



Élelmiszertudományi Kar

Doktori értekezés

**Hőkezeléssel és nagy hidrosztatikus nyomással
pasztörözött bogyósgyümölcs-pürék
minőségjellemzőinek alakulása a tárolási hőmérséklet
függvényében**

**Készítette:
Dalmadi István**

**Témavezető:
Dr. Farkas József emeritus professzor, MHAS**

**Készült a Budapesti Corvinus Egyetem
Élelmiszertudományi Karának
Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszékén**

**Budapest
2009**

A doktori iskola

megnevezése: Élelmiszertudományi Doktori Iskola

tudományága: Élelmiszertudományok

vezetője: Dr. Fodor Péter,
egyetemi tanár, DSc
Budapesti Corvinus Egyetem

Témavezető: Dr. Farkas József
ny. egyetemi tanár, MHAS
Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszék
Élelmiszertudományi Kar
Budapesti Corvinus Egyetem

A doktori iskola- és a témavezető jóváhagyó aláírása:

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



.....
Az iskolavezető jóváhagyása



.....
A témavezető jóváhagyása

A Budapesti Corvinus Egyetem Élettudományi Területi Doktori Tanács 2009 június 9-ki határozatában a nyilvános vita lefolytatására az alábbi bíráló Bizottságot jelölte ki:

BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG:

Elnöke

Fekete András, DSc

Tagjai

Deák Tibor, DSc

Lugasi Andrea, PhD

Salgó András, DSc

Gábor Miklósné, CSc

Opponensek

Stefanovitsné Bányai Éva, DSc

Cserhalmi Zsuzsanna, PhD

Titkár

Kiskó Gabriella, PhD

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	1
RÖVIDÍTÉSEK	3
1 Bevezetés	5
2 Irodalmi áttekintés	7
2.1 <i>Élelmiszer-fogyasztási tendenciák változása</i>	7
2.2 <i>Az oxidatív stressz és bioaktív komponensek</i>	8
2.2.1 <i>Az élő szervezet oxidatív folyamatai</i>	9
2.2.2 <i>Antioxidánsok</i>	10
2.3 <i>Bogyógyümölcsök jelentősége</i>	14
2.3.1 <i>A szamóca jelentősége</i>	15
2.3.2 <i>A málna jelentősége</i>	16
2.4 <i>Nagy hidrosztatikus nyomású kezelés alkalmazása</i>	17
2.4.1 <i>A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés fehérjékre gyakorolt hatásának elvi alapja</i>	19
2.4.2 <i>Mikroorganizmusok nyomástűrése és érzékenységüket befolyásoló tényezők</i>	21
2.4.3 <i>A szöveti enzimek nagynyomásos inaktíválhatósága</i>	22
2.4.4 <i>A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés hatása a gyümölcsök érzékszervi tulajdonságaira</i>	23
2.4.4.1 <i>Állomány</i>	24
2.4.4.2 <i>Íz- és illat</i>	25
2.4.4.3 <i>Szín</i>	27
2.4.5 <i>A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés hatása a gyümölcsök bioaktív komponenseire</i>	28
2.4.5.1 <i>Antocianin-tartalom</i>	28
2.4.5.2 <i>Fenolos vegyületek</i>	29
2.4.5.3 <i>C-vitamin tartalom</i>	30
2.4.5.4 <i>Antioxidáns-kapacitás</i>	31
2.5 <i>Kémiai érzékelősorok alkalmazása gyümölcsök vizsgálatához</i>	32
2.5.1 <i>Kémiai érzékelősorok fejlődése, működési elve</i>	32
2.5.2 <i>Főbb többváltozós statisztikai módszerek</i>	35
2.5.2.1 <i>Főkomponens-analízis</i>	36
2.5.2.2 <i>Diszkriminancia analízis</i>	36
2.5.2.3 <i>Részleges legkisebb négyzetek - regresszió</i>	37
2.6 <i>Szakirodalmi eredmények összefoglalása, célkitűzések</i>	39
3 Anyagok és módszerek	41
3.1 <i>Gyümölcs-alapanyagok</i>	41
3.1.1 <i>Mintaelőkészítés a tárolási kísérletekhez</i>	41
3.1.2 <i>Gyümölcspürék hőkezelése</i>	41
3.1.3 <i>Gyümölcspürék HHP kezelése</i>	42
3.1.4 <i>Gyümölcspürék tárolása</i>	42
3.1.5 <i>Mintaelőkészítés az enzimvizsgálatokhoz</i>	43
3.1.5.1 <i>Enzimkivonási és tisztítási folyamat</i>	43
3.1.5.2 <i>Szamócából izolált polifenol-oxidáz enzim hőinaktiválása</i>	43
3.1.5.3 <i>Szamócából izolált polifenol-oxidáz enzim kombinált hő- és/vagy nagy hidrosztatikus nyomásos inaktíválása</i>	43
3.2 <i>A kísérletek során alkalmazott módszerek</i>	44
3.2.1 <i>Mikrobiológiai vizsgálatok</i>	44
3.2.2 <i>Érzékszervi vizsgálatok</i>	44
3.2.3 <i>Állományvizsgálat</i>	45
3.2.4 <i>Illékony komponensek műszeres vizsgálata</i>	46
3.2.5 <i>Műszeresen mérhető ízjellemzők vizsgálata</i>	46
3.2.6 <i>Színmérés</i>	47

3.2.7	Összes fenoltartalom meghatározása.....	48
3.2.8	Összes antocianin tartalom meghatározása.....	48
3.2.9	Antioxidáns-kapacitás meghatározása.....	48
3.2.10	C-vitamin tartalom meghatározása.....	49
3.2.11	Antocianin és más flavonoid komponensek meghatározása.....	50
3.2.12	Szamócából izolált polifenol-oxidáz enzim vizsgálata.....	51
3.2.12.1	A polifenol-oxidáz enzim aktivitásának mérése:.....	51
3.2.12.2	Kinetikai adatfeldolgozás.....	51
3.2.12.3	Kombinált hő- és nyomás függés matematikai modellje.....	52
4	Eredmények és értékelésük.....	53
4.1	Mikrobiológiai vizsgálatok.....	53
4.2	Érzékszervi vizsgálatok.....	55
4.3	Állományvizsgálat.....	59
4.4	Kémiai érzékelősorokkal (elektronikus orr és –nyelv) végzett vizsgálatok.....	63
4.5	Színmérés.....	74
4.6	Biológiailag aktív komponensek vizsgálata.....	79
4.6.1	Antocianin-tartalom vizsgálata.....	79
4.6.2	Összes fenoltartalom vizsgálata.....	88
4.6.3	C-vitamin tartalom vizsgálata.....	89
4.6.4	Antioxidáns-kapacitás vizsgálata.....	91
4.7	Szamócából kivont polifenol-oxidáz enzim hő- és/vagy nyomáskezeléssel történő inaktivációja.....	93
4.7.1	Szamóca polifenol-oxidáz hőinaktiválása.....	94
4.7.2	Szamóca polifenol-oxidáz kombinált hő-és nyomásinaktiválása.....	95
5	Új tudományos eredmények, tézisek.....	101
6	Javaslatok.....	103
7	Összefoglalás.....	105
8	Summary.....	109
MELLÉKLETEK.....		113
M1 Irodalomjegyzék.....		113
M2-M13 Egyéb mellékletek.....		126
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....		139

RÖVIDÍTÉSEK

a*	Piros-zöld színezet
A ₀ és A	Enzimaktivitása adott <i>t</i> idejű kezelés előtt és után
b*	Sárga-kék színezet
BIAS	Szisztematikus eltérés
CDA	Kanonikus diszkriminancia analízis (canonical discriminant analysis)
Δa^\ddagger	Hőtágulási együttható változása (cm ³ mol ⁻¹ K ⁻¹)
Δb^\ddagger	Összenyomhatósági faktor változása (cm ⁶ J ⁻¹ mol ⁻¹)
ΔC_p^\ddagger	Hőkapacitás változása (Jmol ⁻¹ K ⁻¹)
ΔE^*	Színínger-különbség
ΔV_0^\ddagger	Natív és denaturált állapot között létrejött térfogat-változás a P ₀ és T ₀ állapotban (cm ³ mol ⁻¹)
ΔS_0^\ddagger	Natív és denaturált állapot között létrejött entrópia változás a P ₀ és T ₀ állapotban (Jmol ⁻¹ K ⁻¹)
E _a	Aktiválási energia (kJ/mol)
EN	Elektronikus orr (electronic nose)
ET	Elektronikus nyelv (electronic tongue)
F	Hőkezelési egyenérték (perc)
FRAP	Antioxidáns-kapacitást mérő módszer (Ferric Reducing Ability of Plazma)
γ	Sebesség-gradiens [s ⁻¹]
HHP	Nagy hidrosztatikus nyomás (high hydrostatic pressure)
I _c vagy I _p	Kalibrációs vagy validációs szett megfigyelési egységeinek a száma
ISFET	Ionszelektív tervezérlésű tranzisztor (Ion Sensitive Field Effect Transistor)
j	Modell paramétereinek száma
K	Konzisztencia-faktor [PAs ⁿ]
k és k ₀	Inaktivációs sebesség hányadosa, és az a T ₀ és P ₀ helyen (/perc)
k ₀	<i>k</i> a T ₀ és P ₀ helyen (/perc)
L*	Világossági tényező
LOX	Lipoxigenáz
LSD	Legkisebb szignifikáns differencia
m	Megfigyelési egységek száma
n	Folyás-index
η	Látszólagos viszkozitás [Pas]
MOS	Félvezető fémoxidok (MOS: metal oxide semiconductors)

MOSFET	Félvezető fénoxid tranzisztorok (metal oxide semiconductor field effect transistors)
P	Abszolút nyomás (MPa)
P ₀	Referencia nyomás (MPa)
PCA	Főkomponens-analízis (principal component analysis)
PLS	Részleges legkisebb négyzetek módszere (partial least square)
PME	Pektinmetilészteráz
POD	Peroxidáz
PPO	Polifenol-oxidáz
R vagy R _T	Univerzális gázállandó (8.314 Jmol ⁻¹ K ⁻¹)
ROS	Reaktív oxigén fajták
RMSEP	Becsült és a mért értékek közötti átlagos négyzetes gyök eltérés
SD	Standard hiba
SEC	Kalibráció standard hibája (standard error of calibration)
SEP	Predikció standard hibája (standard error of prediction)
SPME-GC-MS	Szilárd fázisú mikroextrakciós mintavétellel kombinált gázkromatográfiás elválasztás és tömegspektrométeres azonosítás
SSQ	Négyzetes eltérések összege
T	Aktuális hőmérséklet
t	Idő (perc)
T	Abszolút hőmérséklet (K)
T ₀	Referencia hőmérséklet (K)
TEAC	Antioxidáns-kapacitást mérő módszer (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity)
TKE	Telepképző egységek száma
T _{ref}	Kiválasztott referencia hőmérséklet
V _a	Aktivációs térfogat (cm ³ /mol) és
z	Tizedre csökkenési idő (D) egy nagyságrenddel történő csökkenéséhez tartozó hőmérséklet növekmény [°C]

1 BEVEZETÉS

Az elmúlt évtizedek kutatási eredményei egyre inkább rávilágítanak a helyes táplálkozás – egészséges szervezet összefüggésre. Számptalan tudományos tény támasztja már alá, hogy a civilizált társadalmunkat veszélyeztető súlyos megbetegedésekkel szemben – a rák, a szív és érrendszeri megbetegedések – táplálkozásunk megfelelő átalakításával, nagyobb eséllyel vehetjük fel a versenyt.

A rohanó életvitelünk megváltoztatásán túl, mely magába foglalja a többletmozgást és a mindennapjainkat megterhelő stresszhelyzetek kerülését, a kevesebb kalóriefogyasztással és a megemelt gyümölcs- és zöldségfogyasztással is sokat tehetünk egészségünkért. Az ismeretek bővülésével ma már túlléphetünk azokon a tapasztalati, népi hagyományokra épülő megfigyeléseken, melyek a gyümölcsök és zöldségek jótékony hatására vonatkoznak. Újabb és újabb egészségvédő fitonutriensek válnak ismertté, illetve tisztázódnak a már ismert bioaktív komponensek hatásmechanizmusai. Csak példaként: szoros kapcsolatot mutattak ki a kis C-vitamin bevitel és a rákos megbetegedések között (KÉRY, BLÁZOVICS 1995), igazolták, hogy a megnövelt E-vitamin valamint β -karotin bevitel gátolja a gyomorrák kialakulását (TSUGANE et al. 1992; BATTISTI et al. 2000), illetve bizonyították, hogy a szelén immunerősítő hatása (ATROSHI et al. 2007). Ma már nem ismeretlen fogalom a szabadgyök vagy az antioxidáns kifejezés sem. A gyógyszeripar és a táplálék-kiegészítő szereket előállítók és forgalmazók számára komoly üzleti lehetőséget jelent az egészségre jótékony hatással lévő komponensek szintetikus előállítása és forgalmazása. Azonban kutatási eredmények hívják fel a figyelmet arra, hogy a szintetikus antioxidánsok tényleges fiziológiai szükséglet feletti mennyiségekben történő fogyasztása inkább káros, mint előnyös, hiszen prooxidánssá válva maguk is képesek az emberi szervezet biomolekuláit károsítani (KÉRY, BLÁZOVICS 1995; CAO et al. 1997; PODMORE et al. 1998; BIRÓ 2003). Így inkább javasolható a természetes antioxidánsok fogyasztása a szintetikus szerekkel szemben. Bioaktív komponenseket jelentős mennyiségben tartalmazó élelmi anyagaink a gyümölcsök, azon belül is egyes bogyógyümölcsök, tiszteletreméltó mennyiséget rejtenek magukban ezekből a természetes antioxidánsokból (WANG, LIN 2000; KÄHKÖNEN et al. 2001).

A szamóca a világ legelterjedtebb bogyógyümölcse. Részaránya az összes bogyógyümölcsből eléri a 60-65%-ot (PAPP, PORPÁCZY 1999). C-vitamint, káliumot, kalciumot, vasat, foszfort nagy mennyiségben tartalmaz, továbbá jelentős az antioxidáns-kapacitással rendelkező antocianinok, flavonoidok s fenolos karbonsavak mennyisége is (RICE-EVANS, MILLER 1996). Hasonlóan kedvező tulajdonságok említhetők a málnával kapcsolatban is, nagy C-, P- és

B₉ vitamintartalmú gyümölcsünk. Nagy népszerűségüket mégsem ezeknek a tényeknek köszönhetik, hanem kiváló élvezeti értéküknek (sav-cukor arány, aroma és zamatanyagok jelenléte). Sajnos Magyarországon a 80-as évektől napjainkig csökkenő tendencia érvényesül a szamóca termesztésben, amely a termesztés jövedelmezőségének csökkenésével, valamint a belföldi és exportértékesítési lehetőségek szűkülésével magyarázható. Ugyanez igaz a málnatermesztésünkre is, ami pedig sikerágazatnak számított az 1990-es évek elejéig (PAPP, PORPÁCZY 1999). E tendencia megállítását netán megfordítását segítheti az a tény, hogy az elmúlt évtizedben az azonnal fogyasztható, tartósítószer nélküli, minimálisan kezelt gyümölcsök és zöldségek fogyasztása gyorsan növekedett a fejlett országokban. Magyarországon is várható a fogyasztás ilyen irányú változása.

A kéméletesen kezelt termékek előállításakor ügyelni kell, hogy a termékeket olyan kezelési eljárásnak vessék alá, amely nem tartalmaz mesterséges anyagokat, az eltarthatóságot biztonságosan növeli, minimálisan hat az élelmiszer komplex tulajdonságaira, ezen belül leginkább az érzékszervi tulajdonságokra, valamint a tápanyag- és a vitaminellátottságra. A nagy hidrosztatikus nyomáskezeléssel foglalkozó tanulmányok eredményei rendkívül biztatóak, s így ez a kezelés kiemelt kutatási területté vált. Ellentétben a hagyományos hőkezeléssel, ahol nemkívánatos változások kísérik a feldolgozást (LUND 1977), a nagy hidrosztatikus nyomás jobban megőrizheti a szín- és aromaanyagokat valamint a vitaminokat (KNORR 1993; KIMURA et al. 1994). Amellett, hogy egyes termékek már kereskedelmi forgalomban megtalálhatók, igen jelentős kutatómunka szükséges még a technológia hatásmechanizmusának teljes felméréséhez, az alkalmazhatósági területek meghatározásához és a biztonságos élelmiszer-előállítás feltételeinek meghatározásához. Fontos, a nemzetközi szakirodalomban még kevésbé részletesen kutatott terület a kezelést követő tárolási időszak körülményeinek termékminőségre gyakorolt hatásának vizsgálata is.

Nem szabad elfelejteni, hogy a technológia beruházási költsége igen jelentős, így csak olyan termék esetén célszerű alkalmazni, amelynek árába beépíthető a nagyobb hozzáadott érték. Éppen ezért dolgozatomban célul tűztem ki, hogy szamóca és málna alapanyag felhasználásával tanulmányozom a nagy hidrosztatikus nyomás hatását a gyümölcsökből készített pürék minőségi tulajdonságaira, és összehasonlítom a kéméletes hőkezeléssel tartósított mintákról kapott eredményekkel. A vizsgálatokat kiterjesztettem a kezelést követő tárolási körülmények hatásának megállapítására is.

2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Élelmiszer-fogyasztási tendenciák változása

Epidemiológiai vizsgálatok egész sora igazolja, hogy a gyümölcs- és zöldségfogyasztásban gazdag táplálkozás erősen hozzájárul a krónikus betegségek kialakulási kockázatának csökkentéséhez. Megfigyelték, hogy azokban az országokban, ahol ezekből a termékekből jelentős a bevitel, ritkábban fordulnak elő a krónikus szív- és érrendszeri, daganatos megbetegedések, a lakosság egészségi állapota sokkal jobb, mint a kevesebb zöldséget, gyümölcsöt fogyasztó populációké (SOUTHON 2000; KRIS-ETHERTON et al. 2002; HANNUM 2004; ZHANG et al. 2005).

A fejlett országokban a fizetőképes kereslet növekedése az élelmiszerfogyasztás szerkezetének átalakulását eredményezte. A mennyiségi bevitelről a minőségi felé való elmozdulás pozitív hatást gyakorol a lakosság általános egészségi állapotára, így a születéskor várható élettartam alakulására is. Az 1980-as és 1990-es években Nyugat-Európában az élelmiszerfogyasztás terén végbement változások között PANYOR (2007) megemlíti, hogy nőtt a zöldség és gyümölcs iránti kereslet, és jelentős igény mutatkozott a kényelmi élelmiszerek iránt.

A fejlett országok fogyasztói az elmúlt évtizedekben egyre több gondot fordítanak egészségük megőrzésére, így eredményesen harcolnak a kezdetben csak náluk megfigyelhető civilizációs betegségekkel szemben. Mára a betegségáradat elérte a közepesen fejlett területeket – így Magyarországot is –, ahol még mindig növekszik ezen betegségek előfordulási aránya (PANYOR 2007). Így nem meglepő, hogy a nemzetközi összehasonlításokban a magyarországi halálozási adatok igen kedvezőtlen képet mutatnak. Jelenleg a születéskor várható élettartam a nőknél 76, míg a férfiaknál 68 év, ami kb. hat évvel rövidebb életkort jelent az Európában tőlük nyugatabbra élők várható életkorához viszonyítva (LUGASI, BLÁZOVICS 2004).

A különböző módon meghatározott hazai és a nemzetközi fogyasztási adatok összevetése abszolút értékben igencsak nehézkes, például gondot okoz a dinnyefogyasztás zöldséghez vagy gyümölcshöz sorolásának kérdése (SZÉKELY, PECZE 2003), vagy a feldolgozott gyümölcsök fogyasztásának nyers gyümölcs alapanyagra való átszámítása (ORBÁNNÉ 2003). A FAO adatai alapján megállapítható, hogy a világ gyümölcs termelése az 1960-as évek óta fokozatosan emelkedett, s a növekedés az utóbbi 15 évben még gyorsult is. Európa kivételével az összes kontinensen (legnagyobb mértékben Ázsiában) nőtt a gyümölcstermelés. Az elfogyasztott gyümölcs mennyisége és összetétele módosul, ahogy az egyes nemzetek életszínvonala

növekszik, és a táplálkozás egészségesebb lesz. A fejlődő országok gyümölcsfogyasztása a jövedelem-különbségek miatt elmarad a fejlett országokétól. A fejlődő országok csak 64%-át fogyasztják annak a mennyiségnek, amit egy átlagos, fejlett országban élő fogyaszt (KÜRTI, KÁLLAY 2007). Legnagyobb a fogyasztás a legfejlettebb nyugat-európai államokban, valamint a mediterrán államokban, a legkisebb pedig a volt szovjet tagállamokban, valamint egyes kelet-európai államokban. A gyümölcsök fogyasztása mindent összevetve gyorsan növekszik, a világátlag 62,1 kg/év/fő. A fejlődő és a fejlett országok átlagos egy főre jutó fogyasztása között több mint 30 kg/év/fő a különbség.

A magyar helyzetet az európai gyümölcsfogyasztással összehasonlítva elmondható, hogy Magyarország az alsó-középmezőnyben foglal helyet. Középtávon a hazai gyümölcsfogyasztás lassú ütemű bővülésére lehet számítani (ERDÉSZ 2007). A vásárlók kisebb köre, akik megfelelő vásárlóerővel rendelkeznek, a jó minőségű friss és feldolgozott gyümölcsöt keresik. A gyümölcsfogyasztás szezonális jellege az utóbbi évtizedekben erősen megváltozott. A fogyasztás növelését elősegíti az egyre hosszabb elő- és utószezon kínálat, amit gyakran importáruval elégítünk ki. Vannak gyümölcsök, mint pl. az alma és a körte, amelyek 12 hónapon keresztül folyamatosan a piacon vannak részben a fejlett tárolástechnológiának, részben a déli féltekéről történő szállításnak köszönhetően. Növekvő szerepet fog játszani a gyümölcsfogyasztás alakulásában a tavasszal elsőként megjelenő szamóca, vagy a késői szüretelésű, tárolt szilva (KÜRTI, KÁLLAY 2007).

Mindezek alapján látható, hogy a gyümölcsfogyasztás szintje még messze nem tekinthető telítettnek, nagy piaci potenciált rejt magában a fogyasztók gyümölcsvásárlási szokásainak fejlesztése. Ennek egyik lehetséges módja a feldolgozott gyümölcskészítmények választékának bővítése. A sikeres innovatív termékek kifejlesztéséhez a táplálkozási előny önmagában nem elég, annak társulnia kell a természetes eredettel, a kiváló ízzel, színnel, állománnyal, gyűjtőnéven a nagy élvezeti értékkel, a jó megjelenéssel, a kényelemmel és az elfogadható árral (ROWAN 2001, BIACS SZIGETI 2006). Ezeknek az elvárásoknak pedig szintén maradéktalanul megfelelnek a gyümölcsökből előállított termékek.

2.2 Az oxidatív stressz és bioaktív komponensek

A gyümölcsök – és természetesen a zöldségek – tapasztalati úton már jól ismert jótékony, gyógyító hatásának bizonyítására számos kutatás irányult, hiszen hatásmechanizmusuk még sok esetben nem tisztázott. Az azonban már általánosan elfogadott, hogy a mai egészségtudatos táplálkozás elképzelhetetlen nélkülük. Olyan vitaminokat, ásványi- és egyéb hasznos anyagokat tartalmaznak, amelyek az emberi szervezet egészséges működéséhez nélkülözhetetlenek.

Számtalan tudományos kísérlet kutatás tüzte ki céljául antioxidáns hatásuk vizsgálatát, hiszen azok eredményesen alkalmazhatók mind a betegségek megelőzésében mind az utókezelésben. Mielőtt azonban részletesebben foglalkoznánk az antioxidáns hatással, célszerű tisztázni, hogy mi ellen és miért is kell hatásukat kifejteniük.

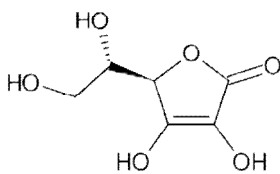
2.2.1 Az élő szervezet oxidatív folyamatai

Létezésünket egy Janus-arcú elemnek köszönhetjük. Miközben tudjuk, hogy a magasabb rendű földi élet nem létezne a Nap energiája és a légköri oxigén nélkül, az oxigén különböző reaktív állapotai veszélyes anyagoknak tekintendők, melyek képesek a biomolekulákat megkárosítani. A károsodott biomolekulák megzavarják a szervezet biokémiai folyamatait, és képesek oly mértékű változásokat előidézni, amelyet a szervezet már nem képes túlélni. A molekuláris oxigén nem számít reakcióképes molekulának, viszont a részlegesen redukált oxigénformák igen reakcióképes, erősen oxidatív tulajdonságú anyagok. Ide tartoznak a szabad gyökök, mint a szuperoxid- (O_2^{\bullet}) és hidroxilgyök ($\bullet OH$), valamint a reakcióik során szabad gyök képző molekulák – mint a hidrogén-peroxid (H_2O_2), a szinglet oxigén (1O_2) és az ózon (O_3) (ELSTNER 1982; LANGSETH 1995; AROUMA 1999; BIRÓ 2003). További gyök, ill. nem gyökjellegű vegyületek a nitrogén-oxid (NO^{\bullet}), a peroxinitrit ($ONOO^-$), a lipidperoxil (LOO^{\bullet}) és a hipoklórsav ($HOCl$) is (BIRÓ 2003; LUGASI, BLÁZOVICS 2004). Gyűjtőnéven reaktív oxigén fajtának, speciesnek (ROS) vagy reaktív nitrogén fajtának szokás őket nevezni. A szabadgyökök általában a legkülső elektronhéjukon párosítatlan elektront tartalmazó reaktív oxigén-, vagy nitrogén központú molekulák vagy molekularészletek (FRIDOVICH 1998). Mivel az elektronok párképzésre hajlamosak, a magányos elektront tartalmazó molekulák nagy intenzitással keresnek más molekulákat, amelyektől elektronokat vonhatnak el. A nagy reakciókészség miatt könnyen és gyorsan lépnek reakcióba más vegyületekkel, így igen rövid élettido jellemző rájuk. Bizonyos mennyiségű ROS szükséges a normális sejt működés szabályozásához, a sejten belüli jelzések továbbításához, a sejtek szaporodásához, a védekezést szolgáló gyulladási folyamatokhoz és az apoptózishoz, a programozott sejtpusztuláshoz (LACHANCE et al. 2001). Az élőlények energiatermelő mechanizmusában is - a túlnyomórészt oxidatív folyamatok következtében - állandóan keletkeznek szabadgyökök. Emellett modern életvitelünk ártalmi – UV-, radioaktív-, elektromágneses sugárzások, egyes gyógyszerek, ipari oldószerek, ózon, a szmog, dohányfüst, füst, por és egyéb légköri szennyeződések – szintén kedvezőtlen változásokat idézhetnek elő az élő szervezetben. A túlzott idegi megterhelés, a dohányzás, a mértéktelen alkoholfogyasztás, a mozgáshiány, a helytelen táplálkozás az idegrendszer gyengülését vonhatja maga után, ami szintén összefüggésbe hozható az aktív oxigénformákkal, ezzel növelve a kóros állapotok, betegségek kialakulásának veszélyét.

2.2.2 Antioxidánsok

Maga az antioxidáns szó görög/latin eredetű és oxidációgátlót jelent. Ezek az anyagok rendszerint szerves vegyületek, de találhatunk közöttük vegyértékváltásra hajlamos fémeket, valamint fémorganikus komplexeket is. A konkrét definíció szerint az antioxidáns az a molekula, amely az oxidálendő szubsztrát molekulához képest kis koncentrációban van jelen a rendszerben, és szignifikánsan lassítja vagy teljesen meggátolja annak oxidációját. Redukáló hatással rendelkeznek, így képesek a „szubsztrát” helyett oxidálódni, ill. az oxidált termékeket nem toxikus vegyületekké átalakítani (STEFANOVITS-BÁNYAI 2008). Az emberi szervezet zavartalan működésének fenntartásához az oxidáció negatív hatásaival szemben számos stratégiát fejlesztett ki az évmilliók során. A védekezés első vonalát a szervezet által maga termelt biomolekulák (enzimek, húgysav stb.) adják, míg a másik részük a külső forrásból (táplálkozás útján) jelenlévő, kisebb illetve nagyobb molekulatömegű, lipid illetve vízdoldékony molekulák tartoznak (HALLIWELL, GUTTERIDGE 1990; VAYA, AVIRAM 2001).

A nem enzimatisz rendszer munkáját kismolekulatömegű vegyületek is támogatják, mint például a flavonoidok, a vitaminok (C-, A-, E-, K-vitamin), a karotinoidok, a tioltartalmú vegyületek (cisztein, metionin), nyomelemek, stb. Bizonyos körülmények között a szőlőcukor, a húgysav, a bilirubin, a liponsav is ide tartozik.



1. ábra C-vitamin

Kiemelkedő mennyiségben találunk **C-vitamint** (1. ábra) többek között a zöldpaprikában, a paradicsomban, a káposztában, a bogyógyümölcsökben, a csipkebogyóban és a déligyümölcsökben. Számos kedvező élettani hatással rendelkeznek. Részt vesz számos enzimreakcióban, köztük olyanokban is, amelyek a norepinefrin, a karnitin, a koleszterol, aminosavak és számos hormon szintéziséhez

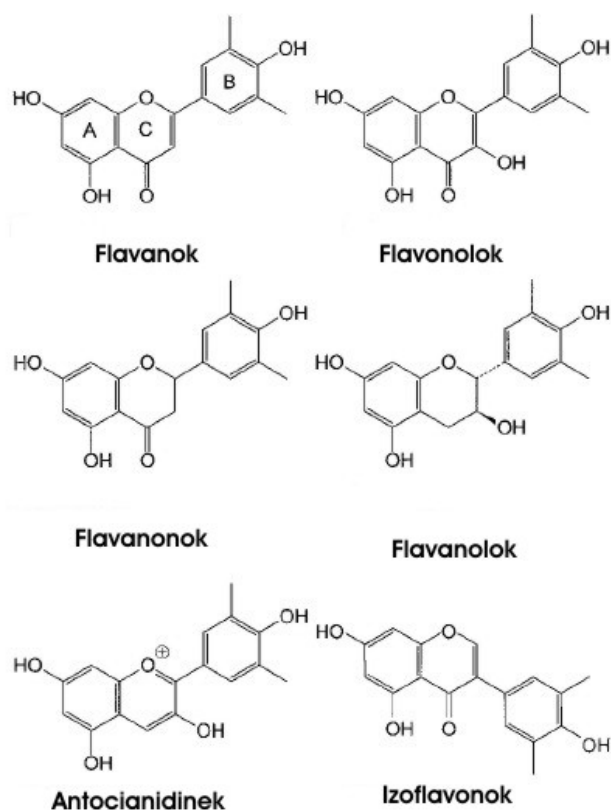
vezetnek. Sok más folyamatban a C-vitamin mint kofaktor szerepel és elektrondonorként viselkedik a dioxigenáz enzim által katalizált reakciókban (ARRIGONI, DE TULLIO 2002). Ismert hiánybetegsége a skorbut, de nélkülözhetetlen szerepet játszik az emberi kötőszövetek (bőr, csontok, porcok, ínszalagok, véredények) képzésében is. Az E-vitaminnal koantioxidánsként szerepelhet, regenerálni képes az E-vitamint vagy az α -tokoferolt gyökállapotukból (NIKI et al. 1995). A C-vitamin elsődleges antioxidánsként hat, közvetlenül semlegesíti a szabadgyököket. Sejtalkotókra gyakorolt védőhatása révén gátolja a karcinogenezis különböző állapotait (LEE et al. 2003). A gyomorban a baktériumok a nitrátot nitritté alakítják át, amely aminosavakkal reagálva mutagén nitrozoaminná alakulhat. A C-vitamin védőhatását a nitrozoamin nitrogén-oxidá váló átalakításán keresztül feje ki (TANNENBAUM et al. 1991). Ezen kívül az immunrendszer erősítésével és karcinogén vegyületek átalakítását végző, májban

lévő enzimekre gyakorolt pozitív hatásával hozzájárul a rákos sejtek kialakulásának és propagációjának gátlásához (HENSON et al. 1991; POPPEL, VAN DEN BERG 1997).

A pozitív hatások mellett meg kell említeni, hogy a C-vitamin közvetlenül képes elektron átadással a szervezetben előforduló vas(III)-ionokat vas(II)-ionokká redukálni, mely vas(II)-ionok – adott feltételek között – alkalmasak arra, hogy káros szabad gyököket hozzanak létre. A szabad vas(II)-ionok és a redukáló C-vitamin együtt nem antioxidáns, hanem prooxidáns szerepet töltenek be, és így az emberi szervezet számára komoly veszélyt is jelenthetnek (HERBERT 1996; HALLIWELL 1999). Ez a gyulladási és érlelmeszedési folyamatoknál jelentős probléma, ahol szabad fémionok hozzáférhetővé válnak a szövetek sérülése miatt (STOCKER, KEANEY 2005).

A C-vitamin nemcsak az emberi szervezetben lép kapcsolatba fémionokkal, de a növényi részek feldolgozása során is kerülni kell a vas és rézionokkal való érintkezést, így kizárólag rozsdamentes acél, alumínium vagy műanyag felületekkel érintkezhet a termék a feldolgozás során. További befolyásoló tényező a pH. Vizes oldatban pH 4-nél figyelték meg a C-vitamin degradáció maximális értékét. A napfény is hat a C-vitamin stabilitásra: narancsital C-vitamin tartalma 35%-kal csökkent 3 hónapos napfénynek kitett tárolás alatt (RYLEY, KAJDA 1994). C-vitamin veszteség lép fel fagyasztva tárolás során is, és megfigyelték, hogy a C-vitamin jégben gyorsabban oxidálódik, mint folyadékban (GRANT, ALBURN 1965). A hőkezelés C-vitamin degradációjára gyakorolt hatását az alkalmazott fizikai művelet körülményei és az oxigénnek való kitettség befolyásolja (OTTAWAY et al. 2002).

Szinte valamennyi zöldség, gyógy- és fűszernövény, a szőlő, a gyümölcsök – ezek közül is a bogyósok – kiemelkedő mennyiségben tartalmaznak polifenolos vegyületeket. A **flavonoidok** növényi szervezetben betöltött hatása teljes egészében még ma sem tisztázott (RICE-EVANS et al. 1997; LUGASI 2000). A nem tápanyagkomponensként számon tartott polifenolos komponensek a növényi metabolizmus másodlagos termékei. Védelmi funkciót látnak el, megvédik a növényt a különböző stresszhatásokról (pl. UV-fény, mikroorganizmusok). A növényi színyanyagok (kék, ibolya, piros, narancssárga, sárga) nagyrésze is ehhez a csoporthoz tartozik (RICE-EVANS et al. 1997; SASS-KISS et al. 2005).

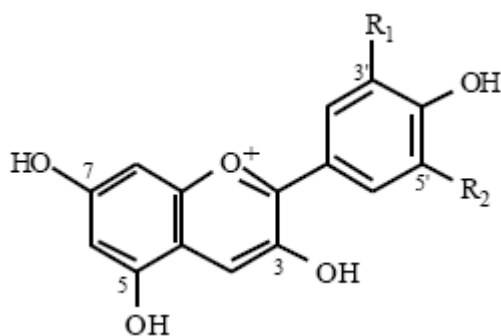


2. ábra A flavonoid-csoport elemeinek szerkezete
(Forrás: HOLLMAN, ARTS 2000)

A flavonoidok szerkezetére C6-C3-C6 (difenilpropán) alapváz a jellemző (2. ábra). A két benzolgyűrű (A,B) egy oxigénatomot tartalmazó heterociklusos pirán vagy pirongyűrűn (C) keresztül kapcsolódik. Az alapszerkezet rendkívüli változatosságot biztosít. Az alapvázhoz (aglikon) különböző cukormolekulák kapcsolódhatnak és glükozidokat hoznak létre, amelyek a természetben gyakrabban fordulnak elő (BORS et al. 1990). Már többen kimutatták, hogy a B gyűrűhöz kapcsolódó hidroxil csoportok összefüggésbe hozható az antioxidáns-kapacitással

(GALVANO et al. 2004). A heterociklusos gyűrű alapján, valamint a benzol és benzopirán gyűrűk közötti kapcsolat szerint a flavonoidok a flavanok, flavonolok, flavanonok, flavanolok, antocianidinek és izoflavonok csoportjába sorolhatóak (HOLLMAN, ARTS 2000).

A flavonoid vegyületekről elmondható, hogy a gyökfogó, a fém-kelátképző-, illetve a lipidperoxidációt gátló hatásuk kiemelkedően fontos (WANG, JIAO 2000). A flavonoidok és a nem flavonoid jellegű fenolok számos jelentős kémiai és biológiai hatásért felelősek, antioxidánsok, immunmodulánsok és gyulladáscsökkentők, allergiaellenes hatásuk is ismert, kelátképzők, elektrofil reagensek befogására képesek, C és E-vitamin analóggént viselkednek. Számos közlemény számol be ezen molekulák egészségmegőrzésben és a betegségmegelőzésben betöltött jelentős szerepéről (BOMSER et al. 1996; RICE-EVANS et al. 1997; KÄHKÖNEN et al. 2001).



Antocianidin	R1	R2	Szín
Pelargonidin	H	H	narancs-piros
Cianidin	OH	H	piros
Delphinidin	OH	OH	pink
Peonidin	OCH3	H	kékes-bíbor
Petunidin	OCH3	OH	bíbor
Malvidin	OCH3	OCH3	pirosas-bíbor

3. ábra Antocianidin csoportok szerkezete
(Forrás: BEATTIE et al. 2005)

A flavonoid vegyületeken belül különösen fontosak az antocianidinek, hiszen az idetartozó vegyületek felelősek többek között a zöldségek, gyümölcsök színének kialakításáért. A magasabb rendű növényekben számos természetes antocianidin fordul elő, azonban közülük csak hat tekinthető általánosan elterjednek: a pelargonidin, a cianidin, delphinidin, a peonidin, a petunidin valamint a malvidin (3. ábra). Az antocianidinek a flavonoidok más csoportjához hasonlóan kiváló szabadgyökfogó kapacitással rendelkeznek, és a lipidperoxidáció gátlásában töltenek be fontos szerepet (RICE-EVANS et al. 1997; LAMPE 1999; LUGASI, 2000).

Az antocianinok könnyen oxidálódnak, s így nem tekinthetők stabil vegyületeknek. Érzékenyen reagálnak számos tényezőre, mint a pH- vagy hőmérsékletváltozásra, illetve az UV sugárzásra. A kén-dioxid, C-vitamin, fémionok és más komponensek jelenléte is befolyásolja stabilitásukat (RIVAS-GONZALO 2003). Már a termesztés körülményei is kihatnak a képződött antocianinok mennyiségére (napsütéses órák száma, termőföld minősége, vízellátottság). De említésre méltó a minőség hosszabb idejű megőrzését szolgáló posztharveszt műveletek hatása is. A szedést követő kis hőmérsékletű tárolás alatt az antocianin-tartalom növekedéséről számoltak be szamócánál (GIL et al. 1997; KALT et al. 1999), áfonyánál (KALT et al. 1999; CONNOR et al. 2002), cseresznyénél (GONÇALVES et al. 2005) és szőlőnél (SANCHEZ-BALLESTA et al. 2007). Ugyanakkor több kutató is beszámolt arról, hogy a szabályozott-, vagy módosított atmoszférás tárolás során használt széndioxid gátló tényezőjévé válik az antocianin-tartalom növekedésének (ARTÉS-HERNÁNDEZ et al. 2003; REMON et al. 2004). GIL és munkatársai 1997-ben publikált kutatásaik során megállapították, hogy a 20 és 40% CO₂ mellett a tárolás folyamán a szamóca belső szöveteiben nagymértékű antocianin-bomlás következett be, míg a külső szövetekben nem. Az antocianinok bomlása a szamóca színének változásával jár, melyben nagy szerepe van az endogén fenollokkal reagáló polifenol-oxidáznak (PPO). A polifenol-oxidáz a difenollokkal lép reakcióba és kinonokká oxidálja, amelyekből több lépésben melanin keletkezik. A keletkező kinonok sokszor színesek, pl. barnák (VÁMOS-VIGYÁZÓ 1981; GOLAN-GOLDHIRSH et al. 1984). Éppen ezért nagyon fontos, hogy az enzimatis barnulást

kontrollálni tudjuk a feldolgozás során, mely történhet kémiai ágensek használatával és fizikai kezelésekkel (pl. hőkezelés) (WEEMAES et al. 1997). A reakció során képződött kinonok képesek az antocianinokkal kondenzálni és a keletkezett kondenzációs termékek barna színűek (WESCHE-EBELING, MONTGOMERY 1990), melyek kedvezőtlen hatást gyakorolnak a gyümölcsöt fogyasztóra.

2.3 Bogyógyümölcsök jelentősége

A gyümölcsökön belül kiemelkedő helyen állnak a bogyógyümölcsök. A szamóca, a málna, az áfonya, a ribiszke, a szeder és társaik feltűnő színűeknek és kellemes ízűeknek köszönhetően egyaránt kedvelt táplálékai voltak az emberiségnek mind az őskorban, mind a modern társadalmunkban. A fogyasztók élénk érdeklődésének fenntartásához nagyban hozzájárul a feldolgozott termékek egyre szélesebb kínálata. A különféle tartósított termékekkel egész évben folyamatosan hozzáférhetünk ezekhez a remek érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező gyümölcsökhöz. Első helyen kell megemlíteni a gyorsfagyasztott bogyóstermékek forgalmazását, de számos konzervipari megoldás (dzsem, a szörp, gyümölcsle, püré, sűrítmény) segíti a gyümölcsökben rejlő biológiailag aktív anyagok fogyasztókhöz való eljutatását is. Sajátos szín-, íz- és aromaviláguknak köszönhetően kitűnően illenek tej- és édesipari termékekhez, ezáltal a fagyalt- és joghurttermékek, valamint a gyümölcsös sütemények és -torták választéka nagy mértékben bővíthető velük. Szárítványaik remekül használhatók gyümölcsleves-porok előállításához. A már említett gyümölcsleveken kívül más jellegű italokhoz is jól használhatók (pl. gyümölcsborok, likőrök) (STURM et al. 2003, GARCIA-PALAZON et al. 2004).

De nemcsak gasztronómiai élményt jelent fogyasztásuk. Az utóbb időben egyre jelentősebb szerepet kap betegségek kezelése mellett a betegségek megelőzése, melyhez a bogyósok fogyasztásával nagy mértékben hozzájárulhatunk. A bogyógyümölcsök pozitív egészségügyi hatását igazoló kutatások eredményei (RUEL et al. 2005; SEERAM 2006; SHUKITT-HALE et al. 2008) mind inkább megerősítik a bogyósok fogyasztásának fontosságát. Különösen fontos a szerepük a szabadgyökök káros hatásával szemben, ugyanis rendkívül magas az antioxidáns hatásuk a bennük előforduló magas vitamin-, ásványi anyag- és flavonoidtartalom miatt. SCALZO és munkatársai (2005) megállapították, hogy a bogyósok lényegesen - sokszor 5-10-szer - nagyobb antioxidáns-kapacitással rendelkeznek, mint az alma, őszibarack, de sok esetben mint a szőlő is. Ez a különbség az egyes fajták eltérő antioxidáns-kapacitásának, valamint az eltérő termesztéstechnológiai körülményeknek köszönhető (CARUSO et al. 1996; SCALZO et al. 2005). Antioxidáns hatásuk főleg szuperoxid-, hidroxil-, hidroperoxid gyök és a szinglet

oxigén elleni védelemben jelentős (WANG, JIAO, 2000; KÄHKÖNEN et al. 2001), de szerepük van olyan enzimek gátlásában is, amelyek a szuperoxid gyök képződésében vesznek részt, így kedvezően hatnak, az LDL-oxidációjának gátlása terén (HEINONEN et al. 1998).

2.3.1 A szamóca jelentősége

Az Ázsiából származó szamóca (*Fragaria x ananassa* DEUCH) kedvelt nyári gyümölcs a maga egyedülálló íz- és illatvilágával. Az egyik legnépszerűbb és legelterjedtebb gyümölcs, a világ bogyósgyümölcs-termesztésének közel 60%-át teszi ki (PAPP, PORPÁ CZY 1999). 2005-ben világszerte 3,9 millió tonna szamóca termelt, melynek jelentős részét (32,1%) Európa szolgáltatta (STRIK 2007).

A szamóca kedvező beltartalmi értékei miatt fontos szerepet tölt be a korszerű és egészséges táplálkozásban. Az 1. táblázat mutatja, hogy a szamóca az almához képest nagy mennyiségben tartalmaz C-vitamint, folsavat (B₉ vitamin), káliumot, kalciumot, vasat, foszfort. A szamóca nagy mennyiségben tartalmaz továbbá antioxidáns antocianinokat (RICE-EVANS, MILLER 1996). Számos kutatás bizonyítja, hogy rendkívül nagy a szabadgyök megkötési képessége (peroxilgyök, szuperoxidgyök, hidroxilgyök). Ezen tulajdonságai nagy mértékben függenek a genotípusától, a növény növekedési hőmérsékletétől, a környezet széndioxid tartalmától, valamint a termesztés módjától (WANG, LIN 2000).

1. táblázat Szamóca és alma fontosabb összetevői 100 g friss gyümölcsben (Forrás: Fineli ® - Finnish Food Composition Database)

Ásványi anyagok	Szamóca	Alma	Vitaminok	Szamóca	Alma
Nátrium	0,7 mg	0,8 mg	A vitamin	0,9, µg	2,5 µg
Konyhasó	1,8 mg	2,0 mg	D vitamin	0 µg	0 µg
Kálium	190,0 mg	90,5 mg	E vitamin	0,6 mg	0,2 mg
Magnézium	15,0 mg	3,7 mg	K vitamin	5,5 µg	4,35 µg
Kalcium	21,0 mg	3,5 mg	C vitamin	60,0 mg	7,8 mg
Foszfor	30,0 mg	7,8 mg	B₉ vitamin	35,6 µg	2,5 µg
Vas (összes)	0,5 mg	< 0,1 mg	B ₃ vitamin	0,5 mg	0,2 mg
Zink	0,1 mg	< 0,1 mg	B ₂ vitamin	0,07 mg	0,01 mg
Jodid (jodin)	1,0 µg	0,9 µg	B ₁ vitamin	0,03 mg	0,01 mg
Szelén (összes)	0,1 µg	0,8 µg	B ₁₂ vitamin	0 µg	0 µg
			Karotinoidok (összes)	44,5 µg	75,8 µg

A rendkívüli népszerűségének, és a megtermelt mennyiségnek köszönhetően a szamóca a leginkább tanulmányozott bogyósnak tekinthető világszerte. FORD és munkatársai (1997) 7-10 szamócafajta gyümölcsét 3 éven keresztül képzett érzékszervi bírálókkal és laikus fogyasztókkal egyaránt bíráltatták. Megállapították, hogy a zamatkarakter (íz, illat) a leginkább fogyasztást befolyásoló tényező, tehát minden olyan tényező, ami erre hat, kritikusak tekinthető. CHANDLER és munkatársai (2003) hasonlóképpen azt javasolják több szamócafajta vizsgálata

után, hogy növényneveléskor előnyben kell részesíteni a nagy vízzeloldható szárazanyag tartalommal rendelkező, optimális cukor-sav arányú és kellemes aromakarakterrel rendelkező fajtákat a kedvező fogyasztói fogadtatás miatt. A szamóca – és más bogyós – fő oldható szárazanyag-komponensei a redukáló cukrok (glükóz, fruktóz). A gyümölcsök élvezeti értékét a cukortartalmuk mellett savtartalma is meghatározza, mely a bogyósoknál leginkább a citromsav (KOTECHA, MADHAVI 1995). Szamócának több mint 360 aromakomponensét azonosították (ZABETAKIS, HOLDEN 1997), azonban ezek közül csak a metil- és etilészterek tűnnek meghatározónak (LAMBADARIOS, ZABETAKIS 2002).

A szamóca színét elsősorban az anticianinok határozzák meg; amikből főleg a cianidin és pelargonidin 3-glükozidjai vannak jelen (AABY et al. 2005; SEERAM et al. 2006). A szamóca igen fogékony a nem kívánatos, fenolhoz kapcsolódó minőségi változásokra, mely negatív hatással van színének és illatának fogyasztói megítélésére (LOPEZ-SERRANO, BARCELO 2002). Az élelmiszerek minőségromlását előidéző fenol degradációt leginkább a polifenoloxidáz (PPO) enzim működése befolyásolja (TOMAS-BARBERAN, ESPIN 2001).

2.3.2 A málna jelentősége

Hasonlóan kiemelkedő helyen kell megemlíteni málna (*Rubus idaeus* L.) termesztésünket, fogyasztásunkat és feldolgozásunkat is. A szamóca, a ribiszke és az áfonya után a világon a negyedik legnagyobb területen termesztett bogyós, Európa 2005-ben az összes mennyiség 45%-át adta. Ennek majd $\frac{3}{4}$ részét Szerbia-Montenegro és Lengyelország termelte. Az európai mennyiségnek Magyarország kb. 3%-át adta (STRIK 2007). A málna gyümölcsének biológiai és élvezeti értéke egyaránt jelentős. Kiemelendő a cukrok és savak harmonikus aránya, az átlagosnál nagyobb C-, K-, és B₉-vitamin tartalma valamint egyes ásványi anyagokban mutatkozó jobb ellátottsága (K, Mg, Ca, P, Fe) (2. táblázat).

2. táblázat Málna és alma fontosabb összetevői 100 g friss gyümölcsben (Forrás: Fineli ® - Finnish Food Composition Database)

Ásványi anyagok	Málna	Alma	Vitaminok	Málna	Alma
Nátrium	0,7 mg	0,8 mg	A vitamin	1,1 µg	2,5 µg
Konyhasó	1,8 mg	2,0 mg	D vitamin	0 µg	0 µg
Kálium	220,0 mg	90,5 mg	E vitamin	0,9 mg	0,2 mg
Magnézium	25,0 mg	3,7 mg	K vitamin	10,2 µg	4,35 µg
Kálcium	35,0 mg	3,5 mg	C vitamin	38,0 mg	7,8 mg
Foszfor	37,0 mg	7,8 mg	B₉ vitamin	33,0 µg	2,5 µg
Vas (összes)	1,1 mg	< 0,1 mg	B ₃ vitamin	0,5 mg	0,2 mg
Zink	0,4 mg	< 0,1 mg	B ₂ vitamin	0,07 mg	0,01 mg
Jodid (jodin)	1,0 µg	0,9 µg	B ₁ vitamin	0,01 mg	0,01 mg
Szelén (összes)	0,1 µg	0,8 µg	B ₁₂ vitamin	0 µg	0 µg
			Karotinoidok (összes)	95,9 µg	75,8 µg

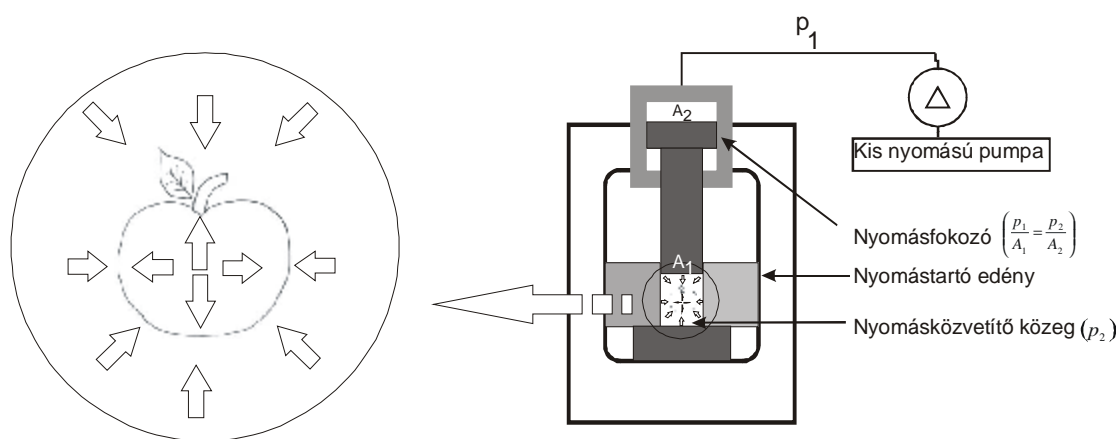
A málna jelentősebb pigmentjei az antocianinok közé tartozó cianidin 3-glükózid, a cianidin 3-sophorozid, cianidin 3-rutinozid, a pelargonidin 3-glükózid és a pelargonidin 3-rutinozid (MULLEN et al. 2002). Szoros összefüggést mutattak ki az összes fenol és antocianin-tartalom, valamint az antioxidáns-kapacitás között számos bogyónál, így szamócánál (WANG, LIN 2000; AABY et al. 2005) és málnánál (WANG, LIN 2000) is. Mindez jelzi, hogy a fenolos vegyületek a legfontosabb hidrofil antioxidánsok a bogyósokban. A legtöbb tanulmányban, ahol több genotípust vontak be a vizsgálatba, erősebb összefüggés volt kimutatható az összes fenoltartalom és az antioxidáns-kapacitás között, mint az összes antocianin tartalom és az antioxidáns-kapacitás között (DEIGHTON et al. 2000; MOYER et al. 2002).

Mint minden bogyós, a szamóca és a málna is természetes körülmények között rövid eltarthatósági idővel rendelkezik. Kiváló tápanyagforrást jelentenek a mikrobák számára, mellyel párhuzamosan nemkívánatos érzékszervi változások történnek (a gyümölcsök lágyulnak, vizet vesztenek, elveszítik kellemes piros színüket, barna pigmentek képződnek és illatuk is negatívan változik). Ezért szükség van a szedést követő folyamatok hatásának pontos ismeretére. Az utóbbi években számos új élelmiszertartósítási eljárás jelent meg, melyek idővel, megfelelő körülmények között a hagyományos technológiák alternatívájává válhatnak. Ezek közül is az elmúlt évtizedekben bevezetésre került technológia, a nagy hidrosztatikus nyomás fontosabb ismérveiről ejtek pár szót a következőkben.

