



A mikrohullámú pasztörözés hatása a tej összetételére II. B₁-, B₂-, B₆-, B₁₂- és C-vitamin-, hasznosítható lizin-, lizino- alanin-, hidroxi-metil-furfurol-tartalom

Albert¹ Cs., Lányi¹ Sz., Csapóné² Kiss Zs., Salamon¹ Sz., Csapó^{1,2} J.

¹Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Csíkszeredai Campus, 530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1.

²Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar, 7400 Kaposvár, Guba S. u. 40.

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők összehasonlították a hagyományos pasztörözési eljárást a mikrohullámú tejpasztörözéssel. Vizsgálták a hőkezelt tejminták vízoldható vitamintartalmát (C-, B₁-, B₂-, B₆- és B₁₂-vitamin), valamint a hasznosítható lizin-, a lizino-alanin- és a hidroxi-metil-furfurol-tartalmát. Kíméletes pasztörözés hatására a tej C-vitamin-tartalma alig változott, míg a mikrohullámú pasztörözés során kevesebb, mint harmadára csökkent a nyerstejhez viszonyítva. Összehasonlítva a nyerstej és a két hőkezelési módszerrel kapott pasztörözött tej összetételét megállapították, hogy a B₁-vitamin esetében nagyobb mintegy 30–40%-os veszteséggel kell számolni, míg a másik három B-vitamin esetében ez a csökkenés csak 10% körül mozog. A két pasztörözött tejminta B-vitamin-tartalmát összehasonlítva megállapították, hogy lényeges eltérések a vizsgált négy B-vitamin esetében nincsenek, ezért vizsgálataik alapján ajánlják a mikrohullámú kezelést a tej pasztörözésére. Megállapították, hogy a mikrohullámú pasztörözés során nagyobb fokú a C-vitamin károsodása. A nyerstej, a hagyományosan és a mikrohullámmal pasztörözött tej még nyomokban sem tartalmazott hidroxi-metil-furfurolt, tehát ebből a szempontból a két pasztörözési eljárás egyenértékűnek tekinthető. A nyerstej hasznosítható lizin-tartalmát 0,229%-nak, a normál tejét 0,217%-nak, a mikrohullámmal pasztörözött tejét pedig 0,219%-nak mérték. A különböző módon pasztörözött tejmintáknál a hasznosítható lizin-tartalomban csak mintegy 4–5%-os csökkenés figyelhető meg, ami a Maillard-reakciótermékek keletkezésére utal a hőkezelés során. A lizinoalanin-tartalom értéke mindhárom mintánál a kimutatási határ, 5 mg/dm³ alatt maradt, így a lizinoalanin esetében sem tudtak különbséget kimutatni a három tejminta között. (Kulcsszavak: tej, hagyományos pasztörözés, mikrohullámú hőkezelés, vízoldható vitamintartalom, hasznosítható lizin, lizino-alanin, hidroxi-metil-furfurol)

ABSTRACT

The effect of microwave pasteurization on the composition of milk. II. Vitamin B₁, B₂, B₆, B₁₂ and C, utilizable lysine, lysinoalanine, and hydroxymethyl furfurol content

Cs. Albert¹, Sz. Lányi¹, Zs. Csapó-Kiss², Sz. Salamon¹, J. Csapó^{1,2}

¹Sapientia Hungarian University of Transylvania, Csíkszereda Campus, RO-530104 Csíkszereda, Szabadság tér 1.

²University of Kaposvár, H-7400 Kaposvár, Guba S. u. 40.

The authors compared the traditional pasteurization procedure with microwave milk pasteurization. They examined water soluble vitamin content (vitamin C, B₁, B₂, B₆ and B₁₂) and utilizable lysine, lysinoalanine and hydroxymethyl furfurol content of heat treated milk samples.

After mild pasteurization, vitamin C content of milk hardly changed while during microwave pasteurization it decreased to less than its third value compared to the raw milk. Comparing the composition of raw milk with that of milk pasteurized using the two heat treatment methods, they established that there was a bigger loss of vitamin B₁ of around 30-40% while for the other three vitamins B this decrease was around 10%. Comparing vitamin B content of the two pasteurized milk samples, it was established that there was no important differences between the four vitamins B, therefore they recommend the microwave treatment for the pasteurization of milk. They established that vitamin C suffered a bigger damage during microwave pasteurization. Raw milk and milk pasteurized traditionally and by microwave contained hydroxymethyl furfural not even in traces, consequently, in this respect the two pasteurization procedures can be considered as equal. Utilizable lysine content of the raw milk was measured to be 0.229%, that of the normal milk was measured to be 0.217%, while that of microwave pasteurized milk to be 0.219%. There is a decrease of only around 4-5% in the utilizable lysine content of the milk samples pasteurized in different ways, which indicates the formation of Maillard reaction products during the heat treatment. Lysinoalanine content remained for all the three samples below the quantification limit of 5 mg/dm³, so no difference in the lysinoalanin content could be evidenced between the three milk samples.

