

## 21. FEJEZET

### A TECHNOLÓGIA HATÁSA A TEJ ÉS TEJTERMÉKEK ÖSSZETÉTELÉRE

#### 21.1. A feldolgozás hatásai

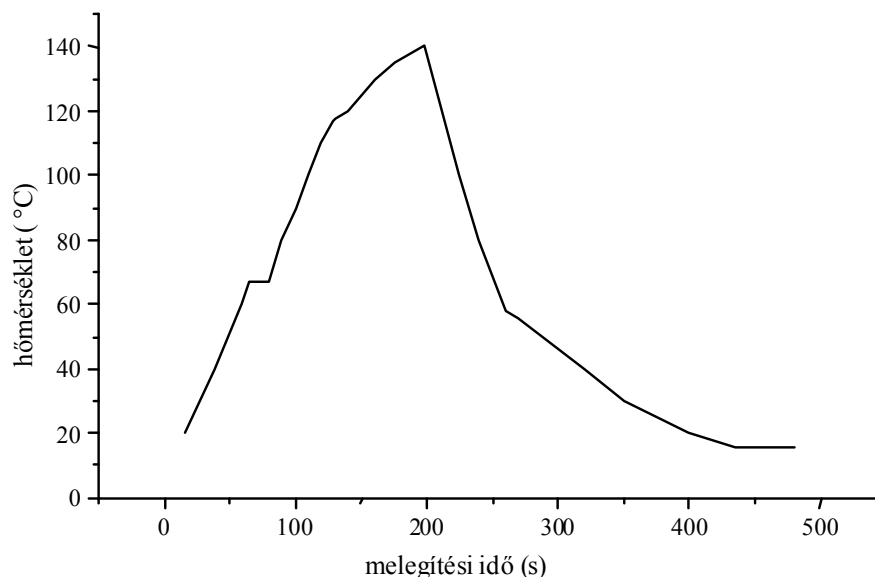
##### 21.1.1. A tej hőkezelése

###### 21.1.1.1. Hőkezelési módok

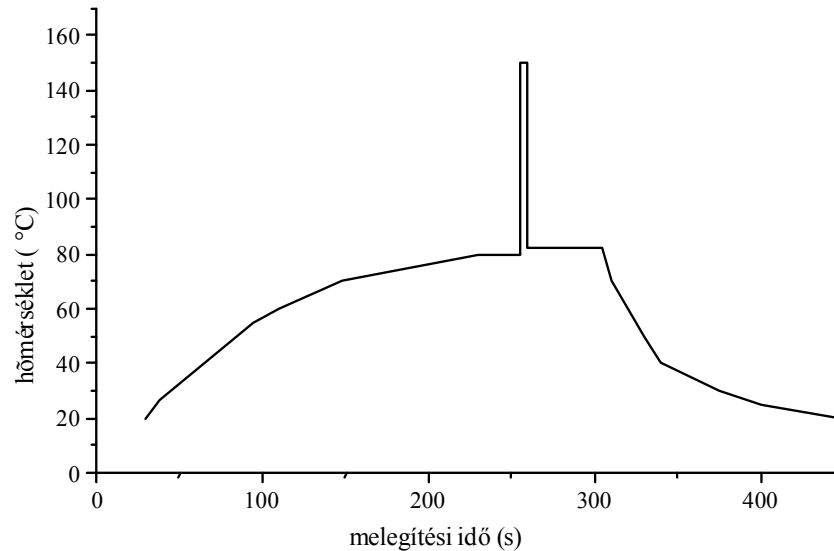
A nyers tej hőkezelésére különböző módszerek ismertek, amelyek a hőmérsékletben és a hőkezelés időtartamában különböznek egymástól. Attól függően, hogy mennyi ideig akarjuk a terméket tárolni, a mikroorganizmusok részleges vagy teljes elpusztítása (sterilizáció) a cél. Általában a következő hőkezelési módszereket használják:

- Rövid ideig tartó pasztörözés 72–76 °C-on 40 másodpercig. A legtöbb fogyasztásra szánt tejet így kezelik.
- Pillanatpasztörözés 85 °C-on, néhány másodpercig.
- 110–120 °C-on 10–30 percig való sterilizáció a végleges csomagolásban. Az így kezelt tejet steril tejnek hívják.
- Ultramagas hőmérsékleten történő hőkezelés (UHT), 135–150 °C-on néhány másodpercig. Mivel az UHT-kezeléssel a tejet legalább hat hétig jól el lehet tartani, ez tartós, vagy hosszan tartósított tejnek tekinthető.