2.4 Nagy hidrosztatikus nyomású kezelés alkalmazása

A természetben a hidrosztatikus nyomás minden tíz méter magas vízoszlop alatt 1 atmoszféra (0,1 MPa) nyomással nő. Így a Mariána-árok mélyén, mely az egyik legmélyebb pontja a Földnek, a nyomás eléri a 116 MPa-t (YAYANOS 1998). Az élelmiszertartósításhoz kb. ekkora vagy 10-szer nagyobb nyomás szükséges (100-1000 MPa), tehát csak megfelelő nyomástartó berendezések megalkotása után lehetett a kutatásokat megkezdeni, mely először 1889-ben az Egyesült Államokban indult meg (HITE, 1899). Azonban a kezdeteket csupán sok évtized után követve, a múlt század hatvanas éveinek a végén indultak meg ausztráliai és nagybritanniai kutatók szisztematikusabb vizsgálatait a mikroba-pusztító hatás leírására, s csak az utóbbi 15-20 esztendőben fordult komoly érdeklődés a gyakorlati élelmiszeripari alkalmazások kidolgozása felé alternatív élelmiszertartósítási módszerként, ill. új típusú élelmiszerkészítmények kidolgozása érdekében. Az első nagy hidrosztatikus nyomással kezelt élelmiszer-termékek Japánban kerültek forgalomba, de most már növekszik a számuk Észak-Amerikában és Európában is .

A nagy hidrosztatikus nyomású technológia olyan tartósító eljárás, ahol a folyékony vagy szilárd élelmiszereket 100 és 800 MPa közötti hidrosztatikus nyomásnak teszik ki. Az angol nyelvű szakirodalomban rövidítése HHP (high hydrostatic pressure). A HHP kezelés előnye, hogy a közvetítő folyadékba merített, lehetőleg légtér-mentesen és flexibilis csomagolásban lévő élelmiszerben a hidrosztatikus nyomás a Pascal-elv szerint pillanatszerűen és egész tömegében egyenletesen (izo-sztatikusan) érvényesül, így a nyomás-kezelés hatása más tartósítási módszerekkel ellentétben gyakorlatilag nem függ az élelmiszer méretétől vagy alakjától (4. ábra) (MERMELSTEIN 1998).



4. ábra Nagy hidrosztatikus nyomású kezelés működési elve (DALMADI, FARKAS 2006)

A HHP-kezelés hatékonysága az alkalmazott nyomás szintjén túl függ a kezelési időtől, a kezelési hőmérséklettől (beleértve az adiabatikus melegedést is), a nyomásemelés és a nyomáselengedés sebességétől, az induló termék hőmérséklettől, a berendezésben kialakuló hőmérséklet-eloszlástól, a termék pH-jától, összetételétől és vízaktivitásától (LUDIKHUYZE et al. 2001). Jelentősen csökkenthető a berendezés ára, ha a nyomás szintje a kezelés során 350 MPa alatt marad, de a kereskedelmi alkalmazások jelentős részében ennél jóval nagyobb nyomást alkalmaznak (ALPAS, BOZOGLU 2003). A kezelés időtartama a gyakorlatban néhány másodpercnyi impulzustól a 20 percet meghaladó időtartamig is terjedhet, bár az iparban gazdasági szempontból előnytelen, ha a kezelés időtartama meghaladja az 5-10 percet (MYLLMÄKI 1996; JORDAN et al. 2001).

Az élelmiszer térfogata csökken a nyomáskezelés alatt, és a nyomás elengedésekor kitágul. Így csak olyan csomagolóanyag jöhet szóba a kezeléskor, amely képes több mint 15%-nyi térfogatváltozást elviselni anélkül, hogy megsérülne. A csomagolóanyag megválasztásának problematikáját mérsékli, hogy a fogyasztói csomagolásban történő kezelésnek az előállítói oldalról több előnye is van: a termék a kezelés után azonnal értékesíthető, nincs szükség aszeptikus töltővonalra, és azonnal át lehet állni egy másik termék gyártására, ha szükséges (MERMELSTEIN 1999).

A nagy hidrosztatikus nyomás alkalmazásával olyan előnyökre tehetünk szert, mint (i) a jó szín-, aroma- és tápérték megőrzés, (ii) az esetenként kedvező állományváltozás, (iii) az élelmiszer csomagoltan kezelhető, tehát az utófertőződés elkerülhető, és (iv) pozitív a fogyasztói fogadtatása. A HHP kezelt termékek forgalma előreláthatóan növekedni fog a közeljövőben, hiszen a felmérések azt mutatják, hogy a nagy hidrosztatikus nyomással feldolgozott termékeket szívesen vásárolják és fogyasztják a vásárlók. BUTZ és munkatársai 2003-ban publikált felmérése szerint mindenfajta előzetes tapasztalat nélkül, pusztán a kérdéseket feltevőktől kapott információs kártyák alapján, a megkérdezettek brit, német és francia fogyasztók 67%-a vásárolna HHP kezelt terméket. Ezek a termékek marketing szempontból előnyben vannak olyan más kíméletes tartósító eljárásokkal szemben, mint a besugárzás vagy a GMO-k alkalmazása, mely negatív képzettársítással jár a fogyasztók fejében (CARDELLO et al. 2007).

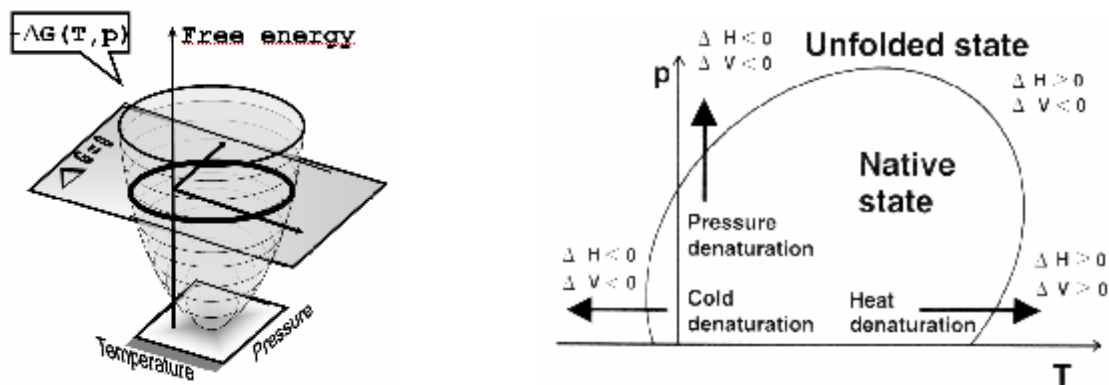
Ugyanakkor nem szabad elfeledkezni arról, hogy ez a technológia jelentős beruházási költséget ró az előállítóra. Összehasonlítva a hőkezelés berendezéseivel, a nagynyomású berendezések meglehetősen drágák. A beruházás költsége széles skálán mozog attól függően, hogy mekkora a megcélzott kapacitás, illetve milyen nyomással dolgozunk. A költséges berendezésen kívül problémát okoz, hogy (i) a folytonos technológia nehezen megvalósítható, (ii) a spórapusztítás kombinációt igényel, (iii) az enzimek nem kellőképpen inaktiválódnak, (iv) flexibilis csomagolóanyagokat igényel, (v) az antimikrobás hatáshoz min. 40% víztartalom kell, (vi.) fokozott az oxidációs hajlam és (vii) a jogi szabályozás bonyolult.

Világviszonylatban gyorsan növekszik a HHP kezelt termékek forgalmazása. Az első nagy hidrosztatikus nyomással kezelt termékek megjelenése óta (1990. Japán) jelenleg már kb. 90 ipari méretű HHP élelmiszer előállító berendezés működik szerte a világban. Ezek elsősorban Amerikában vannak (USA, Mexikó, Kanada: 56 db), de szintén megtalálhatók Európában (19 db), Ázsiában (14 db) és Óceániában is (2 db). 2005-ben 55 cég több mint 150 fajta termékkel volt jelen a piacokon, összességében kb. 100-120 ezer tonna mennyiséggel (DALMADI, FARKAS 2006).

2.4.1 A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés fehérjékre gyakorolt hatásának elvi alapja

Nyomáskezelés hatására a biomolekulák változásokon mennek keresztül. A Le Chatelier-Braun elv szerint az egyensúlyi állapotban lévő rendszert megzavaró külső tényezővel szemben a rendszerben olyan változások mennek végbe, mely a külső tényező hatását igyekszik csökkenteni. Ezek a válaszreakciók az élelmiszerekben mikroba- és enziminaktivációt, valamint állományváltozásokat idézhetnek elő (NORTON, SUN 2008). Ha az egyensúlyi állapot körülményeit a hőmérséklet és nyomás függvényében izokinetikusan ábrázoljuk, akkor egy

ellipszis alakú fázis-diagramot kapunk. Az 5. ábrán a fehérjék nyomás-hőmérséklet sematikus fázisdiagramja látható. Az ellipszis tényleges alakja, mérete és elhelyezkedése fehérjefüggő. Az ábra jelzi, hogy a fehérjék hővel, hőelvonással és nyomással denaturálhatók, mely folyamatokat az entalpia-változás (ΔH) és a térfogat-változás (ΔV) köti össze.



5. ábra Fehérjék elméleti kétfázisú natív-feltárt átalakulásának nyomás-hőmérséklet függése
 Forrás: HEINZ, KNORR 2002 (bal); HEREMANS 2002 (jobb)

Az egyszerű fehérjék denaturációja kétkomponensű rendszerben felírható, a natív fehérjék denaturált formává alakulnak. Az 5. ábrán látható, hogy a denaturációhoz szükséges hőmérséklet növekszik, ha emeljük a nyomást. Az átalakulás maximális hőmérsékleténél a térfogatváltozás (ΔV) előjele megfordul. Ettől a ponttól kezdve a fehérje adott nyomáson kisebb hőmérsékleten denaturálódik. Ugyanakkor az átalakulás maximális hőmérsékleténél az entrópiaváltozás (ΔS) előjele is megfordul, tehát ettől a ponttól kezdve a fehérje adott hőmérsékleten kisebb nyomáson denaturálódik. HAWLEY (1971) majd később MORILD (1981) írta le először egy rendszer hő- és nyomás hatására bekövetkező változásának alapvető termodinamikuss modelljét. Gyakran alkalmazzák a leírt modellt abból a célból, hogy megismerjék egy rendszer hő illetve nyomáskezelésre adott reverzibilis válaszát. A modell a Gibbs-féle szabadenergia (G) hőmérséklet és nyomásfüggéséből indul ki, mely a következő:

$$d(\Delta G) = -(\Delta S)dT + (\Delta V)dp \quad (1)$$

Az integrálás után - elhagyva a magasabb rendű összetevőket, és kicserélve az integrálási konstansokat fizikai megfelelőjükre - egy kvadratikus összefüggést kapunk:

$$\Delta G = \Delta G_0 - \Delta S_0(T - T_0) - \frac{C_p}{2T_0}(T - T_0)^2 + \Delta V_0(p - p_0) + \frac{\Delta b}{2}(p - p_0)^2 + \Delta a(p - p_0)(T - T_0) \quad (2)$$

ahol: ΔG_0 a Gibbs-féle szabadenergia-változás a referencia pontban, ΔS_0 entrópia-változás a referencia pontban, C_p a hőkapacitás, ΔV_0 térfogatváltozása a referencia pontban, β az összenyomhatósági tényező, α az hőtágulási együttható.

Ez az összefüggés általában érvényes a kétfázisú átalakulás (natív-denaturált fehérje) stabil tartományára, habár meg kell jegyezni, hogy nem minden átalakulás írható le teljesen ilyen

egyszerű formában. Ez az összefüggés nemcsak a fehérjék, de más biomolekulák és reakciók esetén is igaz, így pl. keményítő-gélesedés is leírható vele (BUCKOW et al. 2007).

2.4.2 Mikroorganizmusok nyomástűrése és érzékenységet befolyásoló tényezők.

A mikrobacejtek pusztulásához 130-800 MPa nyomás szükséges (ABEE, WOUTERS 1999). A vegetatív sejteket vizsgálva általánosan elmondható, hogy a Gram-pozitív baktériumok jobban ellenállnak a környezeti stressznek, köztük a nyomásnak, mint Gram-negatív vegetatív sejtek (LUDIKHUYZE et al. 2001). Általában a mikrobák hő- és nyomásrezisztenciája között nem lehet korrelációt megfigyelni (SMELT et al. 2002).

A hőkezeléshez hasonlóan itt sem egyetlen tényező hatására következik be az inaktiváció. A mikrobainaktivációban kulcsszerepet játszik (i) a sejtmembrán tulajdonságainak megváltozása (sejtfal elválás a citoplazma membrántól, sejtfal áteresztőképességének megnövekedése), (ii) a fehérjék térszerkezetének változása, (iii) az aminosavakat körülvevő vízmolekulák elrendeződésének megváltoztatása, (iv) intracelluláris enzimek inaktiválódása és a riboszómák sérülése (FARKAS, HOOVER, 2000; SMELT et al. 2002).

A nyomás növelésével fokozódik a sók és savak disszociációja. A növekvő nyomás 0,2-del csökkentette az almalé pH-ját 100 MPa-onként (HEREMANS 2002). A pH-nak igen jelentős hatása van az *Escherichia coli* O157:H7 inaktivációs sebességére. Ha a pH-t csökkentjük, a legtöbb mikroba sokkal könnyebben inaktiválható nyomáskezeléssel, és a szubletálisan sérült sejtek sem képesek felépülni (LINTON et al. 1999).

Olyan élelmiszerek esetén, ahol a vízáktivitás közel van az 1-hez, illetve a pH nem nagyobb, mint 4,0, kb. 600 MPa-os 3 perces nyomáskezelés alkalmasnak tűnik mikroba inaktiválásra. Ez a kombináció sikeresen inaktiválta a 10^6 TKE/g *E.coli* O157:H7, *Listeria spp.*, *Salmonella spp.* vagy *Staphylococcus spp* törzseket almalében. Kb. 600 MPa 15 perces kezelés szükséges azoknak az élelmiszereknek, amelyeknek pH-ja 4,0-4,5 között van (FARKAS, HOOVER 2000).

BAYINDIRLI munkatársaival (2006) *Staphylococcus aureus* 485, *Escherichia coli* O157:H7 933 és *Salmonella* Enteritidis FDA inaktiválását vizsgálták alma, narancs, kajszibarack és cseresznye-levelekben kéméletes hőkezelés - nagy hidrosztatikus nyomás kombinált kezelés hatására. Valamennyi mikroorganizmus teljes inaktiválásához (8 nagyságrendnyi csíraszám-csökkentéshez) 350 MPa 40°C 5 perces kezelés elegendő volt. Viszont a további mérési eredményeikből egyértelműen látszik, hogy hasonló nyomásszint és idő mellett, de 10°C-kal kisebb hőmérsékleten végzett nyomáskezelés már túlélő mikroorganizmusokat eredményezett. Tehát a valódi hőhatásmentes nyomáskezeléshez mindenképp nagyobb nyomásterhelést célszerű alkalmazni. A nagyobb nyomásszint alkalmazása BASAK és munkatársai (2002) munkája

alaján is szükségesnek látszik. A szerzők koncentrált és normál töménységű (a koncentrátumból visszahígított) narancsleveket vizsgáltak abból a szempontból, hogy a *Leuconostoc mesenteroides* és a *Saccharomyces cerevisiae* HHP inaktiválása milyen gyorsan megy végbe a különböző nyomásszinteken (200-400 MPa) és különböző időtartamok (0-120 perc) alatt 20°C-on. Azt tapasztalták, hogy a 10^6 *Saccharomyces cerevisiae*/ml induló sejtszámú normál töménységű narancslében 300 MPa 0 perc nyomás (impulzus kezelés) felett már nem tudtak élő sejteket kimutatni, ugyanakkor a koncentrált narancslében a 400 MPa 60 perces kezelés 6 helyett csak kb. 3 nagyságrenddel csökkentette az induló sejtszámot. Hasonló tendencia volt megfigyelhető a *Leuconostoc mesenteroides* mikroorganizmus inaktivációjánál is. Ez felhívja a figyelmet a nagyobb vízdoldható szárazanyag-tartalmú gyümölcskészítmények, mint például a cukrozott bogyógyümölcs-pürék, nagyobb nyomásszükségletére.

BULL és munkatársai (2004) Navel narancslevek eltarthatóságát vizsgálták hő- és HHP kezelést követően. Azt tapasztalták, hogy a mikrobiológiai stabilitás biztosítható 600 MPa 18-20°C 1 perces kezeléssel a 12 hetes 4 és 10°C-os tárolás során. Ugyanakkor a 85°C-on 25 másodpercig hőkezelt narancslé-mintákban enyhe mértékű növekedés volt megfigyelhető a tárolási idő előrehaladtával mind az aerob összes élősejtszámban, mind az élesztő- és penészszámban. BAERT és munkatársai (2008) szerint málnapüré hőkezeléséhez nem elegendő a 65°C-on 30 másodpercig vagy 75°C-on 15 másodpercig végzett enyhe hőkezelés, mert nem inaktiválható vele a bogyógyümölcs által esetlegesen hordozott fekáliás eredetű, és tömeges megbetegedéseket okozó norovírus. SINHA (2006) 88°C 2 perces szintet javasol a málnapüré hőkezeléséhez. Nyugvó baktériumspórák nagy hidrosztatikus nyomással szemben is nagyon rezisztensek és közvetlen inaktiválásuk még 1000 MPa nyomás alkalmazása esetén sem teljes. Meglepő módon azonban kisebb 100-200 MPa nyomás a csírázásukat elősegítheti, a kicsírázott spórák pedig már nyomás és hőérzékenyek (GOULD et al. 1970). Ez a megfigyelés a HHP és enyhe hőkezelés kombinációit ígéretessé teszi. Még nincs azonban elegendő kísérletes tapasztalat ahhoz, hogy erre a jelenségre kellően megbízható kombinációs technológiát méretezni lehessen.

2.4.3 A szöveti enzimek nagynyomásos inaktiválhatósága

Enzimek aktiválódása vagy ellenkezőleg: inaktiválódása is tapasztalható a nyomás-kezelés mértéke és hőmérsékleti viszonyai függvényében. A különféle enzimek baroszenzitivitása jelentősen különbözhet, s az előbbieket miatt nem meglepő, hogy a nyomáskezelést követő élelmiszer-tárolás folyamán bizonyos enzimek aktivitásának a regenerálódása is megtörténhet. Az enzimek nyomás-tűrése és hőrezisztenciája között sincs egyértelmű összefüggés. A

gyümölcsök feldolgozásánál a minőség megóvása szempontjából fontos az enzimes barnulásért felelős polifenoloxidáz (PPO); a nemkívánatos íz, illat romlást és táplálkozásbiológiailag hasznos komponensek csökkenését okozó lipoxigenáz (LOX); a gyümölcslevelek zavarosodásáért és gyümölcskészítmények állományváltozásáért felelős pektinmetilészteráz (PME) és a nemkívánatos aromaváltozásokat katalizáló peroxidáz (POD).

Az előző fejezetekben több helyen is felmerült a PPO, mint az élelmiszer külső megjelenését leginkább befolyásoló enzim. A PPO hőérzékeny enzim, ugyanakkor az enzimforrástól és a mikrokoznyezettől (pl. pH, sók, cukor jelenléte) függően 200-1000 MPa kezelés szükséges az inaktiválásához. Amíg egyes gyümölcsöknél (alma, szőlő) az enzim érzékeny a nyomáskezelésre, más gyümölcsökben (körte, szilva) ellenáll a kezelésnek. A kis nyomásérték (<300 MPa) fokozhatja a hőrezisztenciát és növelheti a katalitikus aktivitását (alma, körte, paradicsom, szamóca). Számos esetben (alma, körte, szamóca) az inaktiváláshoz szükséges nyomásértéknél kisebb nyomású kezelés során a PPO aktiválását figyelték meg, amit az enzim konformáció-változásával, illetve a membránhoz kötött enzim elszakadásából eredő aktív formává alakulásával magyaráznak. A szövetben a membránhoz kötött enzim és a szubsztrátja egymástól elkülönítve helyezkednek el, ami megszűnhet a nyomáskezelés hatására (LUDIKHUYZE et al. 2001).

2.4.4 A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés hatása a gyümölcsök érzékszervi tulajdonságaira

A nemzetközi kutatások eredményei meglehetősen kevés adatot szolgáltatnak a HHP kezelés érzékszervi tulajdonságokra gyakorolt hatásáról. Sok esetben az érzékszervi tulajdonságok humán bírálók által végzett megítélése háttérbe szorul a műszeres analitikai technikák mögött.

MERMELSTEIN (1999) számolt be átfogó érzékszervi vizsgálsorozatról, mely során azt tapasztalta, hogy a narancs-, alma- és szőlőlevelek vizsgálatakor a bírálók nem tudták megkülönböztetni a HHP kezelt mintát a kezeletlentől. Részletesen kivitelezett kvantitatív leíró bírálati módszerrel (QDA) LABOISSIÉRE és munkatársai (2007) megállapították, hogy az általuk készített 300 MPa nyomással (5 perc 25°C) kezelt maracuja-lé (HHP) érzékszervi tulajdonságai sokkal jobban hasonlítanak a kezeletlen gyümölcslére (Cont), mint a kereskedelmi forgalomban beszerezhető, hővel tartósított társaira (B). Szignifikáns különbséget csak a Cont-B és a HHP-B között tudtak kimutatni, a Cont-HHP között nem. Gyanítható, hogy a kimutatott különbségek jelentős része a különböző helyről származó alapanyagokból és a tartósító kezeléseket megelőző eltérő (a kereskedelmi minták esetében ismeretlen) műveletekből is adódott. GIMENEZ és munkatársai (2001) tradicionális (vagyis hőkezeléssel előállított) illetve

különböző szintű HHP kezeléssel előállított dzsemekkel végeztek kísérleteket. Közleményükben több tulajdonság vizsgálatával is foglalkoztak, valamint különböző hőmérsékleteken tárolási kísérleteket végeztek. A professzionális módon végrehajtott érzékszervi vizsgálatok értelmezhetőségét nagy mértékben csökkenti, hogy nem derül ki egyértelműen, a feltüntetett vizsgálati eredmények a tárolási időszak elejéről vagy a végéről (15 nap) származnak. Tekintve, hogy nem tüntették fel, mely tárolási hőmérséklet adatait mutatják be, úgy vélem a bemutatott eredmények a 0. tárolási napra vonatkoznak. A szerzőknek jelentős különbségeket sikerült kimutatniuk elemzésük során a 400-800 MPa nyomással előállított, illetve a hagyományos dzsemek között. A HHP kezelt mintáik színe szignifikánsan világosabb, a gélstruktúrája lágyabb, kevésbé átlátszó, heterogénebb volt, avas jellegű aromával kesernyés utóízzel. Meg kell azonban jegyezni, hogy az összehasonlításához készített HHP-kezelt gyümölcsminták több előkészítő műveleten mentek keresztül (többszöri centrifugálás, kriokoncentráció, vákuumozás), melyek hatással lehetnek a HHP-kezelt termék minőségére, valamint a tradicionális művelet magában foglalta a végső vízdoldható-száranyagtartalomig történő forralást, mely szintén jelentős érzékszervi tulajdonságot formáló faktor.

2.4.4.1 Állomány

A zöldségek és gyümölcsök HHP kezelés hatására bekövetkező állomány-változása mögött a sejtfal polimerek átalakulásai, valamint enzimikus folyamatok állnak. Az enzimek, az ionok és a szubsztrátok a sejtek különböző helyein vannak egymástól elzárva, amelyek a HHP kezelés hatására felszabadulnak és reagálnak egymással. Ezzel egyidőben a HHP kezelés növeli a pektinmetilészteráz (PME) és poligalakturonáz (PG) enzimek aktivitását (OEY et al. 2008).

A HHP kezelés hat a pürék, pulpok és levek reológiai tulajdonságaira is. A hatás függ a HHP kezelés körülményeitől és a gyümölcs fajtájától. AHMED és munkatársai (2005) azt tapasztalták, hogy a mangópüré 100 vagy 200 MPa nyomáson kezelése (20°C, 15 vagy 30 perc) növeli a termék viszkozitását, míg a 300 és 400 MPa-on végzett kezelés nem (20°C, 15 vagy 30 perc). Ezzel szemben OEY és munkatársai (2008) ellentétes tendenciára hívják fel a figyelmet homogénezett paradicsomnál, ahol a 400 MPa-nál kisebb HHP kezelésnél csökkent, az ennél nagyobb nyomásszinten végzett kezelésnél nőtt a termék viszkozitása. Mindezek rávilágítanak arra, hogy az állományváltozást illetően sem lehet minden gyümölcsre, zöldségre általánosan érvényes tendenciát megállapítani, szükség van gyümölcs- és zöldség-fajtánként külön-külön a HHP kezelés hatását felmérni.

BASAK és RAMASWAMY (1998) a HHP kezelések (100-400 MPa, szobahőmérséklet, 5-60 perc) különböző gyümölcs és zöldségek (alma, körte, narancs, ananász, sárgarépa, zeller)

állományára gyakorolt hatását vizsgálták. A szerzők a kompresszió során fellépő gyors keménység-vesztésről számoltak be. A kezelési idő alatt (30-60 perc), a keménység vagy tovább csökkent vagy fokozatosan visszaalakult. Visszaalakulást figyeltek meg többek között a körténél, narancsnál, ananásznál a 100 vagy 200 MPa nyomású kezelésnél. A keménységben bekövetkező változásokat a PME-aktivitásnak tulajdonították. Ugyanis a HHP-kezelés során kiszabaduló PME kapcsolatba kerülhet szubsztrátjával (erősen metilezett pektinnel) és beindulhat a demetilezés. A deészterezett pektin a kétértékű ionokkal gél-hálót képes alkotni, amely növeli a gyümölcsök és zöldségek keménységét. LOPES DA SILVA és GONCELVES (1994) ugyanakkor a hidrogén-kötéseknek tulajdonították a kis hőmérsékleten bekövetkezett aggregálódás jelenségét. Nagy metoxil-pektin tartalmú géleket vizsgálva a kis (4°C) hőmérsékleten tartott gélekben véleményük szerint a pektin-hálózatot egyébként stabilizáló hidrofób kölcsönhatások lassabban alakulnak ki, ami gyengébb gélstruktúrát eredményez. POLYDERA és munkatársai (2003) kutatásaik során narancslé-koncentrátumból előállított levet kezeltek hővel (80°C, 30 másodperc) és nagy hidrosztatikus nyomással (500 MPa, 5 perc, 35°C), majd 0-15°C-on 2 hónapig tárolták. Rotációs-viszkoziméteres vizsgálatot végeztek, és a mért adatokra Ostwald-Waele modellt illesztettek. A HHP-kezelt minták látszólagos viszkozitása a tárolási idő alatt növekedett, és a hőkezelt mintáik látszólagos viszkozitása változatlan volt. Cikkükben nem fűztek magyarázatot a jelenséghez.

2.4.4.2 Íz- és illat

Az élelmiszerek íze és illata döntő jelentőségű a fogyasztók vásárlási döntéseiben, így ezen érzékszervi tulajdonságok vizsgálata is elengedhetetlen a HHP kezelés hatásának felméréséhez. Általános feltételezés, hogy a HHP kezelés kismolekulákra gyakorolt kismértékű hatása miatt nem befolyásolja közvetlenül az élelmiszerek illékony komponenseit. Ugyanakkor feltételezhető, hogy az enzimatis és kémiai reakciókra gyakorolt hatása révén indirekt módon mégis hatással lehet a kezelt termék illatára. CSERHALMI és munkatársai (2004) SPME-GC-MS vizsgálataik alapján rámutattak, hogy az azonos módon kezelt, különböző fajta gyümölcslevek (600 MPa, 10 perc, <40°C) más-más módon reagálnak a kezelésekre. Szamóca-, meggy- és szilvalé mintáknál a kezeletlen és kezelt minták aromaanyagai között szignifikáns különbséget nem tapasztaltak, ugyanakkor az almálé aroma komponenseinek mennyisége szignifikánsan csökkent. A málnálé β -jonon koncentrációjában szignifikáns csökkenés következett be, míg szederlé esetében az oktanol, nonanol és dekanol mennyisége csökkent jelentősen. Részben hasonló eredményre jutottak LAMBERT és munkatársai (1999) is, akik szamócamintákat nyomáskezelték (200, 500 és 800 MPa, 20 perc, szobahőmérséklet) illetve sterilizáltak (120°C, 20 perc), majd az illékony komponenseket nedves kémiai módszerekkel kinyerték és gázkromatográfiás eljárással

analizálták. A kisebb nyomásokon (200 és 500 MPa) végzett kezelések nem eredményeztek új komponenseket a GC-kromatogramokban és nem is tűntek el vegyületek, csupán néhány komponens csúcsterülete lett kisebb nem szignifikáns mértékben. Mindkét nyomáskezelés GC-kromatogramja azonosságot mutatott a kezeletlen mintáéval. Ugyanakkor a 800 MPa nyomáson végzett kezelésnél új komponensek is megjelentek (3,4-dimetoxi 2-metil furán vagy 2,5-dimetil 4-metoxi-furán-3-one, γ -lakton), melyek származására szerzők nem tudtak magyarázatot adni. Egyetlen vegyület sem tűnt el a 800 MPa-os nyomáskezelés hatására, de olyan komponensek mennyisége csökkent szignifikánsan (nerolidol, furaneol, linalol és néhány észter), amelyek a friss szamócaaromáért felelősek. Nem meglepő módon a hővel sterilizált mintában számos új vegyület jelent meg. A két legfontosabb a geraniol és a vanilin, amelyek a kezeletlen vagy a nyomáskezelt mintákban nem vagy csak nagyon kis mértékben voltak kimutathatók, és más hőkezelt gyümölcsben is rendszeresen kimutatták a szerzők. Még egy érdekes megállapítása van a cikküknek. Felhívják a figyelmet arra, hogy a hővel kezelt mintában 4 műanyag csomagolóanyag-származékot is ki tudtak mutatni (BHT, fenolszármazék, ftalát és illékony szénhidrogén), míg a HHP-kezelt mintában csak egyet (illékony szénhidrogén). Tehát a HHP – kezelés pozitívumaként említették, hogy csökkenthető vele a műanyag-szennyezőanyagok bekerülése az élelmiszerbe a hősterilizációs gyakorlattal szemben.

A tárolás alatt a HHP- kezelt mintákban bekövetkező változásokról ZABETAKIS és munkatársai (2000) számoltak be. Szamócamintákat nyomáskezelték 200, 400, 600 és 800 MPa nyomáson (25 perc, 18-22°C), és 1 napig különböző hőmérsékleteken (4, 20 és 30°C) tárolták, majd nedveskémiai extrakciót követően vizsgálták az illékony komponensekben bekövetkezett változásokat. A 4°C-os tárolás után valamennyi alkalmazott nyomásszinten csökkenést mutattak ki a vizsgált illékony savakban (vajsav, 2-metil vajsav és kapronsav) és keton komponensben (diacetilaceton). A savaknál a 400 MPa nyomás értéket találták legkevésbé károsítónak, a nerolidol nevű alkohol mennyisége növekedett a 800 MPa nyomású kezelés hatására, és a friss szamócaaroma egyik kulcsvegyülete a DHMF (furaneol) mennyisége változatlan maradt ezen a mindössze 1 napig tartó tárolás alatt. A szerzők ez alapján megállapították, hogy nem lehetett a változásokat azonos tendenciával leírni, így a nyomáskezelés szintjét érdemes a kiválasztott illékony komponens nyomásstabilitásához is igazítani. Vizsgálataik kiterjedtek a β -glükozidáz (EC 3.2.1.21) enzim nyomásstabilitásának vizsgálatára is. Ez az enzim képes a nem-illékony glükó-konjugátokat – mint ismert glükozidos aroma prekursorokat – hidrolizálni illékony aglikonokká gyümölcsökben, ezáltal intenzívebb aroma-felszabadulást eredményez. A hőkezelés inaktíválta β -glükozidáz enzimet, ugyanakkor a HHP kezelés 200-400 MPa tartománya nemcsak hogy nem inaktíválta, de katalizálta is az aktivitását. Az ennél nagyobb (600-800 MPa) nyomású kezelés volt szükséges az enziminaktiváláshoz.

KIMURA és munkatársai (1994) is jelentős különbségekről tettek említést a hagyományos hőkezeléses eljárással készült (93°C, 20 perc) és a HHP-kezeléssel készült (400-500 MPa, 10-30 perc) számoça dzsemek illékony komponenseit illetően. Ők is megállapítják, hogy közvetlenül a kezelés után a HHP-kezelt minta GC-profilja sokkal jobban hasonlított a kezeletlen minta GC-profiljához, mint a hőkezelté. A hő- és nyomáskezeléssel előállított számoçadzsemeket tárolták is 90 napig 5 és 25°C-on. Más paraméterek mellett vizsgálták a trans-2-hexenol (friss-füves jelleg), a linalol (édes-virágos jelleg), az etil-butirát (friss-gyümölcsös) és a 2-metilbutírsav (savanyú-édes jelleg) komponensek változását a tárolás alatt. Azt tapasztalták, hogy a trans-2-hexenol és a 2-metilbutírsav mennyisége nem változott a tárolási idő előrehaladtával sem a tárolási hőmérséklet sem a kezelés módjától függően. Viszont a linalol mennyisége a nagyobb hőmérsékleten tárolt HHP-kezelt mintában, az etil-butirát pedig mindkét hőmérsékleten tárolt HHP-kezelt mintában csökkent (a tárolási hőmérséklettől függő mértékben). Tehát míg a HHP-kezelésnek a gyümölcsök aroma-anyagaira gyakorolt közvetlen hatása sok esetben elhanyagolható, az enzimatis és kémiai reakciók befolyásolásával képes nemkívánatos elváltozásokat előidézni a kezelést követően a tárolt termékben.

Általánosságban elmondható, igen nehéz megbecsülni, egy-egy kezelés hogyan hat az olyan illékony anyagokra, amelyek a gyümölcsök illatának összbenyomásáért felelősek. Például számoçában több mint 350 illékony komponens azonosítottak (ZABETAKIS, HOLDEN 1997). S miközben csak néhánynak van jelentős szerepe a számoçaillat kialakításában, az illatkomponensek kölcsönhatása során valamely egyedi molekulában történhet olyan változás mely nagy mértékben befolyásolja a teljes illatkaraktert. Éppen ezért van jelentősége a humán bírálók által végzett érzékszervi vizsgálatoknak. Emellett segítséget nyújthatnak a még kevésbé ismert kémiai érzékelősorok, amiket legtöbbször elektronikus orrként és nyelvként említ a szakirodalom.

2.4.4.3 Szín

A pigment-tartalom változás hatására változik az élelmiszer színe, mely tristimulusos színméréssel nyomon követhető. A műszeres vizsgálatok nem mutattak ki különbséget a kezeletlen és a HHP kezelt minták között szőlőlénél (400 MPa, 2°C, 10 perc; 500 MPa, 2°C, 10 perc vagy 400 MPa, 40°C, 10perc) (DAOUDI et al. 2002) és mangó pürénél (100-400 MPa, 20°C, 15 és 30 perc) (AHMED et al. 2005). CSERHALMI és munkatársai (2004) gyümölcslevek HHP kezelése után (600 MPa, <40°C, 10 perc) a kezeletlen mintákhoz képest az almalében nagy; a számoça-, a málna- és a meggyében alig észrevehető, valamint a szilva- és a szederlében szemmel nem észrevehető különbségeket mutattak ki. POLYDERA munkatársaival (2005)

lineáris összefüggést mutatott ki a műszeresen mért színváltozás és a C-vitamin tartalom között HHP kezelt Navel narancslé (600 MPa, 40°C, 4 perc) tárolása alatt (0, 5, 10, 15, 30°C, 64 nap).

2.4.5 A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés hatása a gyümölcsök bioaktív komponenseire

2.4.5.1 Antocianin-tartalom

A HHP kezelés csak kis mértékben változtatja meg a gyümölcsök és zöldségek színkialakításért felelős pigmenttartalmát (pl. klorofil, karotinoid antocianin stb.). Ugyanakkor tárolás során a HHP kezelt gyümölcsök színanyagai változnak, köszönhetően a kezelést túlélt vagy regenerálódott enzimek és mikrobák tevékenységének (OEY et al. 2008). A szamóca és málna antocianinjai (mint a pelargonidin-3-glükozid és a pelargonidin-3-rutinozid) stabilak maradtak a 800 MPa 18-22°C 15 perces HHP kezelés alatt (GARCIA-PALAZON 2004). A 7 napos tárolás után (5, 20 és 30°C) a HHP kezelt feketeribiszke (200, 400, 600 és 800 MPa, 15 perc, 20-22,5°C) antocianin-vizsgálat eredményei azt mutatták, hogy a cianidin-3-rutinozid és a delfinidin-3-rutinozid eltérő mértékben változott. A 4°C-on tárolt HHP kezelt gyümölcs a tárolás alatt stabilnak volt tekinthető. A változások oka lehet a nem megfelelő enzimaktiváció (pl. polifenol-oxidáz) (GARCIA-PALAZON 2004), a β -glükozidáz aktivitása (GIMENEZ et al. 2001) és a C-vitamin degradációgyorsító hatása (KOUNIAKI et al. 2004).

PATRAS és munkatársai (2009) a hagyományos hőkezelést (70°C, 1-2 perc) hasonlították össze a HHP-kezeléssel (400, 500, 600 MPa, 15 perc, 10-30°C) szamóca és feketeszeder püréknél. Azt tapasztalták, hogy mindkét gyümölcsnél a hőkezelés szignifikáns mértékű csökkenést eredményezett (szamócánál 29%, szedernél 3% a veszteség), miközben a HHP-kezelés egyik szintje sem okozott szignifikáns csökkenést. Hőkezeléssel tartósított málnapulpok antocianin-tartalma 4, 20 és 37°C-os tárolás során a 28. tárolási napra 92, 40 és 19%-ra csökkent le (OCHOA et al. 1999). A szerzők a változást elsőrendű kinetikával írták le. A tárolt minták százalékos értékben kifejezett antocianin-változásait a tárolási idő függvényében féllogaritmikusan ábrázolva lineáris egyeneseket kaptak. Közleményükben megjegyezték, hogy ez a kinetikai viselkedés általános a bogyógyümölcsök antocianin-tartalmának tárolás alatt bekövetkezett változásai során. KIM és PADILLA-ZAKOUR (2004) szélesebb értelmezésben, valamennyi antocianinra kiterjesztve fogalmazzák meg ugyanezt. A hőkezelést kísérő antocianin-degradáció első lépésének a glükozidos kötések hidrolízisét tekintették. Az antocianinok egyensúlyi állapota a nagyobb hőmérsékleten a színtelen kalkonok felé tolódik el, mely vegyületek nem stabilak, különösen cukor hiányában. A kalkonok oxidálódva barna komponenseket vagy nagy molekulatömegű pigmenteket képezhetnek. CORRALES

munkatársaival (2008) más magyarázatot ad a hőkezelés hatására bekövetkező antocianin-változásokra. A cianidin-3-glükozid modelloldatot 600 MPa 20°C 30 percig kezelve elhanyagolható mértékű csökkenést tapasztaltak. Ugyancsak mindössze 5%-nyi csökkenést okozott a 70°C 30 perces kezelés. Viszont a 600 MPa, 70°C, 30 perces kezelés 25%-ra növelte a veszteséget. Ez jelzi, hogy a HHP-kezelés nagyobb hőmérsékleten felgyorsíthatja az antocianinok bomlását. A bekövetkezett változásokra magyarázat a kondenzációnak nevezett jelenség lehet, amikor is az antocianinok kovalens kötésekkel kapcsolódnak más jelenlévő flavonoidokhoz (flavonolokhoz), újabb pirán gyűrűt képezve a szerkezetben (TIWARI et al. 2009). Suthanthangjai kollégáival (SUTHANTHANGJAI et al. 2005) a HHP-kezelt málnavizsgálatok során enzimtevékenységekre visszavezethető változásokról számoltak be. A 200, 400, 600, 800 MPa 15 percig szobahőmérsékleten nyomáskezelt málnát 9 napig 4, 20 és 30°C-on tartották. A hűtve tárolás okozta a legkisebb veszteséget az antocianin-tartalomban. A két legfontosabb málna antocianin mennyisége (cianidin-3-glükozid és a cianidin-3-szoforozid) a legnagyobb mértékben a 400 és 600MPa nyomással kezelt mintákban csökkent a hűtve tárolás alatt és a legkevésbé a 800 MPa nyomással kezeltben. Az egyes antocianin-vegyületek stabilitását tekintve szintén különbségek voltak tapasztalhatók. A változásokért a polifenol-oxidáz, peroxidáz, β -glükozidáz enzimek tehetők felelőssé, amire egy másik munkájuk hívja fel a figyelmet (GARCIA-PALAZON et al. 2004). A szamóca és málnamintákban azt tapasztalták, hogy a növekvő nyomás fokozta az enzimaktivációt, de a szamóca PPO-t kivéve nem tudták teljesen inaktíválni őket. A maradék enzimaktivitás a tárolási hőmérséklettől függően csökkenést idézett elő az antocianinok mennyiségében. A különböző mértékű csökkenés az enzim szubsztrát-specifikusságának köszönhető. A polifenol-oxidáz főleg difenolokkal lép reakcióba és kinonokká oxidálja, amelyekből több lépésben melanin keletkezik. A keletkező kinonok sokszor színesek, pl. barnák (VÁMOS-VIGYÁZÓ 1981; GOLAN-GOLDHIRSH et al. 1984). A β -glükozidáz enzim a színes antocianinról lehasítja a glükozidos részt hátrahagyva a színtelen aglikont (antocianidint). Tehát belátható, hogy az enzimatis folyamatok kézben tartása fontos követelmény a gyümölcskészítmények előállításánál.

2.4.5.2 Fenolos vegyületek

KIM és PADILLA-ZAKOUR (2004) megállapították, hogy az összfenol mennyiség csökkenése a dzsem előállítása során függ a gyümölcstől illetve annak változatától. Például a szilva BY 8158.50 változatából készített dzsemben 27%-kal csökkent az összes fenolvegyületek mennyisége, viszont a Methley fajtánál nem lehetett szignifikáns mértékű csökkenésről beszélni. A málnából készített dzsem is a friss gyümölcshöz hasonló mennyiségű fenolvegyületet tartalmazott. A szerzők nem végeztek tárolási vizsgálatokat, nem úgy, mint a KOPJAR és

munkatársai (2009), akik különböző fajtájú pektinek felhasználásával készült szárocadzslemek szín és állományváltozását vizsgálták, amit többek között kiegészítettek összes fenoltartalom vizsgálattal is. Sajnos a szerzők nem tüntették fel a feldolgozási művelet fenoltartalomra gyakorolt hatását cikkükben, de a különböző pektinszármazékokkal készült dzsemekben más-más sebességű folyamatos csökkenés mutatkozott a tárolás 6 hete alatt. A szobahőmérsékleten tárolt mintáknál nagyobb mértékű csökkenés történt, mint a hűtött körülmények között (4°C). Megjegyzik, hogy a változás az antocianin-tartalom változásához hasonló módon ment végbe. PATRAS és munkatársai (2009) vizsgálatainál a HHP-kezelt szárocá és a feketeszeder-minták összes fenoltartalma kis mértékben növekedett, amit a jobb kihozatalú extrakcióval magyaráztak. TEREFE és munkatársai (2009) kombinált nagy nyomás – kéméletes hőkezelés hatását vizsgálták szárocá több tulajdonságára, közte az összes fenoltartalomra. Azt tapasztalták, hogy egyik műveleti paraméter (nyomás nagysága, kezelés ideje és hőmérséklete) sem okozott statisztikailag kimutatható különbségeket, azonban a tárolásnak szignifikáns hatása volt.

2.4.5.3 C-vitamin tartalom

Számos kutató vizsgálta a HHP kezelés majd az azt követő tárolás C-vitamin tartalomra gyakorolt hatását modell oldatban és valódi élelmiszerben egyaránt. VAN DEN BROECK és munkatársai azt tapasztalták (1998), hogy izoterm-izobár körülmények között (850 MPa, 50°C, 1 óra) nem változott a C-vitamin tartalom a nyomásemelés után (az adiabatikus melegedés utáni állapothoz viszonyítva). Azonban a hosszú kezelési idő (6 óra) extrém nyomás/hőmérséklet kombináció mellett (850 MPa, 65-80°C) nagymértékben csökkentette a C-vitamin tartalmat, és a változás elsőrendű kinetika alapján volt leírható. A degradáció sebessége a nyomás és a hőmérséklet emelésével nőtt. Emellett a 10%-ban hozzáadott szacharóz C-vitaminra gyakorolt pozitív hatását is kimutatták. Észlelték, hogy a gyümölcsleiben nagyobb mértékű a C-vitamin csökkenés, mint modell oldatban, feltehetően a jelen lévő prooxidánsoknak köszönhetően (enzimek, fémionok). A degradáció mértékére az élelmiszermatrixnak is hatása van, paradicsomleiben kisebb mértékű csökkenést figyeltek meg, mint narancslében. Más kutatók is a HHP kezelést követően igen jó C-vitamin megőrzésről számoltak be gyümölcsalapú termékek vizsgálatakor. Narancslében mindössze 9%-os csökkenésről számoltak be (400MPa, 40°C, 1perc), szárocá nektárban is csak 12%-kal volt kevesebb a C-vitamin (400MPa, 20°C, 30 perc) és nem volt csökkenés a citrusleiben (200-500MPa, 30C, 1perc) (SÁNCHEZ-MORÉNÓ et al. 2003; ROVERE et al. 1996; DONSI et al 1996). Szárocánektárnál a HHP kezelést (500MPa, szobahőmérséklet, 3perc) követő tárolás alatt a C-vitamin degradáció kisebb volt kisebb tárolási hőmérséklet mellett (ROVERE et al. 1996), és ugyanezt tapasztalták narancslénél is (800MPa, 25 és 50°C, 1 perc) (NIENABER, SHELLHAMMER 2001).

Fontos kérdés a kezelés és tárolás után megmaradt C-vitamin emberi szervezetben való hasznosulása. A C-vitamin felszívódást vizsgálva SÁNCHEZ-MORÉNÓ és munkatársai (2003) kezeletlen és 400 MPa, 40°C, 1 perc paraméterekkel kezelt narancslevet fogyasztattak férfiakkal és nőkkel. Mindkét vizsgálati csoportnál azt tapasztalták, hogy a kontrol és nyomáskezelt minta ugyanolyan mértékben növelte a vérplazma C-vitamin szintjét 7 és 14 napos fogyasztás alatt. Továbbá mindkét fajta narancslé csökkentette a gyulladást jelző biomarkerek (8-epi-PGF2 α és PGE $_2$) mennyiségét a vérplazmában.

Narancslé tárolás alatt bekövetkezett C-vitamin változásával POLYDERA és munkatársai (2005) foglalkoztak kinetikai alapokon. Tárolási hőmérsékletenként meghatározták a C-vitamin vesztés sebességi állandóit, melyek azt mutatták, hogy a HHP-kezelt mintában kisebb sebességgel csökkent a C-vitamin mennyisége, mint a hőkezeltben. A kinetikai paraméterekkel becsült 50%-os C-vitamin degradáció időtartama (half life) 5°C-os tárolási hőmérsékleten hőkezelt narancslénél 58 nap, HHP-kezeltnél 109 nap, míg 30°C-on tárolt változatoknál egyaránt 9-9 nap volt.

2.4.5.4 Antioxidáns-kapacitás

Narancslé TEAC indexe (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) a HHP kezelés hatására (100-800MPa, 30-65°C, 90 perc) csökkent (INDRAWATI et al. 2004). Az összes alkalmazott hőmérsékletnél a narancslé antioxidáns-kapacitása gyorsabban csökkent, ha a nyomás értékét növelték. Az antioxidáns-kapacitás csökkenéséhez elsősorban a C-vitamin degradáció járult hozzá. Azonban rövidebb idejű kezelésnél (500 és 800MPa, 20°C, 5 perc) nem tapasztaltak változást a TEAC indexben (FERNANDEZ GARCIA et al. 2001). Érdekes módon a répalében a TEAC index növekedett a HHP kezelés hatására (100-800MPa, 30-65°C, 90perc), de az antioxidáns-kapacitás növekedés mérséklődött a növekvő nyomásszinteken és 40°C feletti kezeléseknél (INDRAWATI et al. 2004).

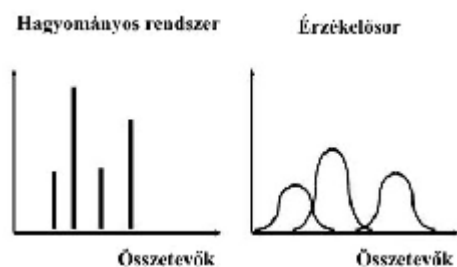
PATRAS és munkatársai (2009) azt tapasztalták, hogy a hőkezelés (70°C, 2 perc) hatására 25%-os csökkenés következett be az antioxidáns-kapacitásban, míg a 400-500-600 MPa nyomáson (15 perc, 10-30°C) 19-16-14%-os csökkenést figyeltek meg. Tehát minél kisebb nyomást alkalmaztak, annál nagyobb volt a csökkenés. Ez a trend az összfenol és C-vitamin eredményeikben is megmutatkozott náluk, így feltételezhető, hogy ezek együtt alakították az antioxidáns-kapacitás értékét. A feketeszeder-minták kezelése során nem mutatkozott különbség sem a hőkezelt, sem a HHP-kezelt mintákban. Sajnos nem határozták meg a feketeszeder C-vitamin tartalmát, így ott nem értékelhetők a tendenciák. FERNANDEZ és munkatársai (2001) a hőkezelt és HHP-kezelt narancslevek antioxidáns-kapacitása tárolás alatt bekövetkezett

változásaival foglalkoztak. Azt tapasztalták, hogy az 500 és 800 MPa nyomáson (20°C, 5 perc) kezelt narancslé antioxidáns-kapacitása a 21 napos tárolás alatt mindössze 15%-nyit csökkent. A csökkenés nagyobb volt a HHP-kezelt mintában, mint a hőkezeltben, de nem szignifikáns mértékben. Az antioxidáns-kapacitás változását itt is a C-vitamin tartalom változásával hozták összefüggésbe.

2.5 Kémiai érzékelősorok alkalmazása gyümölcsök vizsgálatához

2.5.1 Kémiai érzékelősorok fejlődése, működési elve

A kémiai érzékelősorok fejlődése az első elektronikus orr (EN) megalkotásával kezdődött, amit kissé lemaradva követett a komplex ízérezékre kifejlesztett elektronikus nyelv (ET) létrehozása. A szakirodalom áttekintése során nehéz meghatározni ki és hol alkalmazott először EN rendszert. Úgy tűnik egymástól függetlenül Észak-Amerikában, Ázsiában és Európában kíséreltek meg – más-más célból – EN rendszereket kifejleszteni a múlt század 80-as éveiben. Észak-Amerikában a kémiai gázszenzorok kifejlesztése az US Coast Guard számára történt, akik egy olyan hordozható szerkezetet szerettek volna használni, amellyel gyorsan és megbízhatóan kimutathatók a különböző toxikus anyagok (STETTER et al. 1984). Az ázsiai kísérletek során a kutatók az egyes gázok relatív koncentrációját igyekeztek meghatározni (IWANAGA et al. 1984), azonban csak ismert összetételű gázkeverék vizsgálatához volt alkalmazható a rendszer. Az EN rendszer megértését legjobban az európai fejlesztés bemutatása szolgálja. PERSAUD és DODD – a University of Manchester, Institute of Science and Technology munkatársai - az emlősök szagérzékelését igyekeztek utánózni mesterséges érzékszervekkel. Cikkükben (PERSAUD, DODD 1982) az emlősök szaglórendszerének elektronikus modelljét írták le. A modell lényege, hogy a különböző illatmolekulák különböző receptor sejtekhez kötődnek, melynek együttese egy olyan elektromos jelsorozatot eredményez, amit a szagló hólyag (olfactory bulb) közvetítésével agyunk formál szagéretté. Az olfaktorikus neuronok elsődleges neuronoknak is nevezhetők, míg az agyi tevékenységet másodlagos, vagy adatfeldolgozó mechanizmusnak. Az elsődleges neuronok komplexitását jelzi az is, hogy egyrészt mindegyik individuális neuron egyszerre több illatanyagra is reagál, illetve mindegyik illatanyag egyszerre több neuronra is hat. Ez alapján érthető GARDNER és BARTLETT (1994) definíciója, mely szerint az EN egy olyan összetett rendszer, amely elektromos kemoszenzorok sorozatából és alakfelismerésre képes adatfeldolgozó rendszerből áll. A kemoszenzorok az elsődleges neuronok szerepét töltik be, az adatfeldolgozó szoftver pedig az agykéreg emlékező-értékelő feladatával analóg munkát végez.



6. ábra Keresztszelektivitás értelmezése

Az EN lelke a kémiai érzékelősor, melynek egyedi érzékelői nagy érzékenyséűek, de kis specifitást mutatnak az egyes egyedi molekulákra és az illékony komponensekre különböző jelválaszokat adnak, a gázkeverék ún. „ujjlenyomatát” hozzák létre. A félvezető-technika fejlődése során számos olyan új megoldás született, melyet nemcsak az elektronika és a számítástechnika tudott kiaknázni, hanem más területek is. Felismerték, hogy a fém-oxid félvezető érzékelők

(MOS) az illatmolekulák felületi adszorpciója révén képesek megváltoztatni valamely fizikai jellemzőjüket (ellenállás, dielektromos állandó, hőmérséklet) (GÖPEL 1995). Ezt továbbfejlesztve lehetővé vált a gázokban kis koncentrációban jelen lévő illatmolekulák detektálása. Megállapították, hogy az érzékelők érzékenységi spektruma megváltoztatható a rétegvastagság és a szemcseszerkezet változtatásával valamint a kristályszerkezet különböző fémekkel történő szennyezésével, amivel lehetővé vált az érzékelősor többi elemével részleges átfedést mutató érzékenységi tartomány. Ezt a tulajdonságot kereszt-szelektivitásnak nevezzük, mely a kémiai érzékelősorok szenzorainak fontos jellemzője (6. ábra).

