34	12,54	6,41	5,15	3,88	0,09	0,31	1,58	2,23	8,48	6,44	0,73	0,75	1,70	35,34	35,94	40,34	4,61	3,43	10,8	41,53	42,16	47,58
HHP	7,58	7,66	6,61	15,77	17,67	14,48	9,00	6,37	6,50	0,69	0,35	0,84	10,17	2,11	1,85	0,69	0,37	1,36	34,72	35,94	37,84	2,43	0,71	8,48	39,15	42,61	50,05
HHP UD	9,47	7,74	8,20	11,71	13,13	6,57	7,80	6,94	8,02	0,13	0,63	0,34	4,53	3,09	1,52	0,95	0,81	1,21	30,94	36,03	35,13	2,90	1,98	10,1	39,39	41,73	39,68
HHP UD	8,14	7,51	5,67	16,44	16,06	14,34	6,13	3,11	9,22	1,13	0,04	1,21	2,12	4,36	1,20	1,03	1,04	0,78	34,68	35,78	35,13	2,44	3,77	6,68	42,76	47,27	38,56
H+H UD	7,37	8,70	8,69	15,81	18,67	14,24	7,68	8,55	9,43	2,53	2,70	3,41	6,72	5,11	0,96	1,05	0,95	0,30	34,09	33,91	33,08	3,22	0,54	6,78	39,92	40,58	38,63
P+H UD	6,22	7,63	9,02	15,91	14,74	13,75	8,24	8,47	9,08	0,21	0,15	0,72	6,14	5,69	3,89	1,35	1,14	0,11	35,60	34,80	32,91	3,93	4,17	6,34	39,21	39,91	38,86

6. Melléklet: A központi elrendezésű kísérleti terv alapján összeállított hő- és nyomáskezelési paraméterekkel kezelt tojáslé minták színinger-különbségei, színezeti különbségei a kontroll mintához viszonyítva, valamint króma értékei

	teljes tojáslé	ΔE_{ab}^*		teljes tojáslé	ΔH_{ab}^*		teljes tojáslé	C_{ab}^*	
		tojásfehérje-lé	tojássárgája-lé		tojásfehérje-lé	tojássárgája-lé		tojásfehérje-lé	tojássárgája-lé
K	0	0	0	0	0	0	33,61	2,05	32,47
53+400	3,42	11,92	3,58	0,83	0,91	0,44	33,01	4,41	34,65
55+450	2,44	10,29	6,43	0,39	7,48	0,96	34,71	8,22	38,83
55+350	2,82	14,02	6,48	0,14	1,26	1,98	33,48	4,70	38,12
60+470	1,89	1,21	3,55	0,65	1,11	0,69	32,07	1,60	35,62
60+400	2,44	0,75	3,49	0,84	0,59	0,65	32,54	1,93	35,62
60+400	1,45	1,34	3,20	0,73	0,40	0,51	32,43	2,97	34,55
60+400	1,44	11,10	3,88	0,61	7,25	0,74	32,59	7,93	36,25
60+330	3,32	27,07	5,20	0,08	5,51	0,77	32,58	8,26	36,20
53+450	6,59	13,52	1,79	0,79	4,15	0,58	29,44	5,49	34,16
65+350	1,86	25,82	2,04	0,81	2,05	0,46	31,94	5,24	34,40
67+400	8,27	20,04	8,93	1,44	9,74	5,11	40,89	15,52	36,25

7. Melléklet: A különböző kezelési idővel nyomáskezelt tojáslevekből készült késztermékek érzékszervi bírálatának számszerűsített értékei

HHP, perc	TTL						TFL						TSL								
	Szín	Illat	Állomány	Keményiség	Alak	Íz	Összb.	Szín	Illat	Roppanosság	Keményiség	Alak	Íz	Összb.	Szín	Illat	Állomány	Keményiség	Alak	Íz	Összb.
0	6,0	5,5	6,7	5,8	6,2	5,5	5,5	5,7	5,1	6,1	4,8	6,7	6,2	5,9	8,3	7,4	8,5	7,5	8,1	8,4	7,5
1	5,4	5,0	5,5	5,0	6,0	3,9	4,4	5,7	5,3	6,1	5,0	6,3	5,9	5,8	7,4	7,2	8,0	7,3	8,4	8,4	7,6
3	5,6	4,7	5,9	5,3	6,3	4,5	5,3	5,6	5,7	5,7	4,7	6,1	6,0	5,7	8,4	6,7	7,8	7,0	8,7	8,0	7,9
5	7,5	6,3	6,5	6,7	8,2	6,5	6,6	5,8	5,5	5,5	4,9	6,9	6,5	5,9	8,6	7,2	8,0	7,3	8,5	7,4	7,6
7	8,7	7,1	7,4	6,9	7,1	7,5	8,0	5,6	5,5	6,1	5,1	5,7	5,5	5,5	8,7	7,3	8,8	7,8	9,2	8,1	8,1
10	7,5	6,1	6,0	6,3	7,2	7,1	7,1	5,5	5,1	6,1	4,6	6,1	6,2	5,7	8,5	7,5	8,2	7,4	8,8	8,1	8,0