(Keywords: milk, conventional pasteurization, microwave heat treatment, water soluble vitamin content, utilizable lysine, lysinoalanine, hydroxymethyl furfural)

BEVEZETÉS

Kutatásunk célja annak kiderítése, hogy a mikrohullámú kezelés milyen hatással van a tej vízoldható vitamintartalmára. Mivel a két hőre legérzékenyebb vitamin a C- és B₁-vitamin, a vízoldható B-vitaminok közül a riboflavin vagy laktoflavin pedig relatíve nagy koncentrációban fordul elő a tejben, e két vitamin koncentrációjának vizsgálatával teszteltük a mikrohullámú módszerünket, hasonlítva a hagyományos pasztőrözéshez, hogy hogyan változott a tej vízoldható vitamintartalma. Mindezeket a méréseket különböző teljesítmény- és hőmérséklet-kombinációk esetében mértük, keresve azt az optimális technológiai behatást, amely a hagyományoshoz hasonlóan jobb paramétereket biztosít, és a tej vízoldható vitaminjai közül a C- és a B₁-vitaminok nem változtatják nagymértékben koncentrációjukat, az optimális szinten maradnak.

Feladatul tűztük ki ezentúl a tej hasznosíthatólizin-tartalmának, a lizinoalanin-koncentrációjának és Maillard-reakció leggyakrabban detektált reakciótermékének, a hidroximetil-furfurolnak (HMF) a mérését. A Maillard-reakciótermékei hozzájárulnak a pasztőrözött tej íz- és aromaanyagainak a kialakításához, de jelentős mértékben csökkenthetik a fehérje biológiai értékét, elsősorban a lizin ε-aminocsoportja blokkolásán keresztül.

IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A vízoldékony vitaminok károsodása a hőkezelés során

Zöldségek és gyümölcsök C-vitamin-tartalma friss állapotban a legnagyobb, a különböző hőkezelési eljárások kisebb-nagyobb mértékben csökkentik azt. Általánosságban elmondható, hogy a bő folyadékban főzés okozza a legnagyobb vízoldható vitaminvesztést, és a mikrohullámú főzésnél marad a legtöbb C-vitamin a gyümölcsökben és a zöldségekben. Ajánlatos ezért e termékeket nyersen vagy rövid ideig hőkezelt formában (mikrohullám) fogyasztani, így biztosítani lehet, hogy a kiindulási C-vitamin-mennyiség minél nagyobb része bejusson a szervezetbe, és ne károsodjon

fogyasztás előtt (Rab és Farkas, 2003). A mikrohullámú készülékekkel a hagyományos eljárásokhoz képest igen gyorsan fel lehet melegíteni az élelmiszert, ami elősegíti a vitaminok megmaradását (Bognár és Molnár, 1999). Szerintük a vitaminok és ásványi anyagok a mikrohullámú sütőben jobban megmaradnak, mint hagyományos főzésnél.

Sierra és mtsai. (2000) a mikrohullámú kezelés hatását vizsgálták a tehéntej B₁- és B₂-vitamin-tartalmára. Arra a következtetésre jutottak, hogy a magas hőfokon történő mikrohullámú melegítés során nem következik be számottevő B-vitamin-károsodás, szemben az azonos hőfokon, azonos időtartam alatt, azonos hosszúságú pihenő és hűlési szakaszokkal, hagyományos módszerrel történő melegítéssel. Sieber és mtsai. (1996) a hagyományos úton pasztörözött teljes tejben vizsgálták a B₁-, B₂- és B₆-vitamin-tartalom változását a mikrohullámú kezelés során. A B₁-, B₂- és piridoxintartalomban nem találtak veszteséget, a piridoxántartalom viszont 3,1%-kal csökkent.

Kidmose és Kaack (1999) zöldségfélék C-vitamin-tartalmának változását vizsgálva mikrohullámú főzés során, arra a következtetésre jutottak, hogy a káposzta, a karfiol, az újborgonya, valamint a francia bab C-vitamin-tartalma főzés közben 8,3–19,8%-os veszteséget mutatott, szemben a hagyományos főzési eljárásoknál tapasztalt 16,8–60,4%-kal szemben. A mikrohullámú kezelések során a spárgában nagyobb C-vitamin-veszteséget találtak, mint egyszerű párolás után.

Watanabe és mtsai. (1998) sertés- és marhahúson, valamint tejen végzett mikrohullámú kezelés során azt tapasztalták, hogy a B₁₂-vitamin 40%-os veszteséget mutatott, és emellett a B₁₂-vitamin két bomlástermékét is sikerült kimutatniuk. Kimutatták továbbá, hogy ezen vitamin károsodott formájának nincs toxikus hatása emlős állatokra.

Pohn és mtsai. (2001) húspogácsák B₁-, B₂- és C-vitamin-tartalmát vizsgálták a sütési idő függvényében. A normál méretű húspogácsához 50 mg/100 g koncentrációban hozzákevert B₁-vitamin 10 perc alatt csak minimálisan változott, 20 perces sütés alatt azonban mintegy 70%-a elbomlott. A B₂-vitamin úgy tűnik jobban ellenáll a mikrohullámú kezelésnek, hisz 10 perc alatt koncentrációja 50 mg/100 g-ról 43 mg/100 g-ra, 20 perces mikrohullámú kezelés után pedig 35 mg/100 g-ra csökkent. A húspogácsák C-vitamin-tartalmát mindkét általuk alkalmazott módszerrel, 10 perces kezelés után 20–22 mg/100 g-nak, 20 perces kezelés után pedig 13–14 mg/100 g-nak mérték. A húspogácsa belsejének és külsejének vitamintartalmában nem találtak lényeges különbséget.