A szenzorokkal szembeni elvárás - a kis specifitáson túl – a megfelelő stabilitás és érzékenység, a gyors jelválasz, valamint a kis érzékenység a hőmérsékletre és páratartalomra (SCHALLER et al. 1998). A leggyakrabban alkalmazott érzékelőtípusok:

- Félvezető fénoxidok (MOS: metal oxide semiconductors),
- Félvezető fénoxid tranzisztorok (MOSFET: metal oxide semiconductor field effect transistors);
- Szerves polimer-vezetők (CP: conducting organic polymers) és
- Piezo-elektromos kristályok (QMB: quartz-microbalance) (DICKINSON 1998).

A legelterjedtebb elektronikus orr rendszerek több szenzortípust is alkalmaznak ugyanabban a berendezésben, ezzel is szimulálva a humán érzékelésben szereplő különböző olfaktorikus receptorokat. Az élelmiszervizsgálati célra kifejlesztett elektronikus orr módszerekben a két leggyakrabban használt szenzortípus a MOS és a MOSFET. Az előbbi egy hengeres vagy lapos kerámia hordozóra felvitt fénoxid film, amely lehet un. n-típusú, vagy p-típusú. Az n-típusú szenzor anyaga legtöbbször cink-oxid, vas (III)-oxid, titán-dioxid, vagy ón-dioxid és jellemzője, hogy az oxidáló hatású vegyületekre érzékeny. A p-típusú szenzor jellegzetes anyaga a kobalt-oxid és a nikkell-oxid, érzékenysége pedig a redukáló hatású vegyületekre specifikus. A fénoxid film vastagsága általában 10-300 μm . A MOSFET szenzorok három rétegből állnak: egy félvezető szilícium-rétegből egy szilíciumdioxid szigetelőből és egy fém katalizátorból, ami

általában palládium, platina, irídium vagy ródium. Ez utóbbi réteg a tranzisztorban a kapuelektroda. Amikor egy poláris vegyület lép kölcsönhatásba a kapuelektróddal, az elektromos tér és ennek következtében az átfolyó áram is módosul. Az áram fenntartásához szükséges feszültség-változást mint a szenzor válaszjelét lehet rögzíteni. Mindkét szenzortípusnak kiváló az érzékenysége, jól tűrik a párákat, és az erős ötvözeteknek köszönhetően viszonylag lassan öregsznek. Ugyanakkor érzékenyek a gyúlékony anyagok – mint pl. az alkohol – jelenlétére, és kevésbé hatékonyak a kén- és nitrogén alapú vegyületek detektálásában (MIELLE 1996).

Az elektronikus orr rendszerek jelválaszainak feldolgozása- az adatok természetéből adódóan nem a hagyományos matematikai-statisztikai módszerek szerint, hanem többváltozós, általában az alakfelismerési módszerek csoportjába sorolható eljárásokkal történhetnek. Három eljárás lényegét a későbbiekben ismertetem.

Elektronikus nyelvnek (ET) nevezzük az olyan kémiai szenzor sorokat, melyek a folyadékokban oldott vegyületek nem szelektív módon történő mérésére alkalmasak. A potenciometrikus elven alapuló ET rendszer fejlődését VLASOV és munkatársai (2005) 4 szakaszra bontották. Az első három szakaszban az ionszelektív elektródok fejlődése követhető nyomon (1906–1937: pH üvegelektrodok és ioncsere elmélet; 1961–1969: hagyományos ISE és bioszenzorok; 1970-től napjainkig: mikroelektronika a szenzorfejlesztésben), míg a 4. szakasznak a már említett PERSAUD és DODD (1982) munkájával kezdődő érzékelősorok fejlődése tekinthető. Habár az ET rendszert már 1995-ben bemutatták, a kereskedelmi forgalomban jelenleg csak az α -Astree elektronikus nyelv kapható (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország). A mérés potenciometrikus módon történik, mely során egy referencia elektród (3 M KCl) és az ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor) alapú mérő elektródok között mérjük a potenciál különbséget. A szenzorok különböző anyagú szerves polimer membránokkal vannak bevonva, melyek többféle vegyületre teszik érzékennyé az adott szenzort.

A nemzetközi irodalomban számos példa utal rá, hogy a kémiai érzékelősorok sikeresen alkalmazhatók gyümölcsök vizsgálatára. Több kutatócsoport tanulmányozta, hogy az EN alkalmas-e gyümölcsök minőségi kategóriákba történő osztályozásához. A paradicsom (SINESIO et al. 2000) és az áfonya (SIMON et al. 1996) vizsgálatai során pozitív eredmények születtek. DI NATALE és munkatársai (2002) két őszibarackfajta megkülönböztetéséhez az EN és a látható fény spektrum (VIS) kombinált adatfeldolgozását javasolta, mellyel a csoportalkotás jósága a 87 (EN) és a 71%-ról (VIS) 94%-ra (EN-VIS) emelkedett. REINHARD és munkatársai (2008) 196 citruslevet (76 kereskedelmi forgalomból, 120 saját készítésűt) vizsgált meg EN és SPME-GC-MS rendszerrel külön-külön. Tapasztalatuk szerint a GC alapú módszer

megbízhatóbban különböztette meg a csoportokat egymástól, feltételezhetően a nagyobb számú mért változónak köszönhetően.

A kutatók szerint az EN rendszer ígéretes megoldásnak tűnik gyümölcsök szedési időpont meghatározásához almánál (HINES et al. 1999) és banánnál (LLOBET et al. 1999). SAEVELS és munkatársai (2003) szintén biztató eredményeket tudtak felmutatni alma szedési időpontjának meghatározásában, ugyanakkor a gyakorlati megvalósítás céljára hordozható EN rendszer kialakítását tartják szükségszerűnek.

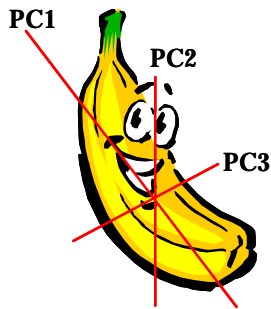
A szedést követő (posztharveszt) kezelések gyümölcsminőségre gyakorolt hatását vizsgálták EN rendszerrel alma és narancs esetében (DI NATALE et al. 2001). Megállapították, hogy narancs esetén az 1 hónapos tárolás alatt az aromaváltozás nemlineáris összefüggést mutat, ami feltehetően a romlási folyamatok megjelenésének is köszönhető. Almánál sikeresen mutatták ki a túlérettesség és a felületi sérülések jelenlétét a gyümölcsökön. Alma tárolás alatt bekövetkezett változásait követték nyomon EN rendszerrel BREZMES és munkatársai (2001) is, akik elfogadható korrelációt tudtak kimutatni az EN szenzorjelek és a referencia paraméterek között (pH, Brix, keménység).

A gyümölcsök vizsgálatára irányuló elektronikus nyelv eredmények még kevésbé ismertek. KÁNTOR és munkatársai (2008) sikerrel alkalmazták az ET rendszert különböző kajszibarack fajták gyümölcseinek megkülönböztetésére és a posztharveszt műveletek monitorozására. Megállapították, hogy elektronikus nyelvvel kimutathatóak azok a különbségek, amelyeket az 1-metilciklopropén (1-MCP) alkalmazása és a szabályozott atmoszférás tárolás okozott gyümölcsök érése során. Az ET vizsgálatokat kiegészítő kémiai és érzékszervi vizsgálatok adataival szoros korrelációt tudtak kimutatni.

2.5.2 Főbb többváltozós statisztikai módszerek

A szenzoradatok értékeléséhez használt főbb statisztikai módszereket egy korábbi közleményünk alapján (DALMADI et al. 2007) ismertetem.

2.5.2.1 Főkomponens-analízis



7. ábra Főkomponens-analízis szórásfelbontásának értelmezése

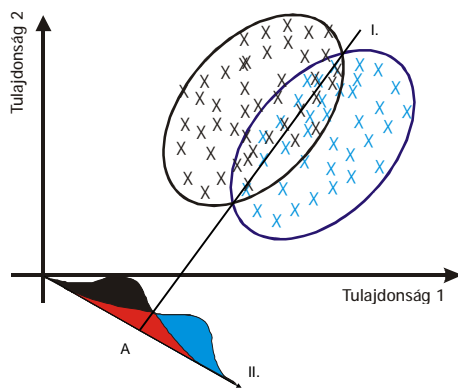
A főkomponens-analízis (Principal Component Analysis, PCA) egy nem felügyelt (unsupervised), lineáris módszer. Segítségével felmérhető, hogy a megfigyelési egységek között természetes módon kialakulnak-e csoportok. Elvégzi a kiindulási adatmátrix dimenziójának csökkentését úgy, hogy a teljes adatmátrixot viszonylag jól reprezentáló, kisszámú háttérváltozó segítségével írja le. Ehhez a változók által kijelölt sokdimenziós térben olyan irányokat

keres, amelyek irányában a mérési eredmények varianciája a legnagyobb (7. ábra). Az első főkomponens (PC1) magyarázza meg a variancia legnagyobb részét. A második főkomponens ortogonális az elsőre, vagyis független attól. Grafikusan ez annyit tesz, hogy a főkomponensek merőlegesek egymásra. A második főkomponens a megmaradt varianciából annyit magyaráz, amennyi csak lehetséges. Ez így folytatódik mindaddig, amíg az összes variancia el nem fogy. A műveletsorral kiemelhetők a releváns információt hordozó főkomponensek, melyek a legnagyobb varianciát adják, és kizárhatjuk a véletlenszerű hibát.

2.5.2.2 Diszkriminancia analízis

A nem felügyelt módszerekkel szemben hatékonyabb szétválasztás érhető el, ha felügyelt unsupervised módszert alkalmazunk. A felügyelt módszerek végrehajtásakor előre definiált csoportok vizsgálata történik. Az egyes csoportokat kialakíthatjuk szakmai ismeret alapján, vagy más többváltozós módszer outputja szerint (pl. klaszter-analízis).

Felügyelt módszer a szintén lineáris kanonikus diszkriminancia-analízis (Canonical Discriminant Analysis, CDA) is. Az algoritmus a megfigyeléseket a mintatérből egy olyan diszkrimináló térbe viszi át, ahol a csoportok a lehető legjobban elkülönülnek, és kiválasztja azokat a változókat, amelyek a csoportok különbözőségét határozottan magyarázzák.



8. ábra A CDA módszer elve

A feladat a főkomponens elemzéssel szemben, hogy nem a teljes varianciát, hanem a csoportok közötti varianciát maximáljuk, miközben a csoporton belülit minimalizáljuk. A szeparáló eljárás azokat a hiperfelületeket keresi, amelyek elválasztják egymástól a minta osztályait feltételezve, hogy az azonos osztályokban szereplő elemek “közel”, a különböző osztályokban szereplők pedig távol helyezkednek el egymástól.

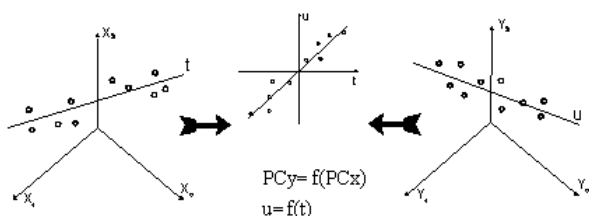
A módszer lényegében a következőképpen jár el (8. ábra): a két halmazt körülvevő szórás-ellipszis metszéspontjain át egyenest (I.) fektet, majd erre az origón átmenő merőleges egyenest illeszt. Ha a pontokat a II. egyenesre vetítjük, akkor a két csoport egyváltozós eloszlása közötti átfedés kisebb lesz, mint bármilyen más egyenes esetén. Az I. egyenes segítségével osztható a minta két csoportba. Ha a szórás-ellipszisek átfednek, az alkotott modell nem adja vissza az összes minta eredeti csoportba tartozását. A szétválasztás jósága vizsgálható annak alapján, hogy az elemek hányad részét sikerült helyesen besorolni. A keresztvalidációval ellenőrizhető a modell megbízhatósága (robosztussága) abban az esetben, ha nem áll rendelkezésre független mintaszett a validáláshoz. Ekkor nem választjuk szét a kalibráló és a validáló mintákat, hanem a mintákat adott tagszámú csoportokba osztjuk, és ezen csoportok közül egyet kihagyunk a kalibrációból, míg a maradék mintákra elvégezzük a kalibrációt. Az így nyert kalibrációs egyenlettel úgy analizáltatjuk a visszatartott csoportot, mintha független, ismeretlen minták lennének, majd statisztikai értékelést követően a visszatartott csoport visszakerül a kalibráló mintaseregbe. A keresztvalidálás során az előbbieken ismertetett műveletsort az összes csoporttal megismétlődik. Amennyiben a csoport egytagú, a minták mindegyike egyszer kihagyásra kerül. Ezt hívjuk teljes keresztvalidációnak (full cross validation).

2.5.2.3 Részleges legkisebb négyzetek - regresszió

Többváltozós regressziós módszerek alkalmasak a mennyiségi adatsorok közötti összefüggések vizsgálatához. A kalibrációnak nevezett művelet elvégzésére, tehát a kalibrációs modell felállításához, különböző statisztikai, kemometriai módszerek közül választhatunk.

Ideális esetben a megfelelő változók kiválasztásával – vagyis elkerülve a keresztkorreláció jelenségét miközben a változók erősen korrelálnak a függő változóval – biztosíthatjuk, hogy egy-egy változó a referencia (y) érték különböző részeit magyarázza. Sajnos a gyakorlatban a változók egymástól ritkán függetlenek. Megoldást jelent, ha az eredeti változók helyett az azokból képzett, új változókkal végezzük el a regressziós feladatot. A főkomponens-regresszió

(Principal Component Regression, PCR) algoritmus az eredeti változók főkomponens-elemzése során alkotott új változók és a függő változók között teremt kvantitatív kapcsolatot. Ezáltal olyan előrebecslést kapunk a függő változó értékére mely használja ugyan az összes eredeti változóban meglévő információt, de kiküszöböli a keresztkorrelációt. Így az előrebecslés (prediction) hibája kisebb lesz mintha az eredeti változókat használnánk, de csak annak az árán, hogy szisztematikus hiba kerül a becslésbe.

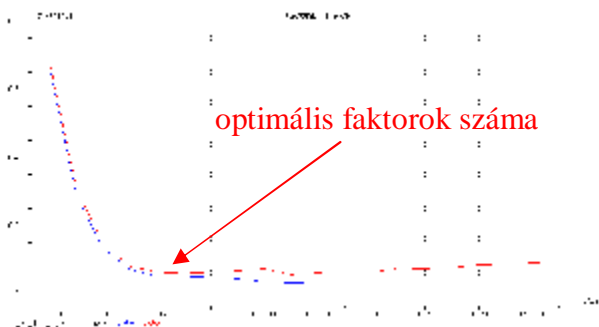


9. ábra A PLS regresszió elve

A részleges legkisebb négyzetek módszere (Partial Least Squares Regression, PLS) a főkomponens-regresszióhoz hasonló módon az eredeti változókból számított látens változókkal dolgozik. Általában a PLS jobb eredményeket ad (kisebb hibát és jobb értelmezhetőséget is), de ez nem szükségszerű.

A jobb eredmények oka, hogy a függő változóban (y) meglévő információt is fölhasználjuk a becslés során, egyidejűleg modellezi a független és függő változót (9. ábra).

A modell a számított rejtett változók számának növelésével egyre nagyobb mértékben írja le az adathalmazok összefüggéseit. A PLS ezekre a változókra részleges kalibrációkat alkalmaz a variancia összegének modellezésére, amelyeket a művelet végén egy átfogó kalibrációs egyenletbe gyűjt.



10. ábra A PLS regresszió látens változó számainak meghatározása (kék görbe: a kalibráció eredménye; piros görbe: a keresztvalidáció eredménye)

Az optimális tagszám meghatározása a PLS kalibráció része: túl kevés változó esetén a kalibráció kevés információt hordoz és nagy predikciós hibával dolgozik, míg túl sok változó alkalmazáskor a modell túlilleszti a kalibrációs adatokat, és az így elveszti a robusztusságát, stabilitását. Az optimális tagszámot rendszerint keresztvalidálással határozzuk meg (10. ábra).

A PLS-regresszió jósága becsülhető olyan számszerűsített adatok, mint a kalibráció standard hibája (a standard error of calibration, SEC), a keresztvalidáció standard hibája (standard error of prediction, SEP) valamint a mért és a PLS-modell által előrejelzett adatok között számított korrelációs együttható (r). Egy megfelelő PLS-modell kis SEC és SEP értékekkel, valamint nagy korrelációs együtthatóval rendelkezik. A SEC és a SEP értékek között lévő nagy különbség jelzi, ha túl sok látens változót építettünk be a

modellbe, és a véletlen hibát (zajhatás) is modelleztük. A SEC és a SEP értékek a következő módon definiálhatók:

$$SEC = \sqrt{\frac{1}{I_c - 1} \cdot \sum_{i=1}^{I_c} (x_i - y_i - bias)^2}, \quad SEP = \sqrt{\frac{1}{I_p - 1} \cdot \sum_{i=1}^{I_p} (x_i - y_i - bias)^2} \quad (3,4)$$

ahol: x_i a mért y_i a PLS-modell által előrejelzett értéke az i -edik mérésnek; I_c a kalibrációs szett megfigyelési egységeinek a darabszáma, I_p a validációs szett megfigyelési egységeinek a darabszáma. Bias a mért és számított értékek közötti szisztematikus eltérést jelenti:

$$Bias = \frac{1}{I_p} \cdot \sum_{i=1}^{I_p} (x_i - y_i) \quad (5)$$

Az optimális faktorszám meghatározás bemutatására szolgáló 12. ábra függőleges tengelyén nem a SEP, hanem az ún. RMSEP (mean-squared error of prediction) érték kerül meghatározásra, mely a következő összefüggés szerint számolandó:

$$RMSEP = \sqrt{\frac{1}{I_p} \cdot \sum_{i=1}^{I_p} (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

2.6 Szakirodalmi eredmények összefoglalása, célkitűzések

Az irodalmi áttekintésben a nemzetközi kutatások eredményein keresztül bemutattam a gyümölcsök, és azokon belül is a bogyógyümölcsök, egészségmegőrzésben betöltött szerepét. Kitértem a nemzetközi és hazai gyümölcsfogyasztási tendenciákra, mely alapján rávilágítottam hazai gyümölcsfogyasztásunk elmaradottságára a tőlünk nyugatabbra fekvő országokhoz képest. Rámutattam, hogy a fogyasztás növelésére szükség van hazánkban, ha cél az egyes daganatos, szív- és érrendszeri betegségek visszaszorítása. A fogyasztás növekedését szolgálja az új típusú, ún. „minimal processing” technológiák terjedése. Bemutattam a nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszertartósítási eljárás potenciális lehetőségeit és rámutattam a technológia előnyeire. Emellett szót ejtettem a technológia alkalmazásának korlátozó tényezőiről is. Hangsúlyoztam, hogy a technológia beruházási költsége igen jelentős, így csak olyan termék esetén célszerű alkalmazni, amelynek alapanyagköltsége elviseli a nagyobb hozzáadott érték terheit. Erre is megoldást nyújthat a nagy biológiai értékkel rendelkező, ugyanakkor a többi gyümölshöz képest drágább bogyógyümölcsök feldolgozása. Utaltam arra is, hogy bogyógyümölcsök – köztük a világon legnagyobb mennyiségben termesztett szamóca, és a hazai bogyóstermelés kiemelkedő alanya a málna - jelentőségét a fogyasztók számára nemcsak biológiai értékük adja, hanem kiváló élvezeti értékük.

Mindezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy érdemes bogyógyümölcs-alapanyagból új típusú technológiával készített pürék előállításával foglalkozni. Távlatilag a nagy

hidrosztatikus nyomású tartósítási technológia csak abban az esetben alkalmazható piacképes termék előállításához, ha jobb minőségű terméket lehet vele előállítani, mint a vele azonos pasztöröző hatású, de lényegesen kisebb beruházási igényű hőkezelés. Így célszerű komplex összehasonlító vizsgálatokban összevetni a két kezelés hatását. Az átfogóbb kép nyeréséhez szükséges mikrobiológiai, fizikai, kémiai és érzékszervi vizsgálatokat is elvégezni. Ugyanakkor önmagában kevés, ha az adott kezelés után közvetlenül a kiinduló állapothoz nagyon hasonló terméket kapunk, de a kezelést követő tárolás alatt a tárolási körülmények esetleg nagyobb mértékben megváltoztatják a termék egyes tulajdonságait. Tehát meg kell vizsgálni a kezelést követő tárolási időszak körülményeinek hatását. Mivel a kémiletesen kezelt termékeknél a frissesség megőrzése céljából feláldozzuk a hosszú eltarthatóság esélyét, így elegendőnek tartottam viszonylag rövid tárolási periódus vizsgálatát.

Mindezek alapján a vizsgálataim során a következő kérdésekre kerestem a választ:

1. Mekkora mértékű nagy hidrosztatikus nyomású kezelés eredményez hőhatásmentesen mikrobiológiailag stabil szamóca- és málnapürét a viszonylag rövid idejű (4 hét) tárolási időszak alatt? Mekkora hőterhelés (hőkezelési hőmérséklet, -idő) tekinthető ezzel mikrobiológiai szempontból azonos pasztörözési szintnek?
2. Igazolható-e, hogy a nagy hidrosztatikai nyomású kezelés jobban megőrzi a szamócából és málnából készített gyümölcspürék érzékszervi tulajdonságait? Az esetleges különbségek kimutathatók-e érzékszervi bírálattal és műszeres vizsgálati módszerekkel?
3. Kevésbé csökkenti-e a szamócából és málnából készített gyümölcspürék biológiai aktivitását (C-vitamin-, összes fenol-, összes antocianin tartalom, antioxidáns-kapacitás) a nagy hidrosztatikus nyomású technológia, mint a vele azonos pasztöröző hatású hőkezelés?
4. Megjelennek-e különbségek, vagy fokozódnak-e a kezelésekre hatására kialakult különbségek a kezelést követő, különböző hőmérsékleteken végzett (5, 10 és 20°C), rövid idejű tárolás (4 hét) alatt? Eltarthatók-e a termékek szobahőmérsékleten?

3 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

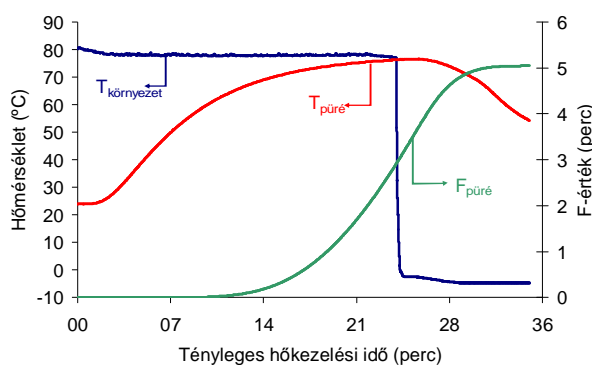
3.1 Gyümölcs-alapanyagok

A kísérletek tervezésekor figyelembe kellett vennem, hogy a szezonális friss nyersanyag vizsgálata igencsak korlátozta volna a vizsgálataim időtartamát, és az esetenkénti friss anyag kiindulási értékei is sokban különbözhetek volna egymástól. Az ipari termelésből származó gyümölcsökről feltételeztem, hogy mint egy nagyobb tétel reprezentatív mintái, homogénebb induló minőséget képviseltek. Mivel az egyik legkíméletesebb tartósított, hosszabb ideig is jól tárolható alapanyag a gyorsfagyasztott gyümölcs (ZHAO 2007), a tárolási kísérleteimhez hűtőházból származó gyorsfagyasztott szamócát és málnát használtam fel.

3.1.1 Mintaelőkészítés a tárolási kísérletekhez

A gyorsfagyasztott szamócát és málnát szobahőmérsékleten felengedtettem, majd Robot Coupe C80A passzírozó géppel pürét állítottam elő belőlük. A minták cukortartalmát kristálycukor hozzáadásával 20 ref.%-ra állítottam be (ATAGO PR 101 digitális refraktométer). Korábbi évtizedekben forgalomban volt olyan cukrozott gyümölcskészítmény, melynek vízdoldható-száranyagtartalma 26%-os volt (ALMÁSI 1977). Ez a koncentráció vizsgálataimhoz soknak bizonyult, túlságosan édes ízűvé vált a termék. Ezért döntöttem a kisebb cukortartalmú termék mellett. A cukrozott pürét műanyag fiolákba (30 ml-es, kis sűrűségű, széles szájú NALGENE 2103-0001) töltöttem majd csavarkupakkal lezártam.

3.1.2 Gyümölcspürék hőkezelése



11. ábra Hőmérséklet és a hőkezelési egyenérték alakulása a termikus középpontban a szamócápüré 80°C-os kezelésekor

A minták egy részét Armfield FT40 kevertetett termosztátban hőkezelttem 80°C 5 perces hőegyenértékig. Mivel a vastagabb falú műanyag fiola hőszigetelő hatását és a betöltött minta hőtehetetlenségét is figyelembe kívántam venni, így ELLAB TM 9604 C adatgyűjtő berendezéshez csatlakoztatott hőmérséklet-érzékelőkkel folyamatosan mértem a minták maghőmérsékletét, és PC SOFT 96

számítógépes program segítségével hőkezelési egyenértéket (F-érték, 11. ábra) számoltattam a

$$F = \int_{t_1}^{t_2} 10^{\frac{T-T_{ref}}{z}} dt \quad (7)$$

összefüggés alapján,

ahol: t az idő [perc], T az aktuális hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$], T_{ref} a kiválasztott referencia hőmérséklet [80°C], z a tizedre csökkenési idő (D) egy nagyságrenddel történő csökkenéséhez tartozó hőmérséklet növekmény [10°C]. Mivel a mezofil vegetatív sejtek z -értéke $5-9^{\circ}\text{C}$, a hőtűrő mikrobáké $15-20^{\circ}\text{C}$, így a kezeléseimhez $z=10^{\circ}\text{C}$ -ot választottam. A mintákat a hőkezelést befejeztével jeges vízben hűtöttem le.

3.1.3 Gyümölcspürék HHP kezelése



12. ábra Food Lab® nagy hidrosztatikus nyomású berendezés külső termosztáttal

A műanyag fiolákba töltött gyümölcspüréket “Food Lab900” nagy hidrosztatikus nyomású berendezésben kezeltem (model S-FL-850-9-W, STANSTED Fluid Power Ltd., UK) 600 MPa nyomáson 5 percig. A kezelés hőhatásmentességét külsőleg csatlakoztatott termosztátban 4°C -ra lehűtött víz keringtetésével biztosítottam (12. ábra). Az alkalmazott nyomásemelési és –elengedési folyamat kellően lassú volt ahhoz (kb. $9-9$ perc), hogy elkerüljem a hirtelen nyomásváltozásból eredő nagymértékű adiabatikus melegedést és hűlést. Mivel a pürék hőmérséklete nem emelkedhetett 20°C felé a kezelés során, így elmondható, hogy valóban hőhatásmentes nyomáskezelés valósult meg.

A nyomásközvetítő közeg etil-alkohol volt, melyet az olajozás és a korrózióvédelem céljából 15% ricinusolajjal egészítettem ki. A termékkosár átmérője 37 mm , a hossza 300 mm , melyben négy, pürével töltött fiola fért el egy-egy kezelési ciklus alatt.

3.1.4 Gyümölcspürék tárolása

A tárolási körülmények (hőmérséklet, idő) hatásának vizsgálatához a különböző módon kezelt bogyópüréket három különböző hőmérsékleten (5 , 10 és 20°C) tároltam 4 hétig. A két kisebb hőmérsékleten tárolt mintákat Crown Cool J-600-2/F hűtővitrinben tartottam, míg a 20°C -os mintákat folyadéktermosztátban helyeztem el (HAAKE C40 P, Vreden, Németország) az állandó hőmérséklet biztosítása végett. A különböző vizsgálatokhoz a $0.$, a $14.$ és a $28.$ napon vettem mintákat.

3.1.5 Mintaelőkészítés az enzimvizsgálatokhoz

A Marie Curie ösztöndíjprogram keretében a leuven-i Katolikus Egyetem Élelmiszertechnológiai Laboratóriumában számóca polifenoloxidáz enzim hő és nyomásinaktiválásának kinetikáját tanulmányoztam. Ezekhez a vizsgálatokhoz a számócát (*Fragaria ananassa*, cv *Elsanta*) érett állapotban a helyi bevásárló központban szereztem be.

3.1.5.1 Enzimkivonási és tisztítási folyamat

Az enzimkivonás és tisztítás során SERRADELL és munkatársai (2000) útmutatásait követtem kisebb változtatással. A módosítás során az anionos detergenst tartalmazó oldószert ionos vegyülettel (konyhasóval) egészítettem ki, miáltal sikerült a sejtfalhoz kötött enzimet nagyobb mértékben oldatba vinni. Az enzimkivonás lépéseit részletesen 2006-ban publikáltam szerzőtársaimmal (DALMADI et al. 2006).

3.1.5.2 Szamócából izolált polifenol-oxidáz enzim hőinaktiválása

A szamócából izolált PPO hőinaktiválásának kinetikai paramétereit (k , E_a) izotermikus inaktivációs kísérletsorozatban határoztam meg. Az enzimoldatot 100 μ l-es Hirschmann ($d=1,5$ mm, $L= 150$ mm) üvegapillárisokba töltöttem, majd 50-65°C hőmérsékleti tartományban különböző inkubációs idejű kezeléseket végeztem hőmérséklet szabályozóval ellátott vízfürdőben. A kezelt mintákat jeges vízben helyeztem el az aktivitásmérésig (a tárolási idő maximum 60 perc lehetett). A vak (A_0) minta enzimaktivitását a hőkezelés nélküli minta aktivitásaként határoztam meg.

3.1.5.3 Szamócából izolált polifenol-oxidáz enzim kombinált hő- és/vagy nagy hidrosztatikus nyomásos inaktiválása

A szamócából izolált PPO kombinált hő- illetve nyomáskezelésének kinetikai paramétereit izoterm-izobar inaktivációs kísérletsorozatban határoztam meg a maradék enzimaktivitás mérésén keresztül. Valamennyi mérés a hőmérséklet-szabályozóval (-20°C-tól 100°C hőmérsékletig) ellátott, nagynyomású (max. 1000 MPa) kezelésre alkalmas, többedényes készülékben történt (HPIU-10.000 serial no. 95/1994, Resato, Roden, Hollandia) (13. ábra). A nyomásközvetítő közeg glikol-olaj keverék volt. A kezeléseket 100-750 MPa nyomástartományban és 10-65°C hőmérséklettartományban végeztem. A nyomáskezelési kísérletekhez flexibilis mikrotubusokat (Elkay, Belgium) használtam, amelyekbe egyenként 0,3 ml enzimoldatot helyeztem.



13. ábra Többkamrás nagy hidrosztatikus nyomású berendezés (HPIU-10.000)

A mikrotubusokat a kívánt hőmérsékletre beállított kamrákba helyeztem és lezártam. A külső hűtés ellenére fellépő adiabatikus melegedés elkerülése érdekében a nyomást csak 100 MPa min^{-1} sebességgel növeltem (NGUYEN et al. 2002). A kívánt nyomásérték beállítása után két perc kiegyenlítődesi időt hagytam, hogy a hőmérséklet is megfelelő értéken legyen. A két perces kiegyenlítődesi idő után mért enzimaktivitást vettem 100 százaléknak csak az ezután eltelt időt tekintettem inkubációs időnek. A nyomás

elengedése kamránként külön-külön történt, és pillanatszerűen zajlott le. A mintákat azonnal jeges vízbe helyeztem és 60 percen belül megmértem az enzimaktivitását.

3.2 A kísérletek során alkalmazott módszerek

A tárolási vizsgálatok jelentős része a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar Hűtő- és Állatiermék Technológia Tanszékén történt. A mikrobiológiai vizsgálatokat a BCE ÉTK Mikrobiológia és Biotechnológia Tanszékén valamint a Központi Élelmiszertudományi Kutatóintézet Mikrobiológia Osztályán végeztem, az elektronikus nyelvvel és rotációs viszkoziméterrel a BCE ÉTK Fizika- Automatika Tanszékén dolgoztam, míg a HPLC vizsgálatok a KÉKI Analitika Osztályán történtek.

3.2.1 Mikrobiológiai vizsgálatok

Vizsgáltam a minták aerob összes élősejtszámát valamint élesztő- és penészs számát. Az aerob összes élősejtszámot hagyományos lemezöntéses eljárással határoztam meg (MERCK 1.05463) 48 órás 30 °C-os inkubációt követően, míg az élesztő- és penészs számot RBC agaron (Rose-bengal Chloramphenicol) felületi szélesztéssel határoztam meg 3-5 napos 25 °C-os inkubációt követően. Minden mintából három ismétlésben határoztam meg az aerob összes élősejtszámot valamint az élesztő- és penészs számot.

3.2.2 Érzékszervi vizsgálatok

Az érzékszervi bírálatok során alkalmanként minimum 10 bíráló (képzett és képzetlen bírálókat egyaránt tartalmazó csoport) mondott véleményt a pürékről. Közvetlenül a kezeléseket után profilanalízist végeztem annak érdekében, hogy részletesen megvizsgáljam, mely érzékszervi

tulajdonságban következett be változás a kezelések hatására. Ennek során számos érzékszervi tulajdonságról (mint például a szín, főtt és idegen illat valamint íz, összbenyomás stb.) kellett a bírálóknak véleményt alkotniuk strukturálatlan skálán történő jelölésekkel. A bírálati lap a dolgozat M2. mellékletét képezi. Valamennyi vizsgálati időpontban preferencia-vizsgálatot is végeztem, ahol a bírálók a 4 érzékszervi tulajdonságra (szín, illat, íz, állomány) egyenként maximum 9 pontot adhattak (1=rendkívül szegényes/-gyenge, 3=szegényes/gyenge, 5=kifogástalan, 7=jó, 9=kitűnő), majd a pontszámokat Kramer-féle rangsorolós módszerrel értékeltem (KRAMER, TWIGG 1962).

3.2.3 Állományvizsgálat



14. ábra HAAKE RotoVisco®1 rotációs viszkóziméter

A folyékony gyümölcspürék állományában bekövetkezett változásokat HAAKE RotoVisco®1 (Thermo Electron Corporation) rotációs viszkóziméterrel vizsgáltam meg (14. ábra). Z20 DIN szenzorrendszert használtam a mérésekhez, mely magában foglalta a rotort, a mintatartót és a DIN 53019/ISO3219 mérőfejet.

A rotor felpörgetése során a sebességgradiens értéke lineárisan változott $10 \text{ s}^{-1} - 100 \text{ s}^{-1}$ között a beállított 180 másodperc alatt. Az adatokat (Ω , η , τ , s) a berendezéshez csatlakoztatott személyi számítógép másodpercenként rögzítette. A mintákat 10°C -os hűtőszekrényben tartottam a vizsgálat megkezdéséig. Mintánként 3 párhuzamos mérést végeztem. A mérési adatokra a MACEIRAS és munkatársai (2007) által különböző gyümölcspürék viszkozitásának modellezésére is használt Ostwald-Waele modellt illeszttem (8).

$$h = K \cdot g^{n-1} \quad (8)$$

ahol: η a látszólagos viszkozitás (Pa s), K a konzisztencia-faktor (Pa s^n), γ a sebességgradiens (s^{-1}) és n a folyásindex.

3.2.4 Illékony komponensek műszeres vizsgálata



15. ábra NST 3320 elektronikus orr

Az NST 3320 (Applied Sensor Technology, Linköping, Svédország) elektronikus orr (15. ábra) 10 katalitikus fém érzékelőt (MOSFET, metal oxide semiconductor field effect transistor), 12 fém-oxid félvezetőt (MOS, metal oxide semiconductor) és egy relatív nedvességtartalmat meghatározó szenzort tartalmaz. A mérésekhez tiszta referenciagázként szárítóoszlopon (szilika gél) és aktív szén oszlopon átáramoltatott környezeti levegő szolgált. A gázáramlás sebessége 50

ml/perc volt. Az alapvonal felvétele 10 másodpercig tartott, amit 90 másodperces mintagáz áramoltatása követett. A szenzorok regenerálódása 300 másodpercig tartott 150 másodperces öblítéssel. A mérés hőmérséklete 25°C volt. A mintákból hígítatlanul 5-5 ml-nyit gázkromatográfiás mérésekhez használt 30 ml-es üvegcsébe helyeztem, majd teflon bevonatú záróelemmel lezártam. Mintánként 3 üvegcsét töltöttem meg és üvegcsénként 3 ismétlést végeztem. A kapott adatokat diszkriminancia-analízissel (SPSS 11.0) dolgoztam fel.

3.2.5 Műszeresen mérhető ízjellemezők vizsgálata



16. ábra α-ASTREE elektronikus nyelv

A vizsgálatokat α-ASTREE elektronikus nyelv rendszerrel (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország, 16. ábra) végeztem. A mérés potenciometrikus módon történt, mely során egy referencia elektród (3 M KCl) és az ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor) alapú mérő elektródok között mértem a potenciál különbséget. A szenzorok különböző anyagú szerves polimer membránokkal voltak bevonva,

melyek többféle vegyületre tették érzékenyvé az adott szenzort. A szenzorok bemerítéséhez szükséges minta mennyisége 100 ml volt (30 g mintát 200 ml-re hígítottam majd leszűrtem). A mérések során az élelmiszerek mérésére alkalmas szenzorsort használtam, mely 7 elektródot tartalmaz. A szenzorok kereszt érzékenyek voltak, tehát minden íz anyagra mutattak szenzitivitást, de különböző érzékenységi szinten. A mérések során minden mintát 7-szeres ismétléssel (melyből az első kettőt a kiértékelés során elhagytam) 120 másodpercig mértem, mely idő elegendő volt az egyensúlyi állapot elérésére minden szenzor esetében. Minden mérés

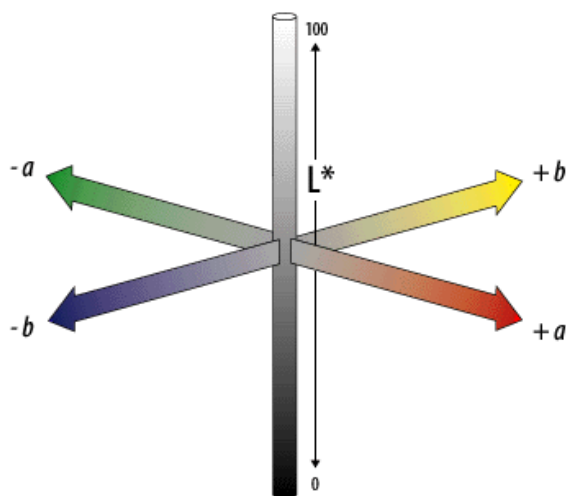
után 30 másodpercig desztillált vízzel tisztítottam le a szenzorokat. A méréseket szobahőmérsékleten végeztem. A kapott szenzor jelválaszoknak az utolsó 10 másodpercét szenzoronként átlagoltam és ez képezte a főkomponens-analízis (Camo Unscrambler 9.2) és diszkriminancia-analízis (SPSS 11.0) bemenő adatát.

3.2.6 Színmérés



17. ábra Minolta CR-200 színmérő készülék

A színmérést Minolta CR-200 típusú tristimulusos színmérő készülékkel végeztem (17. ábra), amely reflexiósszínmérésre alkalmas. A CIELAB rendszerben az L^* a világossági tényező (fekete pont: $L^*=0$; a fehér $L^*=100$), az a^* a vörös-zöld színezetre jellemző, b^* pedig a sárga-kék (az előjelük: $+a^*$ piros; $-a^*$ zöld; $+b^*$ sárga; $-b^*$ kék.) (18. ábra)



18. ábra CIELAB színingertér értelmezése

A CIELAB színingertér a színezet jellemzésére vektorformájú mennyiségeket használ. A színinger különbség (ΔE^*_{ab}) a CIELAB rendszer legfontosabb jellemzője. A színinger-különbség két minta összehasonlításakor:

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad (9)$$

Megadhatók olyan tartományok, amelyekkel a kapott színinger-különbözlet számszerű értéke megfeleltethető az emberi érzékelés szintjének (3.táblázat).

3. táblázat Az átlagos emberi szem színkülönbség értékelése

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

Mivel a minták mennyisége és jellege nem tette lehetővé, hogy közvetlenül a rostos gyümölcspüré színállapotát vizsgáljam, így műanyag fólián keresztül végeztem el a mérést. Az ebből fakadó eltérést úgy próbáltam meg minimalizálni, hogy a méréseket megelőző kalibrációt nem egyszerűen a fehér próbatesten (kerámialapon) végeztem el, hanem a mérőfej alá tiszta műanyag fóliát is tettem. Minden egyes vizsgálat alkalmával valamennyi kezelés mintáiból 10-10 párhuzamos mérést végeztem.

3.2.7 Összes fenoltartalom meghatározása

A galluszsavra vonatkoztatott összes fenoltartalmat Folin-Ciocalteu reagenssel $\lambda=760$ nm-en (SINGLETON, ROSSI 1965) spektrofotometriásan mértem, mintánként 3 ismétléssel, g/l mértékegységben.

3.2.8 Összes antocianin tartalom meghatározása

A bogyósok színanyagait GIUSTI és WROLSTAD (2000) útmutatása alapján határoztam meg mintánként 3 ismétléssel, mg/l mértékegységben.

3.2.9 Antioxidáns-kapacitás meghatározása

A bogyógyümölcs-pürék antioxidáns-kapacitásának meghatározásához BENZIE és STRAIN (1996) módszerét alkalmaztam. Az aszkorbinsavval készített kalibrációs görbe segítségével $\mu M_{\text{aszkorbinsav/l}}$ dimenzióban határoztam meg a minta antioxidáns-kapacitását, mintánkénti 3 ismétlésben.

3.2.10 C-vitamin tartalom meghatározása

A 0,5 g gyümölcspürét kvarchomok segítségével eldörzsöltem és 5,5 ml 3%-os metafoszforsav oldatot adtam hozzá. Rázógépen 15 percig rázattam és utána szűrőpapíron átszűrtem. A HPLC vizsgálat előtt 0,45µm-es PTFE mikroszűrőn tisztítottam (DAOOD et.al. 1994). Mintánként 3 ismétlést végeztem, és a C-vitamin tartalmat mg/100g-ban határoztam meg.

Berendezés: Waters Alliance HPLC berendezést használtam, amely 2965 típusú Waters Separation Modul és Waters 2996 diódasoros detektort tartalmazott. Az adatrögzítést és az adatfeldolgozást Empover szoftver segítségével végeztem.

Oszlop: Az elválasztáshoz Nucleosil 100-5 C18 oszlopot használtam.

4. táblázat Gradiens elúciós program a C-vitamin elválasztására

Elúciós idő (perc)	Eluens	
	A(%)	B(%)
0.01	100	0
10	80	20
13	60	40
15	60	40
17	100	0
20	100	0

Elúció: gradiens („A” eluens: 0,01 M KH₂PO₄ puffer 2,75 pH-ra tömény foszforsavval állítva; „B” eluens: acetonitril).

A gradiens elúció lépéseit a 4. táblázat tartalmazza.

Áramlási sebesség: Az eluensek áramlási sebességét 0,7 ml/percre állítottam be.

Detektálás: Diódasoros detektálással végeztem. A spektrumot 200-400 nm között rögzítettem, és a kvantitatív meghatározás céljából 244 nm-nél detektáltam a C-vitamint.

Azonosítás: Standard C-vitamin oldat (100µg/ml) és a spektrumfelvétel segítségével azonosítottam a C-vitamin csúcsát a kromatogramon. A csúcs tisztaságát peak purity display alapján végeztem.

3.2.11 Antocianin és más flavonoid komponensek meghatározása

A 2 g gyümölcsöt kvarchomok segítségével eldörzsöltem és a pektinkiválás elkerülése érdekében először a vizes fázisú oldószerrel (4 ml 2%-os ecetsav-víz elegy) kevertem el és csak ezt követően adtam hozzá az alkoholos oldószerrel (4 ml 2%-os ecetsav-metanol elegy). Rázógépen 15 percig rázattam, utána centrifugáltam 15 percig 10000 fordulatszámon. A felülúszót Chromafil PP/MV A-45/25 fecskendőszűrőn szűrtem le. Mintánként 3 ismétlést végeztem.

Berendezés: ugyanaz, mint a C-vitamin vizsgálatnál.

Oszlop: Az elválasztást Nucleodur Sphinx RP, (5µm, 250mmX4,6mm) oszlopon végeztem.

Elúció: A gradiens módszerhez „A” eluensként 5% hangyasavat tartalmazó vizes oldatot, „B” eluensként 60/35/5 arányú metanol/víz/hangyasav elegyet használtam. A gradiens elúció lépéseit a 5. táblázat tartalmazza.

Áramlási sebesség: Az eluensek áramlási sebessége 0,6 ml/perc volt.

Detektálás: Diódasoros detektálással végeztem. A spektrumot 200-600 nm között rögzítettem, a kiértékelést az antocianinoknál 516 nm-en míg a többi flavonoid vegyületeknél (flavonolok) 344 nm-en végeztem.

5. táblázat Gradiens elúciós program az antocianinok és más flavonoidok elválasztására

Elúciós idő (perc)	Eluens	
	A(%)	B(%)
0.01	100	0
30	10	90
35	10	90
37	0	100
47	0	100
50	100	0

Azonosítás: Spektrum felvétel adatai és retenció idő alapján, az irodalmi adatokkal összehasonlítva hasonló HPLC módszer alkalmazásával.

(CHANDRA et al. 1992; GAO, MAZZA 1995).

3.2.12 Szamócából izolált polifenol-oxidáz enzim vizsgálata

3.2.12.1 A polifenol-oxidáz enzim aktivitásának mérése:

A PPO aktivitást spektrofotométeres eljárással határoztam meg 25°C-on 420 nm-en 50 mM-os katehol szubsztrátban (FLURKEY, JEN 1978).

3.2.12.2 Kinetikai adatfeldolgozás

Az enzim inaktiváció gyakran elsőrendű kinetikával leírható:

$$\ln(A) = \ln(A_0) - kt \quad (10)$$

ahol: A a komponens aktivitása adott t idejű kezelés után és k a tanulmányozott nyomás/hőmérséklet inaktivációs sebesség hányadosa. Elsőrendű kinetika esetén az inaktivációs sebesség hányados lineáris regresszióval meghatározható, ha az adott konstans környezeti feltételekhez tartozó $\ln(A)$ értékeket az inaktiválási idő függvényében ábrázoljuk.

Az inaktivációs sebesség hányadosok hőmérséklet / nyomás függését az Arrhenius (11) vagy az Eyring (12) modellel határozhatjuk meg.

$$\ln(k) = \ln(k_0) + \left[\frac{E_a}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (11)$$

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \left[\frac{V_a}{RT} \cdot (P - P_0) \right] \quad (12)$$

ahol: T és P az abszolút hőmérséklet (K) és nyomás (MPa), T_0 és P_0 a referencia hőmérséklet (K) és nyomás (MPa), k_0 a k a T_0 és P_0 helyen (/min); E_a az aktivációs energia (kJ/mol); V_a az aktivációs térfogat (cm^3/mol) és R az univerzális gázállandó.

Mikor több izoenzim jelenléte feltételezhető, melyek eltérő módon reagálnak a hő- illetve nyomás kezelésre, és mindkét frakció külön-külön elsőrendű kinetika szerint inaktiválódik, akkor kétfázisú kinetikus modelltől beszélhetünk (13). Ilyenkor többnyire egy gyors inaktiválódást egy időben elnyújtott, lassú további csökkenés követ. A kétfázisú inaktiváció kinetikai paraméterei nemlineáris regresszióval becsülhetők a következő összefüggés szerint:

$$A = A_L \cdot \exp\left(-k_{Lref} \cdot \exp\left(\frac{E_{aL}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right) \cdot t\right) + A_S \cdot \exp\left(-k_{Sref} \cdot \exp\left(\frac{E_{aS}}{R} \cdot \left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T}\right)\right) \cdot t\right) \quad (13)$$

ahol az L és S alsó indexek a hőérzékeny („labilis”) és a hőstabil (stabil) enzim frakciókat jelölik.

3.2.12.3 Kombinált hő- és nyomás függés matematikai modellje

A 2.4.1. fejezetben bemutatott (2) összefüggés kinetikus modellé alakítható át az átmeneti állapotra vonatkozó Eyring elméleten keresztül, mely szerint az enziminaktivációt olyan metastabil állapot kialakulása kíséri, mely egyensúlyban van a natív enzimmel (SONOIKE et al. 1992; WEEMAES et al. 1998; INDRAWATI et al. 2000). Ha figyelembe vesszük SMELLER (2002) javaslatát, akkor az inaktivációs sebesség hányadosok hőmérséklet és nyomásfüggését leíró következő másodrendű összefüggéshez jutunk:

$$\ln(k) = \ln(k_0) - \frac{\Delta V_0^\ddagger}{R \cdot T} \cdot (P - P_0) + \frac{\Delta S_0^\ddagger}{R \cdot T} \cdot (T - T_0) - \frac{\Delta b^\ddagger}{2 \cdot R \cdot T} \cdot (P - P_0)^2 + \frac{\Delta C_p^\ddagger}{R \cdot T} \cdot \frac{(T - T_0)^2}{2 \cdot T_0} - \frac{2 \cdot \Delta a^\ddagger}{R \cdot T} \cdot (P - P_0) \cdot (T - T_0) \quad (14)$$

ahol: T_0 és P_0 a referencia hőmérséklet (K) és nyomás (MPa); $k(P, T)$ és $k_0(P_0, T_0)$ az inaktivációs sebesség hányados (min^{-1}); Δb^\ddagger az összenyomhatósági faktor ($\text{cm}^6 \text{J}^{-1} \text{mol}^{-1}$); Δa^\ddagger a hőtágulási együttható ($\text{cm}^3 \text{mol}^{-1} \text{K}^{-1}$); ΔC_p^\ddagger a hőkapacitás ($\text{Jmol}^{-1} \text{K}^{-1}$); ΔV_0^\ddagger ($\text{cm}^3 \text{mol}^{-1}$) és ΔS_0^\ddagger ($\text{Jmol}^{-1} \text{K}^{-1}$) natív és denaturált állapot között létrejött térfogat és entrópia változás a P_0 és T_0 pillanatban, R_T az univerzális gázállandó ($8.314 \text{Jmol}^{-1} \text{K}^{-1}$).

A mért adatokra illesztett modell jóságának vizsgálatához a korrigált r^2 és a modell standard hibája alkalmas:

$$\text{Korrigált } r^2 = \left[1 - \frac{(m-1) \left(1 - \frac{SSQ_{\text{regresszió}}}{SSQ_{\text{total}}} \right)}{(m-j)} \right] \quad (15)$$

$$SD = \sqrt{\frac{SSQ_{\text{maradék}}}{(m-j)}} \quad (16)$$

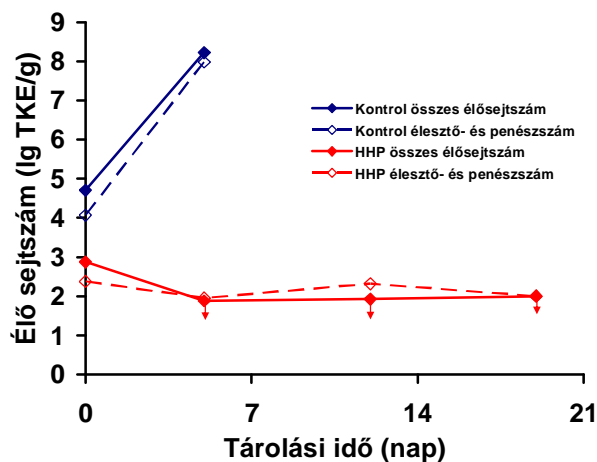
ahol: m a megfigyelési egységek száma, j a modell paramétereinek száma, SSQ a négyzetes eltérések összege és az SD a standard hiba.

4 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

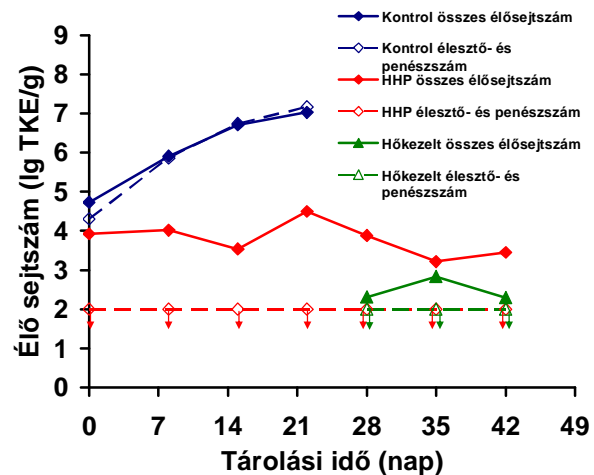
4.1 Mikrobiológiai vizsgálatok

A 2.4. fejezet egyes bekezdéseiben leírtak alapján az alkalmazható nagy hidrosztatikus nyomás mértékét a lehetséges 100-800 MPa tartományról a 400-600 MPa nyomástartományra szűkítettem le, és a hőkezelés mértékét 80-90°C körül határoztam meg.