8. Melléklet: A kombinált hő- és nyomáskezeléseken átesett tojáslevekből készült késztermékek érzékszervi bírálatának számszerűsített értékei

kezelés	TTL						TFL						TSL								
	Szín	Illat	Állomány	Keményiség	Alak	Íz	Összb.	Szín	Illat	Állomány	Keményiség	Alak	Íz	Összb.	Szín	Illat	Állomány	Keményiség	Alak	Íz	Összb.
K	9,3	9,1	8,8	7,6	9,2	8,9	9	8,1	8	7,6	7,2	9,2	7,5	8,1	9,4	9,5	9,4	9,1	9,5	9,3	9,3
P	9,4	9,2	8,4	7	9	8,7	7,9	8	7,6	7,7	7,7	8,9	7,5	8,1	8,9	9,1	9,7	8,7	9,4	9,4	9,4
H	9	9,8	8,2	7,9	8,8	8,7	7,9	8,3	7,4	7,5	7,5	8,5	8,0	8,3	9,3	9,6	7,9	8,9	9,6	9,5	9,6
HHP	8	8,8	8,9	8,1	8,1	8,9	8	8,2	7,5	7,7	6,1	8,3	7,9	8	9,2	9,2	9,0	8,5	9,3	9,1	9,1
HHP+ H	8,8	8,7	8,2	8,2	8,7	8,4	8,2	8,35	7,9	7,4	7,1	7,9	7,9	8,0	9,4	8,8	8,6	8,7	8,3	9,6	8,6
HHP+ P	8,9	8,6	8,3	8,3	8,4	8,5	8,4	8,45	7,7	7,3	7,3	8,2	7,5	7,9	9,1	9,0	9,3	9,0	8,4	9,4	8,4
H+HH P	9,3	8,4	7,9	8,1	8,1	8,5	8,3	8,05	7,4	7,2	7,0	8,2	7,6	8,3	8,8	8,7	8,2	9,2	8,5	8,9	9,3
P+HH P	9,1	8,3	8,1	8,3	8	8,9	8,6	8,15	7,5	7,5	7,3	7,8	7,7	8,4	8,7	9,2	9,0	9,2	8,6	8,7	9,1

9. Melléklet: A 150 és 600 MPa között nyomáskezelt tojáslevék statisztikai értékelése

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
pHteljs	Between Groups	6,593	10	,659	3,028	,004
	Within Groups	11,975	55	,218		
	Total	18,569	65			
pHfeh	Between Groups	,764	10	,076	35,284	,000
	Within Groups	,119	55	,002		
	Total	,884	65			
pHsar	Between Groups	,372	10	,037	117,703	,000
	Within Groups	,017	55	,000		
	Total	,390	65			
telL	Between Groups	9383,192	10	938,319	23,428	,000
	Within Groups	2202,808	55	40,051		
	Total	11586,001	65			
tela	Between Groups	22,944	10	2,294	5,115	,000
	Within Groups	24,670	55	,449		
	Total	47,615	65			
fehb	Between Groups	314,573	10	31,457	4,848	,000
	Within Groups	356,850	55	6,488		
	Total	671,423	65			
fehL	Between Groups	996,758	10	99,676	70,706	,000
	Within Groups	77,534	55	1,410		
	Total	1074,293	65			
feha	Between Groups	75,494	10	7,549	16,892	,000
	Within Groups	24,580	55	,447		
	Total	100,074	65			
telb	Between Groups	427,909	10	42,791	9,066	,000
	Within Groups	259,606	55	4,720		
	Total	687,515	65			
sarL	Between Groups	331,081	10	33,108	8,756	,000
	Within Groups	207,971	55	3,781		
	Total	539,052	65			
sara	Between Groups	160,563	10	16,056	39,991	,000
	Within Groups	22,083	55	,402		
	Total	182,646	65			
sarb	Between Groups	5830,390	10	583,039	17,575	,000
	Within Groups	1824,622	55	33,175		
	Total	7655,012	65			

10. Melléklet: Az egytényezős varianciaanalízis eredménye a 400 MPa-on kezelt minták esetében

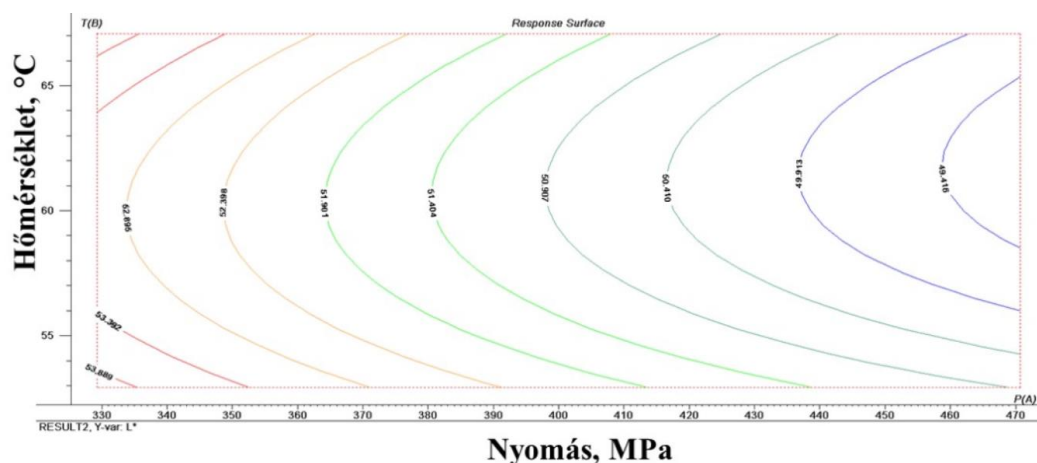
		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
TTL_pH	Between Groups	4,290	5	,858	154,748	,000
	Within Groups	,067	12	,006		
	Total	4,356	17			
TFL_pH	Between Groups	,331	5	,066	28,129	,000
	Within Groups	,028	12	,002		
	Total	,360	17			
TSL_pH	Between Groups	,031	5	,006	19,341	,000
	Within Groups	,004	12	,000		
	Total	,035	17			
TTL	Between Groups	201,854	5	40,371	74,782	,000
	Within Groups	25,373	47	,540		
	Total	227,227	52			
TTLa	Between Groups	6,031	5	1,206	11,990	,000
	Within Groups	4,728	47	,101		
	Total	10,759	52			
TTLb	Between Groups	60,467	5	12,093	19,429	,000
	Within Groups	29,254	47	,622		
	Total	89,721	52			
TFL	Between Groups	965,157	5	193,031	54,376	,000
	Within Groups	166,848	47	3,550		
	Total	1132,006	52			
TFLa	Between Groups	38,995	5	7,799	123,598	,000
	Within Groups	2,966	47	,063		
	Total	41,961	52			
TFLb	Between Groups	560,629	5	112,126	59,877	,000
	Within Groups	88,012	47	1,873		
	Total	648,641	52			
TSL	Between Groups	412,417	5	82,483	212,835	,000
	Within Groups	18,215	47	,388		
	Total	430,631	52			
TSLa	Between Groups	55,277	5	11,055	142,443	,000
	Within Groups	3,648	47	,078		
	Total	58,925	52			
TSLb	Between Groups	77,085	5	15,417	11,872	,000
	Within Groups	61,036	47	1,299		
	Total	138,121	52			
TTLH	Between Groups	,020	5	,004	39,997	,000
	Within Groups	,001	12	,000		
	Total	,021	17			
TTLt1	Between Groups	4,850	5	,970	4,329	,017
	Within Groups	2,689	12	,224		
	Total	7,539	17			
TTLt2	Between Groups	64,501	5	12,900	441,454	,000
	Within Groups	,351	12	,029		
	Total	64,852	17			
TFLH	Between Groups	,704	5	,141	23,623	,000
	Within Groups	,072	12	,006		
	Total	,776	17			
TFLt1	Between Groups	100,265	5	20,053	53,886	,000
	Within Groups	4,466	12	,372		
	Total	104,730	17			
TFLt2	Between Groups	43,659	5	8,732	4,876	,011
	Within Groups	21,491	12	1,791		
	Total	65,150	17			
TSLH	Between Groups	6446,436	5	1289,287	,998	,459
	Within Groups	15494,723	12	1291,227		
	Total	21941,158	17			
TSLt1	Between Groups	30,710	5	6,142	13,165	,000
	Within Groups	5,599	12	,467		
	Total	36,308	17			