A tej vízzeloldható vitamintartalma

A tej minden ismert vitamint tartalmaz különböző koncentrációban. A pasztörözött tej tiamin-, piridoxin-, pantoténsav-, nikotinsav-, és riboflavintartalma nem változik az évszakok szerint, de a kobalamin esetében kismértékű évszakhatást ki tudtak mutatni. Többek szerint mintegy 7%-kal nagyobb a tavaszi–nyári periódusban a legelőn tartott állatok tejének kobalamin-tartalma, mint az őszi–téli időszakban az istállóban tartott állatoké. Úgy tűnik, hogy csökkenő nyersrostbevitel mellett a tej kobalamin-tartalma jelentősen csökkent. Különböző fajtájú tehének tejének B-vitamin-tartalmában, a riboflavin kivételével, nem találtak különbséget.

C-vitamin bőven van a nyerstejben és a főcstejben, azonban a fogyasztói tej hőkezelése során ennek jelentős része elbomlik (Csapó és Csapóné, 2002). A kereskedelmi tej mind aszkorbinsavat, mind dehidro-aszkorbinsavat tartalmaz; a két anyag mennyisége függ a tejkezeléstől, a tej korától, a megvilágítástól, a réztartalomtól, valamint a hőkezelés és a tárolás hőmérsékletétől. A tehéntej C-vitamin-tartalma több mint 20 mg/kg, de az előzőekben felsoroltak miatt a kereskedelmi tej ritkán tartalmaz 10 mg/kg-nál több C-vitamint.

A riboflavin (laktoflavin) a tejben főleg szabad formában fordul elő, míg más táplálékokban kötött állapotban található. A riboflavin 20%-a a tejben flavin-mononukleotidként vagy flavin-adenin-dinukleotidként fordul elő fehérjéhez kötve. A B₁₂-vitamin a tejben öt különböző kobalamin formában fordul elő, de az adenzil- és hidroxikobalamin forma a legnagyobb jelentőségű, 95%-a fehérjéhez, főleg a savófehérjéhez kötött, míg szabad formában csak nyomokban mutatható ki a kezeletlen tejben.

A B₆-vitamin a tejben főleg piridoxál formában található, de sok tejtermék több piridoxamint is tartalmaz. A folsav főleg szabad formában található; az inozit részben a lipidekhez kötött. A tejben lévő C-vitamin 75%-a aszkorbinsav formában van jelen, a maradék, dehidroaskorbinsav, ami szintén rendelkezik C-vitamin-aktivitással. A B-vitamin-tartalmat csak nagyon kis mértékben lehet a takarmányozással befolyásolni. Kivétel ez alól a B₁₂-vitamin, amelynek a koncentrációját a tejben a takarmányhoz való kobaltadagolással növelhető. Mindezek ellenére a tejben magasabb biotin-, pantoténsav- és B₁₂-vitamin-tartalmat találtak istállózott tartásnál, és magasabb volt a folsav koncentrációja, amikor az állatok a legelőn voltak (Csapó és Csapóné, 2002).

A Maillard-reakciótermékek kialakulása a hőkezelés során

A magas hőmérsékleten történő hőkezelés, vagy a hosszú ideig tartó raktározás alatt az aldehidek, ketonok és a redukáló cukrok a Maillard-reakció során reagálnak az aminosavakkal, az aminokkal, a peptidekkel és a fehérjékkel.

Ferrer és mtsai. (2000) szerint a tejfehérjék közül a β -laktoglobulin az, amely leginkább részt vesz a laktózzal a Maillard-reakcióban, azonban a kazeinnel is létrejöhet ez a reakció. *Renterghem és Block* (1996) szerint a Maillard-reakció termékei csak a sterilizett tejben vagy a sűrített tejporban okozhatnak színváltozást, egyéb tejekben csekély a jelentőségük. *Ferrer és mtsai.* (2002) megállapították, hogy a Maillard-reakció során a leggyakrabban azonosított reakciótermék a hidroximetil-furfurol (HMF), amelynek koncentrációja a hőkezelés mértékével nő, és főleg ultraszűrtözött és steril tejekben mutatható ki.

Csapó és Csapóné (2002) szerint a HMF a nyers tejben nem fordul elő, és mennyisége a pasztőrözött tejben is csak 1 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$. Koncentrációja az indirekt hőkezeléssel előállított UHT-tejben kissé nagyobb (6–18 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$), míg a direkt hőkezeléssel készült tejben kissé alacsonyabb (2–12 $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$). A sterilizett tej HMF-tartalma még ennél is nagyobb. A Maillard-reakció csak igen kis mértékben fordul elő folyékony tejtermékekben, mert a víz inhibálja a Maillard-reakciót. Termékei étvágykeltő aromaanyagok, ezért jelenlétük kívánatos a különböző ételféleségekben, de a túl magas hőmérsékleten való hőkezelés rossz illatú, illékony anyagok képződésével járhat, amelyek képződése kerülendő.

Boekel (1998) szerint a Maillard-reakcióban az aldehidek főként aminosavakkal, azok közül is a lizin ϵ -amino-csoportjával kapcsolódnak, ezért a lizin különösen érzékeny erre a reakcióra. A reakció termékei (fruktóz-lizin, laktulóz-lizin, furozin és piridazin) az emésztő enzimeknek ellenállnak, ezért csökken a tej hasznosítható lizintartalma az ilyen reakció során. A normál hőkezelés csak igen csekély veszteséget okoz a lizintartalomban, és még az UHT-kezelés hatása sem számottevő ebben a tekintetben. A lizinvesztés a pasztőrözött tejben 1–2%, az UHT tejben 1–4% (csekély különbség van a direkt és az indirekt eljárás között), a forralt tejben kb. 5%, a sterilizett tejben 6–10%, a sűrített tejben pedig kb. 20%. Mivel a tej eredeti lizintartalma magas, az UHT-tejekben a csekély veszteség gyakorlati szempontból elhanyagolható. Csak a magas hőmérsékleten hosszú ideig tartó hőkezelés okoz számottevő veszteséget a hasznosítható lizintartalomban.