Az UHT-kezelést vagy közvetlen gőzinjektálással, vagy indirekt hőcserével lehet véghezvinni. A két eljárás idő–hőmérséklet diagramja (21.1., 21.2. ábra) szerint a tej magasabb hőmérsékletet bír el a gőzinjektáló módszerrel, mint az indirekt módszerrel. Az UHT-eljárás mikrobiológiai hatásossága a *Bacillus stearothermophilus* spóráinak inaktiválásával becsülhető meg: ez a legkevésbé hőérzékeny spóra, és ezért tesztorganizmusként is használják.



21.1. ábra. Az indirekt UHT-eljárás hőmérséklet–idő diagramja



**21.2. ábra.** A direkt UHT-eljárás hőmérséklet–idő diagramja

### 21.1.1.2. A patogén mikroorganizmusok elpusztítása

A tej pasztörözésének eredeti célja az volt, hogy védelmet nyújtson a nem endospóras patogén mikroorganizmusokkal szemben. Az általánosan használt hőkezelési műveletek elpusztítják a patogén mikroorganizmusokat, az *E. colit* is beleértve, amit gyakran tesztorganizmusnak használnak a tej és más élelmiszerek higiéniai minőségének ellenőrzésére. A *Mycobacterium tuberculosis* és a *Brucella* baktériumokat, amelyeket meglehetősen gyakran találtak a tejben e kórokozókkal szembeni mentesítést megelőzően, elpusztítja a pasztörözés. Ez vonatkozik a szalmonellára, rickettsiára, az úgynevezett Q-láz okozójára, valamint a listériára, a leptospira és más patogén mikroorganizmusokra is. A legtöbb fertőző betegségeket okozó baktérium 66–71 °C-on inaktíválódik, amelyek jobban ellenállnak a hőmérsékletnek, 72 °C-on, 20 másodperc alatt inaktíválódnak. Ezért az engedélyezett pasztörözőeljárások biztos védelmet nyújtanak az emberre átvihető betegségekkel szemben. Alig néhány patogén spóra van a tejben, de ezek is minden esetben teljesen elpusztulnak az UHT-kezelés során.

A vírusok is gyorsan inaktíválódnak magasabb hőmérsékleten, és így nem élik túl a pasztörözési eljárást. A veszettség vírusa és más vírusok is már 65 °C-on elpusztulnak, a száj- és körömfájás vírusai viszont jobban ellenállnak a hőnek és túlélnek a 80 °C-on 15 másodpercig tartó vagy a 85 °C-on 5 másodpercig tartó hőkezelést, de 73 °C-on 40 másodperc alatt teljesen inaktíválódnak. Minden vírus elpusztul az UHT-kezelés alatt.

### 21.1.1.3. A hőkezelés hatása a tejszírra

A tej hőkezelése az előzőekben közölt idő/hőmérséklet kombinációknál nem ártalmas a tejszír természetes tulajdonságaira. Ezt az a megfigyelés is alátámasztja, hogy más zsírok és olajok melegítése során magas hőmérsékleten a hő nem károsítja azokat. Ez az oka annak is, hogy a lipidek fotokémiai oxidációját csak alig befolyásolja a hőmérséklet. Bár a zsírok magas hőmérsékletre melegítésénél peroxidok, hidroperoxidok, karbonilvegyületek és hidroxizsírsavak keletkeznek, a patkányokat hosszú időn keresztül peroxidtartalmú zsírokkal etetve nem találtak toxikus hatást. Csak extrém hőmérsékleti feltételek, pl. 200 °C-on 20 óráig tartó kezelés eredményezett polimerizációs termékeket a többszörösen telítetlen zsírsavak termikus oxidációja révén, ami ártalmas volt a patkány etetésekor. Karcinogén hatás nem alakul ki a zsírok lényeges