11. Melléklet: Az egytényezős varianciaanalízis eredménye a különböző hő- és nyomáskezelési kombinációkkal tojásfehérje-lé minták esetében

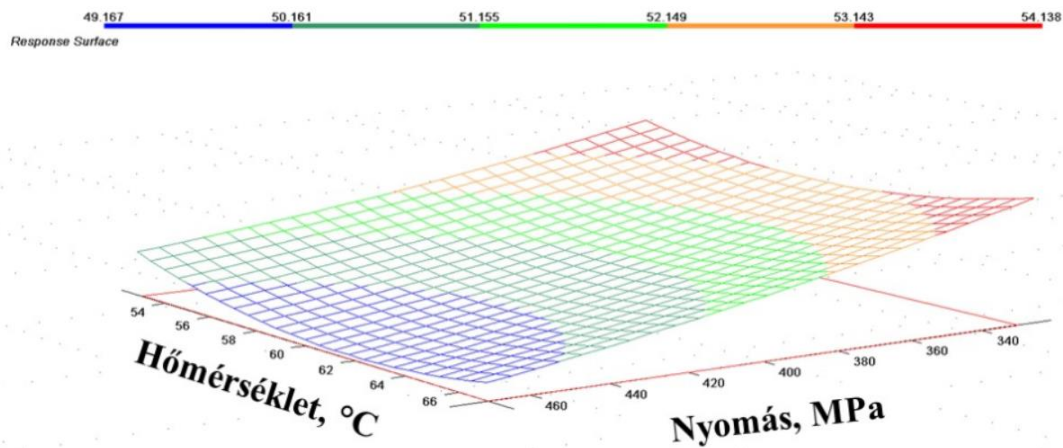
ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
pH	Between Groups	,002	4	,000	8,438	,003
	Within Groups	,001	10	,000		
	Total	,002	14			
H	Between Groups	,505	4	,126	4,650	,022
	Within Groups	,271	10	,027		
	Total	,776	14			
t1	Between Groups	300,909	4	75,227	68,801	,000
	Within Groups	10,934	10	1,093		
	Total	311,843	14			
t2	Between Groups	78,465	4	19,616	15,274	,000
	Within Groups	12,843	10	1,284		
	Total	91,308	14			
L	Between Groups	2514,830	4	628,708	16,736	,000
	Within Groups	751,316	20	37,566		
	Total	3266,147	24			
a	Between Groups	87,877	4	21,969	47,155	,000
	Within Groups	9,318	20	,466		
	Total	97,195	24			
b	Between Groups	334,753	4	83,688	17,509	,000
	Within Groups	95,595	20	4,780		
	Total	430,348	24			

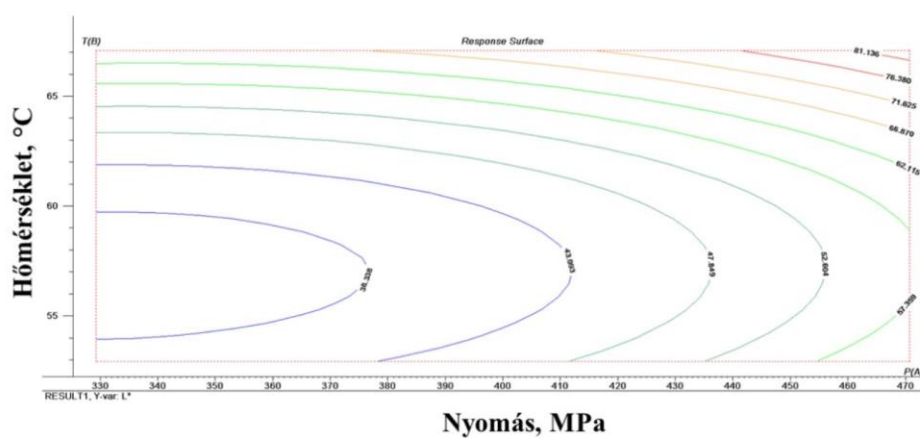
12. Melléklet: A tojássárgája-lé világossági tényezőjére illesztett modell válaszfelülete