Ferrer és mtsai. (2005) csecsemőtápszerek szabad HMF-tartalmát vizsgálva a tárolás során arra a következtetésre jutottak, hogy az folyamatosan nőtt, és a növekedés a 37 °C-on tárolt terméknel elérte a 600 µg/100 g minta mennyiséget.

A fehérjék lúgos kezelése során keletkező származékok közül legnagyobb gazdasági jelentőséggel a lizinoalanin bír. Az első ízben szójaizolatumban kimutatott vegyület prekursora a cisztein lebomlásából keletkező dehidroalanin.

Csapó (2006) szerint a lizinoalanin (LAL) hatására a kísérleti patkányok veséjében a hámszövet sejteinek sejtmagja, valamint DNS- és fehérjetartalma megnőtt. A jelenséget nephrocytomegaliának hívják, amelynek tünetei már az első etetési hét után jelentkeztek a vesetubulusok sejteinek fokozott osztódásában. A vesekárosodási tünetek a patkánytörzstől függően 500–1000 mg/kg LAL etetéskor jelentkeztek. A LAL vesekárosító hatása nem tekinthető karcinogén jellegűnek, mert egy kétéves kísérlet alatt 200 mg/kg LAL-tartalmú takarmánnyal etetett patkányokon nem tapasztaltak rákos tüneteket, sőt nephrocytomegaliás tüneteket csak szintetikus LAL adagolása esetén tudtak kimutatni. A LAL hatását a különböző dietetikus faktorok jelentősen befolyásolhatják. A LAL-t nem tartalmazó védő fehérjék ellensúlyozhatják a LAL hatását. Úgy tűnik, hogy a szabad, illetve oligopeptid formában található LAL toxicitása jóval nagyobb, és a fehérjékben kötött LAL toxicitásának érvényre jutását akadályozhatja a fehérje emészthetőségének csökkenése, amely a keresztkötések kialakulása miatt következett be. Az emberi táplálkozásban használt élelmiszerek az állatkísérletekben használtakhoz képest alacsony LAL-tartalmúak, ezért ezek semmiféle egészségügyi kockázatot nem jelentenek. Nincs adatunk arról, hogy a különböző hőkezelési eljárások hatására hogyan alakul a tej LAL-tartalma.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgált tejminták

Vizsgált nyerstejet egy Hargita megyei tejipari vállalatától szereztük be. A normál pasztörözött tejet 72 °C-on 40 másodpercig történő hőkezeléssel nyertük. A mikrohullámmal pasztörözött tejmintáknál a tejet lemezes hőcserélővel 63 °C-ra előmelegítettük, majd 2,45 GHz-es, 12,2 cm hullámhosszú mikrohullámmal kezelve a nyerstejet 68 °C-ra felmelegítettük, majd 40 másodpercig ezen a hőfokon tartottuk. A kísérleti pasztöröző berendezést három ALASCA típusú háztartási mikrohullámú sütő sorba kötésével alakítottuk ki úgy, hogy a három készülék egymás fölött helyezkedett el. Mindhárom készülék belső üregébe egy-egy vízszintes tengelyű üvegspirált tettünk, amelyek az üreg hátsó falán távoztak a berendezésből. A spirál belső átmérője 18 cm, az üvegső belső átmérője pedig 20 mm volt. A három spirálalakú üvegső sorba kötését rugalmas csövekkel oldottuk meg, és a mikrohullámú pasztöröző berendezés 200 l/h kapacitással működött. Kísérleteinket háromszor ismételtük meg, és a három párhuzamos kísérletből származó három-három tejminta analízisét végeztük el.

Felhasznált vegyszerek

A vitaminok vizsgálata során felhasznált vegyszerek HPLC tisztaságúak („HPLC gradient grade”) voltak. A metanolt, az acetonitrilt és az ecetsavat a Merck (Darmstadt, Germany) cégtől, míg a tiamint (B₁-vitamin), a riboflavint (B₂-vitamin), a piridoxint (B₆-vitamin), a kobalamint (B₁₂-vitamin), az aszkorbinsavat (C-vitamin) és a triklórecetsavat a Fluka cégtől szereztük be.

A tejminták előkészítése

A tejmintákat a mintavétel után azonnal 0 °C-ra hűtöttük le, és a laboratóriumba történő szállítás után azonnal elvégeztük a vitaminmeghatározásokat. A mintákat 15 percig 8000 g-n

centrifugáltuk, eltávolítottuk a tej alakos elemeit, majd elvégeztük a tej zsírtalanítását. Ezt követően 5 cm³ mintához 5 cm³ 50%-os triklór-ecetsavat hozzáadva 20 percig állni hagytuk, a kivált csapadékot 10 percig 10000 g-n centrifugáltuk. A kapott felülúszót leválasztottuk és az így előkészített minták vitamin-koncentrációját nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás módszerrel mértük.