túlmelegítésekor sem, ugyanis a zsírnak csak akkor alakul ki toxikus tulajdonsága, ha erősen, hosszú időn keresztül atmoszférikus oxigénnel érintkezve melegítjük. Amikor 200 °C-on, 24 óráig melegített tejszírt etettek patkányokkal, semmilyen ártalmas hatást nem figyeltek meg, ami azt mutatja, hogy azok a hőkezelések, amelyek toxikus tulajdonságokat alakítanak ki más zsíroknál, nincsenek hatással a tejszírra. Ez a felfedezés magyarázhatja azt is, hogy a máj- vagy epehólyag-betegségben szenvedők a hőkezelt tejszírt jobban tolerálták, mint más hőkezelt zsírokat.

Ha tejet melegítünk, a hidroxisavak átalakulnak laktonokká, amelyek javítják a tej organoleptikus tulajdonságait. A laktonok minden hőkezelt tejben és tejtermékben jelen vannak, de néha csak nagyon kicsi koncentrációban, és akkor csak kissé hatnak az ízanyagokra. A tejszírből melegítés hatására keletkező karbonilvegyületek (aldehidek és metil-keetonok) általában rontják a hőkezelt tej aromáját. Az UHT-kezelt tejek lényegesen több laktont és karbonilvegyületet tartalmaznak, mint a pasztörözött tej, így például a nyers tej metilketon-tartalma 10 nmol/g zsír, a pasztörözött tejé 12, az UHT-kezelt tejé 21 és a szokásos módon sterilizált tejé 104 nmol/g zsír.

A tej pasztörözése nem befolyásolja a tejszír többszörösen telítetlen- és esszenciális zsírsav-tartalmát, mivel pl. a linolsav stabil magas hőmérsékleten, és a linolsav bomlását csak a tej 180 °C-on egy órán át történő hőkezelése eredményezi. Csak néhány közleményben számolnak be a tej UHT-kezelése és sterilizálása során az esszenciális zsírsavak koncentrációjában bekövetkező kismértékű csökkenésről, viszont a hőkezelt tejtermékek foszfolipidjeinek zsírsav-összetételében változást figyeltek meg. A hőkezelés megváltoztathatja a tej szabadzsírsav-tartalmát is, ezért pl. a szabadzsírsav-tartalom nőtt UHT-kezelt tejben.

#### *21.1.1.4. A hőkezelés hatása a tejfehérjére*

A tejfehérjék bizonyos mértékben denaturálódnak a hőkezelés hatására, de ez a táplálkozás szempontjából nem káros. A hőkezelési eljárások változást okoznak a fehérje konfigurációjában, vagyis a fehérje másodlagos és harmadlagos szerkezetében, de a peptidkötéseket nem szakítják fel. A denaturálódás kb. 80 °C-on kezdődik és részben reverzibilis lehet. A tejben lévő kazein viszonylag stabil a hőkezelésre, mivel a prolin megakadályozza az aggregációhoz szükséges hidrogénkötések kialakulását. A hő által okozott koaguláció csak akkor fordul elő, ha a tejet 125 °C-on, több mint 60 percig melegítjük. Ilyen kezelést nem alkalmaznak normál tejfeldolgozás során, de a kevésbé intenzív hőkezelések is szétbonthatják a kazeinmolekula peptidláncait. Az UHT-kezelt tejben a kazeinmicellák elektronmikroszkopikus képe azt mutatja, hogy a szerkezetük meglazult és átmérőjük megnőtt. A  $\beta$ -kazein fizikai-kémiai tulajdonságai kevésbé változnak meg a hőkezelés során, mint az  $\alpha_s$ -kazeiné.