A 19. ábra mutatja a málnalével végzett előkísérleteim eredményeit, melyet a 2003-ban publikáltam (DALMADI 2003). Azt tapasztaltam, hogy a 600 MPa 20 perces nagy hidrosztatikai nyomású kezelés az induló élő sejtszámot ($5 \cdot 10^4$ TKE/g) 2 nagyságrenddel csökkentette. Az induló mikrobióta jelentős részben élesztőből és penészből állt, s ez a kezelést követő tárolás (30°C, 19 nap) alatt is érvényesült mind a kontroll mind a nyomáskezelt mintákban. A kontroll minták már a tárolás első napjaiban megromlottak, miközben a nyomáskezelt minták összes élő sejtszáma stabilan kicsinek ($8 \cdot 10^1$ - $7 \cdot 10^2$ TKE/g) mutatkozott a 19 napos tárolás során, és az élesztő- és penészek száma a kimutathatósági szint körül mozgott (10^2 TKE/g).



19. ábra Kezeletlen málnapüré élő sejtszámának változása nyomáskezelés (600 MPa, 20 perc, 4°C) és 30°C-on végzett 19 napos tárolás hatására



20. ábra Kezeletlen málnapüré élő sejtszámának változása hőkezelés (90°C, 10 perc), nyomáskezelés (400 MPa, 20 perc, 4°C) és 4°C-on végzett 42 napos tárolás hatására

Amikor a málnamintákat csak 400 MPa nyomással 20 percig kezeltem (20. ábra), az összes élő sejtszámban mindössze 1 nagyságrendnyi csökkenés mutatkozott. Viszont míg a 4°C-on történő tárolás során a kezeletlen minta összes élő sejtszáma a 20. napra elérte a 10^7 TKE/g értéket, addig a HHP kezelt minta összes élő sejtszáma (10^4 TKE/g) nem változott a 45 napos tárolás alatt, és az élesztő- és penészs szám továbbra is a kimutathatósági szint alatt volt. Ennél a kísérletnél 90°C-on 10 percig hőkezelt mintákat is készítettem, amiket a HHP kezelt mintákkal együtt tároltam. Azt tapasztaltam, hogy a HHP kezelésnél hatékonyabb volt a mikroba-

inaktiváció, a hőkezelést követően a tárolás végéig $2 \cdot 10^2$ - $7 \cdot 10^2$ TKE/g értékek között mozogtak a minták összes élő sejtszámai.

Mivel gazdaságossági szempontból előnytelen, ha a kezelés időtartama meghaladja az 5-10 percet (MYLLMÄKI 1996; JORDAN et al. 2001), valamint az előkísérletek alapján a 400 MPa kevésnek a 90°C soknak mutatkozott, így kísérletet végeztem 600 MPa 5 perc és 80°C 5 perc kezelési szintekkel. A 6. táblázatban bemutatott eredmények mutatják, hogy a minták összes élő sejtszámában egy nagyságrendnyi csökkenés következett be a kezelésekre hatására. A vegetatív sejtek feltehetően inaktiválódtak és csak a spórák élték túl a kezeléseket. A táblázat eredményeiből látható, hogy a kezelt minták összes élősejtszáma a 4 hetes szobahőmérsékletű tárolás alatt sem változott.

6. táblázat Kezeletlen, cukrozott bogyógyümölcs-pürék összes élő sejtszámának változása hőkezelés (80°C, 5 perc), nyomáskezelés (600 MPa, 5 perc, 4°C) és különböző hőmérsékleteken végzett 28 napos tárolás hatására

	Szamóca			Málna		
	Kontroll	HHP	Hőkezelt	Kontroll	HHP	Hőkezelt
0 nap	$1,1 \cdot 10^3$	$5,2 \cdot 10^2$	$3,6 \cdot 10^2$	$2,17 \cdot 10^3$	$1,3 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$
28. nap	5°C	$3,3 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$	$9,9 \cdot 10^2$	$1,3 \cdot 10^3$	
	10°C	$6,3 \cdot 10^2$	$2,0 \cdot 10^2$	$5,4 \cdot 10^2$	$9,8 \cdot 10^2$	
	20°C	$5,8 \cdot 10^2$	$5,4 \cdot 10^3$	$7,3 \cdot 10^2$	$4,1 \cdot 10^2$	

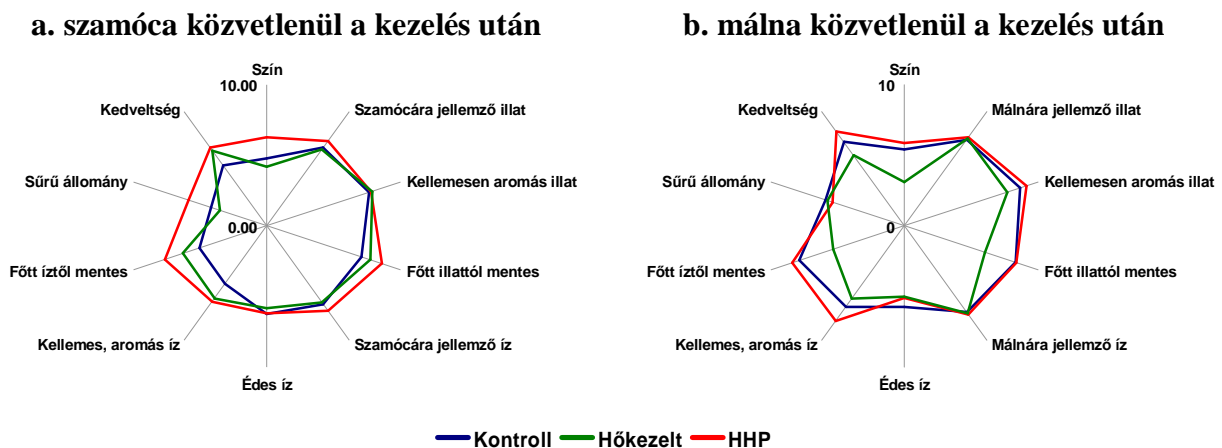
Lényegében hasonló eredményekre jutottam, mikor cukrozott feketeribiszke-pürét kezeltem hasonló kezelési szinteken (DALMADI et al 2005). Mindkét tartósító eljárás az alkalmazott kezelési szintekkel az induló összes élő sejtszámot (10^4 TKE/g) egy nagyságrenddel csökkentette. A kontroll minta 20°C-on tárolva 1 hét, 4°C-on tárolva 3 hét alatt romlott meg, vagyis érte el a 10^8 TKE/g összes élő sejtszámot, ugyanakkor a kezelt minták összes élő sejtszámában a vizsgált időszak alatt (20°C-on 4 hét, 4°C-on 8 hét) nem történt jelentős változás.

Hangsúlyozom, hogy az előkísérletek és a tényleges vizsgálatok alatt a folyamatos kísérleti munka biztosítása érdekében gyorsfagyasztott alapanyagokkal dolgoztam, s mivel humán érzékszervi bírálatokat is végeztem, így bogyógyümölcs-pürék induló élő sejtszámát nem kívántam nem-gyümölcs eredetű mikroorganizmusokkal megemelni. A 6. táblázatban feltüntetett sejtszámok a fagyasztást túlélő illetve a pürékészítés során belekerülő mikroorganizmusokat mutatják, ezért lehetséges, hogy az induló csíraszám csak 10^3 nagyságrendű volt. Mindenesetre a kezelésekre élelmiszerbiztonsági hatásosságát mutatja, hogy a túlélő mikroorganizmusok nem tudtak elszaporodni, még a cukrozott, 20°C-on 4 hétig tárolt mintákban sem.

Megállapítható, hogy mikrobiológiai szempontból a cukrozott szamóca- és málnapüré-minták 600 MPa 5 perces HHP-kezelést vagy 80°C-os 5 perces hőkezelést követően eltarthatók a kísérleti célkitűzésnek megfelelő időtartam (4 hét) alatt szobahőmérsékleten is.

4.2 Érzékszervi vizsgálatok

A 21. ábrán figyelhető meg a szamóca- és a málnapürék profilanalitikus vizsgálatának eredményei közvetlenül a kezelések után. A pókhálódigramokon csak kezeletlen és kezelt bogyógyümölcs-pürék érzékszervi tulajdonságaira adott egyéni bírálatok átlagpontszámait tüntettem fel, mivel az ábrázolási mód nem teszi lehetővé a szórások megjelenítését. Az egyes minták közötti eltérések statisztikai értékelése (egytényezős varianciaanalízis) a táblázat terjedelme miatt a M3. illetve az M4. mellékletben kapott helyet. A különböző időpontokban végzett érzékszervi bírálatok statisztikai összehasonlítását az eltérő bírálói csoportösszetétel miatt nem tartom kellően megalapozottnak, így ettől eltekintek.



21. ábra Kezeletlen, hőkezelt (80°C, 5 perc) és nagy hidrosztatikus nyomással (600 MPa, 5 perc, 4°C) kezelt bogyógyümölcs-pürék profilanalitikus érzékszervi bírálatának eredményei közvetlenül a kezelés után

A 21a. ábrán bemutatott szamócapüré-minták egymáshoz viszonyított elhelyezkedéséből látható, hogy a kezelések nem okoztak jelentős változásokat a kontroll (kezeletlen) mintához képest. A kontroll és a hőkezelt minták szinte valamennyi érzékszervi tulajdonságát azonosnak ítélték a bírálók, hiszen a minták görbéi együtt/egymáson futnak. A M3. melléklet ide vonatkozó sora mutatja, hogy e két csoport között egyetlen érzékszervi tulajdonságban sincs szignifikáns eltérés. A HHP kezelt minták érzékszervi pontszámai bár több esetben eltérnek, nagyobbak a másik két csoportnál, azonban csak néhány esetben mutatható ki szignifikáns különbség. Ezek közül a legfontosabbak a szín és az állomány. A színvizsgálatnál feltehetően már itt jelentkezett a püré-előállítás során bekevert levegő hatása. A kontroll és a hőkezelt mintákban viszonylag nagyobb buborékokat képezett a bekevert levegő, amit a HHP kezelés során fellépő kompresszió-dekompresszió több kisebb buboréokra szakított szét. A kisebb buborékok homogénebb,

egységesebb megjelenést kölcsönöztek a terméknek, amit a bírálók pozitívan (nagyobb pontszámmal) értékelték. Az állományvizsgálatnál a bírálók sűrűbbnek, viszkózusabbnak ítélték a mintát, felhívva ezzel a figyelmet a HHP kezelés esetleges állománymódosító hatására.

Az alkalmazott kezelési szintek azonos pasztöröző hatása nemcsak a mikrobiológiai, hanem az érzékszervi tulajdonságokban is megjelenik. Ugyanis érdekes módon a bírálók a „főtt íz” és a „főtt illat” tulajdonságok vizsgálatánál a legkevésbé főtt jelleggel bírónak a HHP-kezelt mintát és a leginkább főttnek a kontroll mintát találták. Tehát az a tény, hogy a bírálók nem a hőkezelt minta ízét és illatát tekintették leginkább főttnek megerősíti, hogy a választott kezelési szintek kíméletesnek tekinthetők, melyek az érzékszervi tulajdonságokra csak kis mértékben hatnak.

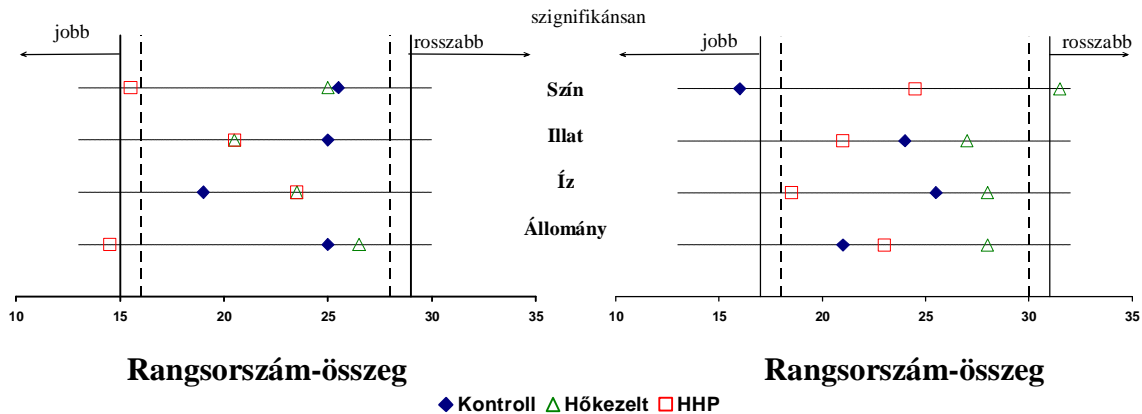
A málnaminták eredményei (21b. ábra) a szamócamintákhoz hasonló tendenciát mutatnak, de megfigyelhető némi különbség. Itt is megállapítható, hogy erőteljes, az érzékszervi tulajdonságokat alapvetően befolyásoló hatások nem érték a mintákat, viszont ennél a gyümölcsnél határozottabban különül el a hőkezelt minta a másik két mintától. Az M6. melléklet táblázatából látszik, hogy a kontroll és a HHP-kezelt minta között egyetlen érzékszervi tulajdonságban sem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni, így az állomány tekintetében sem. A málnánál az elvárható tendencia szerint alakult a „főtt illat” és a „főtt íz” karakter, vagyis a hőkezelt minták hordozták magukon ezt a jelleget. A két érzékszervi bírálat eredményei között tapasztalható különbségek adódhatnak a gyümölcsjellegből is, vagyis felmerülhet, hogy a málna érzékenyebben viselkedik a hővel szemben.

A profilanalízissel azonos időben végzett preferencia vizsgálat eredményeit a 22. ábra mutatja. A Kramer-féle rangsorolósos értékelés lehetőséget ad annak kiderítésére, hogy a bírálók által adott különböző nagyságú pontszámok ellenére, látható-e szisztematikus rend a pontszámok sorrendjében. Mind a négy tulajdonságnál az egy-egy bíráló által adott pontszámokat sorrendbe rakva, majd valamennyi bíráló rangorszámát összegezve statisztikailag kimutatható, hogy van-e olyan minta, amit a bírálók többsége rendszeresen előkelőbb vagy rosszabb helyre sorolt. A grafikon két oldalán lévő függőleges külső vonalak a 99%-os, a belső szaggatott vonalak a 95%-os szignifikancia szint határait jelölik.

Látható, hogy a szamócaminták profilanalízisének megállapított különbségek itt is megjelennek. A HHP-kezelt minta színe 95%-os, állománya 99%-os valószínűségi szinten tekinthető jobbnak a másik két mintához képest. A málnamintáknál csupán a szín mutatkozott megkülönböztető tulajdonságnak, a hőkezelt minta színét szignifikánsan rosszabbnak, míg a kontroll mintáét jobbnak ítélték a bírálók. Mindkét esetben a szignifikancia szint 99 %-os volt.

a. szamóca közvetlenül a kezelés után

b. málna közvetlenül a kezelés után



22. ábra Kezeletlen, hőkezelt (80°C, 5 perc) és nagy hidrosztatikus nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt bogyógyümölcs-pürék rangsorolások érzékszervi bírálatának eredményei közvetlenül a kezelés után

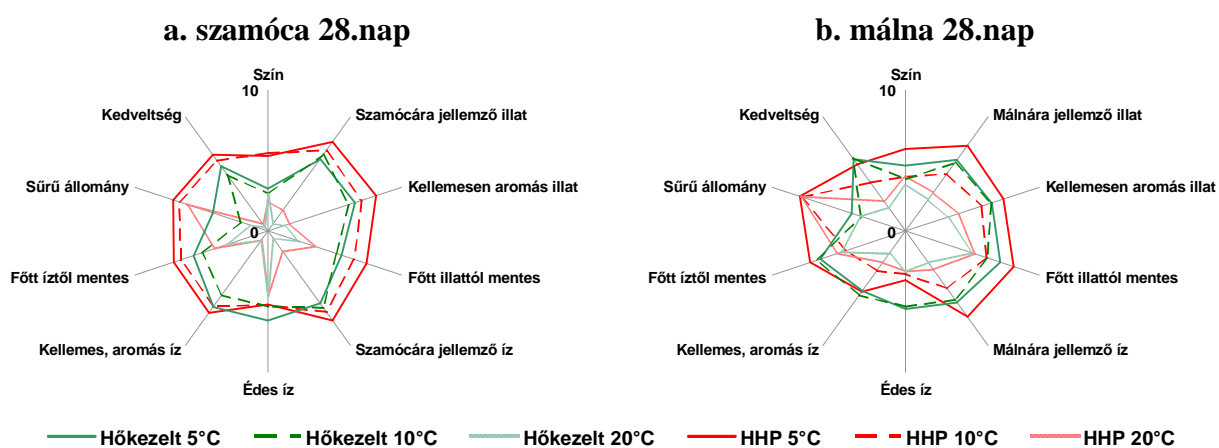
Az Irodalmi áttekintésben utaltam GIMENEZ és munkatársai (2001) kutatására, melyben jelentős különbségeket mutattak ki elemzésük során a 400-800 MPa nyomással előállított, illetve a hagyományos dzsemek között. A HHP kezelt minták színe szignifikánsan világosabb, a gélstruktúrája lágyabb, kevésbé átlátszó, heterogénebb volt, avas jellegű aromával kesernyész utóízzel. LABOISSIÈRE és munkatársai (2007) maracuja-lé vizsgálatai szerint pedig csak a HHP-kezelés őrizte meg az induló minőséget, a hőkezelés nagymértékű változásokat eredményezett. Ezzel szemben az általam választott kezelési szintekkel mindkét tartósító eljárásnál a kezeletlen mintához hasonló érzékszervi tulajdonságú gyümölcskészítményt kaptam.

A közvetlenül a kezelése után mért eredmények alapján megállapítható, hogy sem a 600 MPa 5 perces HHP-kezelés sem a 80°C-os 5 perces hőkezelés nem okozott markáns, kiugró eltéréseket a vizsgált szamóca- és málnapürék érzékszervi tulajdonságaiban.

A saját vizsgálataim során a kezeléseket azonnal követő érzékszervi bírálatokat a 14. és a 28. napon elvégzett bírálatok követték. A helyhiány miatt csak a 28. napi eredményeket mutatom be, de megjegyzem, hogy a tárolási időszak utolsó napján tapasztalt legnagyobb részt már a 14. napon láthatók voltak. Tehát az egyes tartósítási műveletek és az eltérő tárolási hőmérsékletek hatásai már a két hetes tárolás alatt megjelentek.

A 23. ábra mutatja a 28. napon végzett érzékszervi bírálatok eredményeit. Mindkét bogyógyümölcsnél határozottan látszik, hogy az érzékszervi tulajdonságok megőrzésében a tárolási hőmérsékletnek kiemelt jelentősége van a fizikai tartósító eljárásokat követően. Szembetűnőek a különbségek – szamócánál nagyobb mértékben, málnánál kevésbé - a szobahőmérsékleten tárolt minták kisebb pontszámai és a kisebb hőmérsékleten (10 és 5°C-on) tárolt minták nagyobb pontszámai között. Szinte mindegyik vizsgált érzékszervi tulajdonságnál megfigyelhető ez a tendencia. A statisztikai értékeléseket tartalmazó M3. és az M4. mellékletek

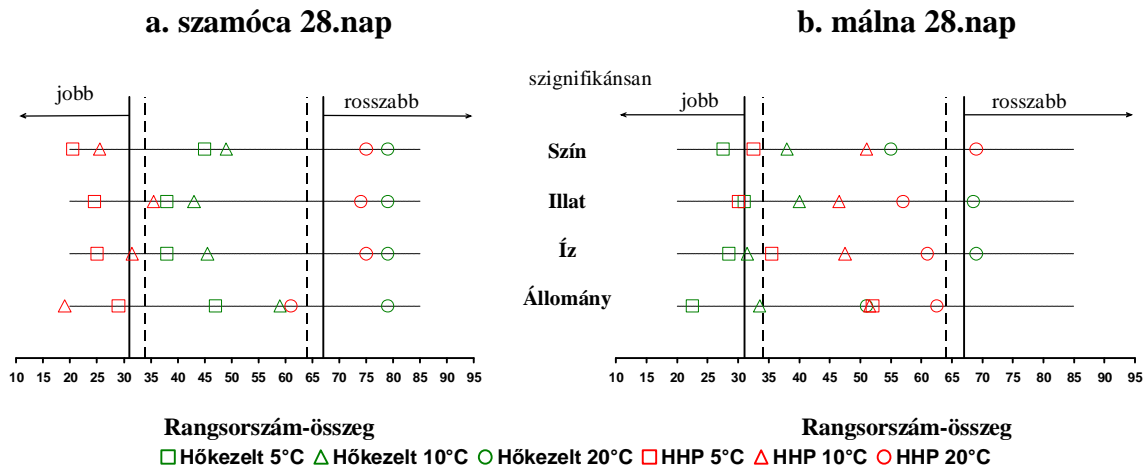
ide vonatkozó sorai alapján elmondható, hogy szignifikáns különbségek voltak kimutathatók a szobahőmérsékleten és a hűtött körülmények között tárolt minták érzékszervi tulajdonságai között, a kezelési módtól függetlenül. Ugyanakkor a hűtött minták közötti eltérések a két gyümölcsfajtnál más-más módon alakultak. A szamócánál többnyire megfigyelhető, hogy nagyobb különbségek voltak tapasztalhatók a kezeléseik között, mint a tárolási hőmérsékletek között. A legnagyobb pontszámokat az 5 és 10°C-on tárolt HHP-kezelt minták kapták, köztük szignifikáns különbség egyetlen esetben sem volt kimutatható. Pontszámaikat tekintve kissé lemaradva követték ezeket a hűtött hőkezelt minták, melyek között szintén nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni (az állomány kivételével). A málnánál hasonló tendencia volt megfigyelhető a két hűtött, hőkezelt mintánál (köztük egyetlen esetben sem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni). Eltérő viselkedést mutatott azonban a két hűtött HHP-kezelt minta, hiszen a vizsgált érzékszervi tulajdonságok felében statisztikailag igazolható volt a különbség. A kisebb hőmérsékleten tárolt málnaminta kedvezőbb (nagyobb) pontszámot kapott, míg a nagyobb hőmérsékleten tárolt minta rosszabbat. Tehát a HHP-kezelt málnamintáknál az érzékszervi tulajdonságok jobb megőrzéséhez nem volt elegendő pusztán hűtve tárolást végezni. Fontos volt, hogy a hűtve tárolás kis hőmérsékleten (5°C) történjen. További érdekesség, hogy míg a szamócamintáknál nagyon hasonló volt a 28 napig hűtve tárolt minta profilja a 0. napi mintához (kezelésenként), addig a málnaminálnál ez a jelenség kevésbé volt megfigyelhető. Ez is azt igazolja, hogy a két bogyógyümölcsből készített pürék más-más módon viselkednek mind a különböző tartósító eljárások, mind az eltérő tárolási különbségek hatására.



23. ábra Hővel (80°C, 5 perc) vagy nagy hidrosztatikus nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, majd különböző hőmérsékleteken tárolt bogyógyümölcs-pürék profilanalitikus érzékszervi bírálatának eredményei a 28. tárolási napon

A különböző módon kezelt hűtött minták közötti különbségek jelentőségét árnyalja, ha megfigyeljük a profilanalízis összbenyomás kérdését, ami a pókhálódiagramokon „Kedveltség” néven szerepel. Ugyanis a minták között meglévő különbségek ellenére nincs lényeges eltérés a hőkezelt vagy HHP-kezelt minták fogadtatása között. Éppen ezért a preferencia-vizsgálat

eredményeit bemutató 24. ábra adatai közül csak a szobahőmérsékleten tárolt minták érzékszervi tulajdonságaiban bekövetkezett változások fogyasztói megítélését emelném ki. A számócamintákban a 20°C-on tárolt változat szinte az összes érzékszervi tulajdonságnál szignifikánsan rossznak mutatkozott, függetlenül a tárolást megelőző kezeléstől. Az előző oldalakon leírtak alapján nem meglepő, hogy málnamintáknál itt sem születtek olyan markáns eltérések.



24. ábra Hővel (80°C, 5 perc) vagy nagy hidrosztatikus nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, majd különböző hőmérsékleteken tárolt bogyósgyümölcs-pürék rangsorolási érzékszervi bírálatának eredményei a 28. tárolási napon

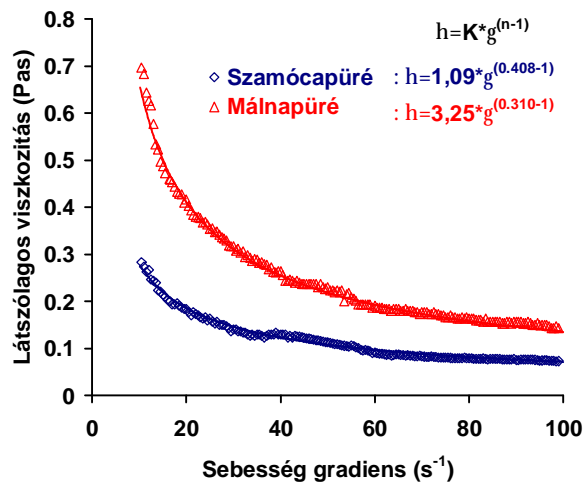
Összegezve megállapítható, hogy az érzékszervi tulajdonságok döntő többségében a 20°C-on végzett tárolás jelentős változásokat idézett elő mind a számóca- mind a málnapürében, függetlenül attól, hogy a 14-28 napos tárolást 80°C, 5 perc hőkezelés vagy 600 MPa, 5 perc nyomáskezelés előzte meg.

A 23. ábra felhívja a figyelmet arra, hogy érdemes valamennyi érzékszervi tulajdonsággal részletesebben foglalkozni. Hiszen elég csak a 20°C-on tárolt mintákat megvizsgálni, rögtön látszik, hogy olyan karakterek, mint a számócára jellemző íz vagy illat milyen erősen eltűntek a hűtve tárolt mintákhoz képest. Vagy milyen különbség mutatkozik a színben, illetve pont ellenkezőleg, mennyire egységesen nagy pontszámmal jellemezték a bírálók a HHP kezelt minták állományát, függetlenül a tárolási hőmérséklettől. Éppen ezért megpróbáltam valamennyi érzékszervi tulajdonságot (szín, illat, íz, állomány) műszeres módszerekkel is megvizsgálni.

4.3 Állományvizsgálat

A vizsgálataimat kiegészítettem folyékony termékek vizsgálatára alkalmas rotációs-viszkoziméteres mérésekkel. A 3.2.3. fejezetben ismertetett körülmények között végrehajtott mérésekből illetve a választott Ostwald-Waele modell (8) illesztéséből látható egy-egy példa a 25. ábrán. Mivel a viszkozitásgörbe exponenciális lefutású, így a vizsgált gyümölcspürék a nem

newtoni folyadékok csoportjába tartoznak. Az n folyásindex 1-nél kisebb értéke pedig a pszeudoplasztikus folyási tulajdonságra utal. Az ábrán látható, hogy az illesztett modellek jól le tudták írni a püréminták viselkedését. A példaként bemutatott számócapüré mért adataira illesztett modell korrelációs együtthatója 0,984 a málnapüréjé 0,976. A korrelációs együtthatók értékei a számócapüréknél 0,976-0,997, málnapürénél 0,970-0,996 között alakultak.

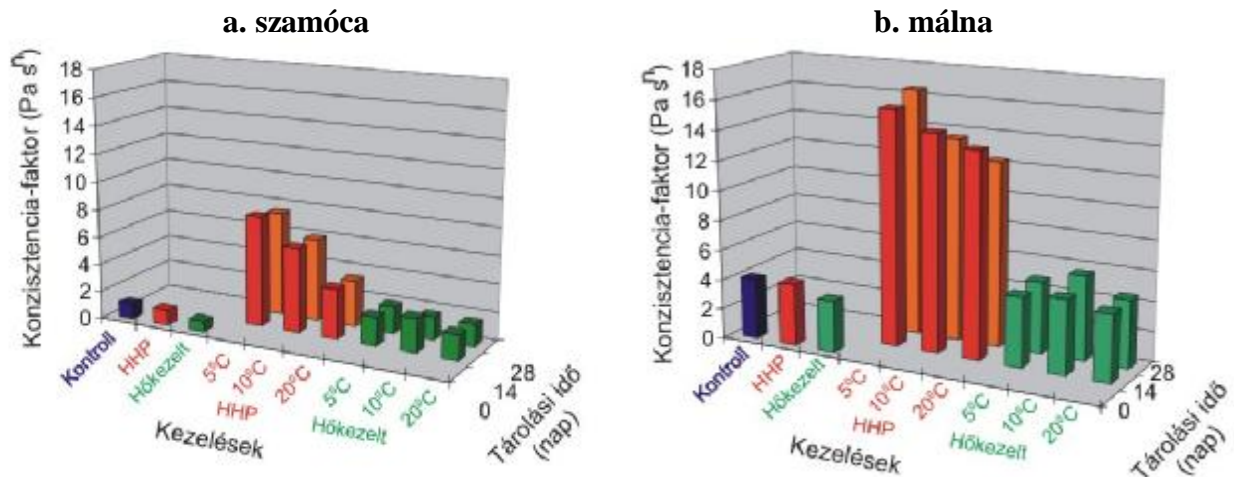


25. ábra Kezeletlen számóca- és málnapüré-minták mért és Ostwald-Waele modellel számított folyásgörbéje

A 25. ábra jól szemlélteti, hogy az azonos vízdoldható-száranyagtartalom ellenére a pürék viszkozitásai mennyire eltérnek egymástól. A minták viszkozítására (konzisztenciájára) a K konzisztencia-faktor ad számszerű értéket, amely a bemutatott példában háromszor nagyobb a málnapürénél mint a számócapürénél. A 25. ábrán bemutatott két gyümölcs-fajta közti különbség valamennyi kezelt/tárolt minta között megfigyelhető volt.

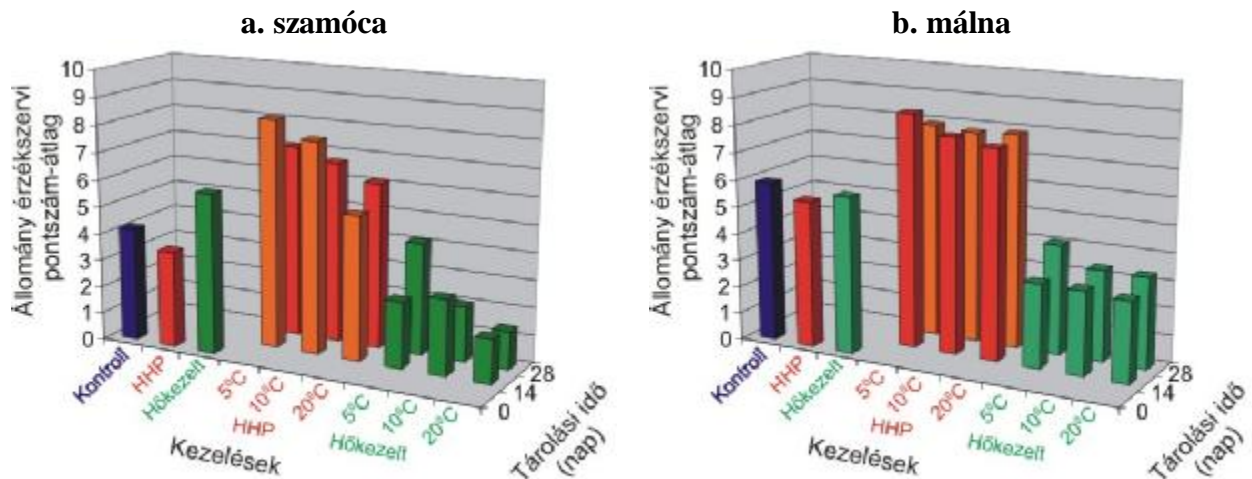
A 26. ábra mutatja a gyümölcspüré-minták konzisztencia-tényezőjének alakulását a kezelési mód illetve a tárolási körülmények függvényében. Mindkét gyümölcsnél megfigyelhető, hogy a közvetlenül a kezelése után nem volt tapasztalható határozott változás egyik kezelésnél sem. A M5. melléklet táblázata mutatja a különböző minták páronkénti összehasonlításának statisztikai eredményeit. A táblázat megfelelő cellái azt mutatják, hogy a két tartósító módszer alkalmazásával nem lehetett egyik gyümölcsnél sem szignifikáns különbségeket kimutatni a közvetlenül a kezelés után.

A HHP kezelt pépesített gyümölcsök viszkozitása függ az alkalmazott kezelés körülményeitől és a gyümölcs fajtájától. A 2.4.4.1 fejezetben érintettem azt az ellentétes tendenciát, amit AHMED és munkatársai (2005) figyeltek meg mangó pulp kezelésénél, illetve amit OEY és munkatársai (2008) említenek homogénezett paradicsomnál. A mangónál a kisebb nyomás (100 és 200 MPa) növelte a pulp viszkozitását, míg a paradicsomnál a 400 MPa feletti kezelés.



26. ábra Kezeletlen, hővel (80°C, 5 perc) vagy nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré viszkozitás Ostwald-Waele féle modellel számolt konzisztencia-faktorának értékei

A érzékszervi bírálatok eredményeivel való összehasonlítás érdekében a 26. ábra elrendezésének megfelelően ábrázoltam a gyümölcspürék profilanalízis állományvizsgálatra vonatkozó adatait a 27. ábrán. A közvetlenül a kezelések után vizsgált málnára vonatkozó átlagadatokat alapján a kezelések között nem lehet szignifikáns különbséget kimutatni (M4. melléklet). A szamócamintánál a M3. melléklet adatai szerint szignifikáns volt az eltérés mindhárom csoport (kezeletlen, hő- és HHP-kezelt) között. Azonban ezt a különbséget az objektívnek tekinthető műszeres vizsgálatok eredményei nem igazolták (26a. ábra és a M5. melléklet).



27. ábra Kezeletlen, hővel (80°C, 5 perc) vagy nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré az állomány profilanalitikus érzékszervi vizsgálatának pontszám-átlagai

A rotációs-viszkoziméteres állománymérés vizsgálat eredményei alapján megállapítható, hogy közvetlenül a kezelés után sem a 600 MPa 5 perces HHP-kezelés sem a 80°C-os 5 perces hőkezelés nem okozott jelentős, kiugró eltéréseket a vizsgált szamóca- és málnapürék állományában.

Az eredmények szempontjából érdekesebb a tárolási körülmények hatásának vizsgálata. A két gyümölcsfajta állományában a tárolás alatt bekövetkezett változások eredményei eltérő intenzitással, de hasonló tendenciát mutattak (26. ábra). Lényeges különbség figyelhető meg a HHP és a hőkezelt minták állománya között, különösen a málnánál. A M5. melléklet statisztikai eredményei mutatják, hogy nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni a tárolt hőkezelt málnaminták valamint a 0. napos minták között. Sem a tárolási hőmérséklet sem a tárolási idő nem mutatkozott befolyásoló tényezőnek, vagyis mindegy volt, hogy a hőkezelt mintát 5 vagy 20°C-on 14 vagy 28 napig tároltuk, a konzisztencia-faktorok értékei megegyeztek a 0. napos kezeletlen mintáéval. Ezzel szemben a HHP-kezelt minta a tárolási hőmérséklettől függően már a kezelést követő 14. npra sűrűbb állományú terméké alakult. Helyenként négyszer nagyobb a konzisztencia-faktor értéke a HHP-kezelt mintában, mint a vele azonos hőmérsékleten, azonos ideig tárolt hőkezelt változatban. A különbségek a kétfajta tartósító eljárás között hasonló tendenciát mutatnak a szamócapürénél is. Lényegében ennél a gyümölcsnél sem lehet statisztikailag igazolt különbségeket kimutatni a hőkezelt minta változatai illetve a 0. napi minták között. Az egyetlen, következetesen eltérő minta a 0. napi hőkezelt szamócaminta. Tekintve, hogy mekkora különbségek születtek a hő- és a HHP-kezelt minták között, véleményem szerint a 0. napi hőkezelt minta eltérése bár szignifikáns, mégsem jelentős.

A hőkezelt mintákkal ellentétben a tárolási hőmérsékletnek jelentős állománymódosító hatását mutattam ki a HHP-kezelt mintáknál. Mindkét gyümölcsnél a tárolási hőmérséklet csökkenésével egyre nagyobb konzisztencia-faktorral modellezhető viszkózusabb állományt kaptam. Már a legnagyobb hőmérsékleten (20°C) tárolt HHP-kezelt minta is szignifikánsan különbözött a hőkezelt változatoktól, de az egyre kisebb hőmérsékleten tárolt HHP-kezelt minták állományában egyre jelentősebb volt a különbség. Az állomány ilyen irányú változása már a 14. npra kialakult, és ugyanazt a képet mutatja a 28. napon is. Tehát a hosszabb tárolási időnek nem volt hatása. Nyilvánvaló, hogy a gélesebb, tömörebb állomány kialakulásának is van időszükséglete. Tehát a későbbiekben célszerű megvizsgálni, hogy ez az állománymódosulás mennyi idő alatt megy végbe a különböző tárolási hőmérsékleteken.

A különböző hőmérsékleteken tárolt HHP-kezelt minták állományában bekövetkezett változások az érzékszervi bírálatot végzők számára is szembeötlő volt, amit mutat a 27. ábra, hiszen a HHP-

kezelt minták közötti különbségek hasonlóan jelentek meg a műszeres módszerhez hasonlítva. Az állománybírálatra adott pontszámok és a műszeres vizsgálattal meghatározott konzisztenciafaktorok közötti korrelációs együttható értéke szamócánál 0,802, málnánál 0,861, ami erős lineáris összefüggést mutat a két tényező között

Hasonló állomány-változási tendenciáról számolt be POLYDERA munkatársaival (2003), mikor hő- és HHP-kezelt narancslével kutatásuk eredményeiről számoltak be. Esetükben is a HHP-kezelt minták látszólagos viszkozitása a tárolási idő alatt növekedett (bár a tendencia nem volt annyira látványos, mint az én vizsgálataim során), és a hőkezelt mintáik látszólagos viszkozitása változatlan maradt. Cikkükben nem fűztek magyarázatot a jelenséghez. Elképzelhető, hogy bogyógyümölcsöknél is hasonló változások történtek, mint amelyekről BASAK és RAMASWAMY (1998) adott számot. Az Irodalmi áttekintésben is bemutatott munkájukban a gyümölcsök keménységében bekövetkező változásokat a PME-aktivitásnak tulajdonították. Ugyanis a HHP-kezelés során kiszabaduló PME kapcsolatba kerülhet szubsztrátjával (erősen metilezett pektinnel) és beindulhat a demetilezés. A deészterezett pektin a kétértékű ionokkal gél-hálót volt képes alkotni, amely növelte a gyümölcsök és zöldségek keménységét. Elképzelhető, hogy hasonló enzimtevékenység által módosított pektinszerkezet-változások idézték elő a bogyógyümölcs-pürék tárolási hőmérséklettől függő gélesedését is.

Összefoglalva a különböző körülmények között tárolt bogyógyümölcs-pürék műszeres állománymérés eredményeit megállapítható, hogy a 80°C-os 5 perces hőkezeléssel tartósított gyümölcsminták a tárolás időtartama alatt nem mutattak jelentős eltérést a 0. napos kezelt vagy kezeletlen mintákhoz képest, ugyanakkor a 600 MPa 5 perces HHP-kezelés már a 14. napra a tárolási hőmérséklettel fordított arányban növelte a pürék látszólagos viszkozitását, mely a 28. napra már nem változott számottevően.

4.4 Kémiai érzékelősorokkal (elektronikus orr és –nyelv) végzett vizsgálatok

A 7. táblázatban feltüntettem az 4.2 fejezetben ismertetett profilanalitikus érzékszervi bírálatok során kapott illat- és íz karakter pontszámai valamint a kedveltség (összbenyomás) tulajdonság pontszámai között számolt korrelációs együtthatók értékeit. Látható, hogy a szinte valamennyi kombinációnál erős lineáris kapcsolat állt fent. Ez megerősített abban, hogy érdemes a különböző módon kezelt és tárolt szamóca- és málnapürék illatában (illékony komponenseiben) valamint ízében bekövetkező változásokat műszeres módszerekkel is megvizsgálni.

7. táblázat Kezeletlen, hővel (80°C, 5 perc) vagy nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, különböző körülmények (5, 10 és 20°C, 0-28 nap) között tárolt szamóca- és málnapüré-minták illat és íz tulajdonságaira valamint a kedveltségükre adott érzékszervi bírálati pontszámok között számolt korrelációs együtthatók értéke

	Illat			Íz		
	Gyümölcsre jellemző	Kellemesen aromás	Főtt illattól mentes	Gyümölcsre jellemző	Kellemes, aromás	Főtt íztől mentes
Szamóca	0,976 **	0,980 **	0,941 **	0,976 **	0,988 **	0,950 **
Málna	0,866 **	0,920 **	0,648 **	0,866 **	0,951 **	0,745 **

Megjegyzés: ** szignifikáns 99%-os valószínűségi szinten

Az illékony vegyületek egyes komponenseire nem szelektíven reagáló MOS és MOSFET szenzorok és a többváltozós matematikai statisztika segítségével komplex módon összehasonlíthatóvá válnak a különböző kezelések és a különböző tárolási körülmények okozta változások. A szelektivitás elvesztése azonban azt is jelenti, hogy nem leszünk képesek megmondani, hogy milyen vegyületek (változásai, jelenléte vagy hiányai) okozzák a különbségeket. Az elektronikus orr szenzor-jelválaszai alapján meghatározott többdimenziós térben a minták egymáshoz képest való elhelyezkedéséből, illetve a minták elmozdulásából következtethetünk a változások nagyságára. A minták összehasonlításának mechanizmusa vonatkozik az elektronikus nyelv szenzor-jelválaszaiból képzett többdimenziós térre is.

Az elektronikus orr és –nyelv szenzor-jelválaszait diszkriminancia-analízis módszerrel értékeltem. A statisztikai eljárásról rövid ismertetést a 2.5.2.2 fejezetben adtam. Mind a két műszeres eljárásnál az értékelést elvégeztem a mintavételezési napok szerinti bontásban (28. és 29. ábra), valamint összesítve is. Az összesített értékelés mindhárom vizsgált tárolási nap adatát tartalmazza egy modellben (29. ábra). Az egyes analízisekhez tartozó sikeres újrabesorolások százalékos értékeit – ami a felállított modellek jóságának egyik mérőszáma – a 8. táblázatban foglaltam össze.

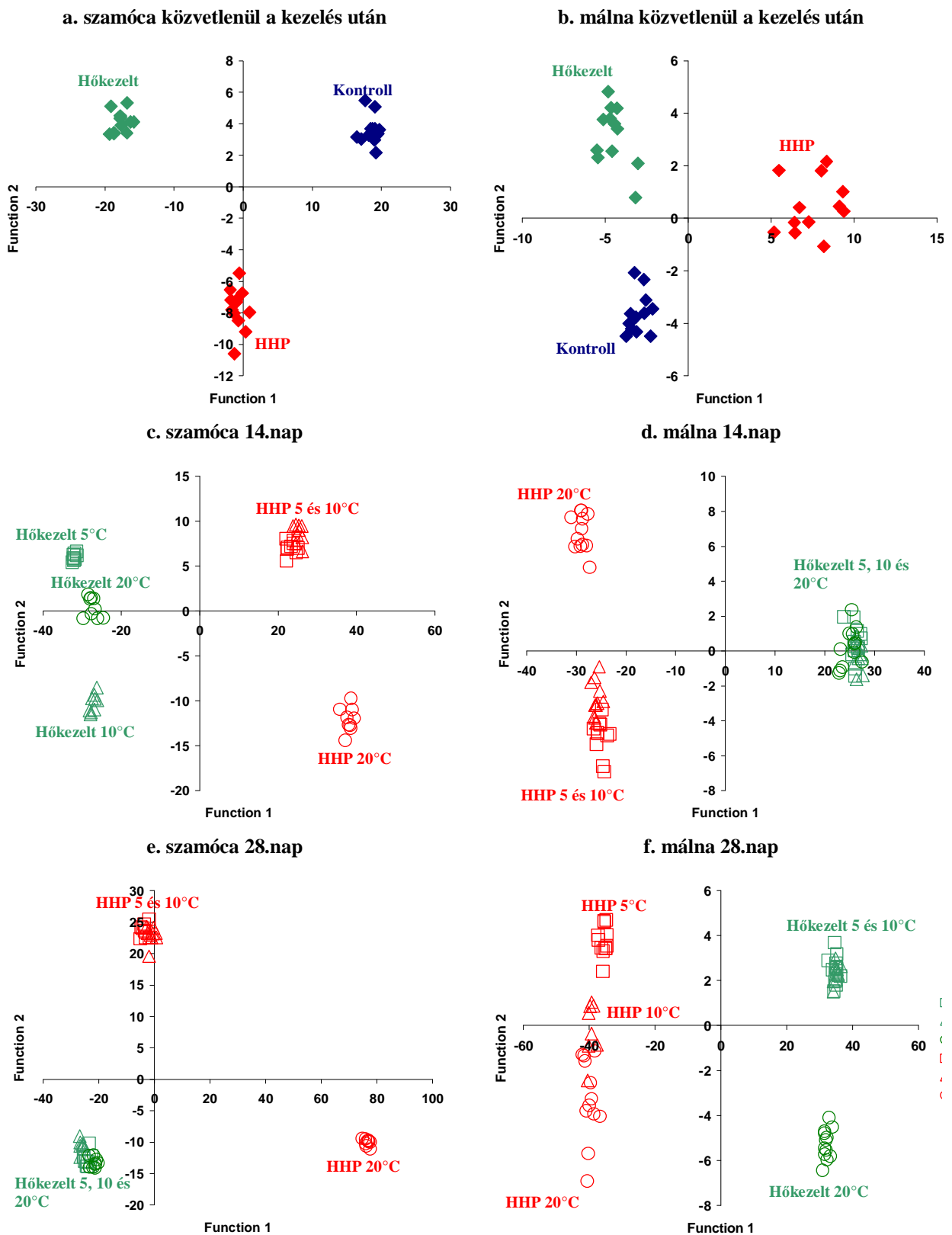
Az illékony komponensekben közvetlenül a kezelések hatására bekövetkező változásokat 28a. és 28b. ábrák mutatják. Az ábrákon látható, hogy mindkét gyümölcsfajtánál a három csoport elkülöníthető volt egymástól, tehát a kezelések az elektronikus orr számára kimutatható mértékű változásokat okoztak. A 8. táblázat első sorának elektronikus orra vonatkozó része mutatja, hogy mindkét esetben a sikeres újrabesorolások aránya a modellalkotásnál (tehát mikor valamennyi adatot felhasználjuk az analízishez) 100%-os volt, és a keresztvalidációnál (mikor a minták egy részét visszatartva megnézzük, hogy azok a többi minta adataiból alkotott modell alapján mennyire helyesen sorolhatók vissza a saját csoportjukba) is közel 100%-os volt. A 28a. és 28b. ábrán megfigyelhető kezeletlen és kezelt csoportok elhelyezkedése nem utal egyértelmű tendenciára. A szamócánál a kontroll mintától leginkább a hőkezelt minta, míg a málnánál a

HHP-kezelt minta különbözött, mivel ezek a minták az első – s így a csoportok közötti varianciák legnagyobb részét leíró – diszkrimináns irány (Function) szerint különültek el a kontrolltól. Viszont mindkét gyümölcsnél közös, hogy a két kezelés más-más helyet foglal el a diszkrimináns térben a kontroll mintához viszonyítva, ami arra utal, hogy a kezelések más-más módon befolyásolták a pürék illékony komponenseit.

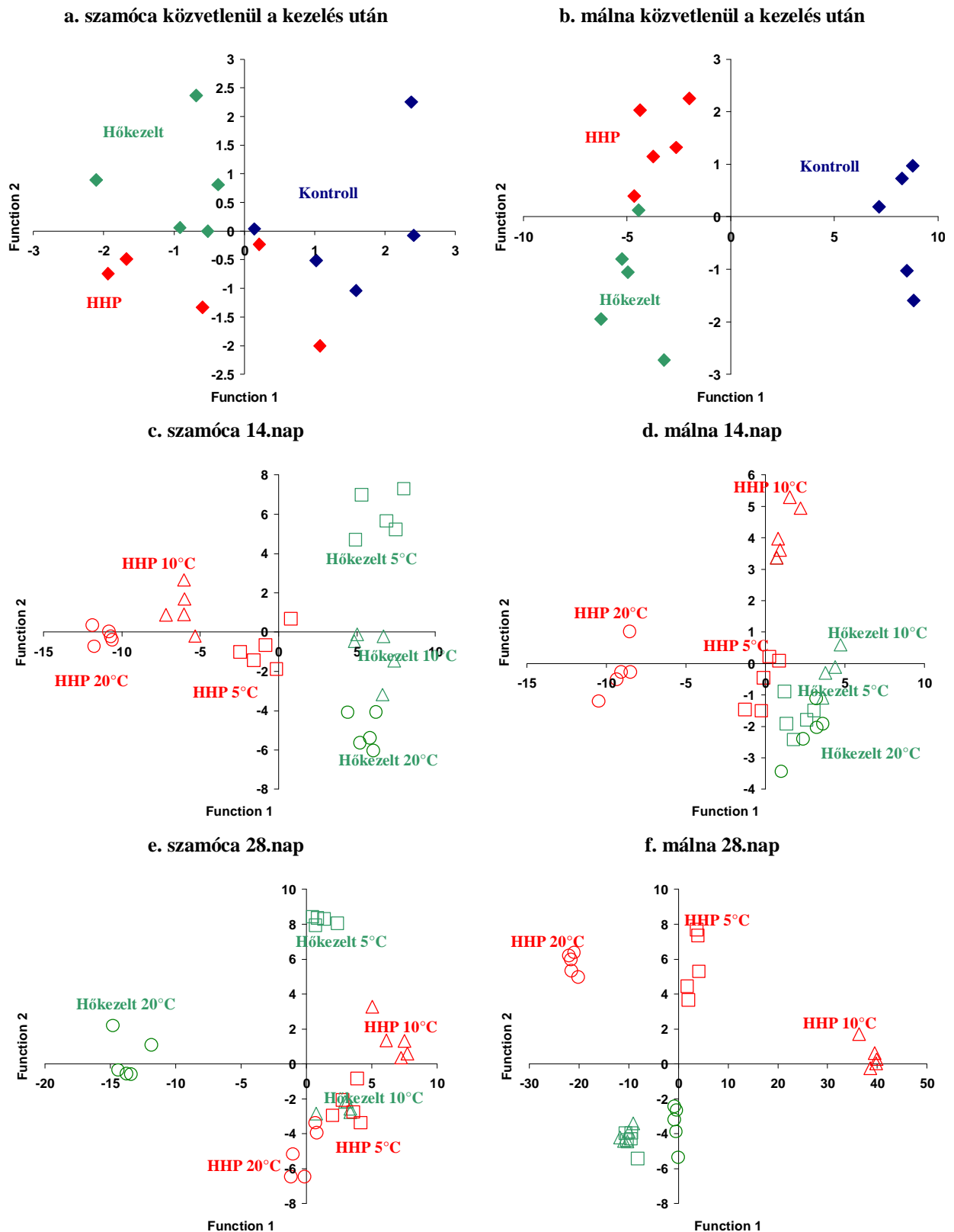
8. táblázat Kezeletlen, hővel (80°C, 5 perc) vagy nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, különböző körülmények (5, 10 és 20°C) között tárolt szamóca- és málnapüré-minták elektronikus orr szenzor-jelválaszok diszkriminancia-analízis értékelése során kapott helyes csoportbasorolás százalécai

	Elektronikus orr				Elektronikus nyelv			
	Szamóca		Málna		Szamóca		Málna	
	Modell	Kereszt-validáció	Modell	Kereszt-validáció	Modell	Kereszt-validáció	Modell	Kereszt-validáció
0. nap	100,0	100,0	100,0	94,4	93,3	20,0	100,0	80,0
14. nap	98,1	90,7	95,8	74,6	100,0	96,7	90,0	60,0
28. nap	100,0	96,3	89,7	75,0	93,3	90,0	90,0	73,3
Összes	97,9	85,4	89,8	74,4	82,7	65,3	86,7	70,7

Az elektronikus nyelvvel közvetlenül a kezelések után végzett vizsgálat eredményei részben mutatnak hasonlóságot az elektronikus orr eredményeivel. A 8. táblázat adatai szerint szintén jól megkülönböztethetők voltak a csoportok, hiszen a felállított modell alapján a szamócaminták 93,3%-t sikerült a neki megfelelő csoportba visszatorolni. Málnamintáknál 100%-os volt ez az érték. Ugyanakkor a keresztvalidáció újrabesorolási értékei elmaradnak a modell értékeitől, hiszen szamócánál csak 20%, málnánál 80%. A 29a. és 29b. ábrák választ adnak a kis keresztvalidációk értékeire. Szamócánál mindhárom csoport tagjai keverednek, és ezért mindegyik csoportot keverte a másik kettővel. A málnánál azonban a kontroll minta határozottabban különült el, így csak a két kezelt csoport néhány tagját tévesztette össze. A kevesebb sikeres keresztvalidációs újrabesorolás arra enged következtetni, hogy a kezelések alkalmazott szintjei hatására nem történtek olyan határozott változások, melyek elektronikus nyelvvel kimutatható jelentős különbségeknek lennének tekinthetők. A kis keresztvalidáció értéke azt mutatja, hogy felállított modell rögtön érvényét veszti, amint más minták adatait próbáljuk a modellbe tenni. Tehát a modell robusztussága megkérdőjelezhető. Ha eltekintünk az újrabesorolás értékeitől, a két gyümölcsfajta elektronikus nyelvvel alkotott CDA-profilja azonosnak tekinthető, hiszen mindkét esetben a kontroll minta különböztethető meg leginkább – az 1 diszkrimináns irány szerint – majd a két kezelt minta a 2. diszkrimináns irány (Function 2) szerint választható el.



28. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták elektronikus orr szenzor-jelválaszainak diszkriminancia-analízis értékelése tárolási naponkénti bontásban



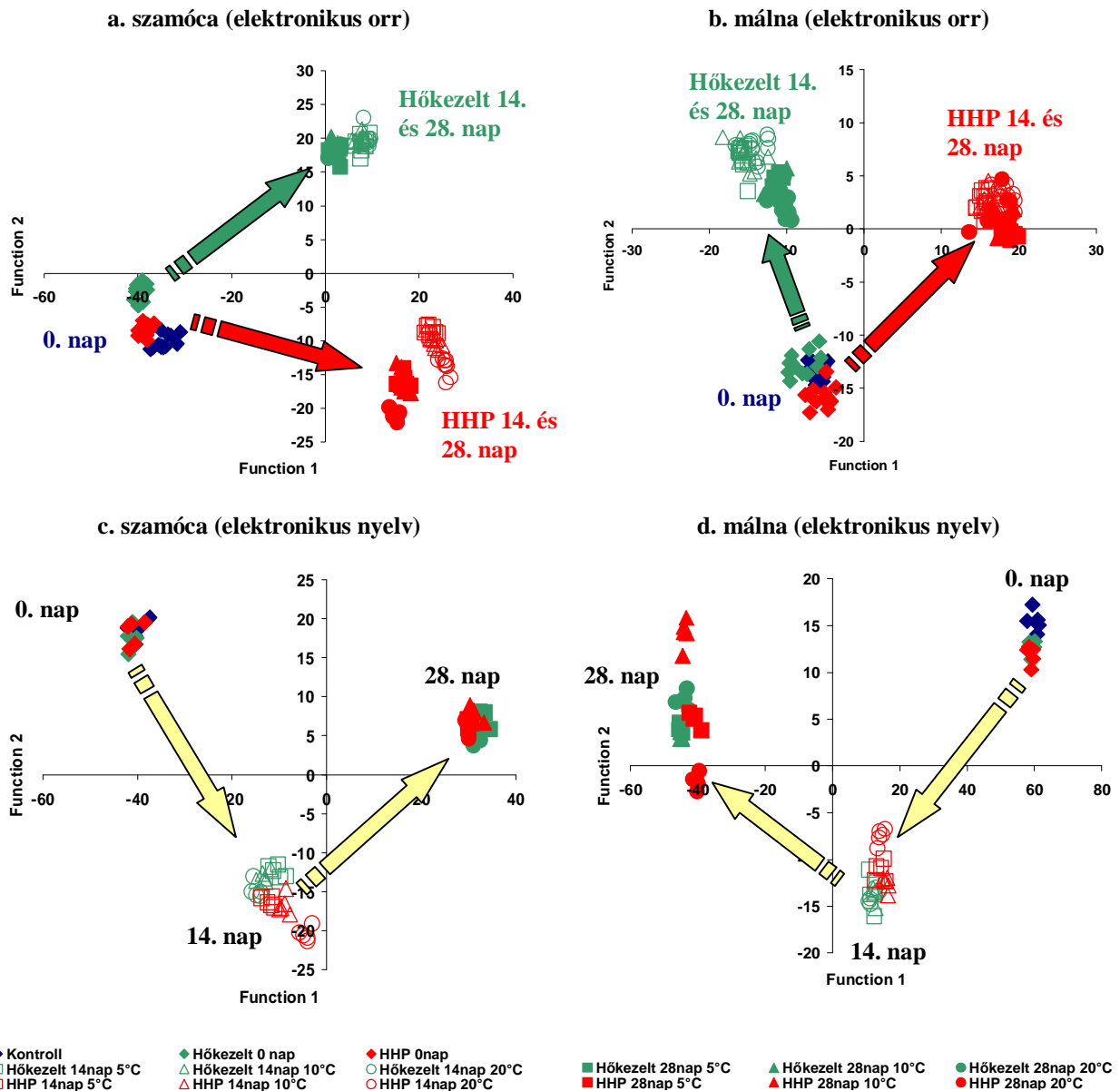
29. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták elektronikus nyelv szenzorjelválaszainak diszkriminancia-analízis értékelése tárolási naponkénti bontásban

Összegezve a bogyósgyümölcs-püréken kémiai érzékelősorokkal közvetlenül a kezelés után végzett vizsgálataim eredményét megállapítható, hogy az elektronikus orral határozottabban különíthetők el egymástól a kezeletlen, a hőkezelt (80°C-os 5 perc) és a nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) minták egymástól, mint elektronikus nyelvvel. Mindkét műszernél és mindkét bogyósgyümölcsnél a hő- és nyomáskezelt minták más-más karaktert mutattak, amire a diszkrimináns-térben egymáshoz és a kezeletlen mintához viszonyított helyzetükből következtethetünk.

Elektronikus orral vizsgálva tárolási körülmények hatását a 28c.-28f. ábrákon látható, hogy a különbség a hő- és nyomáskezelt minták között a tárolási idő előrehaladtával nem tűnt el. Az első diszkrimináns irány szerint különböztethetők meg a két kezelési mód mintái egymástól a tárolási hőmérséklettől függetlenül. A tárolási hőmérséklet hatása a 2. diszkrimináns irányban jelentkezik, ennek az iránynak a mentén különböztethetők meg az azonos módon kezelt, de különböző hőmérsékleteken tartott minták egy-egy vizsgálati napon. Vagyis megállapítható, hogy a tárolást megelőző tartósítási technológiáknak nagyobb hatása van az elektronikus orral mérhető illékony komponensekre, mint a tárolási hőmérsékletnek. Azonban felhívom a figyelmet a 28e. és 28f. ábrákra, ahol a 20°C-on tárolt HHP-kezelt minta erőteljesebben kezd elkülönülni a hűtve tárolt társaitól. Ez kifejezetten látványos a szamócánál, ahol a 14. napon (28c. ábra) megközelítőleg az a CDA-profil látható, ami a málnánál a 28. napon (28f. ábra), vagyis a szobahőmérsékleten tárolt HHP-kezelt minta kezd a diszkrimináns-térben más pozíciót elfoglalni a hűtve tárolt nyomáskezelt mintákhoz képest. Majd a 28. tárolási napra (28e. ábra) teljesen elkülönült tőlük, és már az első diszkrimináns irány szerint lett megkülönböztethető a többitől. Tehát a 28. napos tárolás végére a legnagyobb változás a szobahőmérsékleten tárolt HHP-kezelt szamócamintában történt. Ezzel szemben a szintén 20°C-on tárolt hőkezelt szamócaminta azonos helyen mutatkozott hűtve tárolt társaival. Ez a folyamat a málnamintában nem zajlott le ilyen drasztikusan (28d. és 28f. ábrák). A szobahőmérsékleten tárolt HHP-kezelt málnaminta változása az elektronikus orral mérhető illékony komponensek alapján végig a 2. diszkrimináns irány szerint különült el, tehát megmaradt a tárolást megelőző tartósító kezeléseket dominanciája. A 8. táblázat elektronikus orra és a tárolt mintákra vonatkozó sorai is azt mutatják, hogy a változások a szamócamintákban határozottabban mentek végbe, ugyanis a minták újrabesorolásai a szamócánál történtek nagyobb százalékban sikeresen. A nagyobb változásokat mutató csoportok között könnyebb diszkrimináló (szétválasztó) irányokat találni. Itt jegyezném meg, hogy talán ellentmondásosnak látszik a 28. ábra több eleme és a 8. táblázat. Ugyanis több esetben a csoportok oly mértékben közel vannak egymáshoz, hogy nehéz elhinni, az egymással átfedő csoportok is ilyen jól megkülönböztethetők voltak elektronikus orral egymástól. Erre

magyarázatul szolgál az a kiegészítés, hogy a statisztikai módszer $n-1$ (ahol n a csoportok száma) diszkrimináns irányt számol ki (ha a csoportok száma kisebb, mint a változók száma), s én ebből csak a két elsőt (a két legfontosabbat) ábrázoltam. Tehát az első két dimenzió alapján egymással átfedő csoportok a 3. vagy 4. irány szerint megkülönböztethetők egymástól.

Felmerül a kérdés, hogy az egymástól megkülönböztetett csoportok közül melyik tekinthető jónak/jobbnak a másikhoz képest? A kimutatott változások jelentősek-e, vagyis az induló állapothoz képest nagy volt-e az elmozdulás a diszkriminancia-térben? Az első kérdésre pusztán az elektronikus orr mérés alapján nem tudunk választ adni. Annyi mondható el, hogy a két kezelés mintái szisztematikusan eltértek egymástól és ennél kisebb változások voltak kimutathatók az azonos módon kezelt, de különböző tárolási hőmérsékleten tartott minták között. A változás irányának megítéléséhez segítséget nyújthatnak a profilanalitikus érzékszervi bíráló illat tulajdonságok pontszámai (21. és 23. ábra). Összehasonlítva a humán és műszeres „illatvizsgálatok„ eredményeit némileg azonos tendenciák fedezhetők fel. Mindkét vizsgálati módszer a hőkezelt-nyomáskezelt minták különbözőségét mutatta. Szamócánál a bírálók kisebb különbségeket tudtak felfedezni a hűtve tárolt minták között, mint a kezeléseik között, ugyanakkor málnánál sokkal nagyobb volt a szórás az érzékszervi pontszámokban a tárolási hőmérsékletet illetően (az elektronikus orr eredményeket bemutató 28. ábra is hasonló tendenciákat mutat). A bírálók legkisebb pontszámmal a szobahőmérsékleten tárolt mintákat pontozták, függetlenül a kezelési módtól. Ez a műszeres vizsgálatnál csak részben jelent meg, hiszen egyedül a HHP-kezelt szamócaminták 20°C -on tárolt változata különült el az első diszkrimináns-irány szerint, tehát csak itt volt nagyobb a tárolási hőmérséklet hatása, mint a kezeléseké. A bírálókat feltételezhetően befolyásolta a pontozásban a minták vizuális megjelenése, elsősorban a színe, amiről a későbbiekben lesz szó.



30. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták elektronikus orr és -nyelv szenzor-jelválaszainak diszkriminancia-analízis értékelése, valamennyi tárolási nap együtt

A változások iránya és nagysága jobban megítélhető egy referenciapont kiválasztásával, mely szerepet célszerűen a kontroll mintának kell betöltenie. Mielőtt azonban a 28. ábra különböző tárolási napokhoz tartozó részeit gondolatban egymásra helyeznénk, figyelembe kell vennünk, hogy valamennyi ábra egy-egy önálló számítás eredménye. Ezzel azért fontos tisztában lenni, mert minden egyes alkalommal a számítási algoritmus olyan irányokat keres, ami az éppen vizsgált csoportokat a lehető legjobban elkülöníti. Ehhez mindig más és más lineáris kombinációban építi be az eredeti változókat (szenzor-jelválaszokat) a modellbe. Éppen ezért a generált hipotetikus változók (Function) értékei is modellről-modellre mások, tehát nem használhatók fel a skálák értékei sem a változás nagyságának összevetésére. Megoldást jelenthet, ha mindhárom vizsgálati időpont adatait egy modellben összesítjük, amit a 30. ábra mutat. A

30a. és 30b. ábrák az elektronikus orr összesített vizsgálatának eredményeit mutatják. Mindkét gyümölcsfajtánál megfigyelhető, hogy a 0. napi mintákhoz képest mindkét tartósító módszerrel kezelt minták elmozdultak, de más-más irányban. Megfigyelhető, hogy a HHP kezelt minták különültek el mindkét esetben leginkább az első diszkriminancia irány szerint, tehát az elektronikus orr szenzor-jelválaszai alapján a nyomáskezelt minták nagyobb változáson mentek keresztül a tárolás alatt. S mivel a kontroll mintákhoz képest ők kerültek legmesszebbre, elmondható, hogy kevésbé sikerült megőrizni a friss szamóca vagy málnakaraktert a HHP-kezelést követő tárolás alatt, mint a hőkezelést követően.

A különböző módon kezelt minták illékony komponenseinek eltérő alakulása véleményem szerint a már idézett KIMURA és munkatársai (1994) által végzett munka eredményeire vezethető vissza. A hő- és nyomáskezeléssel előállított szamócadzsemeket tárolva azt tapasztalták, hogy a trans-2-hexenol (friss-füves jelleg) és a 2-metilbutírsav (savanyú-édes jelleg) mennyisége nem változott a tárolási idő előrehaladtával sem a tárolási hőmérséklet sem a kezelés módjától függően. Viszont a linalol (édes-virágos jelleg) mennyisége a nagyobb hőmérsékleten tárolt HHP-kezelt mintában, az etil-butirát (friss-gyümölcsös) pedig mindkét hőmérsékleten tárolt HHP-kezelt mintában csökkent (a tárolási hőmérséklettől függő mértékben). Tehát míg a HHP-kezelésnek a gyümölcsök aroma-anyagaira gyakorolt közvetlen hatása sok esetben elhanyagolható, az enzimatis és kémiai reakciók befolyásolásával képes nemkívánatos elváltozásokat előidézni a kezelést követően a tárolt termékben.

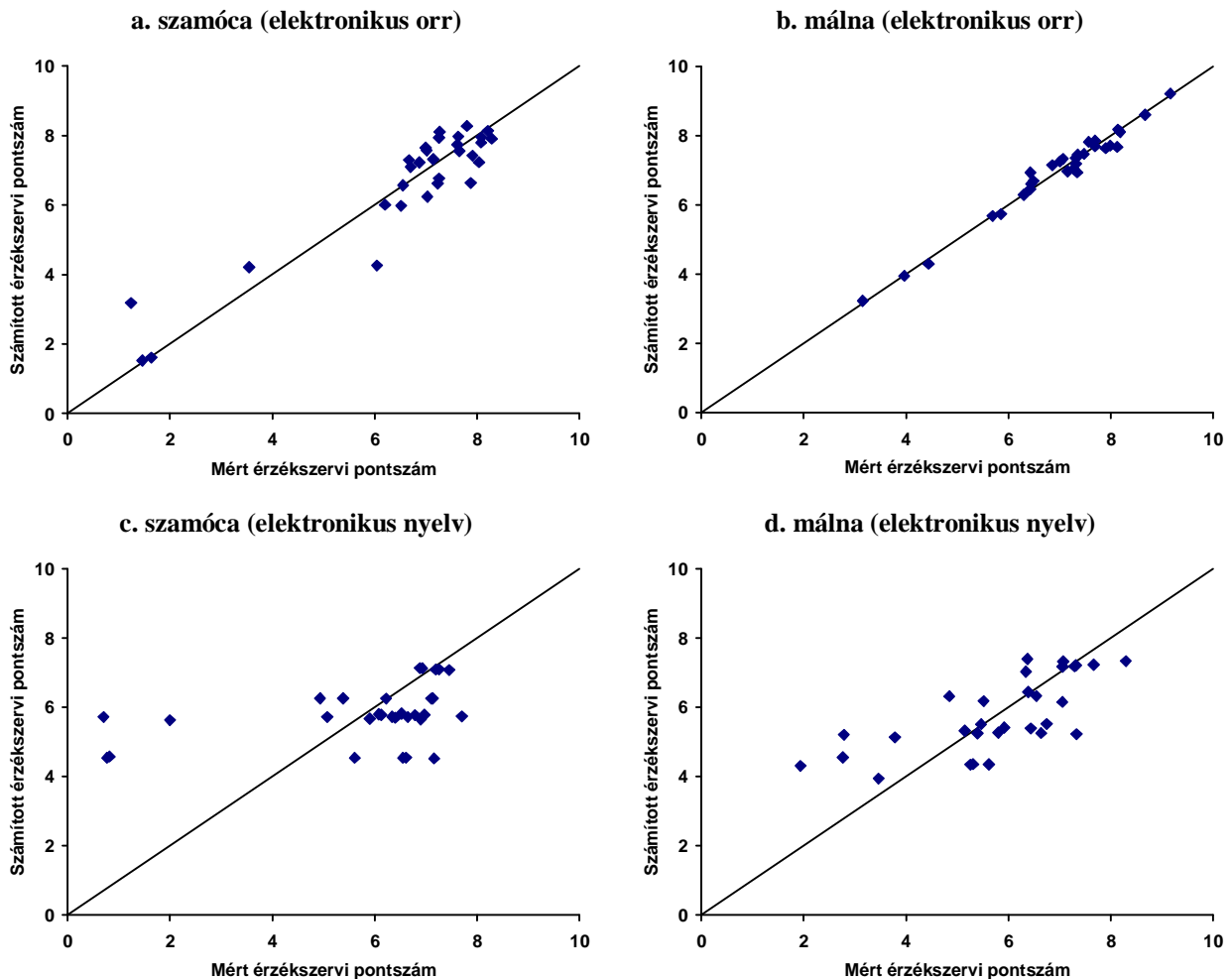
Az elektronikus nyelv szenzor-jelválaszainak értékelését az elektronikus orrhoz hasonló gondolatmenet alapján végeztem el. A 29b.-29f. ábrákon láthatók a tárolási körülmények hatásai a szenzor-jelválaszokra. A kezelések közötti különbségek itt is megfigyelhetők. A hő- és a nyomáskezelt minták az első diszkriminációs-irány szerint különülnek el leginkább. Azonban ennél a mérési eljárásnál a tárolási hőmérséklet nagyobb hatása volt kimutatható. Míg a szamócánál a 14. napon (29c. ábra) a hőkezelt minta változatai a 2. diszkriminációs-irány szerint különülnek el, ugyanakkor a HHP-kezelt termékek az első irány szerint rendeződtek a tárolási hőmérséklettől függő sorrendbe. A 28. napon (29e. ábra) mindkét diszkriminációs-irány szükséges volt a kezelések és a tárolási körülmények megkülönböztetéséhez, tehát a tárolási hőmérséklet egyre jelentősebb szereppel bírt. A folyamat még látványosabb a málnamintáknál (29d. és 29f. ábra). Míg lényegében a 14. nap (29d. ábra) az első diszkriminációs-irány a kezeléseket különítette el egymástól, addig a 28. nap (29f. ábra) már a különböző hőmérsékleten tárolt HHP-kezelt mintákat. Ez alapján megállapítható, hogy az elektronikus nyelvvel mért ízkarakter tekintetében jelentősebb szerep tulajdonítható a tárolási hőmérsékletnek, mint az elektronikus orrnál.

Az elektronikus nyelv szenzor-jelválaszait is egyesítettem egy közös modellben (30c. és 30d. ábrák). Összehasonlítva az elektronikus orrnál kapott hasonló eredményekkel (30a. és 30b. ábrák) látható, hogy a közös modellben a fő diszkrimináló tulajdonság nem a kezelési mód, hanem a tárolási idő. Az első diszkriminációs-irány szerint a különböző tárolási napok mintái különültek el mindkét gyümölcsnél. Érdekes kérdés, hogy a 29. ábrákkal szemben, miért nem a kezelési mód vagy a tárolási hőmérséklet szerint csoportosulnak a minták. Személyes konzultációk után arra következtetésre jutottam, hogy a csoportalkotásban nagy szerepet játszott a szenzor-drift nevű probléma. Ez a jelenség a kémiai-érzékelősorok egyik fő problémája, nevezetesen a szenzorok karakterisztikája az idő előrehaladtával, ha kis mértékben is, de szisztematikusan változik (a szenzor „öregszik”). Ezt a változást a különbségek kimutatására fejlesztett számítási algoritmusok tényleges különbségként értékelik, és beépítik a modellbe. Számos kutatócsoport dolgozik a szenzor-drift kezelésén, amin leginkább a kalibrációs technikák fejlesztése értendő. Keresik azokat a vegyületeket, amikkel kondicionálhatók, kalibrálhatók a szenzor-sorok, illetve olyan számítási algoritmusokat fejlesztenek, amelyek matematikai-statisztikai úton próbálják a különböző időpontokban végzett adatgyűjtések eredményeit összehasonlítható formába hozni. Az elektronikus nyelv szenzorai különösen ki vannak téve ennek a jelenségnek, mivel a szenzorok folyamatosan fizikai kapcsolatba lépnek a vizsgált élelmiszerrel. Ennek alapján az elektronikus nyelv szenzor-jelválaszainak értékeléséhez az azonos tárolási napokon vizsgált minták összehasonlítását tartom célravezetőnek.

Annak ellenőrzésére, hogy az illatra, az ízre valamint a kedveltségre vonatkozó érzékszervi pontszámok és a műszeres módszerek között kimutatható-e összefüggés, PLS-regressziót végeztem. Egy-egy példát mutatok be a 31. ábrán, valamint a 9. táblázatban közlöm a kapott regressziós modellek megbízhatóságát leíró korrelációs együttható és a (6) képlet alapján számított RMSEC/RMSEP értéket.

A 31. ábra elemei jól szemléltetik a 9. táblázat eredményeit. Megfigyelhető, hogy ugyanarra az érzékszervi tulajdonságra többnyire pontosabb becslés született málnánál, mint szamócánál. A becslés jósága a korrelációs együttható értékének növekedésében illetve a predikciós hiba (RMSEC/RMSEP) értékének csökkenésében jelentkezik. Az RMSEC érték a kalibrációhoz, az RMSEP pedig a keresztvalidációhoz tartozik. Értékük megmutatja, hogy mekkora hibával becsülhető a referencia paraméter, mely esetünkben az érzékszervi bírálatok pontszámai, dimenziójuk is megegyezik velük. A látens változók számát az RMSEP értékek minimumánál határoztam meg. Szembetűnő, hogy az elektronikus nyelv eredményeknél milyen kevés látens változó után már emelkedik az RMSEP értéke. Szamócánál csak 1-1 faktort volt érdemes

beépíteni a modellbe ahhoz, hogy minimális legyen a predikciós hiba mértéke. Ennek is köszönhető, hogy az elektronikus nyelv korrelációs együtthatóinak értéke elmarad az elektronikus orrétól. Viszont ha több faktort építünk be a modellbe, akkor az r értékével az RMSEP értéke is nő. Tehát itt is megállapítható, hogy az elektronikus nyelv szenzor-jelválaszai kisebb mértékben korreláltak az érzékszervi bírálók pontszámaival, mint az elektronikus orr jelválaszai, aminek magyarázata szintén a korábban említett szenzor-drift lehet.



31. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták elektronikus orr és -nyelv szenzor-jelválasz és a profilanalitikus érzékszervi vizsgálat aromás illat/íz karakter közötti kapcsolat vizsgálata PLS-regresszióval

9. táblázat Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények (5, 10 és 20°C, 0-28 nap) között tárolt szamóca- és málnapüré-minták elektronikus orr és -nyelv szenzor-jelválasz és a profilanalitikus érzékszervi vizsgálat illat/íz karakterek közötti kapcsolatokat vizsgáló PLS-regressziók mutatószámai

		Szamóca					Málna				
		faktorok száma	r		RMSEC/RMSEP		faktorok száma	r		RMSEC/RMSEP	
Elektronikus orr	Gyümölcsre jellemző illat	1	0,221	-0,472	1,78	2,17	5	0,846	0,690	0,667	0,91
	Kellemesen aromás illat	11	0,932	0,717	0,698	1,42	17	0,987	0,908	0,21	0,57
	Főtt illattól mentes	10	0,932	0,774	0,60	1,27	7	0,812	0,552	0,61	0,92
	Kedveltség	15	0,944	0,650	0,70	1,87	4	0,806	0,605	0,89	1,25
Elektronikus nyelv	Gyümölcsre jellemző íz	1	0,403	0,192	1,58	1,74	4	0,657	0,480	1,05	1,25
	Kellemesen aromás íz	1	0,404	0,171	1,81	2,01	3	0,68	0,553	1,09	1,28
	Főtt íztől mentes	1	0,487	0,338	1,36	1,49	3	0,573	0,346	0,94	1,12
	Kedveltség	1	0,436	0,212	1,92	2,15	3	0,621	0,421	1,18	1,40

Megjegyzés: a értékek a keresztvalidációra vonatkoznak

Összegezve a bogyógyümölcs-püréken kémiai érzékelősorokkal végzett tárolási vizsgálataim eredményét megállapítható, hogy mind az elektronikus orr mind az elektronikus nyelv alkalmas volt a különböző hőmérsékleten tárolt hőkezelt (80°C-os 5 perc) és nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) minták megkülönböztetésére az egyes tárolási napokon. Az elkülönülések alapján az azonos ideig tárolt mintáknál a tartósítási műveletnek nagyobb hatása volt a műszeresen mérhető tulajdonságokra, mint a tárolási hőmérsékletnek. A különböző időpontokban végzett műszeres vizsgálatok adatait megbízhatóan az elektronikus orrnál vonhatjuk össze egy modellben. Az elektronikus orr szenzor-jelválaszai erősebb lineáris kapcsolatot mutattak az érzékszervi bírálat adataival, mint az elektronikus nyelv szenzor-jelválaszai.

4.5 Színmérés

A 32. ábrán tüntettem fel a két fajta gyümölcs három színösszetevőjének alakulását a tárolási idő függvényében. Köszönhetően az ismétlések kis szórásának, a minták közötti kis különbségeknek és a kisméretű ábráknak, az áttekinthetőség kedvéért nem tüntettem fel a szórások értékeit az átlagadatokon a 32. ábra részletein. Viszont a csoportok különbözőségét mindhárom színösszetevőnél statisztikailag is értékeltem. A statisztikai elemzés eredményeit a M6-M8. mellékletben tüntettem fel.

Az L* világossági tényező 0-100 közötti értéket vehet fel. A 32a. és 32b. ábrák mutatják, hogy a bogyógyümölcsök világossági tényezői a tárolási idő alatt végig a 30-40 közötti tartományban mozogtak, tehát a skála sötétebb (fekete=0) végéhez voltak közelebb. A málnaminták L* értékei nagyobbak a szamócamintákénál, ami azt jelenti, hogy a málnapüré kicsivel világosabb volt. A kezelések hatását tekintve a M6. melléklet adatai alapján elmondható, hogy egyik tartósító művelet sem okozott szignifikáns változást közvetlenül a kezeléseket követően a minták műszeresen

mért L^* értékében egyik gyümölcsnél sem. A tárolási időszak alatt a különböző módon tartósított minták változásaiban azonos tendenciák nem figyelhetők meg a két gyümölcsnél, hiszen a szamócánál a hőkezelt, málnánál a HHP-kezelt minta változásai kisebbek a kiinduló állapothoz képest. A tárolási hőmérsékletek hatását tekintve még kisebb változások történtek, mint a kezelések hatására.

Ugyanakkor a 10. táblázat L^* értékekre vonatkozó eredményei érdekes dologra hívják fel a figyelmet. Kiszámoltam a profilanalitikus érzékszervi bíráló pontszámai és a műszeres mérés értékei közötti korrelációs együtthatók értékét. Szamócánál a kismértékű L^* változása ellenére a világossági tényező és a Szín tulajdonságra adott pontszámok között erős lineáris összefüggés mutatkozott. A negatív előjel azt jelenti, hogy minél világosabb volt a minta (minél nagyobb az L^* értéke) annál kisebb pontszámot kapott a bírálóktól. A fordított arányosság megjelenik a málnánál is, de nem mutatható ki szignifikáns korreláció a különböző vizsgálati módszerek útján kapott adatok között.

10. táblázat Kezeletlen, hővel (80°C, 5 perc) vagy nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, különböző körülmények (5, 10 és 20°C, 0-28 nap) között tárolt szamóca- és málnapüré-minták színre valamint a kedveltségükre adott érzékszervi bírálati pontszámok között számolt korrelációs együtthatók értéke

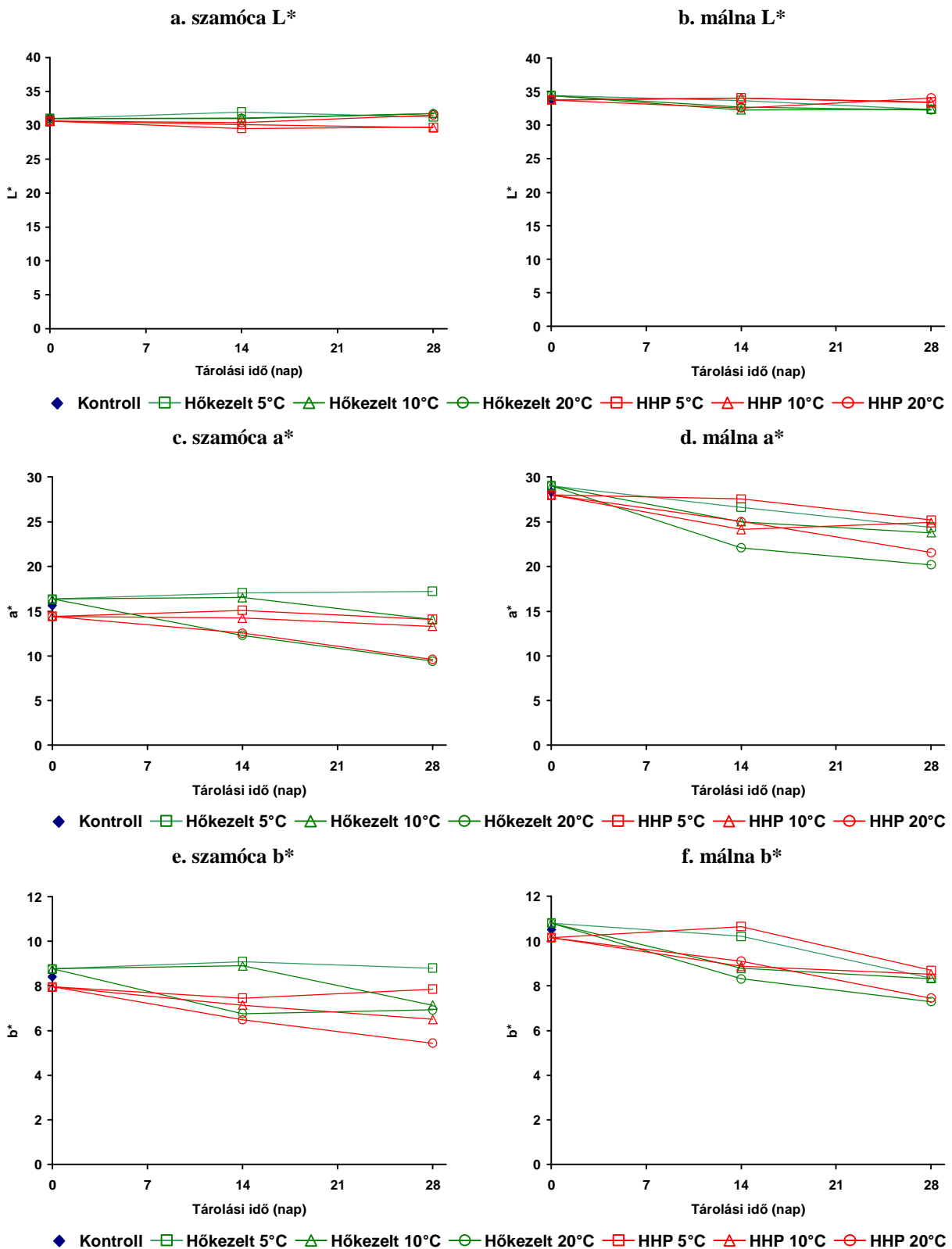
Érzékszervi tulajdonság		L^*	a^*	b^*
Szamóca	Szín	-0,762 **	0,035	-0,138
	Kedveltség	-0,475	0,765 **	0,587 *
Málna	Szín	-0,417	-0,137	-0,054
	Kedveltség	0,360	0,727 **	0,699 **

Megjegyzés: * szignifikáns 95%-os valószínűségi szinten
** szignifikáns 99%-os valószínűségi szinten

Az elektronikus orr és –nyelv szenzor-jelválaszaiban valamint az érzékszervi bíráló pontszámaiban fellelhető hasonló tendenciák keresésénél említettem, hogy a különböző tendenciák háttérében a minták színének a bírálókra gyakorolt hatása is állhat. A 10. táblázat rámutat arra, hogy mindkét gyümölcsnél a Kedveltségre (Összbenyomás) adott pontszámok és a piros-zöld színezeti tényező (a^*) között erős lineáris összefüggés mutatható ki. Ez megerősíti azt, hogy a vizsgált bogyógyümölcsök piros színére ható változások mérséklésére külön oda kell figyelni a termék-előállítás során.

A gyümölcsök piros színének köszönhetően a piros-zöld színkomponens (a^*) értékei pozitív előjelűek voltak. A szamóca értékei 10-15, a málnáé 20-30 között voltak, tehát a málna színében erősebb piros szín volt mérhető. A kezelések közvetlen hatását tekintve lényeges változások nem történtek, bár szignifikáns különbség volt kimutatható mindkét esetben a hő- és a HHP kezelt minták a^* értékei között. Mindkét gyümölcsnél a hőkezelt mintáknak a kontroll mintánál nagyobb volt a piros színezeti tényezője, azonban csak a málnánál nőtt meg szignifikáns – de

nem jelentős – mértékben. A HHP-kezelt minták piros színe a kontrolléval megegyezett, vagy annál kisebb volt, bár szignifikáns különbséget nem lehetett kimutatni.



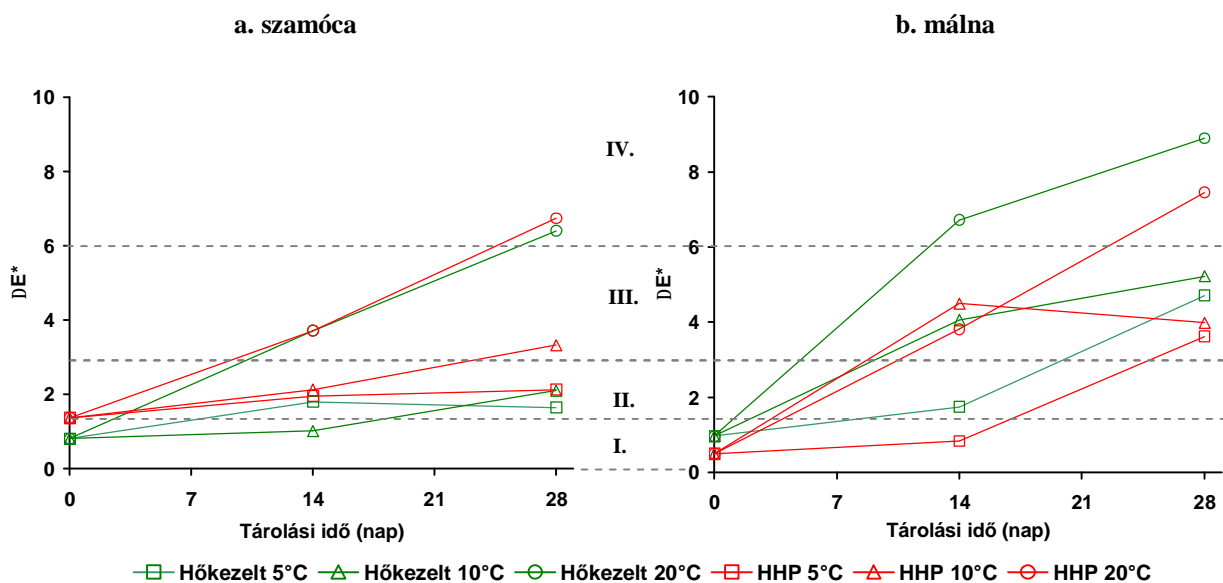
32. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták műszeres színérésének L*a*b* értékei

A tárolás alatt mindkét gyümölcsnél a tárolási hőmérsékletnek kitüntetett szerepe volt a piros jelleg változásában. A szamócánál a hűtve tárolt HHP-kezelt minták piros színe nem változott számottevően. Hasonló tendenciát mutatott az 5°C-on tárolt hőkezelt szamócaminta is, valamint a 10°C-on tárolt szamócaminta is csak a tárolás második felében mutatott némi változást. Azonban a szobahőmérsékleten tárolt szamócaminták piros jellege nagyobb ütemben változott a hűtve tárolt változatokhoz képest függetlenül a tárolást megelőző kezelés módjától. A málnánál szintén a 20°C-on tárolt minták változtak leginkább, annyi különbséggel, hogy míg a szamócánál a változás a tárolás teljes ideje alatt folyamatosan ment végbe a hő- és a nyomáskezelt mintákban egyaránt, addig a málnánál a hőkezelt minta a^* értéke a tárolás elején csökkent nagyobb mértékben, a második szakaszban már csak kisebb mértékű volt a csökkenés. Hasonló tendencia fedezhető fel a 10°C-on tárolt HHP-kezelt málnaminta változásában is. További különbség a szamócahoz képest, hogy a hűtve tárolás egyik kezelésnél sem biztosított változatlan a^* értékekkel rendelkező terméket. Azonban itt is megállapítható, hogy a hűtve tárolt minta jobban megőrizte piros jellegét, mint a szobahőmérsékleten tárolt minták.

A 10. táblázat a szamócánál szignifikáns, a málnánál erősen szignifikáns korrelációt mutat a b^* színezeti tényező és a Kedveltség érzékszervi tulajdonság pontszámai között. A b^* értéke a sárga-kék színátmenet mértékét mutatja. A pozitív előjel itt a sárga színezetet jelenti. A 32e. és 32f. ábrákon megfigyelhető, hogy értékük a b^* kisebb az a^* értékekhez képest. Szamócánál ez csak 6-9, míg málnánál 8-11. Tehát a minták színét elsősorban a piros színjelleg határozta meg. A változások tendenciáját tekintve hasonló megállapítások tehetők, mint az a^* értéknél. Itt is megfigyelhető a hűtött hőkezelt szamócaminta jobb színezet-megtartó képessége, valamint a szobahőmérsékleten tárolt minták nagyobb ütemű változása, ami viszont a hőkezelt mintánál csak a kezdeti tárolási szakaszra korlátozódott. A 10 és 20°C-on tárolt hőkezelt szamócaminták b^* értékei között a tárolás végére nem lehetett szignifikáns különbségeket kimutatni. A málnánál a tárolás kezdeti szakaszában lassabb, majd a második szakaszban egy gyorsabb változás figyelhető meg az 5°C-on tárolt mintákban, ugyanakkor a szobahőmérsékleten tárolt hőkezelt mintában egy ellentétes tendencia mutatkozott, vagyis a tárolás elején nagyobb, a végén kisebb sebességgel történt a változás. Lényegében megállapítható, hogy itt is a 20°C-on tárolt málnaminták különültek el leginkább a tárolási időszak végére.

Az egyes színösszetevők egyedi értékelése után érdemes megnézni, hogy milyen tendenciák figyelhetők meg a színinger-különbség (ΔE^*) értékei alapján. A ΔE^* értéke számszerűsíti az egyes minták színinger-különbségeit a referencia mintához – esetemben a kontroll mintához – képest. A 3. táblázat adatai alapján meghatározható, hogy a műszerrel mért különbség mekkora eltérésnek felel meg az emberi észlelés számára. A 33. ábra mutatja a tárolási idő függvényében

a különböző kezelési módokhoz és tárolási körülményekhez tartozó ΔE^* értékeket. Az ábrán bejelöltem a 3. táblázat alapján az emberi színkülönbség-érzékelés kategóriáit is.



(az észlelt különbségek: I. nem vagy csak alig vehető észre; II. észrevehető; III. jól látható; IV. nagy)

33. ábra Hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták színinger-különbség értékei (ΔE^*) a kezeletlen kontroll mintához hasonlítva

A 33. ábrán látható, hogy mindkét gyümölcsnél a tárolási időszak végére nagy különbség mutatható ki a szobahőmérsékleten tárolt minták és a kontroll minta között függetlenül a kezelési módtól. A hűtés hőmérsékletének egy-egy kezelésen belüli hatása is megfigyelhető, hiszen a tárolás végére minden esetben az 5°C-on tárolt mintának kisebb a ΔE^* értéke mint a 10°C-on tárolt mintának, vagyis kisebb mértékben változott a színe az induló állapothoz képest. A kezelések hatása a hűtött mintáknál nem mutat azonosságot a két gyümölcsnél, hiszen a szamócánál a hőkezeltben, málnánál a nyomáskezelt mintában lehetett kisebb változásokat kimutatni. Ugyanakkor az emberi érzékelés alapján meghúzott határvonalakat figyelembe véve elmondható, hogy a kezelések közötti különbségek nem jelentősek. Az azonban érdekes, hogy míg a szamócánál a különbségek az észrevehető kategóriába tartoznak, addig a málnánál már a jól láthatóba. Ez is felhívja a figyelmet bogyógyümölcs-fajták eltérő viselkedésére, amit a technológiák méretezésénél külön-külön meg kell vizsgálni. A gyümölcsfajták közötti különbségnél maradván érdemes még egyszer kiemelni a változások dinamikájában tapasztalható eltéréseket. Mialatt a szamócánál lényegében egy folyamatos, szinte állandó sebességű változást tapasztalunk, addig a málnánál a tárolási hőmérséklettől függően változó sebességgel történik a minták színének a változása. A kisebb hőmérsékleten tárolt mintákban kezdetben lassabban, majd gyorsuló sebességgel, a nagyobb hőmérsékleten tárolt mintákban kezdetben gyorsabban, majd lassuló ütemben lejátszódó változásokat tapasztalunk.

A tárolási hőmérséklettől függő ΔE^* változásról számoltak be OCHOA és munkatársai 1999-ben. A vákuumbepárlással koncentrált málnapürét 8 percig forrásban lévő vízbe helyezték, majd lehűtés után 4, 20 és 37°C-on tárolták 90 napig. A kezeletlen kontroll mintával összehasonlítva a 37°C-on tárolt minták színínger-különbsége a 28. napra meghaladta a 10-es értéket míg a 20°C-on tárolt mintánál a 4-es érték körül mozgott. A 4°C-on tárolt minták ΔE^* értékei stabilan 0,5-1 érték körül ingadoztak végig a tárolás 90 napja alatt. Ha összehasonlítom eredményeiket az enyémmel megjegyzendő, hogy a vizsgálataim során nagyobb változásokat mutattak málnamintáim a 20°C-os tárolás során és nem maradtak változatlanok 5°C-on sem.

Az Irodalmi áttekintés 2.3 fejezetében ismertettem a szamóca és a málna színét alakító pigmenteket, valamint a 2.4.4.3 fejezetben utaltam néhány tudományos publikációra, melyek ezeknek a pigmenteknek a HHP-kezelés hatására bekövetkező változásaival foglalkoznak. Mivel a további eredményeim között szerepel néhány antocianin és fenol vegyület vizsgálata, így ezeknek a változására, és a színváltozásra gyakorolt hatására ott térek ki részletesebben.

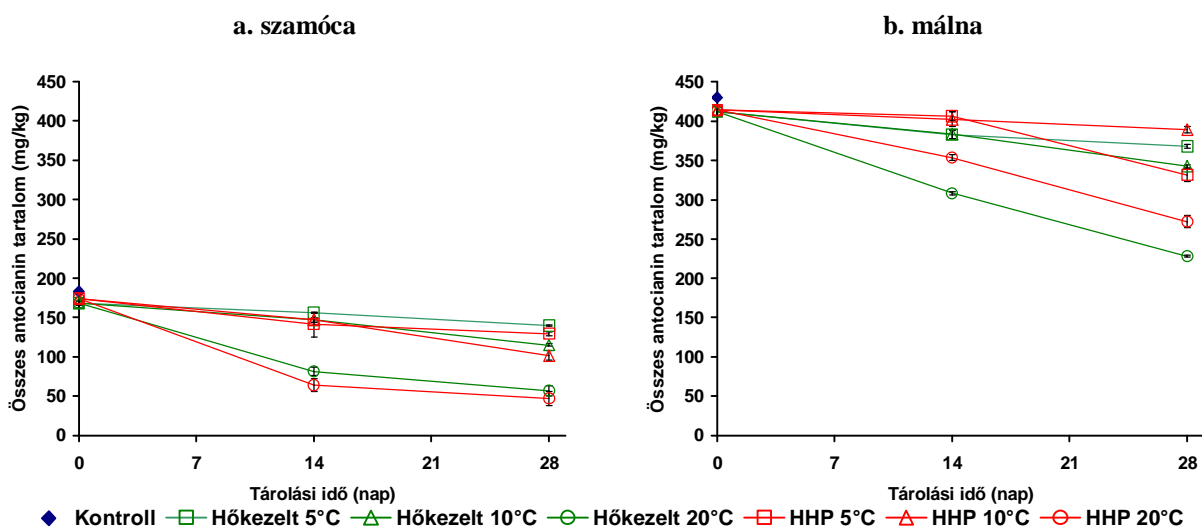
Összegezve a különböző hőmérsékleten tárolt hőkezelt (80°C-os 5 perc) és nyomáskezelt (600 MPa 4°C 5 perc) bogyósgyümölcs-püré minták tristimulusos színmérés eredményeit megállapítható, hogy az L^ világossági tényező egyik vizsgált bogyósgyümölcsnél sem változott lényegesen a tárolási idő előrehaladtával, ugyanakkor a piros (a^*) és a sárga (b^*) színezeti tényezők a tárolási hőmérséklettől függően csökkenést mutattak. A legnagyobb változást a szobahőmérsékleten tárolt minták mutatták, s a legkisebbet az 5°C-on tároltak. A színínger-különbség (ΔE^*) értékek alapján megállapítható, hogy a tárolást megelőző kezelések csak néhány hűtve tárolt mintánál okoztak eltérést. A színváltozás dinamikája eltérő a két gyümölcsfajtánál.*

4.6 Biológiai aktív komponensek vizsgálata

4.6.1 Antocianin-tartalom vizsgálata

A szamóca- és málnapürék összes antocianin változásai a 34a. és 34b. ábrákon láthatók, valamint a M9. melléklet mutatja a statisztikai elemzés eredményeit. Jól észrevehető különbség mutatkozott a két gyümölcs összes antocianin-tartalma között. Az antocianin-tartalmat a kezeléseim viszonylag jól megőrizték, habár a tartósító műveletek közvetlen hatását tekintve elmondható, hogy mindkét gyümölcsnél mindkét kezelés hatására csökkent az antocianin-tartalom. A hőkezelt szamócánál 8%-kos szignifikáns csökkenés mutatkozott, míg a HHP-kezelt mintánál 4,8%-os nem szignifikáns csökkenés következett be. Málnánál bár mindkét kezelés szignifikánsan csökkentette az antocianin-tartalmat, kisebb változás volt tapasztalható (hőkezelt

4,2%, HHP-kezelt 3,8% veszteség), mint a szamócánál. Hasonló tendenciát figyeltek meg PATRAS és munkatársai (2009). Ők is azt tapasztalták, hogy mindkét gyümölcsnél a hőkezelés szignifikáns mértékű csökkenést eredményezett (szamócánál 29%, szedernél 3% a veszteség), miközben az HHP-kezelés egyik szintje sem okozott szignifikáns csökkenést. Érdekes különbség, hogy az általam nagyobb hőmérsékleten végzett hőkezelés kisebb mértékű csökkenést eredményezett, mint náluk. A saját, HPLC elválasztást követő egyedi antocianin-vegyületek vizsgálatánál is hasonló tendencia figyelhető meg, amit a 35. ábrán mutatok be. Szamócánál a kontroll mintával szinte azonos mennyiségű antocianin-vegyület mértem a HHP kezelt mintában (0,5-3,5% veszteség), málnánál egy kissé meg is haladta a kontroll minta mennyiségét (kb. 10%-kal). Feltételezhetően a HHP-kezelésnek indirekt hatása érvényesült a nagyobb mennyiségű antocianin-vegyület kimutatása során. Valószínű, hogy nem a komponensek abszolút mennyisége nőtt meg, hanem a kezelés javította az antocianin-vegyületek extrahálhatóságát.

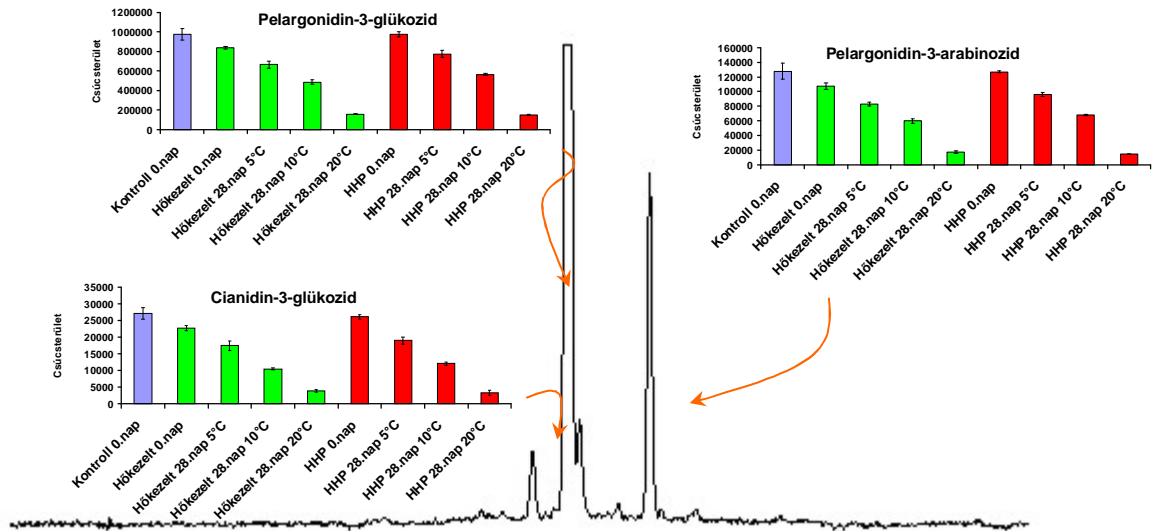


34. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták összes antocianin tartalmának alakulása a tárolási idő függvényében

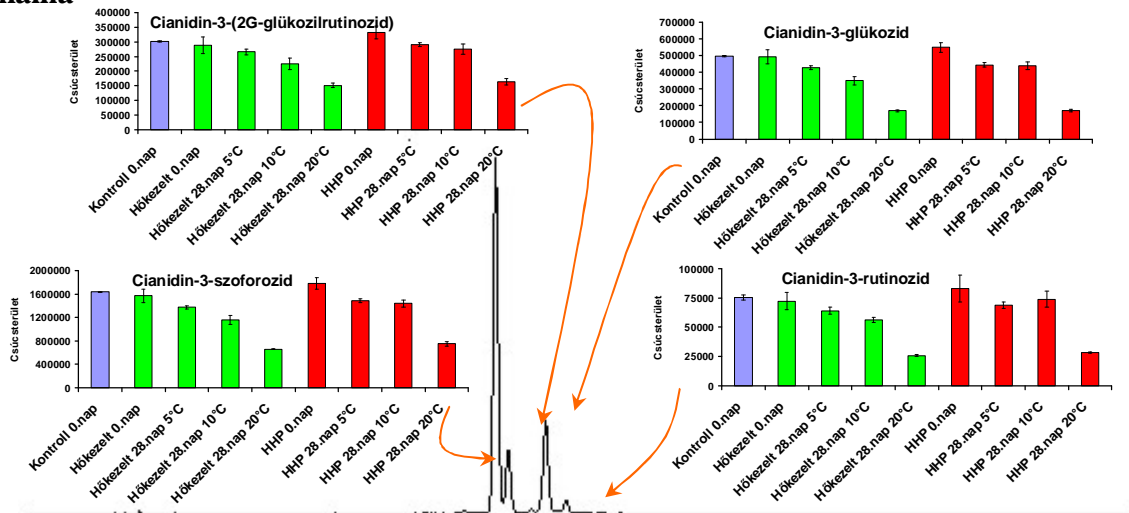
Mind az összes antocianin-tartalom (34a. és 34b. ábra), mind az egyedi antocianin-vegyületeket tekintve (35. ábra) a tárolási körülmények jelentős hatása mutatkozott. A tárolás alatt folyamatosan csökkent az összes antocianin-tartalom a tárolási hőmérséklettől függően (34. ábra). Mindkét gyümölcsnél és mindkét kezelésnél a legnagyobb hőmérsékleten tartott mintákban volt a legnagyobb mértékű a csökkenés. A 20°C-on tárolt szamócamintánál a hőkezelt és nyomáskezelt minták antocianin-tartalmai közel azonos intenzitással csökkentek. Azonban annak ellenére, hogy közvetlenül a kezelés után kb. 3%-kal több összes antocianin volt kimutatható a HHP-kezelt szamócamintában a kontroll mintához képest, a 14. napon 10%-kal több volt a hőkezeltben (44,5%), mint a nyomáskezeltben (34,8%). Az utolsó tárolási napra a különbség mérséklődött, de így is 5%-kal több pigment volt a hőkezeltben (31,1%, HHP:

25,6%). A málnánál azonban végig 10%-kal több antocianint mértem a HHP-kezelt mintában, mint a hőkezeltben.

a. szamóca



b. málna



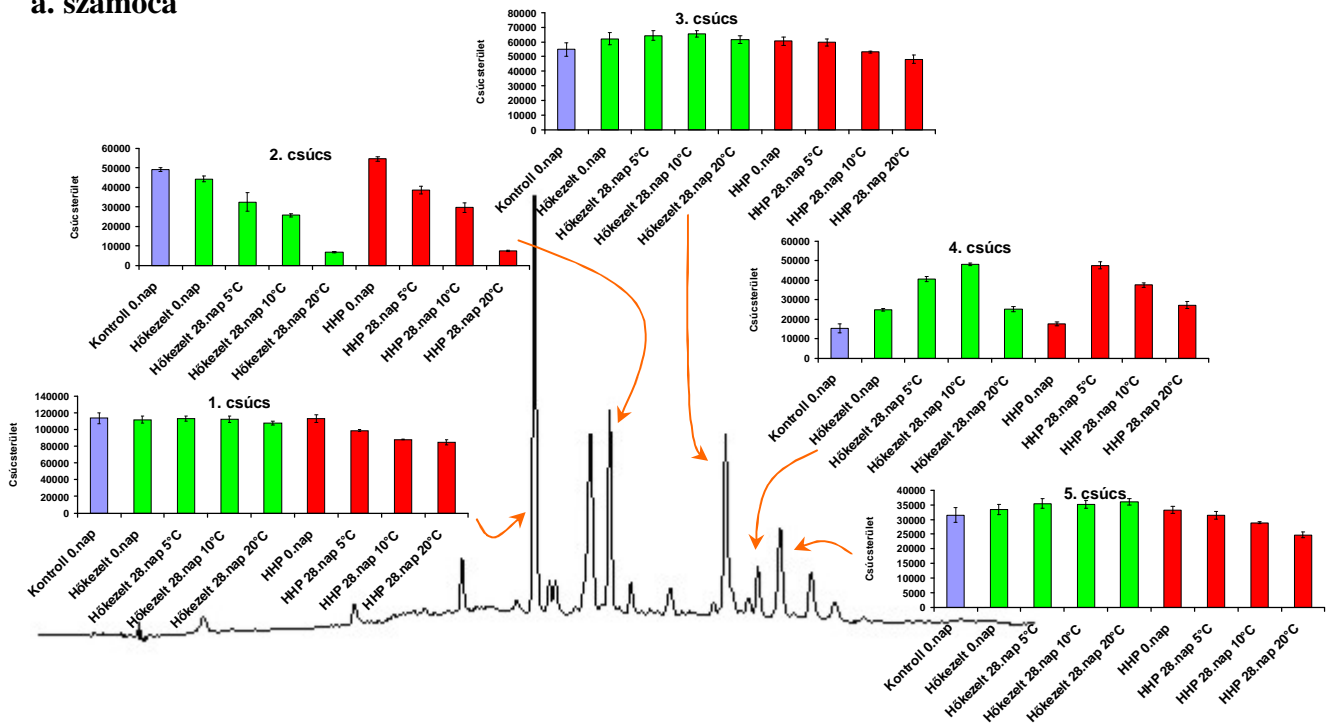
35. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző hőmérsékleteken tárolt szamóca- és málnapüré-minták HPLC módszerrel mért antocianin vegyületeinek alakulása a tárolás 0. és 28. napján

A tárolás végére abszolút értékben és arányában is több antocianin volt jelen a málnában (hőkezelt 53%, HHP-kezelt 63,2%). A 0. napos és 28 napig szobahőmérsékleten tárolt minták egyedi antocianin-tartalmát összehasonlítva (35. ábra) szintén hasonló tendenciát figyelhetünk meg. Szamócánál a hőkezelt mintában volt mérhető egy kicsivel több antocianin (hőkezelt: 13,2-16%; HHP: 11,3-15,2%), málnánál a nyomáskezeltben volt kb. 5%-kal több az antocianinok mennyisége (hőkezelt: 34,1-50,2%; HHP: 34,2-54,2%).