A vízdékony vitamintartalom meghatározásra használt HPLC-s módszer

A C- és B-vitaminok szétválasztása fordított fázisú (150×4 mm belső átmérő), Supercosil (C18) töltet) LC oszlopon történt. A HPLC rendszerünk: 2 darab Varian ProStar 210-es pumpából, Varian ProStar UV-detektorból és Varian ProStar fluoreszcens detektorból állt. A kromatográfiás elválasztást 0,8 cm³/perc áramlási sebesség mellett végeztük.

A mozgó fázis összetétele:

- B-vitaminok meghatározása esetén: metanol : foszfátpuffer 50:50%-os elegye,
- C-vitamin meghatározás esetén: acetonitril : ecetsav (0,4%-os) 10:90%-os elegye.

Izokratikus programmal dolgozva az előkészített mintából 20 µl-t injektáltunk az analitikai oszlopra. A detektálást 254 nm-en végeztük. A mintákat injektálás előtt 0,20 µm-es Millipore (Millipore, Milford, MA, USA) szűrőn szűrtük át. Az eredmények rögzítését és feldolgozását a Varian ProStar 6.0 szoftver segítségével végeztük.

A HMF-tartalom meghatározása

A tej HMF-tartalmának meghatározása során a mélyhűtőpultban tárolt tejmintákat felolvasztás és 30 °C-ra történő felmelegítés után 15 percig 4000 g-n centrifugáltuk, eltávolítottuk a tej alakos elemeit, majd elvégeztük a tej zsírtalanítását. Ezt követően 50 cm³ 25%-os triklór-ecetsavat adtunk hozzá, 20 percig állni hagytuk, a kivált csapadékot pedig 15 percig 4000 g-n centrifugáltuk. A kapott felülúszó pH-ját 4 M nátrium-hidroxiddal 7,0-re állítottuk be a HMF meghatározásához. Az így előkészített mintákat ugyancsak –25 °C-on tároltuk az analízisek megkezdéséig.

A szabad furfurool komponensek meghatározása HPLC-vel

A HMF meghatározását Varian Pro Star HPLC berendezéssel végeztük, Supelcosil LC-C18 fordított fázisú analitikai oszloppal (150x4,6 mm belső átmérő) Pro Star 320 UV-VIS detektorral. A mintaelőkészítéshez és analízishez felhasznált vegyszerek analitikai reagens (a.r.) minőségűek voltak. A triklór-ecetsavat (TCA), a HMF-t (5-hidroxi-metil-furfurool) a Fluka cégtől (Buchs, Switzerland) vásároltuk. Az analízis során használt oldószert (acetonitril) a MERCK cégtől (*Darmstadt, Germany*) szereztük be, amely „HPLC gradient grade” minőségű volt. A pH-t 4 M nátrium-hidroxiddal állítottuk be.

A meghatározáshoz egy két komponensből álló gradiensrendszert alkalmaztunk. A kétkomponensű rendszer acetonitril–víz (5:95, v/v) keveréke, melynek áramlási sebessége 1 cm³/perc volt. A keletkezett HMF-t UV detektorral detektáltuk 284 nm hullámhosszon. A mintából 20 µl-t injektáltunk az analitikai oszlopra, amelyet az injektálás előtt 0,20 µm-es Millipore szűrőn átszűrtünk.

A hasznosítható lizin-tartalom meghatározása

A meghatározás 2,4-dinitro-1-fluor-benzol (DNFB) segítségével történt, ami reakcióba lép a lizin ε-aminocsoportjával, dinitrofenil-ε-amino-lizin (DNP-lizin) keletkezése közben, amely kötés a savas hidrolízis során sem bomlik el. A DNFB-lal való reakció után a mintát 6 M sósavval, 24 órán át, 110 °C-on hidrolizáltuk, majd a hozzá nem férhető lizint automatikus aminosav-analizátorral (INGOS AAA) meghatároztuk. A minta összes lizintartalmát a

DNFB-lal nem kezelt mintából határoztuk meg. A hozzáférhető, DNFB-hoz kötődő lizin mennyiségét a két analízis különbségéből számoltuk. A minta DNFB-lal reagált hasznosítható lizin-tartalmát úgy számoljuk ki, hogy a kezeletlen mintában mért százalékos lizintartalomból kivonjuk a DNFB-lal reagáltatott minta százalékos lizintartalmát. A DNFB-lal reagált lizintartalom az összes lizintartalom százalékában kifejezve a hozzáférhető lizin százalékos mennyiségét adja meg.

A lizinoalanin meghatározása ioncserés oszlopkromatográfiával

Az INGOS AAA aminosav-analizátornál a pufferek pH-jának és nátriumion-koncentrációjának, valamint a kromatografálás hőmérsékletének változtatásával az aminosavak elúciós sorrendje megváltoztatható, illetve az elúciós idők optimálhatók. A lizinoalanin ebben a kromatográfias rendszerben a tirozin és a fenilalanin után, a bázikus aminosavak előtt eluál. A lizinoalaninnal párhuzamosan meghatározható az ornitoalanin is. A lizinoalanin környékén eluálódó aminosavak sorrendje a következő: ornitoalanin, hidroxilizin, lizinoalanin, triptofán, ornitin.