A savófehérjéket viszont a különböző típusú hőkezeléssel különböző mértékig denaturálják, amelynek mértéke a hőmérséklet és az idő függvénye. A savófehérjének a kazeinhez viszonyított viszonylag nagy hőinstabilitása a foszfor hiányának, alacsony prolintartalmának és magas cisztin-, cisztein- és metionintartalmának tulajdonítható. A savófehérje 10–20%-a a pasztörözött tejben denaturálódik, a denaturálódott savófehérje mennyisége az indirekt hőkezelési eljárással készült UHT-tejben 70–80%, a direkt eljárással készült UHT-tejben pedig 40–60%, ami szintén illusztrálja a két különböző UHT-eljárás közötti különbséget. A savófehérje a hagyományosan sterilizált tejben sem denaturálódik teljesen. A globulinok a legkevésbé hőstabil savófehérjék a tejben, ezt követi a szérumalbumin és a  $\beta$ -laktoglobulin, míg az  $\alpha$ -laktalbumin a legstabilabb. Különbség van a két  $\beta$ -laktoglobulin variáns hőstabilitása között is. A  $\beta$ -laktoglobulin-A 90–95 °C alatt, míg a  $\beta$ -laktoglobulin-B még magasabb hőmérsékleten is stabil. Az immunglobulinok 74 °C-on 15 másodperc után mutatják a denaturáció első jelét, a szérumalbumin és  $\beta$ -laktoglobulin 84–86 °C-on 15 másodperc után, míg az  $\alpha$ -laktalbumin csak legalább 100 °C-on öt percig tartó melegítés után denaturálódik. A különböző típusú tejek ezért különbséget mutatnak a savófehérje-

frakció szerkezetében. Az UHT-kezelt és sterilizált tejek nem tartalmaznak többé denaturálatlan immunglobulinokat, a  $\beta$ -laktoglobulin aránya csökken, míg az  $\alpha$ -laktalbumin relatív mennyisége lényegesen megnő. A proteáz-pepton frakció hőellenálló frakciónak tekinthető. A laktoferrin a hő hatására szerkezetében jelentősen változik, de ha vassal telítik, akkor hőellenállása jelentősen megnő.

A denaturáció a fehérjemolekulák aggregációjával jár együtt, ami vagy intermolekuláris diszulfidhidak formájában valósul meg, vagy a savófehérje a kazeinmicellák felületére csapódik ki. Az első lépés az  $\alpha$ -laktalbumin és a  $\beta$ -laktoglobulin közötti kölcsönhatás, ezt a savófehérje-kazein komplexek kialakulása követi, amit elsősorban a  $\kappa$ -kazein és a  $\beta$ -laktoglobulin kapcsolódása hoz létre. Az aggregáció foka a hőközlés mértékétől függ, így ez lényegesen nagyobb fokban fordul elő sterilizált tej esetében. Amikor a kazein kicsapódik, a savófehérjék is együtt csapódnak ki vele a komplexben, amelynek során a kicsapódott nitrogén mennyisége 80%-ról több mint 90%-ra nő, a fehérje mennyisége pedig 4% alá csökken a savóban. Nem következnek be jelentős változások a nem-fehérje nitrogéntartalomban.

Amikor a tejet 75 °C-nál magasabb hőmérsékletre melegítjük, a kéntartalmú aminosavak szulfhidrilcsoportjaiból olyan illékony komponensek képződnek, mint a kén-hidrogén, a merkaptánok, a szulfidok, amelyek a tej főtt ízét okozzák. A szabad szulfhidrilcsoportok főként a  $\beta$ -laktoglobulinból származnak. A főtt ízt okozó szabad SH-csoportok száma függ egyrészt a hőkezeléstől, de legalább olyan mértékben függ a denaturációtól is. Az SH-csoportok a legnagyobb értéket 90 °C-on érik el, míg sterilizálásakor ennél némileg kisebb mennyiségben keletkeznek. Ennek következtében a kéntartalmú metionin és cisztin mennyisége a sterilizált tejben kissé csökken. Az UHT-tej szabad SH-csoportjainak koncentrációját 0,7  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$ -nek mérték.