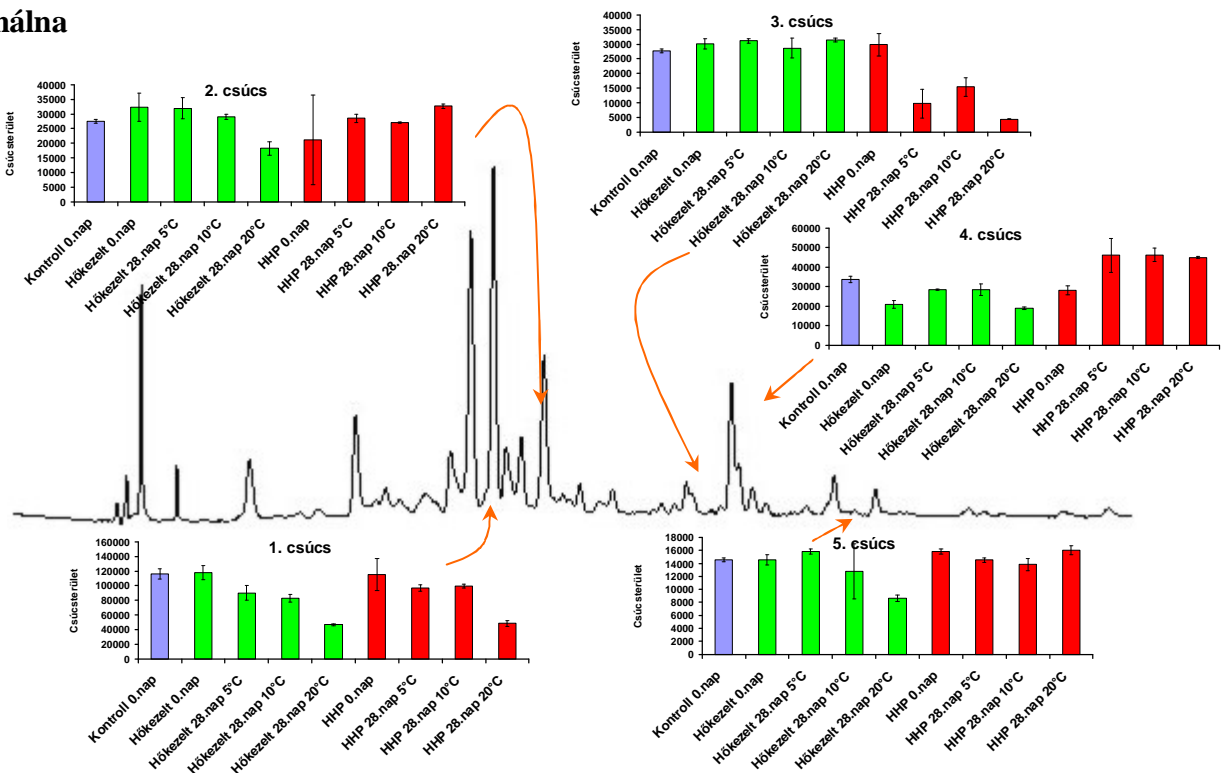
A hűtve tárolt mintákban kisebb sebességgel csökkent az antocianinok mennyisége a tárolási idő előrehaladtával, de esetükben is megfigyelhetők az előzőekben leírt, gyümölcstől függő tendenciák. Csak egy példát említve: a 14 napig 10°C-on tárolt hőkezelt szamócaminta antocianin-tartalma a kezeletlen kontrollhoz képest 80,3% volt, ami a 28. napra 62,8%-ra csökkent. Ugyanilyen körülmények között tárolt HHP-kezelt szamócamintánál ez a változás 80,3%-ról 55,7%-ra történt. Tehát a hőkezelés bizonyult jobb antocianin megőrzőnek. Málnánál a hőkezelt minták antocianin-tartalma 89,1%-ról 79,6%-ra, a nyomáskezelt mintáknál 93,5%-ról 90,4%-ra változott, így itt a HHP-kezelés bizonyult jobbnak. Hasonló eredményre jutott KIMURA munkatársaival 1994-ben. Ők is azt tapasztalták, hogy a HHP-kezeléssel előállított szamócadzsemekben gyorsabban csökkent az antocianin-tartalom, mint a hagyományos, hőkezeléssel előállított változatban, és mindkét esetben a tárolási hőmérséklet befolyásolta a változás sebességét. Esetükben is a legfontosabb szerepe a minőség-megőrzésben a tárolási hőmérsékletnek volt, hiszen az 5°C-on tartott, bármelyik kezeléssel előállított mintában több antocianin-tartalom volt, mint a 25°C-on tartott mintákban.

Az Irodalmi áttekintésben utaltam OCHOA és munkatársai publikációjára (1999), melyben hőkezeléssel tartósított málnapulpok antocianin-tartalmát vizsgálták. A 4, 20 és 37°C-os tárolás során a 28. tárolási napra 8, 60 és 81%-os csökkenés történt, tehát jóval nagyobb mértékű, mint az én vizsgálataimnál. Korábban szintén említettem a kondenzációnak nevezett jelenséget, amikor is az antocianinok kovalens kötésekkel kapcsolódnak más jelenlévő flavonoidokhoz (flavonolokhoz), újabb pirán gyűrűt képezve a szerkezetben (TIWARI et al. 2009). Erre a fajta átalakulásra is visszavezethető változást mutat a 36. ábra, amely az egyedi antocianin vegyületek változásához (35. ábra) hasonlóan mutatja be a néhány flavonol vegyületet jelképező kromatográfiás csúcs alakulását.

a. szamóca



b. málna



36. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző hőmérsékleteken tárolt szamóca- és málnapüré-minták HPLC módszerrel mért domináns flavonol vegyületeinek alakulása a tárolás 0. és 28. napján

Sajnos ebben az esetben nem sikerült a vegyületeket azonosítanom, így a komponens konkrét megnevezésétől eltekintve, „csúcs”-ként jelölve mutatom be a tendenciákat. Megfigyelhető, hogy a kezelések és a tárolási körülmények hatásai nem mutatnak annyira egy irányba, mint az antocianinoknál (35. ábra). Olyan csúcsokat választottam ki, amelyekben mindenfajta változás megfigyelhető. Példaként a szamócat kiragadva, s nem bonyolódva a változások számszerűsítésébe látható, hogy az 1. csúcs területe a hőkezelt mintákban állandó volt, míg a HHP-kezelt mintákban a tárolási idő végére a tárolási hőmérséklettől függően csökkent. A 2. csúcsonál mindkét kezelésnél csökkent a területek nagysága, míg a harmadik és az ötödik csúcsonál a hőkezeltnél fokozatosan nőtt, a HHP-kezeltnél fokozatosan csökkent. A negyedik csúcs területváltozása is hasonló irányú, de sokkal határozottabb. A tény, hogy a komponensek mennyisége nemcsak csökken, hanem esetenként növekedést is mutat, jelzi az egymásba való alakulás folyamatát. A flavonoidokhoz kapcsolódó néhány kiegészítő elemzést a későbbiekben közlök.

GÖSSINGER és munkatársai (2009) felhívják a figyelmet a kopigmentáció jelenségére. A kopigmentáció során az antocianinok polifenollokkal kapcsolódnak össze, ezáltal képezve olyan komponenseket, amelyek stabilabbak az antocianin monomereknél. A kopigmentációt a színtelítettség növekedése (hiperkromatikus változás) és az angol terminológia szerint egy ún. „bathochromic shift” jelensége kíséri, amikor is minta abszorpciós maximuma eltolódik, és a termék kékesebb árnyalatúvá válik. Ezt változást figyelembe véve úgy gondoltam, hogy az összes antocianin-tartalom és a tristimulusos színmérés közötti kapcsolat felmérését nem csak a piros-zöld színezeti tényezővel (a^*), hanem a sárga-kék tényezővel (b^*) is elvégzem. A 11. táblázat mutatja a kiszámolt korrelációs együtthatókat. Megfigyelhető, hogy a málnánál szignifikáns, a szamócánál erősen szignifikáns kapcsolat mutatkozott mindkét színtényezőnél és a vizsgált vegyületek között. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a tárolt szamóca- és málnamintáimnál nem beszélhetünk a színtelítettség (C) növekedéséről, mert ahhoz mindkét színtényezőnek növekednie kellett volna a $C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ képletből alapján. Továbbá a csökkenő b^* értékek ellenére sem nevezném kékesebb színűeknek a mintáimat, maximum kevésbé sárgának. Így egyértelműen nem jelenthető ki a tristimulusos színmérés eredmények alapján a kopigmentáció ténye. Viszont a 11. táblázat összes fenoltartalomra vonatkozó adatai a szamócánál mutatnak ki szignifikáns mértékű kapcsolatot és a málnánál erősen szignifikánsút. Tehát a fenoltartalomban bekövetkező változás mindenképpen szerepet játszik a színjellemzők alakulásában. Ezt érdemes a téma folytatása során spektrofotometriás mérési módszerrel is megvizsgálni.

11. táblázat Kezeletlen, hővel (80°C, 5 perc) vagy nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, különböző körülmények (5, 10 és 20°C, 0-28 nap) között tárolt szamóca- és málnapüré-minták műszeresen meghatározott piros-zöld (a*) és sárga-kék (b*) színjellemzői valamint a biológiailag aktív komponenseinek mennyisége között számolt korrelációs együtthatók értéke

	Szamóca			Málna		
	Összes antocianin tartalom	Összes fenoltartalom	C-vitamin tartalom	Összes antocianin tartalom	Összes fenoltartalom	C-vitamin tartalom
a*	0,859 **	0,582 *	0,708 **	0,562 *	0,921 **	0,811 **
b*	0,822 **	0,731 **	0,769 **	0,583 *	0,894 **	0,795 **

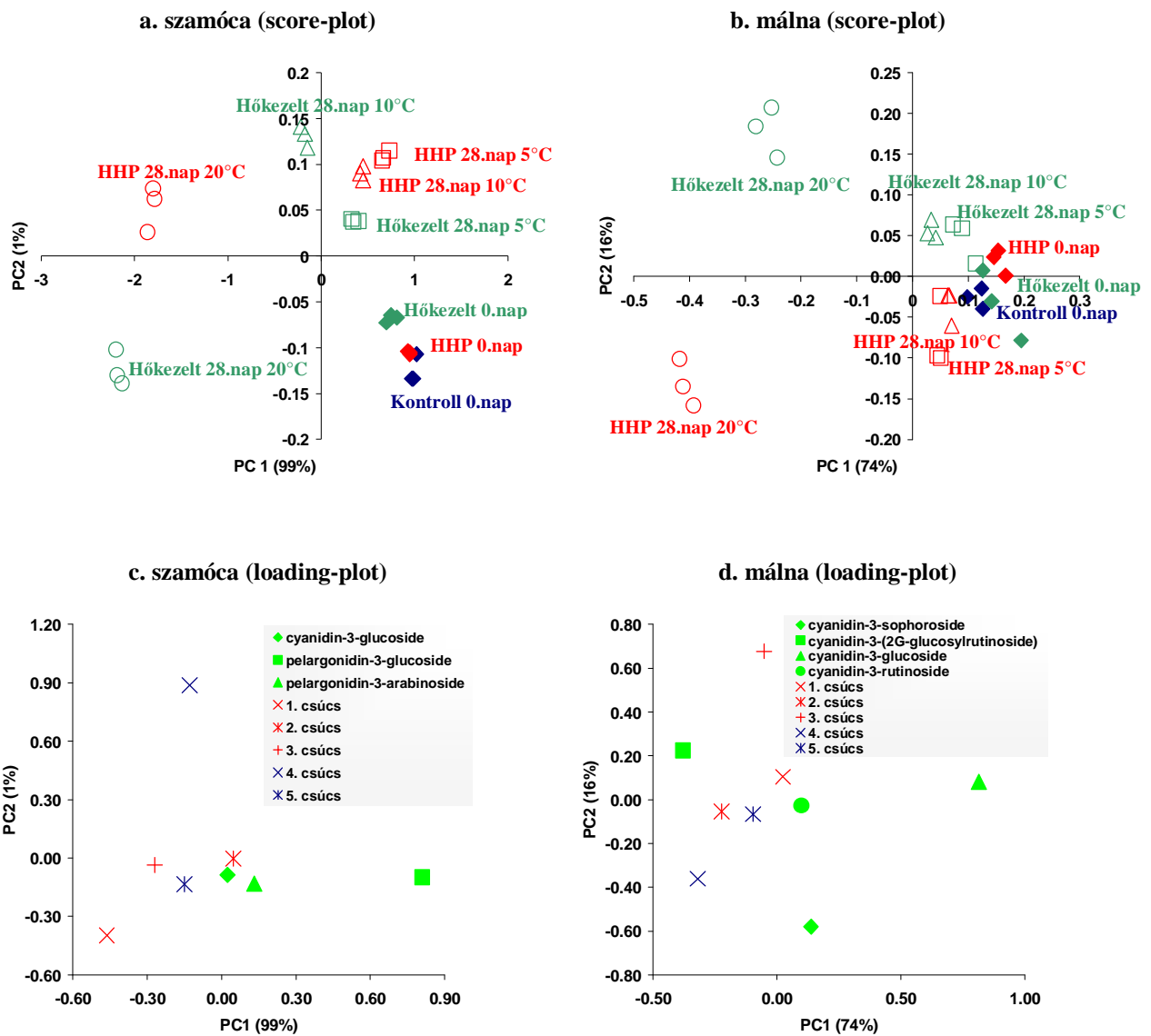
Megjegyzés: * szignifikáns 95%-os valószínűségi szinten
** szignifikáns 99%-os valószínűségi szinten

A 11. táblázat utolsó eleme, a C-vitamin erős szignifikáns kapcsolatot mutatott a színjellemzőkkel mindkét gyümölcsnél. A málnánál erősebb kapcsolat volt kimutatható az a* és b* értékek és a C-vitamin között, mint az antocianin-tartalom és a színjellemzők között. Érdekes módon igen szoros kapcsolat volt kimutatható mindkét gyümölcsnél az antocianin-tartalom és a C-vitamin tartalom között (szamócánál 0,825; málnánál 0,742). A C-vitamin antocianinokra gyakorolt hatásával sok kutató foglalkozott, és meglehetősen ellentmondásos eredmények születtek. A C-vitamin negatív hatásait REIN (2005) foglalja össze. Ezek szerint: (i) a C-vitamin elősegíti a polimerizálódást és hozzájárul az antocianinok világosodásához, (ii) közvetlenül kondenzálódni képes az antocianinokkal, (iii) a belőle képzett hidrogén-peroxid hatással van az antocianinok stabilitására. Azonban ő is megjegyzi, hogy pozitív hatás is kimutatható. Például a C-vitamin gátol bizonyos enzimműködést, ezáltal védve az antocianinokat. KAACK és AUSTED (1998) szintén pozitív hatásról számolt be, ugyanis a bodzakivonat antocianin stabilitását javította az aszkorbinsav-kiegészítés. A saját bogyógyümölcsöim vizsgálatánál a kiszámolt korrelációs együtthatók eredményi alapján annyi szögezhető le, hogy a színváltozás és a C-vitamin-változás azonos ütemben változott. Nem tudható, hogy a saját C-vitamin tartalma pozitívan vagy negatívan befolyásolta az antocianin-tartalom változást, hiszen elképzelhető, hogy nélküle még gyorsabban ment volna végbe a változás. KAACK és AUSTED (1998) a C-vitamin kiegészítésen kívül az oxigén szerepét is vizsgálták. A bodzahomogenitátumot nitrogéngázzal átöblítették, majd a kísérlettervnek megfelelően oxigénnel vagy újból nitrogénnel öblítették át. Tapasztalatuk szerint az antocianinok mennyisége leglassabban a C-vitaminnal kiegészített oxigénmentes bodzamintában csökkent, leggyorsabban pedig a kiegészítés nélküli, oxigénnel átöblített mintában. Az oxidatív folyamatoknak természetesen oxigénre van szükségük. Eltávolításukkal ezek a folyamatok gátolhatók. A pürékészítés során bekevert levegő

jelenlétéről, és hatásukról már tettem említést az érzékszervi vizsgálatok eredményeit bemutató fejezetben. Jelenlétük minden bizonnyal hozzájárult az oxidációs folyamatok gyors lefutásához.

Kiegészítésként megjegyzem, hogy erősebb összefüggést feltételeztem az összes antocianin-tartalom és az a^* színtényező között. A korrelációs koefficiens kisebb értékére magyarázatot adhat a pürék szerkezeti viselkedése és a szín közötti kapcsolat, melyre OEY és munkatársai (2008) hívják fel a figyelmet. Az állományban bekövetkezett változások hatással lehetnek a felületi szín jellemzőinek műszeresen mért értékeire. A gélesedő mintába behatoló fény szóródása és eloszlása megváltozhat, s ez magával vonhatja a mért színjellemzők változását is. Nem kizárható, hogy ez hatás megjelent a bogyósgyümölcs mintáim színmérésénél is.

Mielőtt ismertetném a bogyósgyümölcs mintáim összes fenoltartalmában bekövetkező változásokat, felhívnam a figyelmet az antocianin és más flavonoid-vegyületek vizsgálatában rejlő lehetőségekre, amik jól hasznosíthatók lehetnek a kezelések és a tárolási körülmények hatásának felmérésére. A 35. és 36. ábrák adatait főkomponens-analízis segítségével egy modellben összesítettem (37. ábra). A főkomponens-analízist röviden a 2.5.2.1 fejezetben mutattam be. A 37a. és 37b. ábrák az egyes minták elhelyezkedését mutatja az 1. és 2. főkomponens által határolt projekciós síkon. Látható, hogy mindkét gyümölcsnél viszonylag jól elkülöníthetők voltak a csoportok egymástól. Az első – vagyis az összes variancia legnagyobb részét magyarázó – főkomponens szerint különültek el a 0. napos mintáktól a 28 napig tárolt minták, s azok közül is leginkább a 20°C-on tároltak. A második főkomponens a málnánál hordoz világosabb jelentést, ez alapján a tartósító műveletek szerint csoportosíthatók a mérési pontok. Látható, hogy míg a 0. napi kezeletlen és kontroll minták együtt vannak, addig az eltérő színekkel jelölt kezelések csoportjai a tárolási időszak végére két különböző térfélre kerültek. A főkomponensek az eredeti változók (antocianin és más flavonoid-vegyületek) lineáris kombinációjából alakulnak ki, s jelentőségük 1-1 főkomponensnél vizsgálható, ha a lineáris összefüggésben szereplő szorzótényezőjüket egymás függvényében ábrázoljuk. A 37c. és 37d. ábrák mutatják ezt a PC1-PC2 térben. Minél távolabb kerül valamely tulajdonság az origótól, annál hangsúlyosabban vesz részt az eltávolodás irányába eső főkomponens alakításában. Megfigyelhető, hogy míg málnánál több tényező is alakította mind a két főkomponenst, addig a szamócánál a második főkomponenst ténylegesen csak egy paraméter (a 4. csúcs) formálta. Ez magyarázza, hogy miért nem alakult ki olyan tiszta elrendeződés a szamócánál, mint a málnánál.



37. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző hőmérsékleteken 0 és 28 napig tárolt szamóca- és málnapüré-minták HPLC módszerrel mért antocianin és más flavonoid-vegyületeinek értékelése főkomponens-analízissel

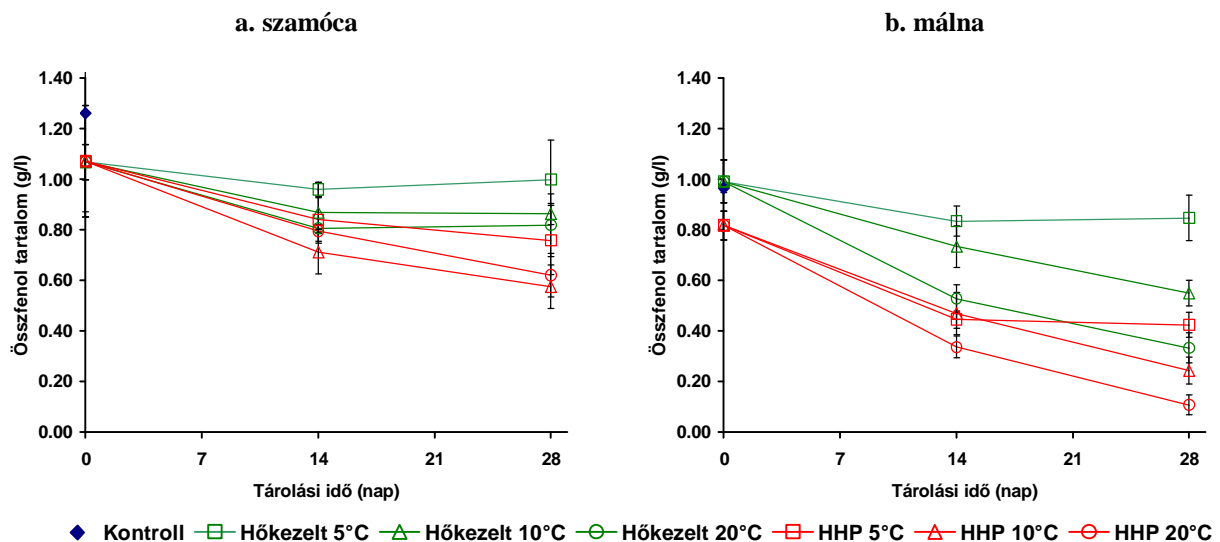
Természetesen az is hozzájárult a különbséghez, hogy a málnánál több változó bevonásával végeztem az elemzést, s így több olyan tényező is rendelkezésre állhatott, ami a kezelések közötti különbségeket hordozta. Ha megnézzük az egyes főkomponensek által magyarázott variancia nagyságát látható, hogy a szamócánál az első főkomponens már a 99%-át leírta az összes varianciának. Tehát elsősorban a tárolási körülményeknek volt hatása (azon belül is annak, hogy a minta hűtve vagy szobahőmérsékleten volt-e tárolva). A málnánál a tárolási körülményeknek 74% tulajdonítható, a kezelések közti különbségeknek pedig 16%. Mindezzel csak arra akartam rávilágítani, hogy a hő- és a HHP-kezelések majd az azt követő tárolás körülményei eltérő mértékű változásokat okoznak az antocianin és más flavonoid-vegyületekben, ezáltal lehetőséget biztosíthat a folyamatok nyomonkövetésére. Véleményem szerint, ez egy érdekes kutatási területté válhat a későbbiekben.

4.6.2 Összes fenoltartalom vizsgálata

A 38. ábra mutatja az összes fenoltartalomban bekövetkezett változásokat a tárolási idő függvényében, valamint a M10. melléklet mutatja a statisztikai elemzés eredményeit. A két gyümölcs között nem jelentkezett akkora különbség az összes fenoltartalomban közvetlenül a kezelés után, mint amit az összes antocianin-tartalomnál tapasztaltam. Viszont eltérő módon reagált a kezelésekre a szamóca és a málna. Málnánál közvetlenül a kezelés után csak a HHP-kezelt mintában csökkent 15%-kal a fenolok mennyisége, szamócánál mindkét kezelési módnál megfigyelhető volt ez a mértékű csökkenés.

A tárolás időtartama alatt lejátszódó változások közül a legszembevetőbb a két kezelési mód közötti különbség. Mindkét gyümölcsnél a HHP-kezelt mintákban nagyobb fenoltartalom csökkenés figyelhető meg a tárolási időszak végére, mint a hőkezelt változatoknál. A változások itt is hőmérsékletfüggőek, és aszerint változnak, hogy a tárolási időszak elején vagy végén történt. Látható, hogy az első szakaszban a csökkenés nagyobb mértékű volt szinte valamennyi mintánál, mint a második szakaszban. Az 5°C-on tárolt minták változásai gyakorlatilag lezajlottak az első szakaszban mindkét gyümölcsnél és mindkét kezelési módozatnál. A minták összes fenoltartalmának változásait abszolút és százalékos mértékben nézve egyaránt a málnánál történtek a nagyobb változások. Az eredményekhez kapcsolódóan megjegyzem, hogy a M10. melléklet táblázatában a szamócaminták között sok esetben nem lehetett szignifikáns különbséget kimutatni, ami a 38a. ábrán megfigyelhető esetenkénti nagy szórásoknak volt köszönhető. Továbbá a tárolási időszak alatt a két kezelés hatását vizsgálva a málnamintáknál elmondható, hogy a lényeges különbség a HHP-kezelt minta induló fenol-tartalmának 15%-os csökkenése volt. A tárolás alatt lényegében az azonos hőmérsékleten tárolt minták összes fenoltartalma azonos ütemben változott.

A saját eredményeim megerősítik KIM és PADILLA-ZAKOUR (2004) által közölteket: a hőkezelt málnánál nálam sem történt statisztikailag kimutatható mértékű változás. Az eredményeim összhangban vannak KOPJAR és munkatársai (2009) eredményeivel is, hiszen esetemben szintén nagyobb mértékű volt a fenoltartalom csökkenés a szobahőmérsékleten történő tárolás mellett, mint hűtött körülmények között (4°C). Ugyanígy TEREFE és munkatársai (2009) is a tárolási körülmények szignifikáns hatását mutatták ki.



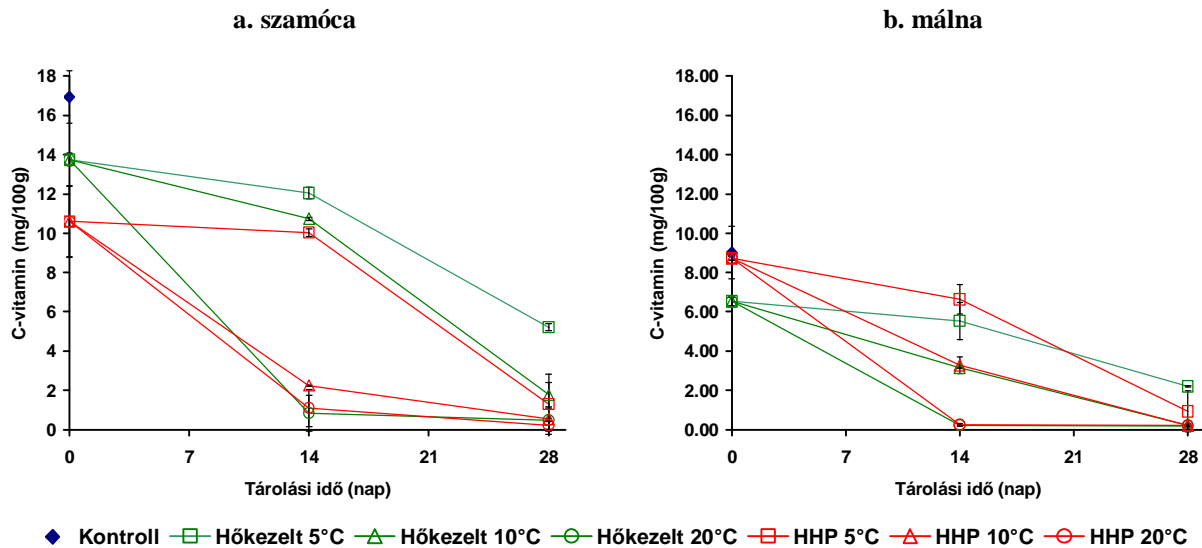
38. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták összes fenoltartalmának alakulása a tárolási idő függvényében

4.6.3 C-vitamin tartalom vizsgálata

A 39. ábra mutatja alakulását a tárolási idő függvényében és a M11. melléklet táblázata mutatja a statisztikai elemzés eredményeit. Az 1. és 2. táblázatomban közölt, friss gyümölcsökre vonatkozó adatok alapján feltűnően kevés volt a bogyósgyümölcsök C-vitamin tartalma már az induláskor is. Ez a fagyasztva tárolt alapanyag felhasználásával magyarázható. A két gyümölcs közti különbség azonban így is tükrözi a friss gyümölcsök közötti különbségeket, ugyanis átlagosan a szamóca 60 mg/100 g a málna 38 mg/100 g mennyiségben tartalmaz C-vitamint.

Bár a kezelések közvetlen hatását tekintve különbség mutatkozott a két gyümölcs között, de a tárolás alatt azonos tendencia szerint csökkent a C-vitamin mennyisége a két gyümölcs azonos mintáiban. A kezelések hatását vizsgálva elmondható, hogy szamócánál mindkét kezelésnél csökkent a C-vitamin mennyisége (a veszteség a hőkezeltnél: 18,8%, HHP-kezeltnél: 37,4%), málnánál lényegében csak a hőkezeltben (a veszteség a hőkezeltnél: 27,5%, HHP-kezeltnél 3,2%). A HHP-kezelt szamócapürében kimutatott közel 40%-os csökkenésre irodalmi adatok alapján semmilyen magyarázat nem adható. A kutatók többnyire a kezeletlen mintához hasonló mértékű C-vitamint mutatnak ki közvetlenül a kezelés után, mint ahogy azt az Irodalmi áttekintésben több publikációra hivatkozva bemutattam (SÁNCHEZ-MORÉNÓ et al. 2003; ROVERE et al. 1996; DONSI et al 1996). De említhetném PATRAS és munkatársai (2009) vizsgálatait is. Ők is csak maximum 10%-os csökkenésről tudtak beszámolni a különböző mértékű HHP-kezelések hatására szamócában, ugyanakkor a hőkezelt mintáikban az enyémhez hasonló mértékű volt a C-vitamin csökkenése (21,5% a veszteség). A tárolási körülmények hatását vizsgálva a kis hőmérsékleten tárolt minták kivételével kezdetben gyorsuló, majd lassuló csökkenés figyelhető meg. A szobahőmérsékleten tárolt mintákban már a 14 napra a

kimutathatósági szint közelébe csökkent a mennyisége (2-5%), de a többi mintában is 10% körüli szintre csökkent a tárolás végére függetlenül a kezelési módtól. A tárolás alatti bekövetkezett ilyen gyors C-vitamin változásról szintén nem tesz említést a szakirodalom.

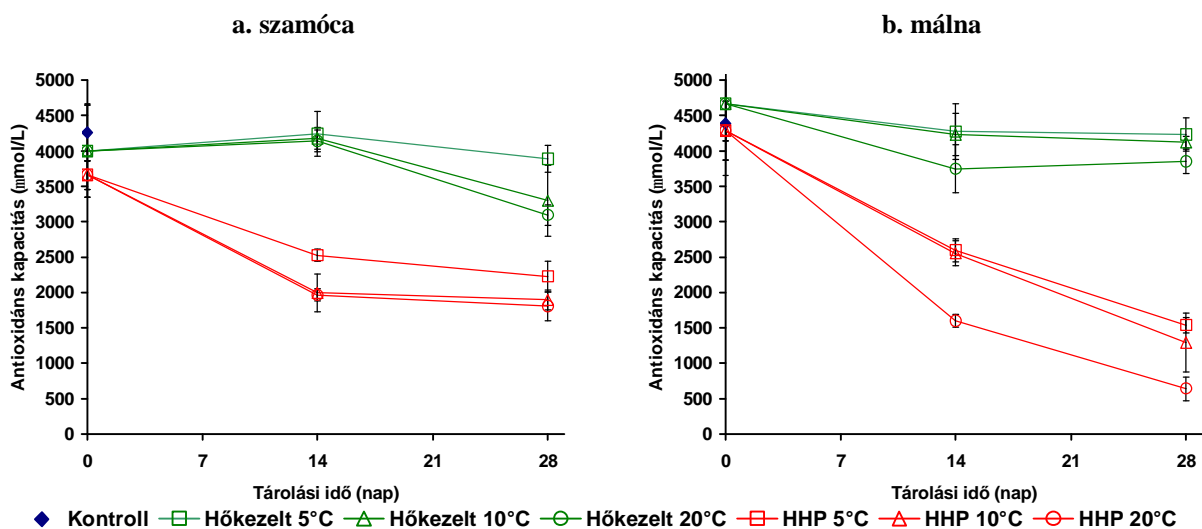


39. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták összes C-vitamin tartalmának alakulása a tárolási idő függvényében

Az Irodalmi áttekintésben említettem, hogy POLYDERA és munkatársai (2005) foglalkoztak narancslé tárolás alatt bekövetkezett C-vitamin változás vizsgálatával. Az ő eredményeikkel szemben a bogyósgyümölcs-püré mintáimban nagyon gyors C-vitamin tartalom csökkenés volt megfigyelhető. A saját 20°C-on tárolt mintáimnál már 14 nap után szinte nullára csökkent a C-vitamin mennyisége. Erre két tényező adhat magyarázatot. Kisebb részt a gyors csökkenés eredhet abból, hogy fagyasztott alapanyagból dolgoztam. POLYDERA és munkatársai (2005) utalnak cikkükben korábbi vizsgálataikra, melynél fagyasztott koncentrátumból előállított narancslével dolgoztak, és a belőlük készített hő- és HHP-kezelt narancslevelekben gyorsabb C-vitamin degradáció volt megfigyelhető, mint a friss gyümölcsből készített narancslénél. A saját mintáimnál ezen felül inkább a bekevert levegő hatása nyilvánulhatott meg. A C-vitamin degradáció történhet aerob és anaerob úton. Oxigén jelenlétében az aerob degradáció történik. Első lépésként reverzibilis módon az aszkorbinsav dehidro-aszkorbinsavvá alakul, mely gyorsan tovább oxidálódik irreverzibilis módon más intermediereké (YUAN, CHEN 1998). Ez az átalakulás gyorsabb, mint az anaerob degradáció, s a mintáimba a pürékészítés során bekevert nagy mennyiségű levegő jelentős mértékben hozzájárulhatott a gyors és nagy mértékű C-vitamin csökkenéshez. Mindez még inkább megerősíti a feldolgozás során bekevert levegő elkerülésének fontosságát.

4.6.4 Antioxidáns-kapacitás vizsgálata

A 40. ábra mutatja a FRAP-módszerrel mért antioxidáns-kapacitás vizsgálat eredményeit. A csoportok közötti különbségek statisztikai értékelését a M12. melléklet táblázat tartalmazza. A kezelések közvetlen hatását tekintve elmondható, hogy egyetlen esetben történt statisztikailag igazolható eltérés. A HHP-kezelt szamócamintában 14%-kal szignifikánsan kisebb antioxidáns-kapacitást mértem, mint a kontroll mintában, miközben málnánál csak 2,2%-os volt a csökkenés. A hőkezelt szamócamintánál csökkenés, málnamintánál növekedés volt tapasztalható, de nem szignifikáns mértékben. Az Irodalmi áttekintésben hivatkoztam INDRAWATI és munkatársai (2004) publikációjára, amiben leírták, hogy a narancslé TEAC indexe a HHP kezelés hatására csökkent. Az antioxidáns-kapacitás csökkenéséhez elsősorban a C-vitamin degradáció járult hozzá. Ha figyelembe vesszük a 39a. ábrán feltüntetett közel 40%-os C-vitamin csökkenést, mely a HHP-kezelés hatására következett be, akkor a 14%-os csökkenés az antioxidáns-kapacitásban reálisnak tűnik. Ez különösen igaz, ha PATRAS és munkatársai (2009) eredményeivel összehasonlítom a saját eredményeimet. Azt tapasztalták, hogy a hőkezelés (70°C, 2 perc) hatására 25%-os csökkenés következett be az antioxidáns-kapacitásban, míg a 400-500-600 MPa nyomáson (15 perc, 10-30°C) 19-16-14%-os csökkenést figyeltek meg. Tehát minél kisebb nyomást alkalmaztak, annál nagyobb volt a csökkenés. Ez a trend az összfenol és C-vitamin eredményeikben is megmutatkozott náluk, így feltételezhető, hogy ezek együtt alakították az antioxidáns-kapacitás értékét. Megjegyzem, a számtanilag azonos antioxidáns-kapacitás csökkenés a 600MPa nyomással kezelt szamócamintáikban és az enyémekben nem tekinthető abszolút egyezésnek, hiszen két eltérő vizsgálati módszert alkalmaztunk.



40. ábra Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt- (600 MPa, 5 perc), különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré-minták antioxidáns-kapacitása (FRAP)

A tárolási körülmények hatását tekintve a legfontosabb változás a tárolási idő előrehaladtával bekövetkező antioxidáns-kapacitás csökkenés mellett a két kezelés közötti nagymértékű különbség. Egyik korábbi vizsgált paraméternél sem fordult elő, hogy ennyire élesen elkülönüljön a két kezelés egymástól függetlenül a tárolási hőmérséklettől. Látható, hogy már a 14. tárolási napra a HHP-kezelt mintában oly mértékű antioxidáns-kapacitás csökkenés következett be, hogy kisebb volt a mennyisége az 5°C-on tárolt HHP-kezelt mintában, mint a 20°C-on tárolt hőkezeltben. Ez a különbség megmaradt a tárolás végére is. Szamócában a tárolási befejeztével a hőkezelt mintákban 91-73%-ra a HHP-kezelt mintákban 52-42%-ra csökkent le az antioxidáns-kapacitás, ami málnánál 96-88% és 35-15% mértékű volt. Tehát megállapítható, hogy valamennyi tárolási hőmérsékleten gyorsabb antioxidáns-kapacitás csökkenés történt a HHP-kezelt mintában, mint a hőkezeltben.

12. táblázat Kezeletlen, hővel (80°C, 5 perc) vagy nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt, különböző körülmények (5, 10 és 20°C, 0-28 nap) között tárolt szamóca- és málnapüré-minták antioxidáns-kapacitása (FRAP) valamint a biológiailag aktív komponenseinek mennyisége között számolt korrelációs együtthatók értéke

	Szamóca			Málna		
	Összes antocianin tartalom	Összes fenoltartalom	C-vitamin tartalom	Összes antocianin tartalom	Összes fenoltartalom	C-vitamin tartalom
FRAP	0,531 *	0,781 **	0,667 **	0,292	0,856 **	0,519 *

Megjegyzés: * szignifikáns 95%-os valószínűségi szinten
** szignifikáns 99%-os valószínűségi szinten

Mint ahogy annyi utalás történt, az antioxidáns-kapacitás és a C-vitamin közötti kapcsolatra, így ellenőriztem, hogy mintáimmal melyik komponenssel hozható összefüggésbe az antioxidáns-kapacitás. Ezért kiszámoltam mindhárom vizsgált komponens (összes antocianin-, összes fenol- és C-vitamin tartalom) és az antioxidáns-kapacitás közötti korrelációs együtthatók értékeit, amit a 12. táblázatban tüntettem fel. Látható, hogy a C-vitamin málnánál szignifikáns, szamócánál erősen szignifikáns mértékben korrelál az antioxidáns-kapacitással, ugyanakkor az is megfigyelhető, hogy nem a C-vitamin tartalommal a legerősebb a korreláció. Az összes fenoltartalom és az antioxidáns-kapacitás között szorosabb kapcsolat volt kimutatható. Az eredményeim igazolták az DEIGHTON és munkatársai (2000) valamint MOYER és munkatársai (2002) eredményeit, akik erősebb összefüggést mutattak ki az összes fenoltartalom és az antioxidáns-kapacitás között mint az összes antocianin tartalom és az antioxidáns-kapacitás között. Ez is jelzi, hogy a fenolos komponensekben bekövetkezett változásoknak fontos hatása van a termék bioaktivitására.

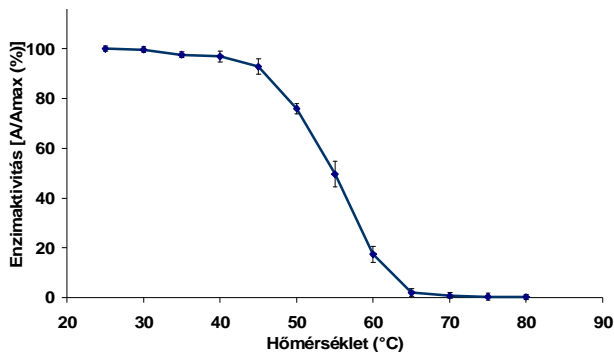
Összegezve a különböző hőmérsékleten tárolt hőkezelt (80°C, 5 perc) és nyomáskezelt (600 MPa, 4°C, 5 perc) bogyósgyümölcs-püré minták bioaktív komponens változásait megállapítható, hogy a komponensek mennyisége csak kis mértékben változott a kezelések hatására (többnyire csökkent). A tárolási hőmérsékletnek kiütemezett szerepe volt. A szobahőmérsékleten tárolt mintákban rendkívül gyors csökkenés történt a hűtve tárolt mintákhoz képest. Ez megerősíti, hogy ezek a készítmények szobahőmérsékleten nem polcállók, szükség van a hűtőlánc fenntartására. A hűtve tárolt minták között is különbség mutatkozott, de nem olyan jelentős mértékben, mint a 20°C-on tárolt mintánál. A mindhárom vizsgált komponens korrelált a műszeres színérés a^* és b^* tényezőivel, ami megerősíti a közvetlen (pl. antocianin) vagy közvetett (pl. C-vitamin) hatást a bogyósgyümölcsök színére.

A HPLC-s elválasztással meghatározott flavonoid-vegyületek közül az antocianinok csökkenő, a nem antocianin jellegű vegyületek eltérő változásokat mutattak a kezelés, a tárolási hőmérséklet és a tárolási idő hatására. A bioaktív komponensek erősebb – gyengébb korrelációt mutattak az antioxidáns-kapacitással is. A legerősebb kapcsolatot az összes-fenol tartalom, a leggyengébbet az antocianin-tartalom mutatta. Valamennyi minta antioxidáns-kapacitása csökkent a tárolás alatt, viszont a tárolási hőmérséklettel szemben a kezelési módoknak volt fontosabb hatása. A HHP-kezelt mintákban nagyobb mértékben és gyorsabban csökkent antioxidáns-kapacitás, mint a hőkezelt mintákban. Ez valószínűleg a bekevert levegőnek tulajdonítható.

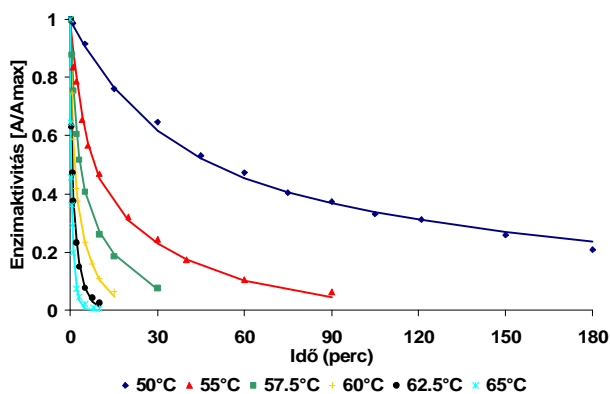
4.7 Szamócából kivont polifenol-oxidáz enzim hő- és/vagy nyomáskezeléssel történő inaktivációja

A dolgozatomban számtalan helyén utaltam a változások háttérében álló enzimes folyamatokra. Ezek közül is az egyik legfontosabb minőség-befolyásoló tulajdonsággal bír a polifenol-oxidáz. A színváltozásra ható érzékszervi tulajdonság károsításán túl az oxidációs folyamatokon keresztül rontja a bogyósgyümölcsök – és más gyümölcsök – táplálkozás-biológiai értékét is. Ezért úgy gondoltam, hogy érdemes kicsit részletesebben is foglalkozni ennek az enzimnek a hő- és/vagy nagy hidrosztatikus nyomással történő inaktivációjával. Ezért a Marie Curie ösztöndíjprogram nyújtotta lehetőségeket felhasználtam arra, hogy a szamóca polifenoloxidáz enzim hő és nyomásinaktiválásának kinetikáját tanulmányozzam a leuven-i Katolikus Egyetem Élelmiszertechnológiai Laboratóriumában. Ezen eredményekről számolok be a továbbiakban.

4.7.1 Szamóca polifenol-oxidáz hőinaktiválása



41. ábra Szamócából izolált, foszfát pufferben oldott PPO frakció maradék enzimaktivitása 10 perces kezelés után különböző hőmérsékleten



42. ábra Szamócából izolált, foszfát pufferben oldott stabil PPO frakció hőinaktiválása 50-65°C-os hőmérséklet-tartományban

A szamócából izolált PPO enzimkivonat birtokában a hőinaktiváláshoz felmértem, hogyan reagál az enzim 25 és 80°C közötti hőmérséklet-tartományban véghezvitt 10 perces hőkezelésre. Az eredmények a 41. ábrán láthatók. Megfigyelhető, hogy a 10 perces 55°C-on végzett hőkezelés hatására a PPO aktivitás a szamóca kivontban a felére csökkent. Az enzim majdnem teljes egészében inaktiválódott 65°C-on 10 perces kezelés után.

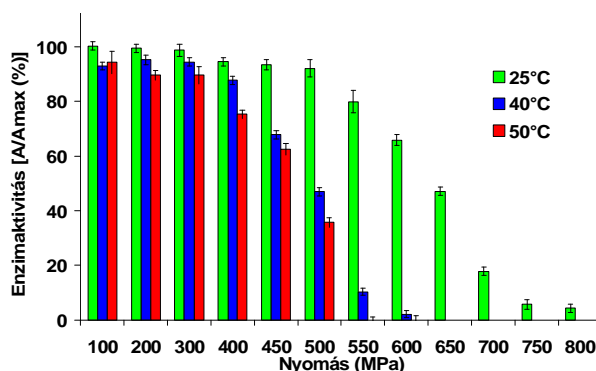
Ismerve az enzimkivonat hőstabilitását részletes, kinetikai elemzést végeztem a szamóca PPO-on atmoszférikus nyomáson, 50-65°C hőmérséklet tartományban. Az eredmény a 42. ábrán látható. A szamóca PPO kivonat hőinaktiválása ebben a hőmérséklet-tartományban kétfázisú viselkedést mutatott, jelezve, hogy jelen van egy hőre érzékeny és egy hőrezisztens PPO frakció, mely külön-külön elsőrendű inaktivációs kinetikát mutat. A két frakció hőinaktiválásának kinetikus paramétereit nemlineáris regresszióval becsültem az 13. egyenlet alapján, melynek eredményei a 13. táblázatban láthatók.

13. táblázat Szamóca kivonat PPO frakciók hőinaktiválásának becsült kinetikai paraméterei

Könnyen inaktiválódó frakció	A_I (%)	$47,6 \pm 2,0^a$
	$k_{160^\circ\text{C}}$ (min^{-1})	$1,198 \pm 0,077$
	E_{aI} (kJ/mol)	$314,1 \pm 4,6$
Stabil, nehezen inaktiválódó frakció	A_S (%)	$51,9 \pm 2,0$
	$k_{s60^\circ\text{C}}$ (min^{-1})	$0,160 \pm 0,007$
	E_{aS} (kJ/mol)	$321,3 \pm 3,5$

^a: becslés standard hibája

A hőérzékeny és hőstabil PPO frakció jelenléte néhány gyümölcs és zöldség esetében megfigyelhető, mint például a guavában (AUGUSTIN et al. 1985), pálmafa szívben (palmito) (ROBERT et al. 1995), plantainban (zöld banán) (NGALANI et al. 1993) és burgonyában (LORENCO et al. 1992). Az inaktivációs sebesség hányadosa 60°C-on az érzékeny szamóca PPO frakciónál $1.198 \pm 0.077 \text{ min}^{-1}$ volt míg a stabil frakciónál $0.160 \pm 0.007 \text{ min}^{-1}$ volt. A modell eredmények alapján hőstabil enzimfrakció aktivitása a 60°C-on az teljes aktivitás 50%-át adta. A két frakció hőinaktiválásának hőmérsékletfüggését vizsgálva megállapítható, hogy az aktivációs energia a hőérzékeny frakció esetében $314.1 \pm 4.6 \text{ kJ/mol}$ míg a hőstabil frakciónál $321.3 \pm 3.5 \text{ kJ/mol}$. Ezek az aktivációs energia értékek azonos tartományba esik azzal, mint amit YEMENICIOGLU és munkatársai (1997) almánál megállapítottak ($241\text{-}323 \text{ kJ/mol}$), de magasabb, mint amit LEE és munkatársai (1983) DeChaumac szőlő PPO esetén találtak.

4.7.2 Szamóca polifenol-oxidáz kombinált hő-és nyomásinaktiválása

43. ábra Szamócaból izolált, foszfát pufferben oldott stabil PPO frakció maradék enzimaktivitása 15 perces kezelés után 25°C, 40°C és 50°C-on

stabilnak tekinthető, majd egy hirtelen aktivitáscsökkenés figyelhető meg a 15 perces kezelés hatására a relatív maradék aktivitásban 500 és 700 MPa között. Mindazonáltal a 25°C-on végzett

Ahogy az atmoszférikus nyomáson végzett hőkezelés esetében, első lépében itt is felmértem, hogy azonos idejű, de különböző nyomáson és különböző hőmérsékleteken végrehajtott kezelések hogyan hatnak a szamóca PPO kivonatra. Ezért a nyomásstabilitás vizsgálatához a kivonatot 25, 40 és 50°C-on 15 perces nyomáskezelésnek vettem alá 100-800 MPa nyomástartományban. A kapott eredmény a 43. ábrán látható.

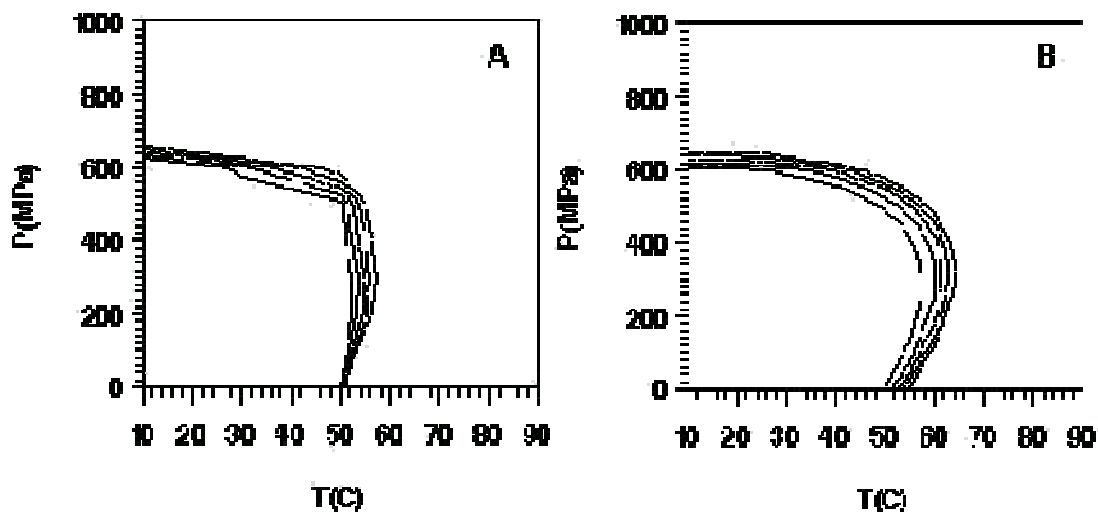
A szamóca PPO 25°C-on 500 MPa-ig elég stabilnak tekinthető, majd egy hirtelen aktivitáscsökkenés figyelhető meg a 15 perces kezelés hatására a relatív maradék aktivitásban 500 és 700 MPa között. Mindazonáltal a 25°C-on végzett

800 MPa-os kezelésnél még mindig mérhető maradék PPO aktivitás (5%), míg nagyobb hőmérsékleteken végzett kezeléseknél (40 és 50°C) kisebb nyomásérték is elegendőnek bizonyult a számoça PPO inaktiválására. Általánosságban elmondható, hogy nagyobb nyomásértéken (700-900 MPa) erőteljesebb az enzim inaktiváció, mint kisebb nyomásnál, ugyanakkor MONTERO és munkatársai (2001) felhívják a figyelmet arra, hogy ennek mértéke nagy mértékben függ a kezelés körülményeitől.