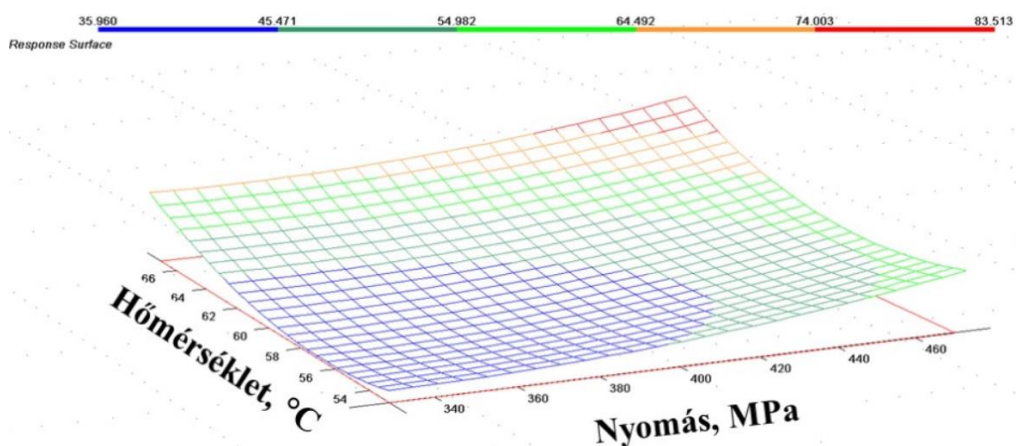
13. Melléklet: A tojássárgája-lé világossági tényezőjére illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



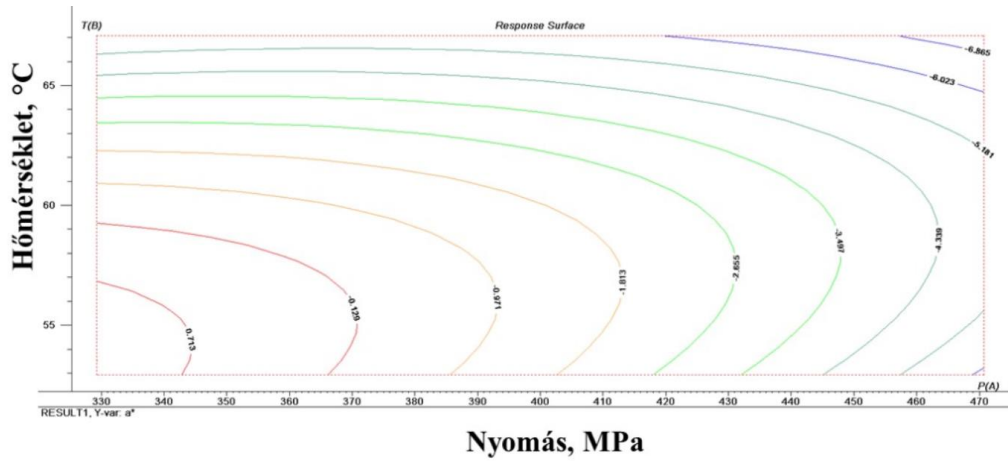
14. Melléklet: A tojásfehérje-lé világossági tényezőjére illesztett modell válaszfelülete



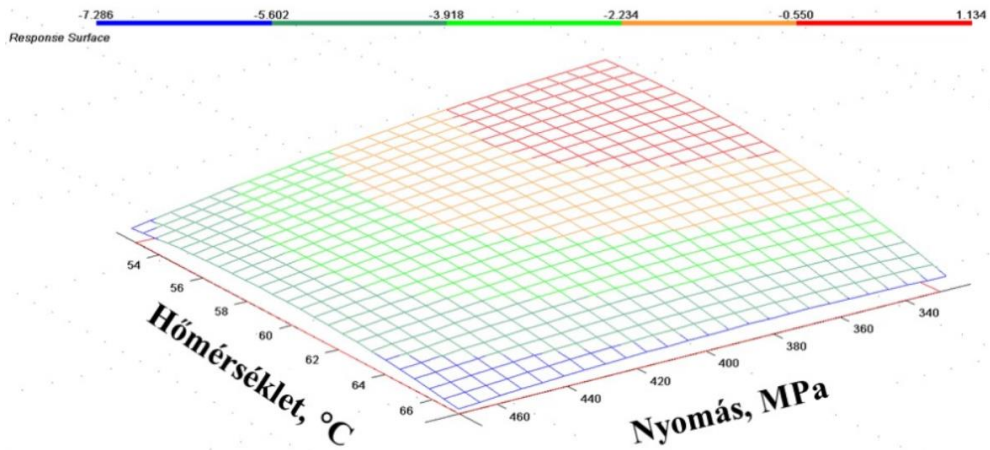
15. Melléklet: A tojásfehérje-lé világossági tényezőjére illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



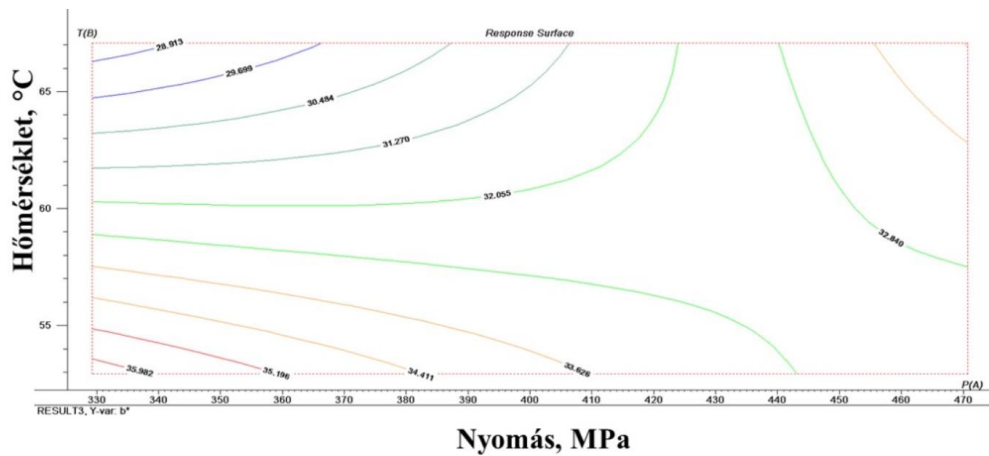
16. Melléklet: A tojásfehérje-lé a*értékeire illesztett modell válaszfelülete