EREDMÉNY ÉS ÉRTÉKELÉS

Kísérleteink során a nyerstej, a normál pasztörözött tej és a mikrohullámmal pasztörözött tej C- valamint B-vitamin-tartalmát vizsgáltuk nagyhatékonyságú folyadékromatográfias meghatározással. Azért választottuk ezeket vitaminokat, mert mind a C-vitamin, mind a B-vitaminok rendkívül érzékenyek a technológiai beavatkozásokra, különösen a hőkezelésre. A nyers tejmintát közvetlenül a pasztöröző berendezésbe történő bejuttatás előtt, a pasztörözött mintát pedig a berendezést elhagyó csővezetékéből vettük. A mintákat azonnal 0 °C-ra lehűtöttük, és a laboratóriumba történő szállítás után vitamintartalmukat azonnal meghatároztuk. A mintatároló edényeket teljesen tele töltöttük, ügyelve arra, hogy a levegő oxigéntartalmát a lehető legjobban kizárjuk. A különböző módszerekkel hőkezelt és a nyerstej aszkorbinsav-tartalmát az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

A nyerstej, a hagyományos és mikrohullámmal pasztörözött tejminták C-vitamin-tartalma

Minták (1)	C-vitamin-tartalom, mg/l (2)	
	C-vitamin (3)	Átlag (4)
Nyerstej (5)	22,70	22,71
	22,72	
	22,71	
Normál pasztörözött tej (6)	22,09	22,11
	22,12	
	22,13	
Mikrohullámmal pasztörözött tej (7)	6,24	6,25
	6,26	
	6,25	

Table 1. Vitamin C content of raw milk, and milk samples after mild and microwave pasteurization

Samples(1), Vitamin C content, mg/l(2), Vitamin C(3), Average(4), Raw milk(5), Milk pasteurized by mild heat treatment(6), Milk pasteurized by microwave (7)

A nyerstej C-vitamin-tartalmát a három párhuzamos kísérlet átlagában 22,71 mg/l-nek mértük, ami mintegy 3–4 mg-mal több, mint a szakirodalomban közölt érték, illetve amit korábban saját magunk mértünk. Ez a mennyiség a normál pasztörözés során 22,11 mg/l-re, a mikrohullámú pasztörözés során pedig 6,25 mg/l-re csökkent. Amint látható, kíméletes pasztörözés hatására a C-vitamin-tartalom alig változott, a mikrohullámú pasztörözés során viszont kevesebb, mint harmadára csökkent.

Ez azért különösen meglepő, mert a mikrohullámú pasztörözés alacsonyabb hőmérsékleten (68 °C) történt, mint a hagyományos (72 °C), ezért úgy tűnik, hogy a mikrohullámú pasztörözésnél nem csak a hőmérséklet, hanem a mikrohullám energiája is szerepet játszott a C-vitamin-tartalom elbomlásában.

A 2. táblázat a nyerstej, a hagyományos módon pasztörözött és a mikrohullámmal pasztörözött tejminták B₁-, B₂-, B₆- és B₁₂-vitamin-tartalmát mutatja.

2. táblázat

A nyerstej, a hagyományos módon és a mikrohullámmal pasztörözött tejminták B₁-, B₂-, B₆- és B₁₂-vitamin-tartalma

B-vitamin-tartalom, mg/l (1)	Tejminta (2)		
	Nyerstej (3)	Normál pasztörözött tej (4)	Mikrohullámmal pasztörözött tej (5)
B ₁ -vitamin	0,39	0,27	0,26
B ₂ -vitamin	1,81	1,63	1,65
B ₆ -vitamin	0,52	0,48	0,46
B ₁₂ -vitamin	0,0039	0,0035	0,0034

Table 2. Vitamin B₁-, B₂-, B₆-, and B₁₂ content of raw milk, and milk samples after mild and microwave pasteurization

Vitamin B content(1), Milk samples(2), Raw milk(3), Milk pasteurized by mild heat treatment(4), Milk pasteurized by microwave(5)

Az adatok mg/l értékben szerepelnek a táblázatban. Az általunk mért vitaminok közül a B₁-vitamin a legérzékenyebb a hőkezelésre, míg a másik három vitamin jobban ellenáll a különböző hőhatásoknak. A nyerstej B₁-vitamin-tartalmát 0,39 mg/l-nek mértük, mely érték a normál pasztörözött tejben 0,27 mg/l-re, a mikrohullámmal pasztörözött tejben pedig 0,26 mg/l-re csökkent. Ez a csökkenés mintegy 33,34%-os, ami azért nem meglepő, mert a B₁-vitamin a B-vitamincsoport leghőérzékenyebb tagja, és itt gondoltuk a legnagyobb változást a hőkezelés hatására.

A nyerstej B₂-vitamin-tartalmát 1,81 mg/l-nek mértük, ami a normál pasztörözött tejben 1,63-mg/l-re, a mikrohullámmal pasztörözött tejben pedig 1,65 mg/l-re csökkent. A csökkenés a két hőkezelési módnál mintegy 10% körüli, mely a B₂-vitamin hőstabilitását, illetve az alkalmazott módszerek csekély károsító hatását mutatják a B₂-vitamin-tartalomra. A nyerstej B₆-vitamin-tartalmát 0,52 mg/l-nek, a normál pasztörözött tejet 0,48 mg/l-nek, a mikrohullámmal pasztörözött tejet pedig 0,46 mg/l-nek mértük. A csökkenés a hőkezelés során, a nyerstejhez viszonyítva, a B₆-vitamin esetében is kb. 10%. A nyerstej B₁₂-vitamin-tartalmát 0,0039 mg/l-nek mértük, mely a normál pasztörözött tejben 0,0035 mg/l-re, a mikrohullámmal pasztörözött tejben pedig 0,0034 mg/l-re csökkent. A csökkenés mintegy 10–11%.