Ismerve az enzimkivonat nyomástabilitását részletes, kinetikai elemzést végeztem a számoça PPO inaktiválására az enyhe hőmérsékletű (10-50°C) és széles nyomástartományban (100-750 MPa) végzett kezelések különböző kombinációiban. Itt jegyzem meg, hogy a kezelések dinamikus szakasza során (minta behelyezése a kamrába, nyomásemelés, kiegyenlítés) a számoçából kivont PPO érzékeny része már inaktiválódott. Az aktivitás csökkenésének százalékos értéke függ a dinamikus szakasz nyomás-hőmérséklet viszonyaitól. Olyan mérsékelt kezelésnél, mint a 550 MPa-30°C a számoça PPO aktivitása mindössze 19%-kal csökkent, míg intenzívebb kezelésnél, mint a 100 MPa-65°C 81%-kal, 750 MPa-40°C kombináció esetén pedig 80%-kal csökkent az induló PPO aktivitás addigra mire az izoterm-izobar feltételek kialakultak a nyomáskezelő kamrában. Ezt követően már csak a stabil frakció inaktiválódási folyamata volt megfigyelhető. Mivel ennek a stabil frakciónak az inaktiválása kívánatos a feldolgozás során annak érdekében, hogy elkerüljük az enzimátikus barnulást, a kinetikai adatelemzés során csak a stabil PPO frakciós nyomás-hőmérséklet inaktivációját vettem figyelembe (kihagytam azokat az adatokat melynél kevesebb, mint 50%-os aktivitás csökkenés volt megfigyelhető az induló enzimaktiváshoz képest). A számoça PPO kivonat stabil frakciójának kombinált nyomás-hőmérséklet inaktivációja elsőrendű modellel megfelelően leírható. Az elsőrendű inaktivációs sebesség hányadosokat lineáris regresszióval becsültem, és a M13. mellékletben mutatom be. A hőinaktivációnál alkalmazott hasonló megközelítés lehetővé teszi, hogy összehasonlíthassam a nyomás-hőmérséklet inaktivációs adatokat. Nagyobb hőmérsékleten az inaktivációs sebesség növekedett, jelezve, hogy szinergista hatás figyelhető meg a nyomás és hőmérséklet között. Azonban a nagy hőmérséklet (>50°C) „kis” nyomásérték (≤ 200 MPa) tartományban egy antagonistista hatás volt megfigyelhető a nyomás és hőmérséklet között. Ebben a tartományban állandó hőmérséklet esetén az alkalmazott nyomás fokozásával csökkent az inaktivációs sebesség hányados. A nyomás-hőmérséklet között 300 MPa-nál kisebb nyomáson fellépő antagonistista hatást számos enzim inaktiváció vagy fehérjedenaturáció esetén megfigyeltek már (VAN DEN BROECK et al. 2000, WEEMAES et al. 1998, MOZHAEV et al. 1996; HEREMANS 1993, INDRAWATI et al. 2001, LY-NGUYEN et al. 2003a,b). MOZHAEV és munkatársai (1996) szerint - akik az α -kimotripszin nyomás alatti viselkedését tanulmányozták – a nyomás stabilizáló hatása a hőinaktivációval/-denaturációval szemben feltételezhetően annak

köszönhető, hogy a nyomásnak és a hőmérsékletnek egymással ellentétes hatása lép fel az intermolekuláris kapcsolatok kialakulásában, vagy a már meglévő kapcsolatok megbontásában, és/vagy ezek ellentétesen befolyásolják az enzimen/fehérjén belüli vízhez kötődést. A hőinaktiváció első lépéseként a fehérjének el kell veszítenie számos fontos vízmolekulát, mely szerkezeti átalakuláshoz vezethet. A nagy nyomásos kezelés feltételezhetőleg megakadályozza ezt a lépést a poláros és nem poláros csoportok hidratációján keresztül.

Az izoterm-izobár körülmények között meghatározott k -értékek ismeretében nyomás-hőmérséklet kinetikai diagramot szerkesztettem a számócakivonat stabil PPO frakciójához (44. ábra). Egy-egy vonal azon nyomás-hőmérséklet kombinációkat jelenti, melyek azonos inaktiválási sebességgel rendelkeznek. A nyomás-hőmérséklet között fennálló szinergista hatás a nagyobb nyomású tartományban (≥ 200 MPa) és az antagonista hatás a kisebb nyomású tartományban (< 200 MPa) a kinetikai diagram alakján is tükröződik.



44. ábra Szamócából izolált, foszfát pufferben oldott stabil PPO frakcióhoz tartozó nyomás-hőmérséklet inaktiválási kinetikus diagram. (A) a mért inaktiválódási sebesség konstansok alapján, (B) a számított másodfokú modell alapján (14. egyenlet). A belső vonal a $0,01 \text{ min}^{-1}$ –hez a külső a $0,05 \text{ min}^{-1}$ –hez tartozó P/T kombinációkat szemlélteti.

14. táblázat Szamócából izolált, foszfát pufferben oldott, stabil PPO frakció hőinaktiválásának becsült aktivációs energia (E_a) értékei atmoszferikus és nagyobb nyomás szinten

P (MPa)	E_a (kJ/mol)
0,1	260,21 ± 15,24 ^a
100	188,16 ± 9,42
500	156,03 ± 15,40
550	66,01 ± 8,95
600	47,72 ± 12,52
650	14,34 ± 2,52
675	32,89 ± 2,86
700	12,16 ± 1,43
725	19,23 ± 7,09
750	36,57 ± 3,89

^a: becslés standard hibája

15. táblázat Szamócából izolált, foszfát pufferben oldott, stabil PPO frakció nyomásinaktiválásának becsült aktivációs térfogat (V_a) értékei különböző hőmérsékleteken

T (°C)	V_a (cm³/mol)
25	-61,70 ± 5,73 ^a
30	-53,92 ± 1,88
40	-55,44 ± 2,84
45	-53,41 ± 3,94
50	-27,39 ± 3,15
55	-10,36 ± 2,02
60	-13,29 ± 3,76
65	-2,81 ± 0,64

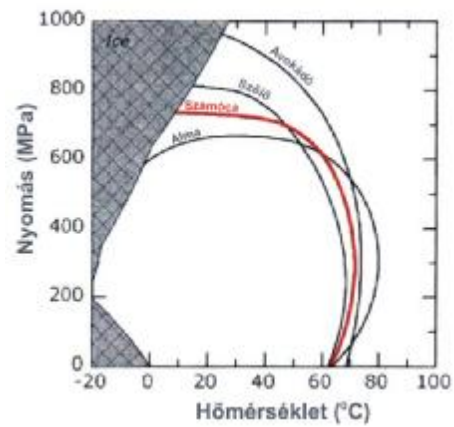
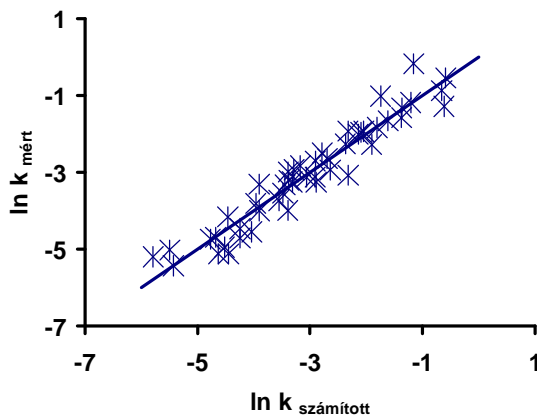
^a: becslés standard hibája

Az Arrhenius és Eyring egyenletek külön-külön leírják a mérések útján megállapított inaktivációs sebességi hányadosok hő- és nyomásfüggését. Az Arrhenius összefüggés érvényes volt a teljes nyomás tartományban, amelyben a vizsgálatokat végeztem. Az inaktivációs sebességi hányadosok értéke állandó nyomáson növekedett a hőmérséklet növelésével. Ha az abszolút hőmérséklet reciprokának függvényében ábrázoljuk az inaktivációs sebességi hányadosok természetes alapú logaritmusának értékeit, az aktivációs energia értéke lineáris regresszióval meghatározható. A 14. táblázat adatait megfigyelve látható, hogy az alkalmazott nyomás szintjének növelésével az aktivációs energia csökkenését eredményezi, ami mutatja, hogy az inaktivációs sebesség hányadosok nagyobb nyomásértéken kevésbé hőmérséklet-érzékenyek.

A nyomás-függés felmérésekor a kimutatott antagonista hatásnak köszönhetően az Eyring-összefüggést nem tudtam alkalmazni a teljes nyomás-tartományra. A 200 MPa-t meghaladó nyomásnál az inaktivációs sebességi hányados növekedett a növekvő nyomás hatására, míg 200 MPa alatt a növekvő nyomás csökkenő inaktivációs sebesség hányadost eredményezett. Az aktivációs térfogat (ΔV_o^\ddagger) hőmérsékletenkénti meghatározása így a nagyobb nyomású tartományra korlátozódott (> 200 MPa). Ha az alkalmazott nyomás függvényében ábrázoljuk az inaktivációs sebességi hányadosok természetes alapú logaritmusának értékeit, az aktivációs térfogat értéke lineáris regresszióval

meghatározható. Az 15. táblázatban látható, hogy 50°C alatti hőmérsékleteknél az aktivációs térfogat értékek -51,41 és -61,70 cm³/mol voltak és a hőmérséklet változtatásával nem figyelhető

meg egyértelmű tendencia. Viszont azokon a hőmérsékleteken, amelyben atmoszférikus nyomáson végzett inaktiváció előfordult (≥ 50 °C), az inaktivációs sebesség hányados nyomásérzékenysége szignifikánsan lecsökkent ($-2.81 \text{ cm}^3/\text{mol}$).



45. ábra Mért izoterm-izobar kinetikai adatok és a 14. egyenlet alapján számított inaktiválódási sebesség konstansok közötti korreláció számócából izolált, foszfát pufferben oldott stabil PPO frakciónál

46. ábra Szamócából izolált, foszfát pufferben oldott, stabil PPO frakció kombinált hő- és nyomásinaktivációnál meghatározott kinetikai adatok alapján szerkesztett P-T görbe összehasonlítása más gyümölcsökével (Forrás: BUCKOW, VOLKER 2008)

16. táblázat Szamócából izolált, foszfát pufferben oldott, stabil PPO frakció kombinált hőmérséklet-nyomás inaktiválásának 14. egyenlet alapján becsült paraméterei (P_{ref_600} MPa; $T_{ref}=318,15\text{K}$ (45°C))

Paraméter	Becsült érték
k_0	$0,0286 \pm 0,00254^a$
ΔV_0^\ddagger	$-45,35 \pm 2,59$
ΔS_0^\ddagger	$192,1 \pm 28,75$
Δk_0^\ddagger	$0,3192 \pm 0,0797$
Δz_0^\ddagger	$-0,1189 \pm 0,0114$
ΔC_{p0}^\ddagger	$1682,3 \pm 890,5$
Korrigált r^2	0,9159
SD	0,383

Az inaktivációs sebesség hányados kombinált nyomás-hőmérséklet függését a 14. egyenlet alapján modelleztem, és a becsült modell paramétereket a 16. táblázatban adtam meg. A meghatározott paraméterek viszonylag nagy pontossággal modellezik a számóca PPO inaktiválását. A némely esetben előforduló viszonylag nagyobb szórás részben magyarázható a nagy hőmérsékleten és nyomáson végzett kezelések hiányával, mely a számítógépes modell-alkotást nagyban segítette volna. Ennek az elvárásnak a teljesítése azonban - gyakorlati szempontokat is figyelembe véve - nem mindig lehetséges. A modell illesztésének jóságát tekintve elmondható, hogy a rezidumok (mért és számított k értékeke közötti

különbségek) elhelyezkedése a hőmérséklet függvényben nem mutatott tendenciát. A megfelelőségi ábrán (44. ábra) a mért és számított inaktivációs sebesség hányadosok természetes

alapú logaritmusait tüntettem fel egymás függvényében. Erős korreláció mutatkozik a két összehasonlításra kerülő paraméter között ($r=0,9249$).

Összegezve számocából izolált polifenol-oxidáz vizsgálataimat megállapítható, hogy sikerült meghatároznom a számocából izolált, foszfát pufferben oldott, stabil PPO frakció kombinált hő- és nyomásinaktiváció kinetikai paramétereit, mellyel összehasonlíthatóvá válnak a különböző gyümölcsökből származó polifenol-oxidáz enzimek hővel és nyomással szembeni viselkedése (45. ábra)

5 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK, TÉZISEK

1. Megállapítottam, hogy a cukrozott (20 refrakció%) szamóca- és málnapüré 5 perces 600 MPa-os, nagy hidrosztatikus nyomású kezelése mikrobiológiailag stabilizáló hatású legalább 28 napra szobahőmérsékletű (20°C) tárolás mellett is. Ez a nyomáskezelés mikrobiológiai és érzékszervi tulajdonságokra gyakorolt hatását tekintve egyenértékű a 5 perces 80°C-os hőkezelés hatásával.
2. Kimutattam, hogy az 5 percesig tartó 600 MPa-os nyomással kezelt cukrozott (20 refrakció%) szamóca- és málnapüré tárolás közbeni állomány-változását jelentősen befolyásolta a kezelést követő tárolás hőmérséklete. A csökkenő tárolási hőmérséklet növekvő viszkozitást eredményezett már 14 napos tárolás után, ami lényegében nem változott a 28. tárolási napra. Ezzel szemben a hőkezelt (80°C 5 perc) bogyógyümölcs-pürék viszkozitását nem befolyásolta sem a tárolás hőmérséklete sem a tárolás ideje.
3. Megállapítottam, hogy a kémiai érzékelősorok alkalmasak a hővel (80°C, 5 perc) vagy nagy hidrosztatikus nyomással (600 MPa, 5 perc) kezelt cukrozott (20 refrakció%) szamóca- és málnapürék komplex illóanyag és ízjellemzők tárolás alatti változásainak nyomonkövetésére. Az elektronikus orr és -nyelv mérési adatok alapján felállított kanonikus diszkriminancia analízis modellek segítségével igazoltam, hogy a hőkezelés és a nyomáskezelés eltérő módon hat a gyümölcspürék illóanyagaira és ízjellemzőire.
4. A kezelt, tárolt bogyógyümölcs-pürék FRAP módszerrel mért antioxidáns-kapacitás változása alapján kimutattam, hogy a nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) cukrozott (20 refrakció%) szamóca- és málnapüré-mintákban a kezelést követő tárolás alatt a tárolási hőmérséklettől függetlenül gyorsabban mennek végbe az oxidatív folyamatok, mint a hőkezelt (80°C, 5 perc) pürékben.
5. Kimutattam, hogy a szamócából izolált, foszfát pufferben oldott polifenol-oxidáz kivonat egy hővel könnyen inaktiválható és egy hőstabil enzimfrakcióból állt, így az enzimkivonat hőinaktivációja kétfázisú kinetikai modellel írható le.
6. A hővel (10-50°C) kombinált nyomáskezelés (100-750 MPa) kinetikai elemzése alapján megállapítottam, hogy a szamócából izolált, foszfát pufferben oldott polifenol-oxidáz enzim inaktivációs sebességére a 200 MPa-nál nem nagyobb nyomás és az 50°C-nál nagyobb hőmérséklet kombináció antagonista módon, a 200 MPa-nál nagyobb nyomás és az 50°C-nál nagyobb hőmérséklet kombináció pedig szinergista módon hat.

6 JAVASLATOK

Doktori cselekményemben cukrozott, hő- (80°C, 5 perc) vagy nagy hidrosztatikus nyomással kezelt (600 MPa, 5 perc) szamóca és málnapürékkel végeztem tárolási kísérleteket. A legtöbb esetben azt tapasztaltam, hogy az alkalmazott kezeléseknek közvetlenül nincs jelentősebb minőségrontó hatásuk, vagyis valóban kíméletesnek tekinthetők. Megállapítható volt, hogy mindkét kezelés mikrobiológiailag stabil terméket eredményezett, még a szobahőmérsékletű 4 hetes tárolás során is. Azonban az érzékszervi és analitikai vizsgálatok (antocianin-, fenol-, C-vitamin tartalom, antioxidáns-kapacitás) azt mutatták, hogy egyik kezeléssel sem állítható elő polcálló termék, szükséges a hűtve tárolás. Több helyen eltérő módon változtak a szamóca és a málnaminták tulajdonságai a tárolási idő alatt. Ez felhívja a figyelmet arra, hogy **az ipari bevezetés előtt minden egyes új terméknel meg kell vizsgálni, hogyan reagál az adott alapanyag a nyomáskezelésre. A vizsgálatoknak ki kell terjedniük a kezelést követő tárolás alatt bekövetkező változások felmérésére is.** A fizikai tartósító eljárások között több esetben is különbség volt kimutatható, melyek például a kémiai érzékelősorok használatával jól megfigyelhető volt. Méréstechnikailag fontos, hogy az egyes tárolási napokon rögzített elektronikus orr adatok megbízhatóbban voltak összevonhatók egy modellbe, mint az elektronikus nyelvű, és az érzékszervi pontszámokkal is szorosabb korrelációt mutatott. Ez az elektronikus nyelv korlátozottabb alkalmazhatóságára utal. Az antioxidáns-kapacitás (FRAP) a tárolási hőmérséklettől függetlenül gyorsabban csökkent a HHP-kezelt mintákban, mint a hőkezeltben, ami feltételezi, hogy a HHP-kezelt mintákban erőteljesebb oxidatív folyamatok mentek végbe. Így a HHP-kezelés az általam vizsgált körülmények között kevésbé volt minőségmegőrző, mint a hőkezelés. Ez valószínűleg a nem kellő enziminaktivációnak és a pürékészítés során bekevert jelentős mennyiségű levegőnek volt köszönhető. Ezért **a termékelőállítás és a későbbi vizsgálatok során törekedni kell a bekevert levegő eltávolítására, illetve a levegő át nem eresztő csomagolás alkalmazására.** Mivel a vizsgálataim során tapasztalt változások egy része enzimes folyamatokra vezethető vissza, így **a nyomáskezelt termékek eltarthatóságának felméréséhez elengedhetetlennek tűnik enziminaktivációs vizsgálatok elvégzése.** Ezért kombinált hő-és nyomásinaktivációs kísérleteket végeztem szamócából izolált polifenol-oxidáz enzimm kivonaton. A hőinaktivációs kísérlet során kimutatott kétfázisú inaktiválási mechanizmus rávilágít egy hőstabil enzimfrakció jelenlétére, mely megnövekedett inaktivációs hőszükségletét figyelembe kell venni a hőkezelési folyamatok tervezésénél. A hővel kombinált nyomáskezelés kinetikai elemzése alapján **a bogyógyümölcsökből készített termékek jobb minőségmegőrzéséhez javasolható a szobahőmérsékletnél nagyobb, de a hagyományos hőkezelés hőmérsékleténél kisebb hőmérsékleten végzett nyomáskezelés.** Komplex, több tulajdonságra kiterjedő módon fel kell mérni, hogy mekkora kezelési hőmérséklet-emelkedés fokozza a polifenol-oxidáz – és más enzimek – inaktivációját anélkül, hogy jelentősebb hőkárosító folyamatok indulnának be.

7 ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai és a nemzetközi kutatások eredményei rávilágítanak a gyümölcsök, és azokon belül is a bogyógyümölcsök, egészségmegőrzésben betöltött szerepére. Összehasonlítva a gyümölcsfogyasztási tendenciákat elmondható, jelentős az elmaradás a hazai gyümölcsfogyasztásban a tőlünk nyugatabbra fekvő országokhoz képest. A fogyasztás növekedését szolgálhatja az új típusú, ún. „minimal processing” technológiák terjedése. Az egyik ilyen lehetőség a nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszer tartósítási eljárás, melynek előnyeit és korlátozó tényezőit alaposan mérlegelni kell a piaci bevezetés előtt, hiszen beruházási költsége igen jelentős. Csak olyan termék esetén célszerű alkalmazni, amelynek alapanyagköltsége elviseli a nagyobb hozzáadott érték terheit. Erre megoldást nyújthat a nagy biológiai értékkel és kiváló érzékszervi tulajdonságokkal rendelkező, ugyanakkor a többi gyümölcshez képest drágább bogyógyümölcsök feldolgozása. A nagy hidrosztatikus nyomású tartósítási technológia csak abban az esetben alkalmazható piacképes termék előállításához, ha jobb minőségű terméket lehet vele előállítani, mint a vele azonos pasztöröző hatású, de lényegesen kisebb beruházási igényű hőkezelés. Így célszerű komplex összehasonlító vizsgálatokban összevetni a két kezelés hatását.

Mindezek alapján a doktori munkám során a következő kérdések megválaszolását tűztem ki célul:

1. Mekkora mértékű nagy hidrosztatikus nyomású kezelés eredményez hőhatásmentesen mikrobiológiailag stabil szamóca- és málnapürét a viszonylag rövid idejű (4 hét) tárolási időszak alatt? Mekkora hőterhelés (hőkezelési hőmérséklet, -idő) tekinthető ezzel mikrobiológiai szempontból azonos pasztörözési szintnek?
2. Igazolható-e, hogy a nagy hidrosztatikai nyomású kezelés jobban megőrzi a szamócából és málnából készített gyümölcspürék érzékszervi tulajdonságait? Az esetleges különbségek kimutathatók-e érzékszervi bírálattal és műszeres vizsgálati módszerekkel?
3. Kevésbé csökkenti-e a szamócából és málnából készített gyümölcspürék biológiai aktivitását (C-vitamin-, összes fenol-, összes antocianin tartalom, antioxidáns-kapacitás) a nagy hidrosztatikus nyomású technológia, mint a vele azonos pasztöröző hatású hőkezelés?
4. Megjelennek-e különbségek, vagy fokozódnak-e a kezelések hatására kialakult különbségek a kezelést követő, különböző hőmérsékleteken végzett (5, 10 és 20°C), rövid idejű tárolás (4 hét) alatt? Eltarthatók-e a termékek szobahőmérsékleten?

Vizsgálataimhoz gyorsfagyasztott szamócából és málnából pürét állítottam elő, cukortartalmukat kristálycukor hozzáadásával 20 ref.%-ra állítottam be, majd csomagolás után hő- vagy nyomáskezelttem. A saját és a nemzetközi tanulmányok eredményei alapján megállapítható volt, hogy a hőhatásmentes 600 MPa 5 perces HHP-kezelés és a 80°C 5 perces hőkezelés mikrobiológiai szempontból azonos pasztöröző hatásúnak tekinthető. Az alkalmazott kezelési szintek biztosították a cukrozott szamóca- és málnapüré-minták mikrobiológiai stabilitását a kísérleti célkitűzésének megfelelő időtartam (4 hét) alatt szobahőmérsékletű tárolásnál is.

Az élelmiszerbiztonsági feltételek teljesülésekor a következő kérdés, milyenek az előállított termék érzékszervi tulajdonságai. A **közvetlenül a kezelés után** végzett *érzékszervi vizsgálataim* eredményei alapján megállapítható volt, hogy sem a HHP-kezelés sem a hőkezelés nem okozott markáns, kiugró eltéréseket a vizsgált szamóca- és málnapürék érzékszervi tulajdonságaiban, így az azonos pasztöröző hatás itt is igazolható volt. A műszeres vizsgálatok eredményei is megerősítették mindezt. A *rotációs-viszkoziméterrel* végzett állományvizsgálat szerint elhanyagolható mértékű volt a kezelések közvetlen hatása. Nem lehetett kimutatni jelentős különbséget a kontroll, hőkezelt- és HHP-kezelt minták Ostwald-Waele modell alapján meghatározott konzisztencia-faktorai között. Az íz- és illatkarakttereket humán bírálókat mellett *kémiai érzékelősorokkal* (elektronikus orr, -nyelv) is vizsgáltam. Az érzékelősorok érzékenyebbnek bizonyultak az emberi érzékelésnél, hiszen néhány esetben különbségek voltak megfigyelhetők a minták között már közvetlenül a kezelés után is. Az elektronikus orr határozottabban különítette el egymástól a kezeletlen, a hőkezelt és a nyomáskezelt mintákat egymástól, mint elektronikus nyelv. Mindkét műszernél és mindkét bogyógyümölcsnél a hő- és nyomáskezelt minták más-más karaktert mutattak, amire a többváltozós statisztikai módszerrel meghatározott diszkrimináns-térben egymáshoz és a kezeletlen mintához viszonyított helyzetükből következtethetünk. A bogyógyümölcs-püré minták *bioaktív komponens* (antocianin-, összes fenol-, C-vitamin tartalom) változásait tekintve megállapítható, hogy a komponensek mennyiségei kis mértékben változtak a kezelések hatására (többnyire csökkentek), de jelentős mértékű változás a tárolás alatt történt.

A kezelések után a mintákat 5, 10 és 20°C-on **tároltam** 4 hétig. Már az *érzékszervi tulajdonságok* tárolás alatti változásai rámutattak arra, hogy a kéméletes eljárásokkal tartósított bogyógyümölcs-pürék nem tarthatók el szobahőmérsékleten annak ellenére, hogy mikrobiológiai szempontból elfogadhatóak voltak. Az érzékszervi tulajdonságok döntő többségében a 20°C-on végzett tárolás jelentős változásokat idézett elő mind a szamóca- mind a málnapürében, függetlenül attól, hogy a 14-28 napos tárolást 80°C, 5 perc hőkezelés vagy 600 MPa, 5 perc nyomáskezelés előzte meg. Különbség mutatkozott a két bogyógyümölcs között a

hűtve tárolt minták érzékszervi tulajdonságaira adott pontszámok alapján. A szamócánál a legtöbb pontszámot (pozitív fogyasztói fogadtatás) az 5 és 10°C-on tárolt HHP-kezelt minták kapták, majd ezt követték a hűtött hőkezelt minták pontszámai. Málnánál a tárolási hőmérséklet szerint különültek el a pontszámok, a legnagyobb pontszámokat – kezelési módtól függetlenül – a legkisebb hőmérsékleten tárolt minták kapták. Ez utal arra, hogy az alapanyagokra eltérő módon hatottak a kezelések és a tárolási körülmények, vagyis minden új alapanyagnál/terméknél külön-külön meg kell vizsgálni a kezelések és a tárolási körülmények hatásainak mértékét. A *rotációs-viszkoziméterrel* végzett állományvizsgálat eredményeiben azonos tendenciák voltak megfigyelhetők mindkét bogyógyümölcsnél a tárolás alatt. Míg a hőkezelt minták állományában sem a tárolási idő sem a tárolási hőmérséklet nem okozott különösebb változást, addig a HHP-kezelt minták viszkozitása a tárolási hőmérséklettől függően jelentős mértékben változott. Kisebb tárolási hőmérsékleten gélesebb állomány (nagyobb konzisztencia-faktor) volt megfigyelhető. A jelenség már a 14. tárolási napon tapasztalható volt, s nem változott a 28. napra. Az *elektronikus orr és az elektronikus nyelv* egyaránt alkalmas volt a különböző hőmérsékleten tárolt hőkezelt és nyomáskezelt minták megkülönböztetésére az egyes tárolási napokon. Az elkülönülések alapján az azonos ideig tárolt mintáknál a tartósítási műveletnek nagyobb hatása volt a műszeresen mérhető tulajdonságokra, mint a tárolási hőmérsékletnek. A különböző időpontokban végzett műszeres vizsgálatok adatait megbízhatóan az elektronikus orrnál vonhatjuk össze egy modellben. Az elektronikus orr szenzor-jelválaszai erősebb lineáris kapcsolatot mutattak az érzékszervi bírálat adataival a PLS-kalibráció során, mint az elektronikus nyelv szenzor-jelválaszai. A bogyógyümölcs-püré minták *tristimulusos színmérés* eredményei azt mutatták, hogy az L^* világossági tényező egyik vizsgált bogyógyümölcsnél sem változott lényegesen a tárolási idő előrehaladtával, ugyanakkor a piros (a^*) és a sárga (b^*) színezeti tényezők a tárolási hőmérséklettől függően csökkenést mutattak. A legnagyobb változást a szobahőmérsékleten tárolt minták mutatták s a legkisebbet az 5°C-on tárolták. A színinger-különbség (ΔE^*) értékek alapján megállapítható, hogy a tárolást megelőző kezelések csak néhány hűtve tárolt mintánál okoztak eltérést. A színváltozás dinamikája eltérő volt a két gyümölcsfajtánál. A bogyógyümölcs-püré minták *bioaktív komponenseinek* (antocianin-, összes fenol-, C-vitamin tartalom) tárolás alatti változásait tekintve megállapítható, hogy a tárolási hőmérsékletnek kitüntetett szerepe volt. A szobahőmérsékleten tárolt mintákban rendkívül gyors csökkenés történt a hűtve tárolt mintákhoz képest. Ez megerősíti, hogy ezek a készítmények önmagukban nem polcállók, szükség van a hűtlánc fenntartására. A hűtve tárolt minták között is különbség mutatkozott, de nem olyan jelentős mértékben, mint a 20°C-on tárolt mintánál. A mindhárom vizsgált komponens korrelált a műszeres színmérés a^* és b^* tényezőivel, ami megerősíti a közvetlen (pl. antocianin) vagy közvetett (pl. C-vitamin) hatást a

bogyógyümölcsök színére. A HPLC-s elválasztással meghatározott flavonoid-vegyületek közül az antocianinok csökkenő, a nem antocianin jellegű vegyületek eltérő változásokat mutattak a kezelés, a tárolási hőmérséklet és a tárolási idő hatására. A bioaktív komponensek erősebb – gyengébb korrelációt mutattak az antioxidáns-kapacitással is. A legerősebb kapcsolatot az összes-fenol tartalom, a leggyengébbet az antocianin-tartalom mutatta. Valamennyi minta antioxidáns-kapacitása csökkent a tárolás alatt, viszont a tárolási hőmérséklettel szemben a kezelési módoknak volt fontosabb hatása. A HHP-kezelt mintákban nagyobb mértékben és gyorsabban csökkent antioxidáns-kapacitás, mint a hőkezelt mintákban. Ez valószínűleg a bekevert levegőnek tulajdonítható.

Méréseimet kiegészítettem a enzimvizsgálatokkal is. Szamócából polifenol-oxidáz enzimet izoláltam majd hő- (50-65°C) és nyomásinaktiválási (10-50°C, 100-750 MPa) kinetikai vizsgálatokat végeztem. Kiderült, hogy szamócából csak ionos (konyhasóval kiegészített) oldószerrel lehetett kellő enzimaktivitással rendelkező PPO-kivonatot készíteni. A hőinaktivációs kísérleteim során bebizonyosodott, hogy a hőinaktiváció kétfázisú kinetikai összefüggéssel modellezhető, vagyis a könnyen inaktiválható hőérzékeny frakció mellett jelen van egy hőstabil is. Az enyhe hő és széles nyomástartományban végzett inaktivációs kísérleteim eredményei azt mutatták, hogy 50°C-nál nagyobb hőmérsékleten és 200 MPa-nál nagyobb nyomáson az inaktiváció sebessége növekedett, jelezve, hogy szinergista hatás figyelhető meg a nyomás és hőmérséklet között. Azonban a hasonlóan nagy (>50°C) hőmérsékleten, de 200 MPa-nál kisebb nyomáson antagonista hatás volt megfigyelhető a nyomás és hőmérséklet között. Ebben a tartományban állandó hőmérséklet esetén az alkalmazott nyomás fokozásával csökkent az inaktiváció sebessége. Az eredmények alapján a szamóca PPO inaktiválására alkalmasabb az enyhe hőkezelés – nagyobb nyomáskezelés kombinációja, mint a hőhatásmentes nyomáskezelés.

8 SUMMARY

Hungarian and international research results underline the importance of fruits, and among them of berries, in the maintenance of our health. Comparing the tendencies in fruit consumption, Hungary is behind the Western countries. Spreading of the new, so called „minimal processing” technologies might promote the increase in consumption. One of these technologies for food preservation is high hydrostatic pressure (HHP). Its advantages and limitations/disadvantages have to be thoroughly considered before introducing it to the market, since its investment costs are high. It is advisable to use this technology only for such products, where the price of raw materials bears the burden of higher added value. One option is the processing of berries, which have high biological value and outstanding organoleptic characteristics, and at the same time they are more expensive than other fruits. High hydrostatic pressure is worthy to be used for processing of marketable goods only if products of better quality are produced this way, than by heat treatment, which has similar pasteurization effect, but it has much lower investment costs. Thus, it is expedient to compare the effects of the two treatment types in complex comparative studies.

Relying upon these statements my aim was to answer the following questions:

1. How high hydrostatic pressure is needed to obtain without heat effect microbiologically stable strawberry and raspberry purées during the relatively short storage period? How much heat load (temperature and period of heat treatment) can be considered equal to pasteurization having the same microbiological effect?
2. Can it be proved that high hydrostatic pressure preserves organoleptic characteristics of purées made of strawberry and raspberry in a milder way than heat treatment? Can possible differences be detected by human organoleptic analysis and instrumental methods?
3. Does high hydrostatic technology decrease less biological activity (contents of vitamin C, total phenolics, total anthocyanins, antioxidant capacity) of fruit purées made of strawberry and raspberry, than heat treatment having the same pasteurization effect?
4. Do differences, caused by the treatments, appear or increase during short-term storage (4 weeks) at various temperatures (5, 10 and 20°C) after treatment?

Purées were prepared from deep-frozen strawberries and raspberries. Sugar content of the purées was adjusted to 20 ref% with the addition of granulated sugar. After packaging, purées were either heat treated or pressurized. According to the results of my own and international studies, HHP treatment at 600 MPa for 5 min has the same pasteurization effect from microbiological viewpoint as heat treatment at 80°C for 5 min. Applied treatment levels ensured microbiological stability of sweetened strawberry and raspberry purées during the storage period of 4 weeks even at ambient temperature.

If food safety requirements are fulfilled, the next question is what are the organoleptic characteristics like. Results of sensory analysis on the 0th day showed that neither HHP treatment nor heat treatment caused marked differences in the organoleptic characteristics of strawberry and raspberry purées, thus similar pasteurizing effect could be proved in this case as well.

Results of instrumental tests confirmed this finding. According to texture analyses by rotational viscometer direct effect of treatments was neglectable. No significant differences could be detected between the consistency factors calculated by the Ostwald-Waele model of the heat treated samples on the 0th day and the ones stored at any other temperatures. Beside human organoleptic analysis, taste and smell characters were investigated by chemical sensor arrays (electronic nose and tongue) as well. Sensor arrays seemed to be more sensitive than human perception, since in some cases differences could already be detected between samples directly after treatment. Electronic nose could better discriminate between control, heat treated and HHP treated samples than electronic tongue. Heat treated and pressurized samples showed different characters for both instruments and both berries, that could be concluded from their positions compared to each other and the control samples in the discriminant space determined by multivariate statistical method. Considering the changes in bioactive components (anthocyanins, total phenolics, vitamin C content) of berry purées we found slight changes (mainly decrease) as an effect of the treatments themselves, and marked changes occurred during storage.

Following treatments, samples were stored for 4 weeks at 5, 10 and 20°C. Changes in organoleptic characteristics during storage have already shown that fruit purées preserved by minimal processing can not be kept at ambient temperature in spite of the fact that they microbiological quality was acceptable. Decided differences took place in most of the organoleptic characteristics of strawberry as well as raspberry purees during storage at 20 °C irrespective whether heat treatment at 80°C for 5 min or pressure treatment at 600 MPa for 5 min preceded the 14-28 days of storage. Differences appeared between the two berries based on the scores of organoleptic characteristics of cold stored samples. In case of strawberries, HHP treated samples stored at 5 and 10°C had the highest scores (positive consumer acceptance) followed by the scores of cooled heat treated samples. Scores separated according to the storage temperature in case of raspberry samples. Samples stored at the lowest temperature got the highest scores irrespective of the mode of treatment. This suggests that treatments and storage conditions had different effects on the raw materials, that is, degree of the effects of treatments and storage conditions have to be examined separately for each new raw material/product. Texture analyses by rotational viscometer showed similar tendencies in the textural changes of both berry purées during storage. While neither storage time nor storage temperature caused marked changes in the texture of heat treated samples, viscosity of pressurized samples changed significantly depending on storage temperature. Samples stored at lower temperature had more jelly-like texture (higher consistency factor). This phenomenon could be observed already on the 14th storage day and didn't change by the 28th day. After unveiling the exact mechanism of this phenomenon it could be used later for developing new products. Both the electronic nose and the electronic tongue were suitable to distinguish heat treated samples and HHP treated ones from each other based on the storage temperatures and individual storage days. On the basis of separation, type of the preservation method affected more the characteristics measured by instruments than storage temperature when samples were stored for the same period of time. Data obtained by instrumental measurements in various times could be reliably merged in one model only when electronic nose was used. Sensor responses of electronic nose showed stronger linear correlation with the results of organoleptic analysis during PLS calibration, than the sensor responses of electronic tongue. Results obtained by tristimulus color measurement of berry

purées showed that L* lightness value of neither berries changed significantly with the progress of storage time, while red (a*) and yellow (b*) hues decreased at a rate depending on storage temperature. Largest changes were found in samples stored at ambient temperature and the smallest ones in samples stored at 5°C. Color difference (ΔE^*) values suggested that treatments preceding the treatments caused differences only in some cold stored samples. Dynamics of color change was different in the two berry species. Regarding changes in bioactive components (anthocyanin content, total phenolics, vitamin C content) of berry purées we found that storage temperature was determinant. Extremely rapid decrease took place in samples stored at ambient temperature compared to the cold stored ones. This affirms that these products are not shelf-stable, cold chain has to be maintained. Differences were found between the cold stored samples as well, but not in such extent as in the samples stored at 20°C. All the three components correlated with the a* and b* factors of color measurement that confirms the direct (e.g. anthocyanin) or indirect (e.g. vitamin C) effect on the color of berries. Among flavonoid compounds determined by HPLC method, anthocyanins decreased while non-anthocyanin compounds showed different changes as a result of treatment, storage temperature and storage time. Bioactive components displayed stronger- weaker correlation with antioxidant capacity, too. Total phenolic content had the strongest correlation and anthocyanin content the weakest correlation. Antioxidant capacity of all samples decreased during storage, but treatment methods had stronger influence than storage temperature. Antioxidant capacity decreased in a higher extent and rate in HHP treated samples than in the heat treated ones. This phenomenon can be attributed to the incorporated air during processing.

Measurements were completed by enzyme investigations, too. Polyphenol-oxidase enzyme was isolated from strawberry then kinetic studies were performed on heat (50-65°C) and pressure (10-50°C, 100-750 MPa) inactivation. we found out that PPO with required enzyme activity could be extracted from strawberry only by ionic solvent (supplemented with sodium-chloride). Heat inactivation examinations proved that heat inactivation of PPO could be modelled by a two-phase kinetic relation, that is, there was a heat stable fraction beside the heat sensitive fraction. Inactivation experiments were conducted in a mild temperature and a broad pressure range. Rate of inactivation increased at temperatures above 50°C and pressure above 200 MPa indicating a synergistic effect between pressure and heat. However, in temperature above 50°C and pressure below 200 MPa range, antagonistic effect could be observed between pressure and temperature. In this range at constant temperature, the ratio of inactivation rate constants was decreasing with increasing pressure. Combination of mild heat treatment and higher pressure treatment seems to be more effective for the inactivation of PPO enzyme in strawberry, than pressurization alone.

MELLÉKLETEK

M1 Irodalomjegyzék

- AABY, K., SKREDE, G., WROLSTAD, W.R. (2005): Phenolic Composition and Antioxidant Activities in Flesh and Achenes of Strawberries (*Fragaria ananassa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10) 4032-4040. p.
- ABEE, T.M., WOUTERS, J.A. (1999): Microbial stress response in minimally processing. *International Journal of Food Microbiology*, 50 65-91. p.
- AHMED, J., RAMASWAMY, H.S., HIREMATH, N. (2005): The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, 40 (8) 885–895. p.
- ALMÁSI, E. (1977): Élelmiszerek gyorsfagyasztása, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 368 p.
- ALPAS, H., BOZOGLU, F. (2003): Efficiency of high pressure treatment for destruction of *Listeria monocytogenes* in fruit juices. "*FEMS Immunology and Medical Microbiology*", 35 269-273. p.
- AROUMA, O.I (1999): Free radicals, antioxidants and international nutrition. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 8(1) 53-63. p.
- ARRIGONI, O., DE TULLIO, M.C. (2002): Ascorbic acid: much more than just an antioxidant. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1569(1-3) 1–9. p.
- ARTÉS-HERNÁNDEZ, F., ARTÉS, F., TOMÁS-BARBERÁN, F.A. (2003): Quality and enhancement of bioactive phenolics in cv. Napoleon table grapes exposed to different postharvest gaseous treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(18) 5290-5295. p.
- ATROSHI, F., ANTILA, E., WESTERMARCK, T. (2007): The role of selenium in epilepsy and other neurological disorders. *Epileptologia*, 15(3) 211-224. p.
- AUGUSTIN, M.A., GHAZALI, H.M., HASHIM, H. (1985): Polyphenoloxidase from guava (*Psidium guajava* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36 1259-1265. p.
- BAERT, L., UYTENDAELE, M., VAN COILLIE, E., DEBEVERE, J. (2008): The reduction of murine norovirus 1, B. *fragilis* HSP40 infecting phage B40-8 and *E. coli* after a mild thermal pasteurization process of raspberry puree. *Food Microbiology*, 25(7) 871-874. p.
- BASAK, S., RAMASWAMY, H.S. (1998): Effect of high pressure processing on the texture of selected fruits and vegetables, *Journal of Texture Studies*, 29 587–601. p.
- BASAK, S., RAMASWAMY, H.S., PIETTE, J.P.G. (2002): High pressure destruction kinetics of *Leuconostoc mesenteroides* and *Saccharomyces cerevisiae* in single strength and concentrated orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 3(3) 223-231. p.
- BATTISTI, C., FORMICHI, P., TRIPODI, S.A., VINDIGNI, C., ROVIELLO, F., FEDERICO, A. (2000): Vitamin E serum levels and gastric cancer: results from a cohort of patients in Tuscany, Italy. *Cancer Letters*, 151(1) 15-18. p.
- BAYINDIRLI, A., ALPASA, H., BOZOĞLUA, F., HIZAL, M. (2006): Efficiency of high pressure treatment on inactivation of pathogenic microorganisms and enzymes in apple, orange, apricot and sour cherry juices. *Food Control*, 17(1) 52-58. p.

- BEATTIE, J., CROZIER, A., DUTHIE, G. (2005): Potential Health Benefits of Berries. *Current Nutrition and Food Science* 1(1) 71-86. p.
- BENZIE, I.F.F.; STRAIN J.J. (1996): The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239 (1) 70-76. p.
- BIACS, P.A., SZIGETI, O. (2006): Innováció és minőség az élelmiszeriparban. *Élelmiszer, Táplálkozás és Marketing*, III.(1) 51-55. p.
- BÍRÓ, GY. (2003): Funkcionális élelmiszerek, természetes antioxidánsok szerepe az egészség megőrzésében. *Élelmészeti Ipar*, LVII.(17) 835-838. p.
- BOMSER, J., MADHAVI, D.L., SINGLETARY, K., SMITH, M.A. (1996): In vitro anticancer activity of fruit extracts from Vaccinium species. *Planta Medica*, 62(3) 212-216. p.
- BORS, W., HELLER, W., MICHEL, C., SARAN, M. (1990): Flavonoids as antioxidants: Determination of radical-scavenging efficiencies. *Methods in Enzymology*, 186 343-355. p.
- BREZMES, J., LLOBET, E., VILANOVA, X., ORTS, J., SAIZ, G., CORREIG, X. (2001): Correlation between electronic nose signals and fruit quality indicators on shelf-life measurements with pink lady apples. *Sensors and Actuators B*, 80(1) 41-50. p.
- BUCKOW, R., V. HEINZ, V., KNORR, D. (2007): High pressure phase transition kinetics of maize starch. *Journal of Food Engineering*, 81(2) 469-475. p.
- BUCKOW, R., VOLKER, H. (2008): High Pressure Processing – a Database of Kinetic Information. *Chemie Ingenieur Technik*, 80 (8), pp. 1081-1095.
- BULL, M.K., ZERDIN, K., HOWE, E., GOICOECHEA, D., PARAMANANDHAN, P., STOCKMAN, R., SELLAHEWA, J., SZABO E.A., JOHNSON R.L., STEWART, C.M. (2004): The effect of high pressure processing on the microbial, physical and chemical properties of Valencia and Navel orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(2) 135-149. p.
- BUTZ, P., NEEDS, E.C., BARON, A., BAYER, O., GEISEL, B., GUPTA, B., OLTERS DORF, U., TAUSCHER, B. (2003): Consumer attitudes to high pressure food processing. *Food, Agriculture & Environment*, 1(1) 30-34. p.
- CAO, G., SOFIC, E. PRIOR, R.L. (1997): Antioxidant and Prooxidant Behavior of Flavonoids: Structure-Activity Relationships. *Free Radical Biology and Medicine*, 22(5) 749-760. p.
- CARDELLO, A.V., SCHUTZ, H.G., LESHER, L.L. (2007): Consumer perceptions of foods processed by innovative and emerging technologies: A conjoint analytic study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1) 73-83. p.
- CARUSO, T., GIOVANNINI, D., LIVERANI, A. (1996): Rootstock influences the fruit mineral, sugar and organic acid content of a very early ripening peach cultivar. *Journal of Horticultural Science*, 71(6) 931-936. p.
- CHANDLER, C.K., HERRINGTON, M. AND SLADE, A. (2003): Effect of harvest date on soluble solids and titratable acidity in fruit of strawberry grown in a winter, annual hill production system. *Acta Horticulturae*, (626) 345-346. p.
- CHANDRA, A., NAIR, M.G., IEZZONI, A. (1992): Evaluation and characterization of the anthocyanin pigments in tart cherries (*Prunus cerasus* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 40, 907-909 p.
- CONNOR, A.M., LUBY, J.J. HANCOCK, J.F., BERKHEIMER, S., HANSON, E., J. (2002): Changes in fruit antioxidant activity among blueberry cultivars during cold-temperature storage *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(4) 893-898. p.

- CORRALES, M., BUTZ, P., TAUSCHER, B. (2008): Anthocyanin condensation reactions under high hydrostatic pressure. *Food Chemistry*, 110(3) 627–635. p.
- CSERHALMI, ZS., MÉSZÁROS, L., SASS, Á., TÓTH, M. (2004): Nagy hidrosztatikus nyomással kezelt gyümölcslevek vizsgálata. *Élelmezési Ipar*. LVIII (9) 265-270. p.
- DALMADI, I. (2003): Nagy hidrosztatikai nyomás alkalmazása táplálkozásbiológiai szempontból értékes rostos gyümölcslevek minőségkímélő pasztörözésére. *Élelmezési Ipar*, LVII, (6) 182-184. p.
- DALMADI, I., FARKAS, J. (2006): Gyümölcskészítmények tartósítása nagy hidrosztatikus nyomással. *Élelmezési Ipar*, LX(12) 262-264. p.
- DALMADI, I., POLYÁK-FEHÉR, K., FARKAS, J. (2005): A hőkezelés és nagy nyomásos pasztörözés hatása néhány bogyógyümölcs-termék fontosabb minőségi tulajdonságára. *Konzervújság*, LIV (3) 65. p.
- DALMADI, I., RAPEANU, G., VAN LOEY, A., SMOUT, C., HENDRICKX, M. (2006): Characterization and inactivation by thermal and pressure processing of strawberry (*Fragaria ananassa*) polyphenol oxidase: a kinetic study. *Journal of Food Biochemistry*, 30 56-76 p.
- DALMADI, I., SEREGÉLY, ZS., FARKAS, J., KAFFKA, K. (2007): Néhány többváltozós kemometriai módszer alkalmazása műszeres analitikai vizsgálatok értékelésére. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, LIII (4), 222- 238. p.
- DAOOD, H.G.; BIACS P.A.; DAKAR M.A.; HAJDU F. (1994): Ion-pair chromatography and photodiode-array detection of vitamin C and organic acids. *Journal of Chromatographic Science*, 32, 481-487. p.
- DAOUDI, L., QUEVEDO, J.M., TRUJILLO, A.J., CAPDEVILA, F., BARTRA, E., MÍNGUEZ, S. (2002): Effects of high-pressure treatment on the sensory quality of white grape juice. *High Pressure Research*, 22(3) 705–709. p.
- DEIGHTON, N., BRENNAN, R., FINN, C. AND DAVIES, H.V. (2000): Antioxidant properties of domesticated and wild *Rubus* species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(9) 1307–1313. p.
- DI NATALE, C., MACAGNANO, A., MARTINELLI, E., PAOLESSE, R., PROIETTI, E., D'AMICO, A. (2001): The evaluation of quality of post-harvest oranges and apples by means of an electronic nose. *Sensors and Actuators B*, 78(1) 26-31. p.
- DI NATALE, C., ZUDE-SASSEB, M., MACAGNANO, A., PAOLESSE, R., HEROLDB, B., D'AMICO, A. (2002): Outer product analysis of electronic nose and visible spectra: application to the measurement of peach fruit characteristics. *Analytica Chimica Acta*, 459(1) 107-117. p.
- DICKINSON, T.A., WHITE, J., KAUER, J.S., WALT, D.R. (1998): Current trends in 'artificial-nose' technology. *Trends in Biotechnology*, 16(6) 250-258.p.
- DONSÌ, G., FERRARI, G., DI MATTEO, M. (1996): High pressure stabilization of orange juice: evaluation of the effects of process conditions. *Italian Journal of Food Science*, 2 99–106. p.
- ELSTNER, E.F. (1982): Oxygen Activation and Oxygen Toxicity. *Annual Review of Plant Physiology*, 33 73-96. p.
- ERDÉSZ, F. (2007): Gyümölcsfogyasztás és felhasználás. Az ipari alapanyagok termelésének kilátásai. *Élelmezési Ipar*, LXI (4) 111-117. p.
- FARKAS, D.F., HOOVER, D.G. (2000): High Pressure Processing. *Journal of Food Science Special Supplement*, (65) 47-63. p.

- FERNÁNDEZ GARCIA, A., BUTZ, P., TAUSCHER, B. (2001): Effects of high-pressure processing on carotenoid extractability, antioxidant activity, glucose diffusion, and water binding of tomato puree (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of Food Science*, 66 (7) 1033–1038. p.
- FLURKEY, W.H., JEN, J.J. (1978): Peroxidase and polyphenol oxidase activities in developing peaches. *Journal of Food Science*, 43. 1826-1829. p.
- FRIDOVICH, I. (1998): Oxygen toxicity: a radical explanation. *Journal of Experimental*
- GALVANO, F., LUCA LA FAUCIB, L., LAZZARINOC, G., FOGLIANOD, V., RITIENID, A., CIAPPELLANOE, S., BATTISTINIF, N.C., TAVAZZIG, B., GALVANO, B. G. (2004): Cyanidins: metabolism and biological properties. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 15(1) 2-11. p.
- GAO, L., MAZZA, G. (1995): Characterization, quantitation and distribution of anthocyanins and colorless phenolics in sweet cherries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43, 343-346 p.
- GARCIA-PALAZON, A., SUTHANTHANGJAI, W., KAJDA, P., ZABETAKIS, I. (2004): The effect of high hydrostatic pressure on β -glucosidase, peroxidase and polyphenoloxidase in red raspberry (*Rubus ideaus*) and strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Food Chemistry*, 88(1) 7-10. p.
- GARDNER, J.W., BARTLETT, P.N. (1994): A brief history of electronic noses. *Sensors and actuators B*, 18(1-3) 211-220. p.
- GIL, M.I., HOLCROFT, D.M., KADER, A.A. (1997): Changes in strawberry anthocyanins and other polyphenols in response to carbon dioxide treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(5) 1662-1667. p.
- GIMENEZ, J., KAJDA, P., MARGOMENOU, L., PIGGOTT, J.R., ZABETAKIS, I. (2001): A study on the colour and sensory attributes of high-hydrostatic-pressure jams as compared with traditional jams. *Journal of Science and Food Agriculture*, 81(13) 1228–1234. p.
- GIUSTI, M.M., WROLSTAD, R.E. (2000): Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. In: *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, Unit F1.2, John Wiley&Sons
<http://www.nshstvn.org/ebook/molbio/Current%20Protocols/CPFAC/faf0102.pdf>
- GOLAN-GOLDHIRSH, A., WHITAKER, J.R., KAHN, V. (1984): Relation between structure of polyphenol oxidase and prevention of browning. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 177, 437-456. p.
- GONÇALVES, B, LANDBO, A.K, KNUDSEN, D., SILVA, A.P, MOUTINHO-PEREIRA, J., ROSA, E., MEYER, A.S. (2005): Effect of ripeness and postharvest storage on the phenolic profiles of Cherries (*Prunus avium* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(3) 523-530. p.
- GOULD, G.W., STUBBS, J.M., KING, W.L. (1970): Structure and composition of resistant layers in bacterial spore coats. *Journal of General Microbiology*, 60(3) 347-355. p.
- GÖPEL, W. (1995): Supramolecular and polymeric structures for gas sensors. *Sensors and Actuators B*, 24(1-3) 17-32. p.
- GÖSSINGER, M., MORITZ, S., HERMES, M., WENDELIN, S., SCHERBICHLER, H., HALBWIRTH, H., STICH, L., BERGHOFER, E. (2009): Effects of processing parameters on colour stability of strawberry nectar from puree. *Journal of Food Engineering*, 90(2) 171-178. p.
- GRANT, N.H., ALBURN, H.E. (1965): Fast reactions of ascorbic acid and hydrogen peroxide in ice. *Science*, 150(3703) 1589-1590. p.