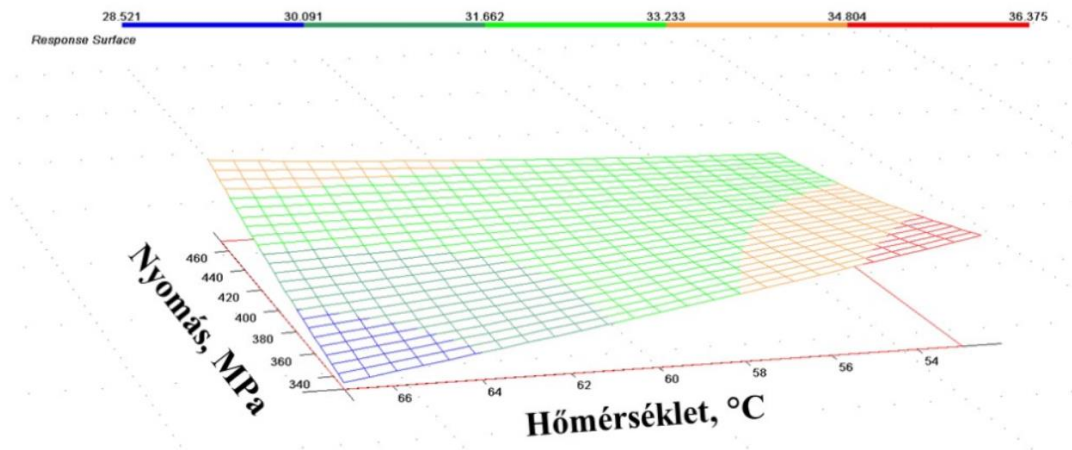
17. Melléklet: A tojásfehérje-lé a*értékeire illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



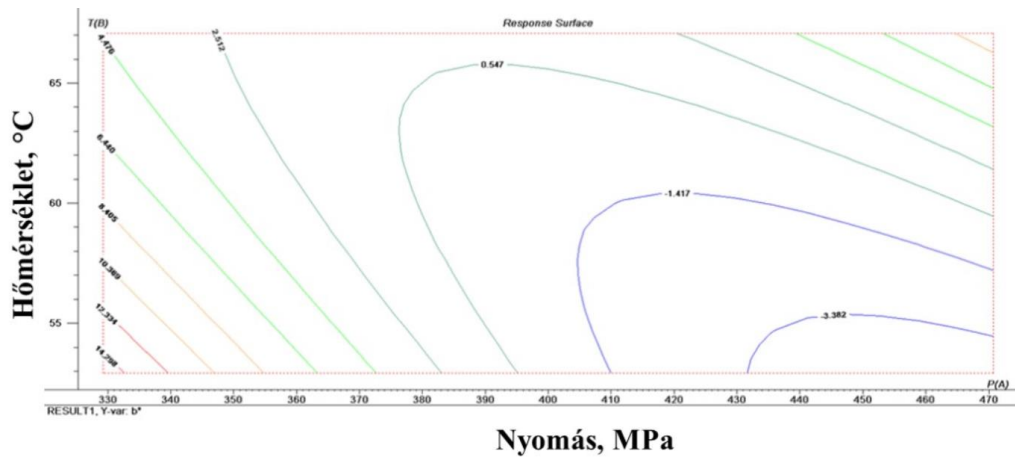
18. Melléklet: A teljes tojáslé minták b* értékeire illesztett modell válaszfelülete



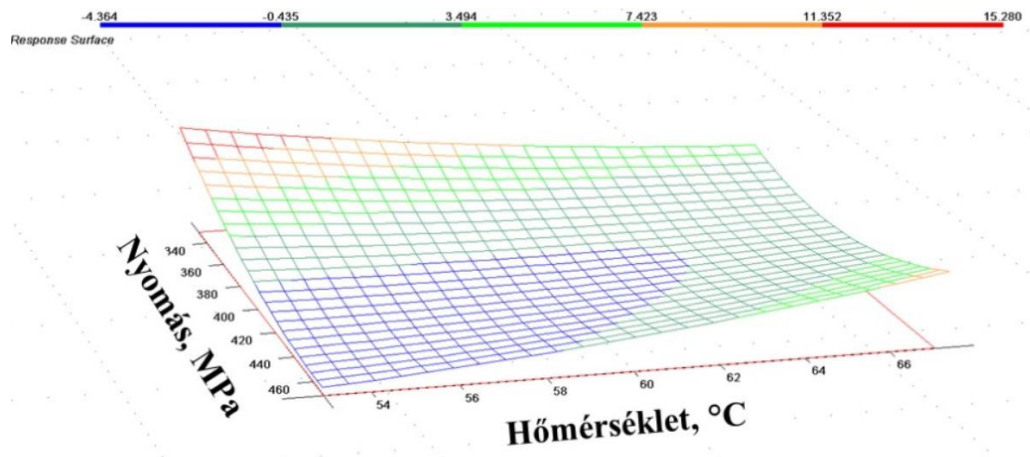
19. Melléklet: A teljes tojáslé minták b^* értékeire illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