Összehasonlítva a nyerstej és a két hőkezelési módszerrel kapott tej vitamintartalmát megállapítható, hogy a B₁-vitamin esetében 30–40%-os csökkenéssel lehet számolni, a másik három vitaminnál viszont kb. 10%-os csökkenés prognosztizálható a hőkezelés során. A kétféle módszerrel pasztörözött tej B-vitamin-tartalma gyakorlatilag azonosnak mondható. A B-vitaminokra kapott eredmények megerősítik a C-vitamin bomlásával kapcsolatos elképzeléseinket, miszerint abban nem csak a hőmérsékletnek, hanem a mikrohullámmal közölt energiának is szerepe lehet. Leszögezhetjük tehát, hogy a B-vitamin-tartalom szempontjából a normál és a mikrohullámmal pasztörözött tej egyenértékűnek tekinthető, a mikrohullámú pasztörözésnél viszont jelentős C-vitamin-bomlással kell számolni.

A mikrohullámmal pasztörözött és a hagyományos pasztörözéssel készült tej minőségét a hidroximetil-furfurol (HMF) mérésével elemeztük, mely hőkezelés hatására magas fehérje és cukortartalmú készítményeknél mindig megjelenik. A minták HMF-tartalmát nagyhatékonyságú folyadékkromatográffal határoztuk meg a nyerstejből, illetve a különböző pasztörözési eljárással készült tejeiből. A 3. táblázat a különböző módon hőkezelt tejminták, a cukrozott sűrített tej és a tejpör HMF-tartalmát mutatja µg HMF/100 g minta egységben.

3. táblázat

A különböző módon hőkezelt tejminták, a cukrozott sűrített tej és a tejpör HMF-tartalma (µg HMF/100 g minta)

Minta (1)		HMF-tartalom, µg HMF/100 g minta (2)
Nyerstej (3)		-
Pasztörözött tej (4)		-
Mikrohullámmal kezelt tej (5)		-
Cukrozott sűrített tej (6)	1	126
	2	127
	3	128
	Átlag	127
Tejpör (7)	1	667
	2	676
	3	709
	Átlag	684

Table 3. HMF (hydroxymethyl furfural) content of milk sample with different heat treatment, sweetened condensed milk and milk powder (µg HMF/100 g sample)

Sample(1), HMF content(2), Raw milk (3), Milk pasteurized by mild heat treatment(4), Milk pasteurized by microwave(5), Sweetened condensed milk(6), Milk powder(7)

A három párhuzamos kísérlet összegzéseként elmondható, hogy a nyerstej, a hagyományosan pasztörözött tej és a mikrohullámmal pasztörözött tej HMF-t még nyomokban sem tartalmazott, tehát ebből a szempontból a két pasztörözési eljárás egyenértékűnek mondható. Hogy az általunk alkalmazott analitikai módszer alkalmasságát ellenőrizzük, meghatároztuk három párhuzamos méréssel egy a kereskedelmi forgalomban kapható cukrozott sűrített tej és tejpör HMF-tartalmát.

Megállapítottuk, hogy a cukrozott sűrített tej átlagosan 127 µg, míg a tejpor 684 µg HMF-et tartalmaz 100 g mintában.

Levonhatjuk tehát azt a következtetést, hogy a módszerünk alkalmas a HMF-tartalom mérésére, és nem a módszer hibája, hogy a tejekben nem tudunk HMF-t kimutatni hanem az, hogy a tejek a HPLC érzékenységének megfelelő szinten nem tartalmaznak hidroximetil-furfurolt. Összehasonlítva a cukrozott sűrített tej és a tejpor értékeit, azt találtuk, hogy a tejporban nagyobb mennyiségben fordul elő a HMF, mint a sűrített tejben, aminek az a magyarázata, hogy a tejporthoz magasabb hőfokon állítják elő mint a sűrített tejet, és a Maillard-reakciótermékeinek képződése magasabb hőmérsékleten felgyorsul. A tejporban mi 600–700 µg/100 g HMF-t találtunk.

Ezzel párhuzamosan vizsgáltuk a különböző módon hőkezelt tejminták hasznosítható lizin- és lizinoalanin-tartalmát. A 4. táblázat a különböző módon hőkezelt minták hasznosítható lizin- és lizinoalanin-tartalmát mutatja.

4. táblázat

A különböző módon kezelt tejminták hasznosítható lizin- és lizinoalanin-tartalma

A vizsgált komponens (1)	Tejminta (2)		
	Nyerstej (3)	Normál pasztörözött tej (4)	Mikrohullámmal pasztörözött tej (5)
Hasznosítható lizin-tartalom, % (6)	0,229	0,217	0,219
Lizinoalanin-tartalom, mg/dm ³ (7)	< 5	< 5	< 5

Table 4. Utilisable lysine and lysinoalanine content of milk samples with different heat treatment

Component examined(1), Milk sample(2), Raw milk (3), Milk pasteurized by mild heat treatment(4), Milk pasteurized by microwave(5), Utilisable lysine content(6), Lysinoalanine content(7)

A lizinoalanin-tartalom mérése során sem a nyerstej-, sem a két hőkezelt tejmintánál nem tudtuk a mérés érzékenységét meghaladó lizinoalanin-tartalmat kimutatni. A 4. táblázatban szereplő <5 érték azt mutatja, hogy mindhárom mintánál a lizinoalanin-tartalom 5 mg/dm³ alatt maradt, tehát sem a hőkezelésre rendkívüli érzékeny treonin (esetleg szerin), sem a hőkezelésre és az oxidációra érzékeny cisztein és cisztin nem bomlott el számottevő mennyiségben, hisz ez a két aminosav a legfőbb prekursora a lizinoalanin képződésnek.