A sterilizált tejjel ellentétben a pasztőrözött tejnek nincs főtt íze. A tej indirekt UHT-kezelése nagyobb mértékben okozza a főtt íz kialakulását, mint a direkt hőkezelés. A szabad SH-csoportok mennyisége oxidáció hatására néhány napon belül csökken, aminek következtében a főtt íz is kevésbé érződik. L-cisztin adagolásával csökkenteni lehet a szabad SH-csoportok mennyiségét, és ezzel a módszerrel a főtt ízt is ki lehet küszöbölni. Egy másik lehetőség az íz javítására a *szulfhidril oxidázzal* való kezelés, amelynek során a szulfhidrilcsoportok oxidálódnak. A tej organoleptikus tulajdonságainak javítására végzett kísérletek azért is nagyon jelentősek, mert a vásárlók a rossz ízből az így készült tej csökkent táplálkozási értékére következtetnek.

A hővel denaturálódott fehérjék könnyebben emészthetők, mert a részben szétrombolt szerkezetet az emésztőenzimek könnyebben meg tudják támadni, mint a natívat. Ezért az UHT-hőkezelésen átesett tej fehérjeemészthetőségét jobbnak találják, mint az eredeti tejét. *Tripszinnel*, *pepszinnel* és *pankreatinnal* végzett kísérletek megerősítették, hogy ezek az enzimek a denaturálódott fehérjét könnyebben meg tudják támadni. Csak a magas hőmérséklet és a hosszú idő (120 °C, 60 perc) csökkentette a *tripszinnel* mért emészthetőséget, míg még ez a magas hőmérséklet is növelte a fehérje *pepszinnel* mért emészthetőségét. A hőkezelés hatására a fehérje a gyomorban sokkal kisebb részecskék formájában csapódott ki sav hatására, megkönnyítve a *pepszines* emésztést. A hőkezelt tej jobb emészthetőségének másik lehetséges oka az, hogy a hőkezelés inaktiválja a tej saját tripszinh inhibitorait. Kevesebb emésztési probléma fordul elő csecsemőknél és kisgyermeknél UHT-tej fogyasztása során, mert ez a gyomorban finomabb precipitációt képezve megkönnyíti az emésztést. A tejfehérje emészthetősége csak olyan szélsőségesen magas és hosszú ideig tartó hőkezelés (120 °C, 80 perc) hatására csökken, amely valójában sohasem fordul elő a gyakorlatban.

UHT-kezelés hatására a tejfehérjében lejátszódó változások oly csekélyek, hogy nem befolyásolják a patkánykísérletekkel meghatározott, hőkezeletlen tejhez viszonyított biológiai értékét. Az UHT-tej produktív fehérjeértékét, amelyet a patkánytest nitrogéntartalma százalékos növekedéseként definiáltak a fogyasztott takarmány nitrogéntartalmához viszonyítva, a nyers tej

esetében 96–97%-nak találták. Amikor a biológiai értéket olyan mikroorganizmusokkal határozták meg, amelyek esszenciális aminosav-szükséglete nagyon hasonlít az emberéhez, a különböző UHT-technológiákkal előállított tejkénél 95–100%-ot kaptak az eredeti nyers tejhez viszonyítva, és a PER valamint az NPU értékekben sem mutatható ki hátrány az UHT-tejek rovására. Kilenc egymást követő patkánygenerációval végzett kísérletben némi előnyt mutattak ki a nyers tejjel etetett patkányoknál a különféle UHT-technológiákkal előállított tejekkel szemben, de egyetlen esetben sem sikerült hisztopatológiai változásokat kimutatni a hosszú ideig tartó kezelések során. Csecsemőkkel és kisgyermekkel végzett kísérletekből kiderült, hogy az UHT-tej táplálóértéke ugyanaz, mint a pasztörözött tejé, fehérjeveszteség csak akkor lépett fel, ha kísérleti célból a rendkívül extrém hőkezelést hosszú időn keresztül alkalmazták.