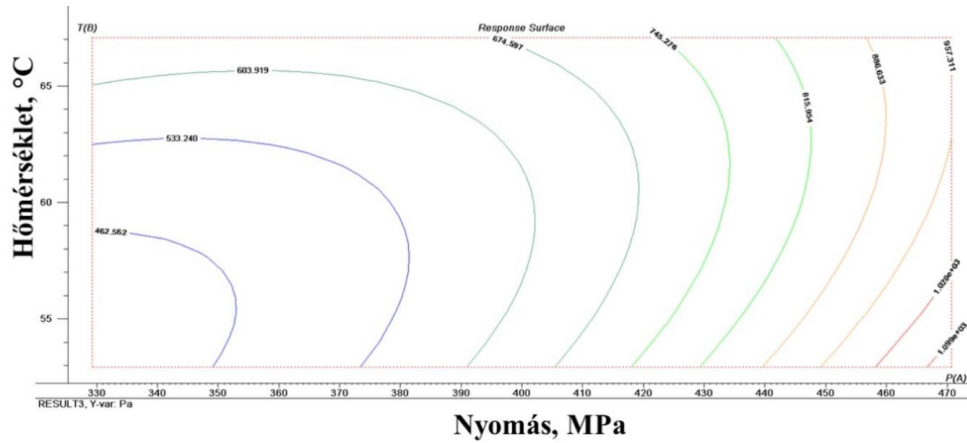
20. Melléklet: A tojásfehérje-lé b^* értékeire illesztett modell válaszfelülete



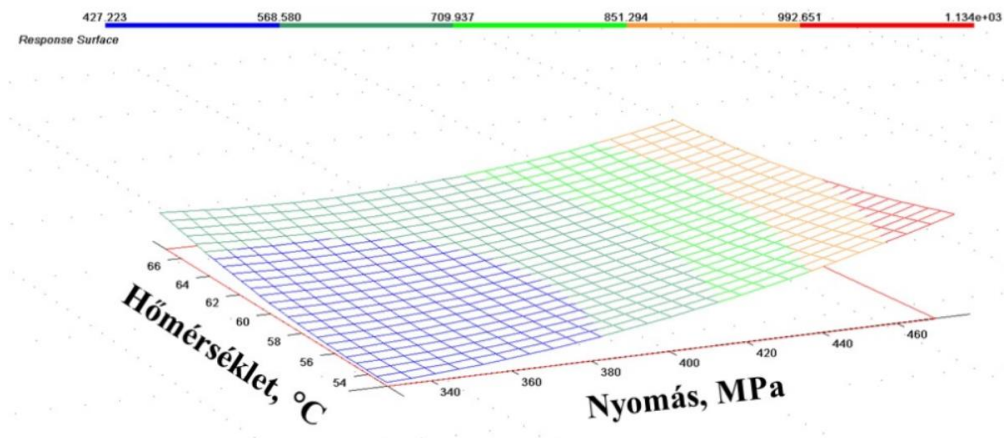
21. Melléklet: A tojásfehérje-lé b^* értékeire illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



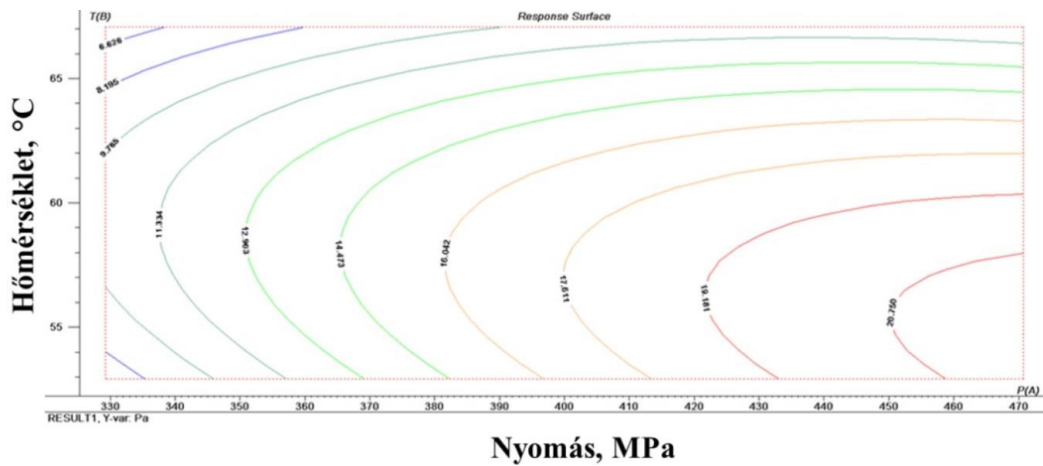
22. Melléklet: A teljes tojáslé nyírófeszültség értékeire illesztett modell válaszfelülete



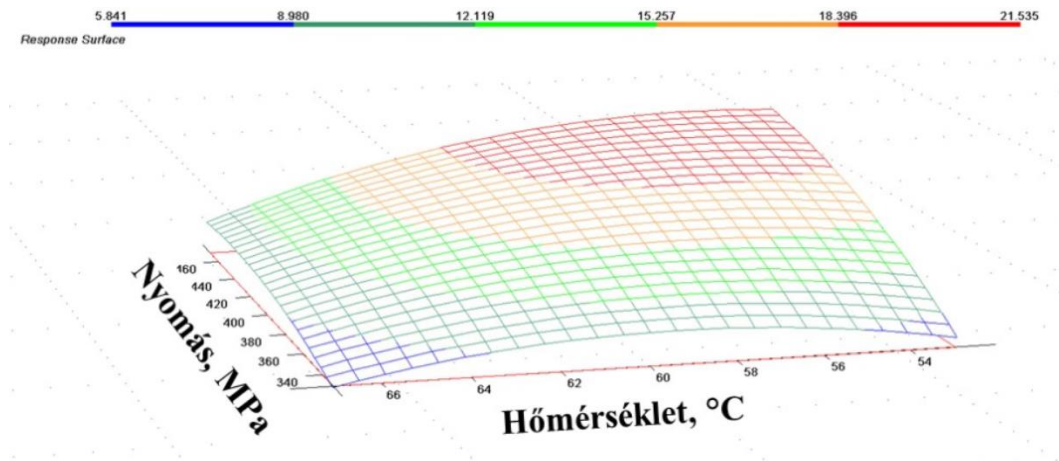
23. Melléklet: A teljes tojáslé minták nyírófeszültség értékeire illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