Vizsgálatainkból leszűrhetjük azt a következtetést, hogy az általunk alkalmazott kétféle hőkezelés során a hasznosítható lizin-tartalomban csak mintegy 4–5%-os csökkenés figyelhető meg, a lizinoalaninben pedig egyáltalán nem tudunk kimutatni különbséget a három tejminta között. Ebből a szempontból tehát a két hőkezelési módszer egyenértékűnek tekinthető, és egyik sem csökkentette lényeges mértékben az egyik legfontosabb esszenciális aminosav, a lizin hasznosíthatóságát, és egyik hőkezelési módszer sem eredményezett számottevő mennyiségben lizinoalanin-tartalmat.

A nyerstej hasznosítható lizin-tartalmát 0,229%-nak, a hagyományosan pasztörözöttét 0,217%-nak, a mikrohullámmal pasztörözöttét pedig 0,219%-nak mértük.

Levonható az a következtetés, hogy az általunk alkalmazott hőkezelés során a redukáló cukrokra és a hő hatására rendkívül érzékeny lizin ϵ -aminocsoportja nem alakult át olyan mértékben, mely annak biológiai értékesülését, hasznosíthatóságát befolyásolták volna. A hasznosíthatólizin-tartalomban mutatkozó mintegy 4–5%-os különbség jelzi, hogy némi Maillard-reakciótermék keletkezhetett a hőkezelés során.

IRODALOM

- Boekel, M.A.J.S. (1998). Effect of heating on Maillard reactions in milk. *Food Chemistry*. 62. 4. 403-414.
- Bognár, A., Molnár, P. (1999). A háztartásokban végzett élelmiszer-feldolgozás során bekövetkező szubsztanciális változások jellemzése. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*. 45. 3. 131-148.
- Csapó J. (szerk.) (2006). *Élelmiszer- és takarmányfehérjék minősítése*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 265-269., 323-328.
- Csapó J., Csapóné Kiss Zs. (2002). Tej- és tejtermékek szerepe a táplálkozásban. *Mezőgazda Kiadó, Budapest*. 1-464.
- Ferrer, E., Alegria, A., Courtois, G., Farré, R. (2000). High-performance liquid chromatographic determination of Maillard compounds in store-brand and name-brand ultra-high-temperature-treated cows' milk. *Journal of Chromatography*. 881. 559-606.
- Ferrer, E., Alegria, A., Farré, R., Abellán, P., Romero, F. (2002). High-performance liquid chromatographic determination of furfural compounds in infant formulas. Change during heat treatment and storage. *Journal of Chromatography*. 947. 85-95.
- Ferrer, E., Alegria, A., Farré, R., Abellán, P., Romero, F. (2005). High-performance liquid chromatographic determination of furfural compounds in infant formulas during full shelf-life. *Food Chemistry*. 89. 639-645.
- Kidmose, V., Kaack, K. (1999). Changes in texture and nutritional quality of green asparagus spears (*Asparagus officinalis* L.) during microwave blanching and cryogenic freezing. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 49. 2. 110-116.
- Pohn G., Csapó J., Terlakyné Balla É., Vargáné Visi É.: A mikrohullámú kezelés hatása húspogácsák vízoldható vitamin- és D-aminosav tartalmára. 305. Tudományos Kollokvium. Központi Élelmiszeripari Kutató Intézet, Budapest, 2001. október 26. 6.
- Rab R., Farkas K. (2003). A zöldségek és gyümölcsök C-vitamin-tartalmának változása hőkezelés hatására. *Új Diéta*. 3. 15-17.
- Sieber, R., Eberhard, P., Fuchs, D., Gallmann, P.U., Strahm, W. (1996). Effect of microwave heating on vitamin A, E, B₁, B₂, and B₆ in milk. *Journal of Dairy Research*. 63. 169-172.
- Sierra, I., Vidal-Valverde, C., Valverde, C.V. (2000). Influence of heating conditions in continuous-flow microwave or tubular heat exchange systems on the vitamin B₁ and B₂ content of milk. *Lait*. 80. 6. 601-608.
- Van Renterghem, R., De Bock, H. (1996). Furosine in consumption milk and milk powders. *International Dairy Journal*. 6. 371-382.
- Watanabe, F., Abe, K., Fujita, T., Goto, M., Hiemori, M., Nakano, Y. (1998). Effects of microwave heating on the loss of vitamin B₁₂ in foods. *J. Agric. And Food Chem.*, 46. 1. 206-210.

Levelezési cím (*Corresponding author*):

Albert Csilla

EMTE Csíkszeredai Campus, Élelmiszer-tudományi Tanszék

Csíkszereda, 530104 Szabadság tér 1.

University of Transsylvania, Csíkszereda Campus, Department of Food Sciences

Csíkszereda, 530104 Szabadság tér 1.

Tel.:40-266-317-121, Fax:40-266-314-657

e-mail: albertcsilla@sapientia.siculorum.ro