- HALLIWELL, B. (1999): Vitamin C: poison, prophylactic or panacea?, *Trends in Biochemical Sciences*, 24(7) 255–259. p.
- HALLIWELL, B., GUTTERIDGE, J.M. (1990): The antioxidants of human extracellular fluids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 280(1) 1-8. p.
- HANNUM, S.M. (2004): Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. *Critical reviews in food science and nutrition*. 44(1) 1-17. p.
- HAWLEY, S.A. (1971): Reversible pressure-temperature denaturation of chymotripsinogen. *Biochemistry*, 10(13) 2436-2442. p.
- HEINONEN, I.M., MEYER, A.S. FRANKEL, E.N. (1998): Antioxidant activity of berry phenolics on human low-density lipoprotein and liposome oxidation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(10) 4107-4112. p
- HEINZ, V., KNORR, D. (2002): Effects of high pressure on spores. 77-114. p. In: HENDRICKX, M.E.G., KNORR, D (eds.): *Ultra high pressure treatments of foods*. New York, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, 340. p.
- HENSON, D.D., BLOCK, G., LEVINE, M. (1991): Ascorbic acid; biological functions and relation to cancer. *Journal of National Cancer Institute*, 83 547-550 p.
- HERBERT, V. (1996): Introduction. Symposium: Prooxidant effects of antioxidant vitamins. *Journal of Nutrition*, 126(4) 1197-1200. p.
- HEREMANS, K. (1993): The behaviour of proteins under pressure. In *High-Pressure Chemistry, Biochemistry and Materials Science*, (Winter R, Jonas J, eds.), Dordrecht, The Netherlands, 443-469. p.
- HEREMANS, K. (2002): Effects of high pressure on biomaterials. 23-51. p. In: HENDRICKX, M.E.G., KNORR, D (eds.): *Ultra high pressure treatments of foods*. New York, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, 340. p.
- HINES, E., LLOBET, E., GARDNER, J. (1999): Neural network-based electronic nose for apple ripeness determination. *Electronic Letters*, 35(10) 821–823. p.
- HITE, B.H. (1899): The effects of pressure in the preservation of milk. *West Virginia Agricultural Experiment Station Bulletin*, 58 15. p.
- HOLLMAN, P.C.H., ARTS, I.C.W. (2000): Flavonols, flavones and flavanols - nature, occurrence and dietary burden. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(7) 1081 – 1093. p.
- INDRAWATI, VAN LOEY, A. M., LUDI KHUYZE, L. R., HENDRICKX, M. E. (2001): Pressure-temperature inactivation of lipoxygenase in green peas (*Pisum sativum*): a kinetic study. *Journal of Food Science*, 6 686-693. p.
- INDRAWATI, VAN LOEY, A.HENDRICKX, M. (2004): Pressure and temperature stability of water-soluble antioxidants in orange and carrot juice: a kinetic study. *European of Food Research Technology*, (219) 161–166.p.
- INDRAWATI, VAN LOEY, A.M., LUDI KHUYZE, L.R., HENDRICKX, M.E. (2000): Lipoxygenase inactivation in green beans (*Phaseolus vulgaris L.*) due to high-pressure treatment at subzero and elevated temperatures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(5) 1850-1859. p.
- IWANAGA, S., SATO, N., IKEGAMI, A. ISOGAI, T. NORO, T. ARIMA, H. (1984): Gas detection device and method for detecting gas. United States Patent 4457161

- JORDAN, S.L., PASCUAL, C., BRACEY, E., MACKEY B.M. (2001): Inactivation and injury of pressure-resistant strains of *Escherichia coli* O157 and *Listeria monocytogenes* in fruit juices. *Journal of Applied Microbiology*, 91(3) 463–469. p.
- KAACK, K., AUSTED, T. (1998): Interaction of vitamin C and flavonoids in elderberry (*Sambucus nigra* L.) during juice processing. *Plant Foods for Human Nutrition*, 52 187–198. p.
- KÄHKÖNEN, M.P., HOPIA, A.I., HEINONEN, M. (2001): Berry Phenolics and Their Antioxidant Activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49(8) 4076–4082. p.
- KALT, W., FORNEY, C.F., MARTIN, A., PRIOR, R.L. (1999): Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics, and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(11) 4638–4644. p.
- KANTOR, D.B., HITKA, G., FEKETE, A., BALLA, CS. (2008): Electronic tongue for sensing taste changes with apricots during storage. *Sensors and Actuators B*, 131(1) 43–47. p.
- KÉRY, Á., BLÁZOVICS, A (1995): Növényi antioxidánsok és jelentőségük a fitoterápiás készítményekben. *Fitoterápia*, 1 21–26. p.
- KIM, D.-O., PADILLA-ZAKOUR, O.I. (2004): Jam processing effect on phenolics and antioxidant capacity in anthocyanin-rich fruits: Cherry, plum, and raspberry. *Journal of Food Science*, 69(9) S395–S400. p.
- KIMURA, K., IDA, M., YOSHIDA, Y., OHKI, K., FUKUMOTO, T., SAKUI, N. (1994): Comparison of keeping quality between pressure-processed jam and heat processed jam: Changes in flavour components, hue and nutrients during storage. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 58 1386–1391. p.
- KNORR, D. (1993): Effects of high-hydrostatic pressure processes on food safety and quality. *Food Technology*, 47(6) 156–161. p.
- KOPJAR, M., PILIŽOTA, V., TIBAN, N.N., ŠUBARIĆ, D., BABIĆ, J., AČKAR, Đ., SAJDL, M. (2009): Strawberry Jams: Influence of Different Pectins on Colour and Textural Properties. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(1) 20–28. p.
- KOTECHA, P.M., MADHAVI, D.L. (1995): Berries. 315–334. p. In: SALUNKHE, D.K., KADAM, S.S. (eds.) *Handbook of Fruit Science and Technology. Production, Composition, Storage and Processing*. Marcel Dekker Inc., New York, 632. p.
- KOUNIAKI, S., KAJDA, P., ZABETAKIS, I. (2004): The effect of high hydrostatic pressure on anthocyanins and ascorbic acid in blackcurrants (*Ribes nigrum*). *Flavour and Fragrance Journal* 19(4) 281–286. p.
- KRAMER, A., TWIGG, B.A. (1962): *Fundamentals of Quality-Control for the Food Industry*. The Avi Publishing Company, Inc., Westport, Connecticut, USA., 512. p.
- KRIS-ETHERTON, P.M., HECKER K:D, BONANOME, A., COVAL, S.M., BINKOSKI, A.E., HILPERT, K.F., GRIEL, A.E., ETHERTON, T.D. (2002): Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *The American Journal of Medicine*, 113(9) 71–88. p.
- KÜRTI, A., KÁLLAY, T. (2007): A magyar gyümölcsfogyasztás alakulása az utóbbi években. *Kertgazdaság*, 39(1) 83–88. p.
- LABOISSIÈRE, L.H.E.S., DELIZA, R., BARROS-MARCELLINI, A.M., ROSENTHAL, A., CAMARGO, L.M.A.Q., AND JUNQUEIRA, R.G. (2007): Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on sensory characteristics of yellow passion fruit juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 8 469–477. p.

- LACHANCE, P.A., ZEINA, N., WOO-SIK, J. (2001): Antioxidants: An integrative approach. *Nutrition*, 17(10) 835-838. p.
- LAMBADARIOS, E., ZABETAKIS, I. (2002): Does high hydrostatic pressure affect fruit esters? *Lebensmittel - Wissenschaft und Technologie*, 35(4) 362-366. p.
- LAMBERT, Y., DEMAZEAU, G., LARGETEAU, A., BOUVIER, J.-M. (1999): Changes in aromatic volatile composition of strawberry after high pressure treatment. *Food Chemistry*, 67(1) 7-16. p.
- LAMPE, J.W. (1999): Health effects of vegetables and fruit: assessing mechanisms of action in human experimental studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3 Suppl) 475S-490S. p.
- LANGSETH, L. (1995): Oxidants, antioxidants, and disease prevention. International Life Sciences Institution, Brussels, Europe. 24. p.
- LEE, C. Y., SMITH, N. L., PENNESI, A. P. (1983): Polyphenoloxidase from De Chaumac grapes, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34 987-991. p.
- LEE, K.W., LEE, H.J., SURH, Y.S., LEE, C.Y. (2003): Vitamin C and cancer chemoprevention: reappraisal. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78(6) 1074-1078. p.
- LINTON, M., MCCLEMENTS, J.M., PATTERSON, M.F. (1999): Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in orange juice using a combination of high pressure and mild heat. *Journal of Food Protection*, 62(3) 277-279. p.
- LLOBET, E., HINES, E.L., GARDNER, J.W., FRANCO, S. (1999): Non-destructive banana ripeness determination using a neural network-based electronic nose. *Measurement Science and Technology*, 6(10) pp. 538-548.
- LOPES DA SILVA, J.A., GONCALVES, M.P. (1994) Rheological study into the ageing process of high methoxyl pectin/sucrose aqueous gels. *Carbohydrate polymers*, 24(4) 235-245. p.
- LÓPEZ-SERRANO, M., BARCELÓ, R.A. (2002): Comparative study of the products of the peroxidase-catalyzed and the polyphenoloxidase-catalyzed (+)-catechin oxidation. Their possible implications in strawberry (*Fragaria x ananassa*) browning reactions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(5), 1218-1224. p.
- LORENÇO, E. J., NEVES, V. A., DA SILVA M. A. (1992): Polyphenoloxidase from sweet potato: purification and properties, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40 2369-2373. p.
- LUDI KHUYZE, L. VAN LOEY, A., INDRAWATI, HENDRICKX, M. (2001): Combined high pressure thermal treatment of foods. 266-284. p. In: RICHARDSON, P. (ed.): Thermal technologies in food processing, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 312. p.
- LUGASI, A., BLÁZOVICS A. (2004): Az egészséges táplálkozás tudományos alapjai. *Széchenyi Füzetek, Útmutató az egészség megőrzéséhez*. No. 4, OKK-OÉTI, Budapest,
- LUGASI, A. (2000): Az élelmiszer eredetű flavonoidok potenciális egészségvédő hatása. *Orvosi Hetilap*. 141 1751-1760. p.
- LUND, D.B. (1977): Design of thermal processes for maximizing nutrient retention. *Food Technology*, 31 71-78 p.
- LY-NGUYEN, B., VAN LOEY A. M., SMOUT, C., EREN ÖZCAN, S., FACHIN, D., VERLENT, I., VU, T. S., DUVETTER, T., HENDRICKX, M. E. (2003a): Mild-heat and high-pressure inactivation of carrot pectin methylesterase: A kinetic study. *Journal of Food Science*, 68 1377-1383. p.

- LY-NGUYEN, B., VAN LOEY A. M., SMOUT, C., VERLENT, I., DUVETTER, T., HENDRICKX, M. E. (2003b): Effect of mild-heat and high-pressure processing on banana pectin methylesterase: A kinetic study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 7974-7979. p.
- MACEIRAS, R., ÁLVAREZ, E., CANCEL, M.A. (2007): Rheological properties of fruit purees: Effect of cooking. *Journal of Food Engineering*, 80(3) 763-769. p.
- MERMELSTEIN, N.H. (1998): High Pressure Processing Begins, *Food Technology*, 52(6) 104-106. p.
- MERMELSTEIN, N.H (1999): High pressure pasteurization of juice. *Food Technology*, 53(4) 86-90. p.
- MIELLE, P., (1996): Managing dynamic thermal exchanges in commercial semiconducting gas sensors. *Sensors and Actuators B*, 34(1-3) 533-538. p.
- MONTERO, P., ÁVALOS, A., PÉREZ-MATEOS, M. (2001): Characterization of polyphenoloxidase of prawns (*Penaeus japonicus*). Alternatives to inhibition: additives and high-pressure treatment, *Food Chemistry*, 75 317-324. p.
- MORILD, E. (1981): The theory of pressure effects on enzymes. *Advances in Protein Chemistry*, 34, 93-166.
- MOYER, E.A., HUMMER, K.E., FINN, C.E., FREI, B., WROLSTAD, R.E. (2002): Anthocyanins, Phenolics, and Antioxidant Capacity in Diverse Small Fruits: *Vaccinium*, *Rubus*, and *Ribes*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(3) 519 -525. p.
- MOZHAEV, V. V., LANGE, R., KUDRYASHOVA, E. V., BALNY, C. (1996): Application of high hydrostatic pressure for increasing activity and stability of enzymes. *Biotechnology and bioengineering*, 52 320-331. p.
- MULLEN, W., MCGINN, J., LEAN, M.E.J., MACLEAN, M.R., GARDNER, P., DUTHIE, G.D., YOKOTA, T., CROZIER, A. (2002): Ellagitannins, flavonoids, and other phenolics in red raspberries and their contribution to antioxidant capacity and vasorelaxation properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(18) 5191 -5196. p.
- MYLLMÄKI, O. (1996): High pressure food processors. 29-46. p. In: OHLSSON T. (ed.): *High pressure processing of food and food components—a literature survey and bibliography*. Goeteborg: SIK.
- NATIONAL PUBLIC HEALTH INSTITUTE OF FINLAND: Fineli @ - finnish food composition database, Forrás: <http://www.fineli.fi/index.php?lang=en> (2008.09.08)
- NGALANI, J.A., SIGNORET A., CROUZET, J. (1993): Partial purification and properties of plantain polyphenol oxidase, *Food Chemistry*, 48 341-347. p.
- NGUYEN, B.L., VAN LOEY, A.M., FACHIN, D., VERLERNT, I., HENDRICKX, M.E. (2002): Purification, characterization, thermal, and high-pressure inactivation of pectin methylesterase from bananas (cv Cavendish). *Biotechnology and Bioengineering*. 78 (6) 683-691. p.
- NIENABER, U., SHELLHAMMER, T.H. (2001): High-pressure processing of orange juice: combination treatments and a shelf life study. *Journal of Food Science*, 66 (2) 332-336. p.
- NIKI, E., NOGUCHI, N., TSUCHIHASHI, H., GOTOH, N. (1995): Interaction among vitamin C, vitamin E, and β -carotene, *American Journal of Clinical Nutrition*, 62(6) 1322-1326. p.
- NORTON, T., SUN, D.W. (2008): Recent Advances in the Use of High Pressure as an Effective Processing Technique in the Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 1(1) 2-34.

- OCHOA, M.R., KESSELER, A.G., VULLILOUD, M.B., LOZANO, J.E. (1999): Physical and Chemical Characteristics of Raspberry Pulp: Storage Effect on Composition and Color. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 32(3) 149-153. p.
- OEY, I., LILLE, M., VAN LOEY, A., 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 & Technology*, 19(6) 320-328. p.
- ORBÁNNÉ NAGY, M. (2003): Az élelmiszerfogyasztás és a fogyasztói árak konvergenciája Magyarország és az EU között. *Agrárgazdasági Tanulmányok*. Agrárgazdasági Kutató és Informatikai Intézet, Budapest, 11-15. p.
- OTTAWAY, P.B., OTTAWAY, B., ASSOCIATES LTD (2002): The stability of vitamins during food processing. 247-264. p. In: HENRY, C.J.K. (ed.) *The nutrition handbook for food processors*. Oxford Brookes University and C Chapman, Unilever Research Colworth, UK, 504.p.
- PANYOR, Á. (2007): A különleges élelmiszerek piacnövelési lehetőségei megkérdések tükrében. *PhD disszertáció*, Budapesti Corvinus Egyetem, Interdiszciplináris (Tájépítészet és Döntéstámogató Rendszerek) Doktori Iskola, 133. p.
- PAPP, J., PORPÁCZY A., (1999): Szamóca, málna. *Bogyósgyümölcsűek I. Második kiadás*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 231. p.
- PATRAS, A., BRUNTON, N.P. DA PIEVE, S., BUTLER, F. (2009): Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, doi:10.1016/j.ifset.2008.12.004
- PERSAUD, K., DODD, G.H. (1982): Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, 299 352-355. p.
- PODMORE, I.D., GRIFFITHS, H.R., HERBERT K.E., MISTRY, M., MISTRY, P., LUNEC, J. (1998): Vitamin C exhibits pro-oxidant properties. *Nature*, 392 559 p.
- POLYDERA, A.C., STOFOROS, N.G., TAOUKIS, P.S. (2003): Comparative shelf life study and vitamin C loss kinetics in pasteurised and high pressure processed reconstituted orange juice. *Journal of Food Engineering*, 60(1) 21-29. p.
- POLYDERA, A.C., STOFOROS, N.G., TAOUKIS, P.S. (2005): Quality degradation kinetics of pasteurized and high pressure processed fresh Navel orange juice: nutritional parameters and shelf life. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(1) 1–9. p.
- POPPEL, G., VAN DEN BERG, H. (1997): Vitamins and cancer, *Cancer Letters*, 114(1-2) 195-202. p.
- REIN, M. (2005): Copigmentation reactions and color stability of berry anthocyanins. *PhD disszertáció*, Faculty of Agriculture and Forestry of the University of Helsinki, 87. p.
- REINHARD, H., SAGER, F., ZOLLER, O. (2008): Citrus juice classification by SPME-GC-MS and electronic nose measurements. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10) 1906-1912 .p.
- REMON, S., FERRER, A., LOPEZ-BUESA, P., ORIA, R. (2004): Atmosphere composition effects on Burlat cherry colour during cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(2) 140-146. p.
- RICE-EVANS, C.A, MILLER, N.J., PAGANGA G. (1997): Antioxidant properties of phenolic compound. *Trends in Plant Science*, 2(4) 152-159. p.
- RICE-EVANS, C.A, MILLER, N.J. (1996): Antioxidant activities of flavonoids as bioactive components of food. *Biochemical Society Transactions*, 24(3) 790-795 p.

- RIVAS-GONZALO, J.C. (2003): Analysis of Anthocyanins. In: SANTOS-BUELGA C., WILLIAMSON G. (eds.) *Methods in polyphenol analysis*. The Royal Society of Chemistry, Cambridge, 384. p.
- ROBERT, C.M., CADET, F.R., ROUCH, C. C., PABION, M., RICHARD-FORGET, F. (1995): Kinetic study of the irreversible thermal inactivation deactivation of palmito (*Acanthophoenix rubra*) polyphenol oxidase and effect of pH. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43 1143-1150. p.
- ROVERE, P., CARPI, G., GOLA, S., DALL'AGLIO, D., MAGGY, A. (1996): HPP strawberry products: an example of processing line. 445–450. p. In: HAYASHI, R., BALNY, C. (eds.): *High pressure bioscience and biotechnology*, Elsevier Science B.V, Amsterdam, 522. p.
- ROWAN, C. (2001): Innovation in dairy ingredients. *Food Engineering & Ingredients* , 9 41-42. p.
- RUEL, G., POMERLEAU, S., COUTURE, P., LAMARCHE, B., COUILLARD, C. (2005): Changes in plasma antioxidant capacity and oxidized low-density lipoprotein levels in men after short-term cranberry juice consumption. *Metabolism*, 54(7) 856-61. p.
- RYLEY, J., KAJDA, P. (1994): Vitamins in thermal processing. *Food Chemistry*, 49(2) 119-129. p.
- SAEVELS, S., LAMMERTYN, J., BERNA, A.Z., VERAVERBEKE, E.A., DI NATALE, C., NICOLAÍ, B.M. (2003): Electronic nose as a non-destructive tool to evaluate the optimal harvest date of apples. *Postharvest Biology and Technology*, 30(1) 3-14.p.
- SANCHEZ-BALLESTA, M., ROMERO I., JIMENEZ, J.B., OREA, J.M. GONZALEZ-URENA, A., ESCRIBANO, M., MERODIO, C. (2007): Involvement of the phenylpropanoid pathway in the response of table grapes to low temperature and high CO₂ levels. *Postharvest Biology and Technology*, 46(1) 29-35. p.
- SÁNCHEZ-MORENO, C., CANO, M.P., DE ANCOS, B., PLAZA, L., OLMEDILLA, B., GRANADO F. (2003): Effect of orange juice intake on vitamin C concentrations and biomarkers of antioxidant status in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 78 454–460. p.
- SASS-KISS, Á., KISS, J., MILOTAY, P., KERÉK, M.M., TÓTH-MARKUSA, M. (2005): Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*, 38(8-9) 1023-1029. p.
- SCALZO, J., POLITI, A., PELLEGRINI, N., MEZZETTI, B., BATTINO, M. (2005): Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition*, 21(2) 207-213. p.
- SCHALLER, E., BOSSET, J. O., ESCHER, F. (1998): ‘Electronic noses’ and their application to food. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 31(4) 305-316. p.
- SEERAM, N.P., LEE, R. SCHEULLER, H. S., HEBER, D. (2006): Identification of phenolic compounds in strawberries by liquid chromatography electrospray ionization mass spectroscopy. *Food Chemistry*, 97(1) 1-11. p.
- SERRADELL, M.A., ROZENFELD, P.A., MARÍNEZ, G. A., CIVELLO, P. M., CHAVES, A. R., AÑÓN, M. C. (2000): Polyphenoloxidase activity from strawberry fruit (*Fragaria x ananassa*, Duch., cv *Selva*): characterization and partial purification. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(9) 1421-1427. p.
- SHUKITT-HALE, B., LAU, F.C., JOSEPH, J.A. (2008): Berry fruit supplementation and the aging brain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(3) 636-641. p.

- SIMON, J.E., HERTZONI, A., BORDELON, B., MILES, G.E., CHARLES, D.J. (1996): Electronic sensing of aromatic volatiles for quality sorting of blueberries. *Journal of Food Science*, 61(5) 967–969. p.
- SINESIO, F., DI NATALE, C., QUAGLIA, G., BUCARELLI, F., MONETA, E., MACAGNANO, A., PAOLESSE, R., D'AMICO, A. (2000): Use of electronic nose and trained sensory panel in the evaluation of tomato quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(1) 61–63. p.
- SINGLETON, V. L., ROSSI, A. J. (1965): Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16 (3) 144-158. p.
- SINHA, N. (2006): Strawberries and raspberries. In: Y.H. Hui, J. Barta, M. Pilar Cano, T. Gusek, J.S. Sidhu and N. Sinha, (Eds), *Handbook of Fruits and Fruit Processing*, Blackwell Publishing, Oxford 581–595. p.
- SMELLER, L. (2002): Pressure-temperature phase diagram of biomolecules. 11-29. p. In Balny, C., Masson, P., Heremans, K. (eds.): *Frontiers in High-Pressure Biochemistry and Biophysics*, Amsterdam, The Netherlands, 400. p.
- SMELT, J.P., HELLEMONS, J.C., PATTERSON, M. (2002): Effects of high pressure on vegetative microorganisms. 55-76. p. In: HENDRICKX, M.E.G., KNORR, D (eds.): *Ultra high pressure treatments of foods*. New York, Kluwer Academic/ Plenum Publishers, 340. p.
- SONOIKE, K., SETOYAMA, T., KUMA, Y., KOBAYASHI, S. (1992): Effect of pressure and temperature on the death rates of *Lactobacillus casei* and *Escherichia coli*. 297-301. p. In: BALNY, R., HAYASHI, K., HEREMANS, K., MASSON, P. (eds.): *High Pressure and Biotechnology*, Montrouge, France, John Libbey Eurotex.,
- SOUTHON, S. (2000): Increased fruit and vegetable consumption within the EU: potential health benefits. *Food Research International*, 33(3-4) 211–217. p.
- STEFANOVITS-BÁNYAI, É. (2008): Kertészeti növények antioxidáns hatásának vizsgálata, MTA Doktori értekezés, Budapest, 173. p.
- STETTER, J.R., ZAROMB, S., FINDLAY, M.W. (1984): Monitoring of electrochemically inactive compounds by amperometric gas sensors. *Sensors and Actuators*, 64(6) 269-288. p.
- STOCKER, R., KEANEY, J.F. (2005): New insights on oxidative stress in the artery wall. *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, 3 1825–1834. p.
- STRIK, B.C. (2007): Berry crops: Worldwide area and production systems. 3-49. p. In: ZHAO, Y. (ed.): *Berry Fruit Value-added Products for Health Promotion*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, USA, 430. p.
- STURM, K., KORON, D., STAMPAR, F. (2003): The composition of fruit of different strawberry varieties depending on maturity stage. *Food Chemistry*, 83(3) 417-422. p.
- SUTHANTHANGJAI, W.,KAJDA, P., ZABETAKIS, I. (2005): The effect of high hydrostatic pressure on the anthocyanins of raspberry (*Rubus idaeus*). *Food Chemistry*, 90(1) 193-197.p.
- SZÉKELY, G., PECZE, D. (2003): A zöldség és gyümölcs fogyasztásának, valamint fogyasztói megítélésének alakulása 1989 és 2001 között. *Marketing & Menedzsment*, 37(6.) 35–48. p.
- TANNENBAUM, S.R., WISHNOK, J.S., LEAF, C.D. (1991): Inhibition of nitrosamine formation by ascorbic acid. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53(1) 247S-250S. p.

- TEREFE, N.S., MATTHIES, K., SIMONS, L., VERSTEEG, C. (2009): Combined high pressure-mild temperature processing for optimal retention of physical and nutritional quality of strawberries (*Fragaria*×*ananassa*). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, doi:10.1016/j.ifset.2008.12.003
- TIWARI, B.K., O'DONNELLA, C.R., CULLEN, P.J. (2009): Effect of non thermal processing technologies next term on the anthocyanin content of fruit juices. *Trends in Food Science & Technology*, doi:10.1016/j.tifs.2009.01.058
- TOMAS-BARBERAN, F.A., ESPIN, J.C. (2001): Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(9) 853-876. p.
- TSUGANE, S., TSUDA, N., GEY, F., WATANABE, S. (1992): Cross-sectional study with multiple measurements of biological markers for assessing stomach cancer risks at the population level. *Environmental Health Perspectives*, 98 207-210. p.
- VÁMOS-VIGYÁZÓ, L. (1981): Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15(5) 49-127. p.
- VAN DEN BROECK, I., LUDI KHUYZE, L., WEEMAES, C., VAN LOEY, A., HENDRICKX, M. (1998): Kinetics for isobaric-isothermal degradation of L-ascorbic acid. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(5) 2001-2006. p.
- VAN DEN BROECK, I., LUDI KHUYZE, L.R., VAN LOEY, A.M., HENDRICKX M.E. (2000): Inactivation of orange pectinesterase by combined high-pressure and temperature treatments: a kinetic study, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 1960-1970. p.
- VAYA, J., AVIRAM, M. (2001): Nutritional Antioxidants: Mechanisms of Action, Analyses of Activities and Medical Applications, *Current Medicinal Chemistry - Immunology, Endocrine & Metabolic Agents*, 1(1) 99-117. p.
- VLASOV, Y., LEGIN, A., RUDNITSKAYA, A., DI NATALE, C., D'AMICO, A. (2005): Nonspecific sensor arrays ("electronic tongue") for chemical analysis of liquids. (IUPAC Technical Report). *International Union of Pure and Applied Chemistry*, 77(11) 1965–1983. p.
- WANG, S., JIAO, H. (2000): Scavenging capacity of berry crops on superoxide radicals, hydrogen peroxide, hydroxyl radicals, and singlet oxygen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11) 5677-5684. p.
- WANG, S.Y., LIN, H.S. (2000): Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(2) 140 -146. p.
- WEEMAES, C.A., DE CORDT, S.V., LUDI KHUYZE, L.R., VAN DEN BROECK, I., HENDRICKX, M.E., TOBBACK, P.P. (1997): Influence of pH, benzoic acid, EDTA, and glutathione on the pressure and/or temperature inactivation kinetics of mushroom polyphenoloxidase. *Biotechnology Progress*, 13(1) 25-32. p.
- WEEMAES, C.A., LUDI KHUYZE, L. R., VAN DEN BROECK, I., HENDRICKX, M. (1998): Kinetics of combined pressure-temperature inactivation of avocado polyphenol oxydase. *Biotechnology and bioengineering*, 60 292-300. p.
- WESCHE-EBELING, P., MONTGOMERY, M. W. (1990): Strawberry Polyphenoloxidase: Its Role in Anthocyanin Degradation, *Journal of Food Science*, 55(3) 731-735. p.
- YAYANOS, A.A. (1998): Empirical and theoretical aspects of life at high pressures in deep sea. 47-92. p. In: HORIKOSHI, K., GRANT, W.D. (eds.): *Extremophiles: Microbial Life in Extreme Environments*, John Wiley & Sons, New York,

- YEMENICIOGLU, A., ÖZKAN, M., CEMEROGLU, B. (1997): Heat inactivation kinetics of apple polyphenoloxidase and activation of its latent form, *Journal of Food Science*, 62 508-510. p.
- YUAN, J-P., CHEN, F. (1998): Degradation of Ascorbic Acid in Aqueous Solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46 5078-5082. p.
- ZABETAKIS, I., HOLDEN, M.A. (1997) Strawberry flavour: analysis and biosynthesis. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 74 421-434. p.
- ZABETAKIS, I., KOULENTIANOS, A., ORRUÑO, E. BOYES, I. (2000): The effect of high hydrostatic pressure on strawberry flavour compounds, *Food Chemistry*, 71 51–55. p.
- ZHAO, Y. (2007): Freezing process of berries. In: Zhao, Y. (ed.): *Berry Fruit. Value-added products for health promotion*. CRC Press, Taylor&Francis Group, Boca Raton, London, New York, 291-311. p.
- ZHANG, Y., VAREED, S.K., NAIR, M.G. (2005): Human tumor cell growth inhibition by nontoxic anthocyanidins, the pigments in fruits and vegetables. *Life Sciences*, 76(13) 1465-1472. p.

M2-M13 Egyéb mellékletek

Profilanalízis

Bíráló neve:

Dátum:

Szín

jellegtelen _____ számócára jellemző

Illat

jellegtelen _____ számócára jellemző

idegen illat _____ kellemesen aromás,

főtt illat _____ főtt illattól mentes,

Íz

jellegtelen _____ számócára jellemző

savanyú _____ ideális túl édes

idegen íz _____ kellemesen aromás,

főtt íz _____ főtt íztől mentes,

Állomány

híg _____ sűrű

Összbenyomás

nem kedvelt _____ kedvelt

Megjegyzés:

M2. melléklet Érzékszervi bírálati lap bogyóspürek profilanalitikus vizsgálatához

M3. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamócápürék profilanalitikus érzékszervi bírálati pontszámainak páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoportközéptértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

Összehasonlítandó csoportok	Szín	Gyümölcsre jellemző illat	Kellemsen aromás illat	Főtt illattól mentes	Gyümölcsre jellemző íz	Édes íz	Kellemsen aromás íz	Főtt íztől mentes	Sűrű állomány	Kedveltség
Onap	Hőkezelt	0%	35%	85%	30%	56%	74%	17%	1%	79%
	Kontroll	1%	46%	80%	6%	90%	9%	1%	4%	9%
28 nap	Hőkezelt	23%	84%	66%	40%	48%	17%	20%	42%	15%
	Hőkezelt 20°C	3%	0%	0%	1%	48%	0%	5%	26%	0%
Hőkezelt 10°C	Hőkezelt 5°C	70%	53%	50%	71%	33%	13%	50%	0%	21%
	HHP 10°C	0%	56%	17%	22%	92%	16%	9%	0%	4%
Hőkezelt 20°C	HHP	0%	0%	0%	14%	43%	0%	32%	0%	0%
	HHP 5°C	0%	8%	1%	4%	89%	2%	3%	0%	0%
Hőkezelt 5°C	Hőkezelt 5°C	7%	0%	0%	0%	9%	0%	1%	0%	0%
	HHP 10°C	32%	0%	0%	0%	54%	0%	0%	0%	0%
Hőkezelt 20°C	HHP	0%	6%	57%	28%	93%	94%	31%	0%	63%
	HHP 5°C	44%	0%	0%	0%	56%	0%	0%	0%	0%
Hőkezelt 5°C	HHP	1%	23%	48%	39%	28%	92%	31%	0%	39%
	HHP 10°C	0%	0%	0%	7%	8%	0%	10%	0%	0%
HHP 10°C	HHP 5°C	1%	2%	3%	9%	27%	42%	13%	0%	8%
	HHP 20°C	1%	0%	0%	1%	49%	0%	1%	33%	0%
HHP 20°C	HHP 5°C	82%	24%	13%	40%	97%	36%	59%	46%	38%
	HHP 5°C	1%	0%	0%	0%	51%	0%	0%	9%	0%

Megjegyzés: 0-5%: a különbség szignifikáns; 95-100%: az azonosság statisztikailag igazolt

M4. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt málnapürek profilanalitikus érzékszervi bírálati pontszámainak páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoportközéptételek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

Összehasonlítandó csoportok	Szín	Gyümölcsre jellemző illat	Kellemesen aromás illat	Főtt illattól mentes	Gyümölcsre jellemző íz	Édes íz	Kellemes, aromás íz	Főtt íztől mentes	Sűrű állomány	Kedveltség
0 nap	HHP Hőkezelt	89%	2%	2%	5%	92%	4%	1%	59%	2%
	Kontroll	81%	41%	96%	24%	38%	18%	60%	44%	28%
	Hőkezelt	92%	11%	2%	40%	33%	43%	2%	82%	18%
28 nap	Hőkezelt 20°C	0%	0%	30%	0%	0%	0%	10%	97%	0%
	Hőkezelt 5°C	17%	78%	37%	57%	77%	68%	83%	24%	90%
	HHP 10°C	0%	23%	37%	0%	0%	2%	5%	0%	2%
	HHP 20°C	0%	0%	0%	0%	0%	0%	16%	0%	0%
	HHP 5°C	0%	7%	26%	7%	69%	0%	73%	0%	54%
	Hőkezelt 5°C	1%	0%	0%	6%	0%	0%	0%	16%	0%
	HHP 10°C	54%	1%	0%	33%	11%	77%	9%	74%	2%
	HHP 20°C	11%	45%	32%	87%	88%	98%	36%	81%	0%
	HHP 5°C	26%	0%	0%	1%	0%	34%	0%	4%	0%
	HHP 10°C	0%	14%	36%	34%	0%	0%	5%	8%	3%
	Hőkezelt 5°C	0%	0%	0%	8%	0%	0%	1%	24%	0%
	HHP 5°C	11%	12%	27%	34%	34%	0%	95%	49%	0%
HHP 20°C	32%	5%	4%	42%	15%	75%	43%	56%	90%	
HHP 10°C	8%	0%	5%	6%	1%	50%	4%	2%	82%	
HHP 20°C	1%	0%	0%	1%	0%	32%	1%	6%	92%	

Megjegyzés: 0-5%: a különbség szignifikáns; 95-100%: az azonosság statisztikailag igazolt

M5. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré viszkozitás Oswald-Waele féle modellel számolt konzisztencia-faktorának (K [Pasⁿ]) páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoport-középértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

		Szamóca																						
	Kontroll	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP					
	0. nap	0. nap	0. nap	5°C	10°C	14. nap	5°C	10°C	14. nap	5°C	10°C	14. nap	5°C	10°C	14. nap	5°C	10°C	20°C	28. nap	5°C	10°C	20°C		
Kontroll	0. nap																							
Hőkezelt	0. nap	54.5%	98.5%	12.4%	3.3%	25.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	0. nap	59.5%	55.8%	3.6%	0.8%	8.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	0. nap	96.5%	56.5%	12.0%	3.2%	24.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap 5°C	63.2%	66.3%	52.1%	68.5%	68.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap 10°C	47.2%	49.9%	80.8%	29.8%	29.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap 20°C	74.4%	77.7%	87.8%	69.3%	69.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	14. nap 5°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	14. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	14. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap 5°C	54.4%	57.4%	89.8%	90.9%	77.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap 10°C	19.3%	20.8%	40.3%	55.1%	32.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap 20°C	72.2%	75.5%	90.1%	71.4%	97.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	28. nap 5°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	28. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	28. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Málna

Megjegyzés: 0-5%: a különbség szignifikáns; 95-100%: az azonosság statisztikailag igazolt

M6. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré műszeres színmérés L* világossági tényezőjének páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoport-középértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

		Szamóca													
	Kontroll 0. nap	Hőkezelt 0. nap	HHP 0. nap	Hőkezelt 14. nap 5°C	HHP 14. nap 5°C	Hőkezelt 14. nap 10°C	HHP 14. nap 10°C	Hőkezelt 14. nap 20°C	HHP 14. nap 20°C	Hőkezelt 28. nap 5°C	HHP 28. nap 5°C	Hőkezelt 28. nap 10°C	HHP 28. nap 10°C	Hőkezelt 28. nap 20°C	HHP 28. nap 20°C
Kontroll 0. nap		84.4%	42.5%	14.0%	94.8%	87.7%	1.0%	11.1%	21.6%	88.6%	27.0%	30.1%	2.4%	1.8%	47.8%
Hőkezelt 0. nap	7.1%		54.7%	9.7%	89.5%	96.7%	1.6%	15.9%	29.6%	73.3%	19.6%	22.1%	3.7%	2.8%	36.7%
HHP 0. nap	94.8%	6.2%		2.7%	46.4%	52.0%	6.0%	41.0%	65.2%	34.8%	6.3%	7.3%	12.7%	10.0%	13.7%
Hőkezelt 14. nap 5°C	72.4%	3.3%	77.3%		12.4%	10.5%	0.0%	0.4%	0.9%	18.1%	69.9%	64.6%	0.1%	0.0%	43.1%
Hőkezelt 14. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		92.9%	1.1%	12.5%	24.1%	83.4%	24.3%	27.2%	2.8%	2.1%	43.9%
Hőkezelt 14. nap 20°C	0.1%	0.0%	0.2%	0.3%	22.2%		1.4%	14.7%	27.7%	76.5%	21.0%	23.6%	3.4%	2.6%	38.9%
HHP 14. nap 5°C	46.1%	26.9%	42.3%	27.8%	0.0%	0.0%		1.1%	1.4%	0.7%	0.1%	0.1%	70.0%	79.6%	0.2%
HHP 14. nap 10°C	38.2%	33.2%	34.8%	22.3%	0.0%	0.0%	88.9%		70.6%	8.4%	1.0%	1.1%	46.9%	39.6%	2.5%
HHP 14. nap 20°C	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	37.3%	73.4%	0.0%	0.0%		16.9%	2.3%	2.8%	27.4%	22.4%	5.7%
Hőkezelt 28. nap 5°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	73.7%	37.1%	0.0%	0.0%	57.6%		33.5%	37.2%	1.7%	1.3%	57.1%
Hőkezelt 28. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	58.0%	49.7%	0.0%	0.0%	73.3%	82.7%		94.2%	0.1%	0.1%	68.7%
Hőkezelt 28. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	94.9%	20.0%	0.0%	0.0%	34.1%	69.0%	53.8%		0.2%	0.1%	74.1%
HHP 28. nap 5°C	30.1%	0.6%	33.2%	49.2%	0.1%	1.9%	8.2%	6.2%	0.8%	0.2%	0.3%	0.1%		89.9%	0.4%
HHP 28. nap 10°C	19.5%	0.3%	21.8%	34.1%	0.2%	3.5%	4.7%	3.5%	1.6%	0.4%	0.7%	0.1%	78.7%		0.3%
HHP 28. nap 20°C	43.2%	29.0%	39.5%	25.8%	0.0%	0.0%	96.1%	92.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.4%	4.2%	

Málna

Megjegyzés: 0-5% : a különbség szignifikáns; 95-100% : az azonosság statisztikailag igazolt

M7. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré műszeres színmerés a* piroszöld színezet páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoportközéptértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

		Szamóca															
	Kontroll	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP
	0. nap	0. nap	0. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap
		5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C
Kontroll	0. nap	23.9%	5.4%	14.4%	0.0%	38.3%	2.6%	0.0%	0.0%	1.2%	1.5%	0.0%	0.0%	1.7%	0.1%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	0. nap	4.3%	0.3%	76.7%	0.0%	4.6%	0.1%	0.0%	0.0%	15.2%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	0. nap	29.0%		0.1%	0.1%	27.0%	73.5%	0.4%	0.0%	0.0%	57.6%	0.0%	0.0%	60.0%	7.6%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	2.1%	18.5%	39.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	76.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.4%	0.1%	0.0%	0.0%	25.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.5%	9.3%	0.0%	0.0%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%	0.0%	15.3%	0.0%	0.0%	0.1%	10.2%	0.0%	0.0%	10.9%	0.6%	0.0%	0.0%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	95.4%		0.9%	0.0%	0.0%	82.5%	0.0%	0.0%	85.2%	14.6%	0.0%	0.0%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.5%	0.0%	0.0%	1.4%	19.7%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	52.2%	56.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	42.9%	7.5%	6.7%	0.0%	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	97.3%	21.3%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	2.7%	74.8%	70.5%	0.0%	33.9%	13.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	77.5%	0.0%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	26.6%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	6.2%	0.0%	0.0%	0.0%	20.2%	0.0%	0.0%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Málna

Megjegyzés: 0-5% : a különbség szignifikáns; 95-100% : az azonosság statisztikailag igazolt

M8. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré műszeres színmerés b* sárga-kék színezet páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoport-középtértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

		Szamóca													
	Kontroll	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP
	0. nap	0. nap	0. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap
		5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C	10°C
		20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C	20°C
Kontroll	0. nap	45.1%	32.5%	15.1%	30.2%	0.1%	4.5%	1.0%	0.0%	40.5%	1.0%	0.3%	22.9%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	0. nap	4.4%	8.8%	48.3%	77.6%	0.0%	0.8%	0.1%	0.0%	93.5%	0.1%	0.0%	5.6%	0.0%	0.0%
HHP	0. nap	1.8%		1.9%	4.9%	1.5%	28.4%	8.9%	0.3%	7.5%	8.9%	3.3%	82.2%	0.4%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	34.5%	0.2%		67.5%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	53.4%	0.0%	0.0%	1.1%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	4.3%	70.2%	0.4%		0.0%	0.4%	0.1%	0.0%	83.9%	0.1%	0.0%	3.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	14.6%	41.3%	54.7%	0.0%	41.4%	73.3%	2.5%	57.6%	0.7%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		51.1%	4.4%	0.6%	51.0%	25.9%	39.4%	4.8%	0.0%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.9%		41.3%	0.1%	99.9%	63.1%	13.7%	17.3%	0.1%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%		0.0%	16.1%	34.8%	0.6%	96.5%	3.0%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	51.9%	0.9%	1.2%		0.1%	0.0%	4.7%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.0%	87.1%	1.8%		63.2%	13.6%	17.4%	0.1%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.9%	7.8%	0.0%	14.5%	24.9%	19.2%		5.3%	37.1%	0.3%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	0.0%	90.1%	1.6%	97.0%	18.1%		0.7%	0.0%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.8%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	27.6%

Málna

Megjegyzés: 0-5% : a különbség szignifikáns; 95-100%: az azonosság statisztikailag igazolt

M9. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré összes antocianin tartalmának páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoport-közéértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

		Szamóca													
	Kontroll 0. nap	Hőkezelt 0. nap	HHP 0. nap	Hőkezelt 14. nap 5°C	HHP 14. nap 5°C	Hőkezelt 14. nap 10°C	HHP 14. nap 10°C	Hőkezelt 14. nap 20°C	HHP 14. nap 20°C	Hőkezelt 28. nap 5°C	HHP 28. nap 5°C	Hőkezelt 28. nap 10°C	HHP 28. nap 10°C	Hőkezelt 28. nap 20°C	HHP 28. nap 20°C
Kontroll 0. nap		1.3%	12.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 0. nap	0.0%		30.9%	3.5%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 0. nap	0.1%	65.5%		0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 14. nap 5°C	0.0%	0.0%	0.0%		1.3%	0.0%	11.5%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 14. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	95.8%	31.9%	0.0%		0.0%	99.0%	19.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 14. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 14. nap 5°C	0.0%	19.8%	8.7%	0.0%		0.0%	0.0%	0.0%	31.9%	76.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 14. nap 10°C	0.0%	3.9%	1.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		19.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 14. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	23.4%	0.5%
Hőkezelt 28. nap 5°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.3%		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 28. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 28. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.9%
HHP 28. nap 5°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 28. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	18.7%	0.1%	0.0%	20.5%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 28. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Málna

Megjegyzés: 0-5% : a különbség szignifikáns; 95-100% : az azonosság statisztikailag igazolt

M10. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré összes fenoltartalmának páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoport-közéértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

		Szamóca														
	Kontroll	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	
	0. nap	0. nap	0. nap	14. nap	14. nap	14. nap	14. nap	28. nap	28. nap	28. nap	28. nap	28. nap	28. nap	28. nap	28. nap	
				5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	5°C	10°C	20°C	
Kontroll	0. nap															
Hőkezelt	0. nap	11.2%	11.8%	1.6%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.4%	0.2%	0.1%	0.0%
HHP	0. nap	58.9%	97.6%	36.6%	9.8%	3.4%	6.2%	0.5%	2.7%	56.0%	9.1%	4.2%	1.3%	0.0%	0.0%	0.1%
Hőkezelt	14. nap	0.6%		35.1%	9.3%	3.2%	5.9%	0.5%	2.5%	54.1%	8.6%	4.0%	1.2%	0.0%	0.1%	0.1%
HHP	14. nap	1.4%	73.2%		43.6%	20.1%	31.6%	4.4%	16.9%	74.5%	41.5%	23.8%	9.7%	0.3%	0.7%	0.7%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	10.1%	5.1%		60.8%	82.0%	19.8%	54.0%	27.2%	97.1%	68.1%	36.4%	1.9%	4.4%	4.4%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		77.5%	43.1%	91.9%	11.2%	63.4%	91.8%	68.9%	6.0%	12.4%	12.4%
Hőkezelt	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.5%		28.6%	69.9%	18.8%	84.9%	85.4%	49.4%	3.2%	7.1%	7.1%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				49.1%	2.1%	21.0%	37.4%	69.6%	25.6%	43.8%	43.8%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	24.4%	63.3%			9.2%	56.4%	83.9%	76.5%	7.3%	14.9%	14.9%
HHP	28. nap	2.6%	55.2%	79.9%	2.9%	0.0%	0.0%	1.2%	0.0%		25.7%	13.6%	5.0%	0.1%	0.3%	0.3%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	65.8%	4.3%	11.3%	0.0%	0.0%		70.8%	38.3%	2.1%	4.8%	4.8%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		3.1%	1.0%	94.9%	0.0%	0.0%		61.6%	4.8%	10.2%	10.2%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.4%	67.0%	36.9%	8.7%	0.0%	1.6%	7.6%		13.1%	24.7%	24.7%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.2%	0.0%	0.0%	8.2%	0.1%		71.2%	71.2%
Hőkezelt	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%

Málna

Megjegyzés: 0-5% : a különbség szignifikáns; 95-100% : az azonosság statisztikailag igazolt

M11. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré C-vitamin tartalmának páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoport-közéértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

		Szamóca													
	Kontroll 0. nap	Hőkezelt 0. nap	HHP 0. nap	Hőkezelt 14. nap 5°C	Hőkezelt 14. nap 10°C	Hőkezelt 14. nap 20°C	HHP 14. nap 5°C	HHP 14. nap 10°C	HHP 14. nap 20°C	Hőkezelt 28. nap 5°C	Hőkezelt 28. nap 10°C	Hőkezelt 28. nap 20°C	HHP 28. nap 5°C	HHP 28. nap 10°C	HHP 28. nap 20°C
Kontroll 0. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 0. nap	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 0. nap	52.7%	0.0%	0.0%	3.3%	83.1%	0.0%	38.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 14. nap 5°C	0.0%	3.4%	0.0%	0.0%	5.2%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 14. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	28.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 14. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 14. nap 5°C	0.0%	83.1%	0.0%	2.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP 14. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	77.8%	0.0%	0.0%	8.6%	0.0%	0.0%	46.2%	1.1%	22.8%	1.6%	0.4%
HHP 14. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	31.0%	35.2%	58.9%	43.9%	18.6%
Hőkezelt 28. nap 5°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt 28. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.7%	63.1%	7.9%	2.3%
Hőkezelt 28. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	98.2%	0.0%	14.6%	87.2%	68.6%
HHP 28. nap 5°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	14.0%	0.0%	0.8%	11.8%	11.3%	0.0%	19.3%	6.7%
HHP 28. nap 10°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	95.8%	0.0%	0.0%	97.0%	95.2%	12.7%	0.0%	57.2%
HHP 28. nap 20°C	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	99.9%	98.2%	11.8%	97.1%	0.0%

Málna

Megjegyzés: 0-5% : a különbség szignifikáns; 95-100% : az azonosság statisztikailag igazolt

M12. melléklet Kezeletlen, hő- (80°C, 5 perc) vagy nyomáskezelt (600 MPa, 5 perc) különböző körülmények között tárolt szamóca- és málnapüré antioxidáns-kapacitásának (FRAP) páronkénti összehasonlítása egytényezős varianciaanalízissel (a csoport-közéértékek azonosságának valószínűsége 95%-os szignifikancia-szinten, LSD)

		Szamóca													
	Kontroll	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP	Hőkezelt	HHP
	0. nap	0. nap	0. nap	5°C	10°C	14. nap	5°C	10°C	14. nap	5°C	10°C	14. nap	5°C	10°C	20°C
Kontroll	0. nap														
Hőkezelt	0. nap	28.4%	1.8%	94.9%	75.5%	62.5%	0.0%	0.0%	0.0%	13.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	0. nap	31.5%	17.0%	31.2%	44.3%	55.4%	0.0%	0.0%	0.0%	64.8%	0.7%	14.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	68.9%	95.1%	80.4%	67.0%	5.4%	0.0%	0.0%	0.0%	14.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	58.9%	84.0%	88.8%	85.9%	8.7%	0.0%	0.0%	0.0%	22.5%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	14. nap	2.8%	5.8%	6.6%	8.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	29.8%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.4%	2.5%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	88.0%	89.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	43.6%
HHP	14. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	51.7%
Hőkezelt	28. nap	58.6%	83.7%	88.5%	99.7%	8.8%	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	2.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap	35.5%	55.4%	59.6%	69.6%	17.9%	0.0%	0.0%	0.0%	69.9%	40.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hőkezelt	28. nap	6.3%	12.3%	13.8%	17.7%	70.2%	0.0%	0.0%	0.0%	17.8%	33.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	82.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	17.9%	9.2%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	27.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	37.9%	71.7%	0.0%
HHP	28. nap	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	2.5%	0.0%

Málna

Megjegyzés: 0-5% : a különbség szignifikáns; 95-100% : az azonosság statisztikailag igazolt

M13. melléklet Szamócából izolált, foszfát pufferben oldott, stabil PPO frakció elsőrendű inaktivációs modellel becsült inaktiválódási sebesség konstansai különböző nyomás-hőmérséklet kombinációk esetén

P (MPa)	k (min ⁻¹)								
	T (°C)								
	10	25	30	40	45	50	55	60	65
0,1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0065± 0,0002	0,0249± 0,0018	0,1458± 0,0091	0,4278± 0,0482
100	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0060± 0,0002	0,0184± 0,0007	0,0461± 0,0009
200	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0106± 0,0005	0,0440± 0,0037
300	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0115± 0,0002	0,0504± 0,0056
400	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0035± 0,00005	n.d.	n.d.	0,0534± 0,0024
500	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,0071± 0,0005	0,0221± 0,0005	0,0408± 0,0051	n.d.
550	n.d.	n.d.	0,0062± 0,0006	0,0088± 0,0005	0,0097± 0,0003	0,0366± 0,0014	0,0385± 0,0011	n.d.	n.d.
600	n.d.	0,0071± 0,0016	0,0164± 0,0009	0,0182± 0,0010	0,0240± 0,0007	0,0592± 0,0021	n.d.	n.d.	n.d.
650	n.d.	0,0359± 0,0013	0,0389± 0,0011	0,0442± 0,0013	0,0532± 0,0016	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
675	n.d.	n.d.	0,0716± 0,0017	0,1043± 0,0023	0,1340± 0,0048	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
700	0,1025± 0,0008 ^a	0,1409± 0,0022	0,1412± 0,0068	0,1605± 0,0041	0,1905± 0,0034	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
725	n.d.	0,2063± 0,0042	0,2674± 0,0131	0,3068± 0,0089	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
750	n.d.	0,2777± 0,0043	0,4201± 0,0165	0,5817± 0,0255	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

n.d.: nem vizsgált (not determined), ^a becslés standard hibája

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom:

- ... **Dr. Farkas József** témavezetőmnek a disszertáció elkészítéséhez nyújtott szakmai segítségéért és hasznos útmutatásaiért.
- ... a Hűtő- és Állatitermék Tanszék jelenlegi és volt vezetőinek, **Dr. Balla Csabának** és **Dr. Sáray Tamásnak**, hogy biztosították a feltételeket a doktori értekezésem elkészítéséhez.
- ... a Budapesti Corvinus Egyetem Élelmiszertudományi Kar **Hűtő- és Állatitermék Technológiai Tanszék dolgozóinak** a szakmai segítségért és a dolgozathoz nyújtott tanácsokért.
- ... **Mohácsiné dr. Farkas Csillának** és **Ágoston Rékának** a BCE ÉTK Mikrobiológia-Biotechnológia Tanszék, valamint **Andrássy Évának** a Központi Élelmiszertudományi Kutatóintézet munkatársainak a mikrobiológiai vizsgálatokhoz nyújtott segítségükért.
- ... **Dr. Daood Husszeinnnek** és **Sassné Dr. Kiss Ágnesnek** a KÉKI Analitikai Osztály munkatársainak a kromatográfiás vizsgálatokban történő közreműködésért,
- ... **Dr. Kaffka Károlynak** és **Dr. Seregély Zsoltnak** a többváltozós matematikai-statisztikai módszerek alkalmazásához nyújtott segítségükért.
- ... **Dr. Mészáros Péternek** és **Kántor Dávid Balázsnak** az elektronikus nyelv mérésekhez, valamint **Dr. Vozáry Eszternek** a viszkozimetriás mérésekhez nyújtott segítségükért.
- ... **prof. Marc Hendrickx-nek** és **prof. Ann Van Loey-nek**, hogy Marie Curie Ösztöndíjprogram keretében kutatásokat végezhettem a leuven-i Katolikus Egyetem Élelmiszertechológiai Laboratóriumában, valamint **Dr. Gabriella Rapeanu-nak** az enzimvizsgálatokhoz nyújtott segítségéért.
- ... **Dr. Cserhalmi Zsuzsannának** és **Dr. Fekete Andrásnak** a műhelyvitán való opponensi tevékenységükért, javaslataikért.

Köszönet illeti **szüleimet és feleségemet Dalmadi Erikát**, hogy éveken keresztül bátorítottak és bíztattak.

K öszönöm!