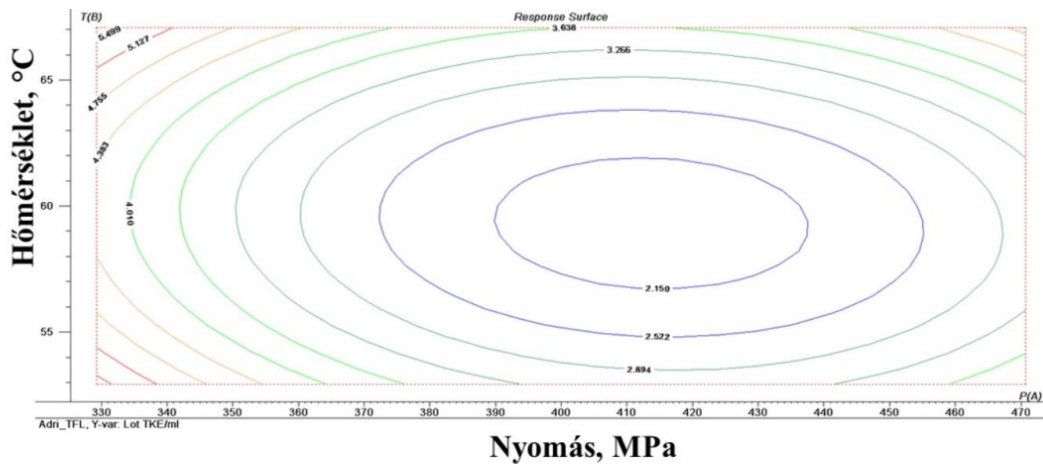
24. Melléklet: A tojásfehérje-lé nyírófeszültség értékeire illesztett modell válaszfelülete



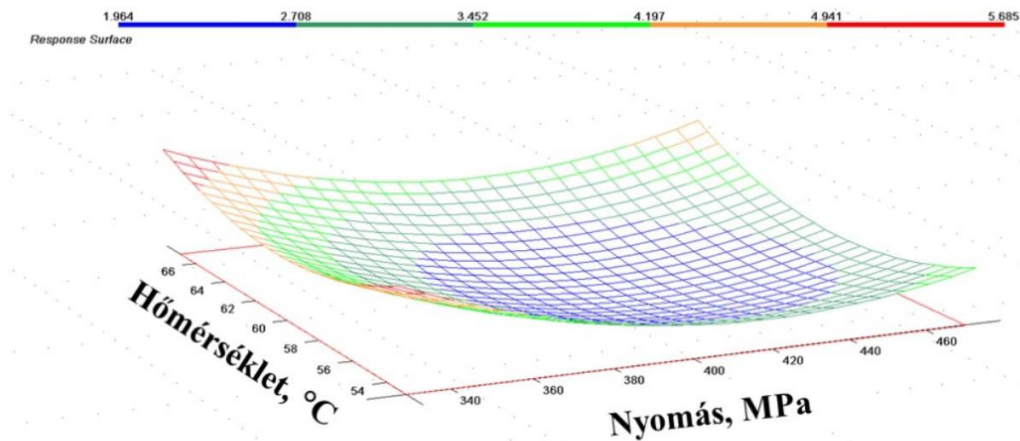
25. Melléklet: A tojásfehérje-lé minták nyírófeszültség értékeire illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



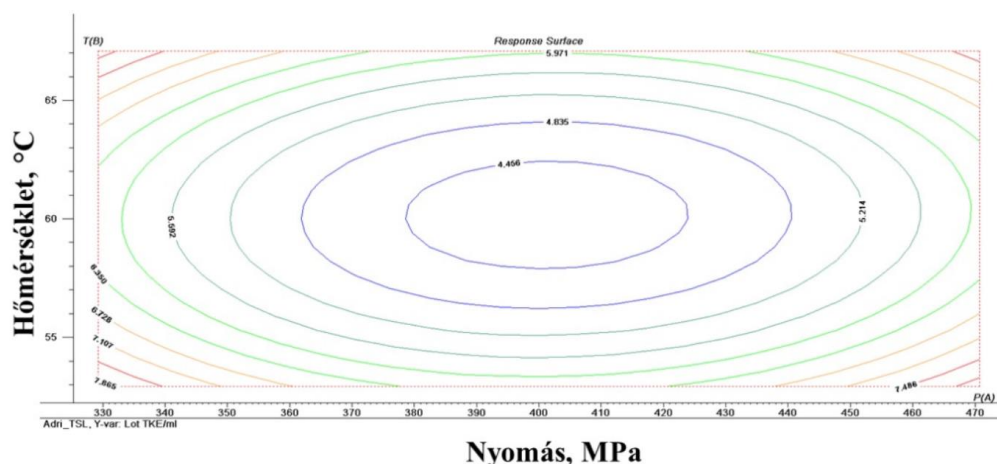
26. Melléklet: A tojásfehérje-lé minták mezofil aerob összes csíraszámára illesztett modell válaszfelülete



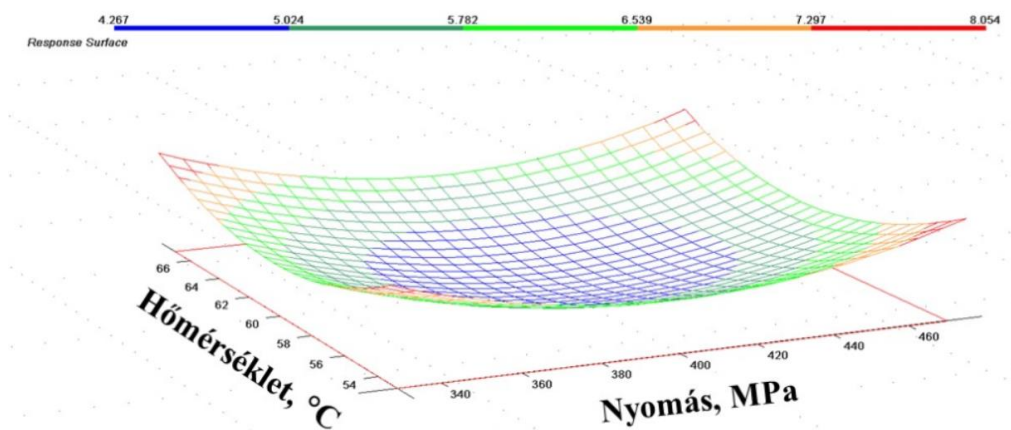
27. Melléklet: A tojásfehérje-lé minták mezofil aerob összes csíraszámára illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



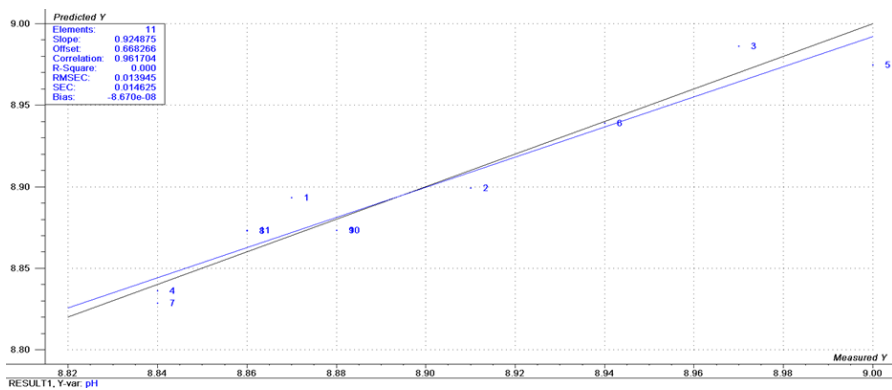
28. Melléklet: A tojássárgája-lé minták mezofil aerob összes csíraszámára illesztett modell válaszfelülete



29. Melléklet: A tojássárgája-lé minták mezofil aerob összes csíraszámára illesztett modell háromdimenziós válaszfelülete



30. Melléklet: A tojásfehérje-lé pH-értékére illesztett modell és a mért értékek összefüggése



31. Melléklet: A teljes tojáslé mérési eredményeire illesztett modellek összegzése

Hatások és kölcsönhatások	p-érték	b*	
		B-koefficiens	nyírófeszültség
Model	0,0179	-	0,0190
Intercept	0,0002	32,217	0,2247
Nyomás(A)	0,1796	0,00676	0,0019
Hő (B)	0,0053	-0,204	0,6826
AB	0,0098	0,994	0,2718
AA	0,3909	0,194	0,1164
BB	0,6816	0,08983	0,3787
	r ² =0,945		r ² =0,943

32. Melléklet: A tojássárgája-lé mérési eredményeire illesztett modellek összegzése

Hatások és kölcsönhatások	p-érték	L*	
		B-koefficiens	mezofil aerob összes csíraszám
Model	0,0417	-	0,0326
Intercept	0,0001	50,867	0,1471
Nyomás(A)	0,0043	-0,0269	0,8133
Hő (B)	0,5104	-0,0385	0,7517
AB	0,7084	-0,122	0,8448
AA	0,6829	0,112	0,0064
BB	0,1642	0,422	0,0064
	R ² =0,920		R ² =0,928

33. Melléklet: A tojásfehérje-lé minták mért értékeire illesztett modellek p-értékei

Hatások és kölcsönhatások	p-érték	a*	
		B-koefficiens	b*
Model	0,0005	-	0,0290
Intercept	0,4894	-1,787	0,9266
Nyomás(A)	0,0003	-0,03044	0,0166
Hő (B)	0,0003	-0,290	0,5086
AB	0,0245	0,594	0,0288
AA	0,0847	-0,337	0,0212
BB	0,0043	-0,775	0,3990
	R ² =0,987		R ² =0,932

	L*		nyírófeszültség	
	p-érték	B-koefficiens	p-érték	B-koefficiens
Model	0,0004	-	0,0223	-
Intercept	0,0145	43,610	0,1587	16,971
Nyomás(A)	0,0004	0,141	0,0059	0,0649
Hő (B)	0,0002	1,652	0,0257	-0,443
AB	0,7242	-0,346	0,2779	-0,973
AA	0,0472	2,042	0,2676	-0,839
BB	0,0008	5,608	0,0767	-1,496
	R ² =0,989		R ² =0,939	

	pH		mezofil aerob összes csíraszám	
	p-érték	B-koefficiens	p-érték	B-koefficiens
Model	0,0077	-	0,0564	-
Intercept	0,0000	8,873	0,4913	2,033
Nyomás(A)	0,7884	0,0000414	0,0698	-0,008682
Hő (B)	0,0008	-0,0106	0,4296	0,03243
AB	0,1109	0,0160	0,7233	0,08000
AA	0,2451	0,009167	0,0151	0,652
BB	0,0813	0,01517	0,0278	0,552
	R ² =0,961		R ² =0,908	

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

*Ezúton is szeretnék köszönetet mondani témavezetőimnek, **Dr. Németh Csabának** és **Dr. Friedrich Lászlónak**, akik lehetővé tették dolgozatom kísérleti háttérének megvalósítását, akik idejüket és türelmüket nem sajnálva osztották meg velem tudásukat, akik értékes tanácsaikkal emelték dolgozatom szakmai színvonalát.*

*Köszönöm **szak- és diplomadolgozat készítő hallgatóimnak** a kísérleteim megvalósításában nyújtott közreműködésüket.*

*Köszönettel tartozom még a **Capriovus Kft**-nek a kutatási téma felvetéséért és a minták rendelkezésemre bocsátásáért, az eredményeim publikálásában nyújtott segítségükért.*

*Köszönettel tartozom a **Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék** valamennyi munkatársának, akik részt vettek a kísérleteim lebonyolításában.*

*Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom **Családomnak**, akik végig támogattak tanulmányaim során.*

Köszönöm!