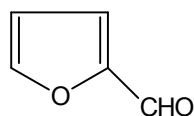
Alkalikus körülmények között hőkezelve a fehérjét olyan kémiai reakciók játszódhatnak le, amelyek a lizinoalanin (LAL) és a D-aminosavak képződéséhez vezetnek. Amikor patkányok 2000 mg/kg-nál nagyobb koncentrációban fehérjében kötött LAL-t fogyasztottak, vesekárosodás lépett fel vesemegnagyobbodás formájában. A LAL toxikus hatása az egérre lényegesen kisebb és egyéb állatokra (pl. a majomra) egyáltalán nem tűnik toxikusnak. Ebből azt a következtetést lehet levonni, hogy a LAL nem toxikus az emberek számára, annál kevésbé, mivel a főzés és sütés hatására nem alkalikus közegben is keletkezhet. Az emberiség azóta fogyasztja ételeiben a lizinoalanint, hogy elkezdte a főzést és a sütést. Amikor patkányok tápjába 20%-ban keverték lúggal kezelt szójafehérjét, az állatokban vesemegnagyobbodás alakult ki, míg a lúggal kezelt laktalbumin még magasabb LAL-tartalommal is csak enyhe elváltozást váltott ki. Amikor 8–10% kezeletlen laktalbumint adtak olyan patkánytáphoz, amely 10–12% lúggal kezelt szójafehérjét vagy lúggal kezelt laktalbumint tartalmazott, sem vesemegnagyobbodást, sem egyéb rendellenességet nem lehetett kimutatni, bár a táp 1800–2500 mg/kg LAL-t tartalmazott.

A tej és a tejtermékek, valamint a bébitápszerek vagy nem tartalmazzak LAL-t, vagy annak koncentrációja rendkívül alacsony. Az elvétve talált magasabb érték a feldolgozás folyamán alkalmazott sokkal intenzívebb hőkezelésnek köszönhető. Az olyan kazeinátok és precipitátumok, amelyeket lúgos kezeléssel állítottak elő, viszonylag nagy koncentrációban tartalmazzák a LAL-t, de a LAL koncentrációja csökkenthető, ha betartják a technológiai utasításokat, elsősorban a hőmérsékletet és a pH-t. Bár a lizinoalanin önmagában nem toxikus az emberek számára, keletkezése mégis kárt okoz, mert kialakulása során lekötöti a lizin  $\epsilon$ -amino csoportját, ezért a nagy koncentrációban előforduló LAL lizinhiányhoz vezethet. A LAL kialakulásának kedvező körülmények között szerin- és cisztinveszteséget, valamint a fehérje csökkent emészthetőségét tapasztalták. A lizinoalanin-koncentráció mérése ezért jó indikátora a csökkent fehérjeértéknek.

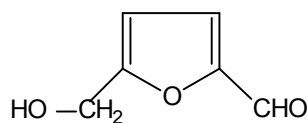
#### *21.1.1.5. Maillard-reakció a tej hőkezelése során*

Magas hőmérsékleten vagy hosszú ideig tartó raktározás alatt az aldehidek, ketonok és a redukáló cukrok reagálnak az aminosavakkal, az aminokkal, a peptidokkal és a fehérjékkel. Ez a Maillard-reakció. A tejfehérjék közül a  $\beta$ -laktoglobulin az, amely leginkább részt vesz a laktózzal karöltve ebben a reakcióban, de a kazeinnel is létrejöhet ez a reakció. A Maillard-reakció termékei barna színű vegyületek, amelyek csak a sterilizett tejben vagy a sűrített tejporban okozhatnak színváltozást, más egyéb tejekben csekély a jelentőségük. A leggyakrabban detektált reakciótermék a hidroximetil-furfurool (HMF), amelynek koncentrációja a hőkezelés mértékével nő. A HMF a nyers tejben nem fordul elő és mennyisége a pasztörözött tejben is csak  $1 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ . Koncentrációja az indirekt hőkezeléssel előállított UHT-tejben kissé nagyobb ( $6\text{--}18 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ), míg a direkt hőkezeléssel készült tejben kissé alacsonyabb ( $2\text{--}12 \mu\text{mol}/\text{dm}^3$ ). A sterilizett tej HMF-tartalma még ennél is nagyobb. Fentiek miatt a tej HMF-tartalmát ugyan a tej hőkezelési állapotának becslésére lehet felhasználni, ennek ellenére csak igen gyenge kapcsolat van a HMF-tartalom és az UHT-tej hasznosítható lizintartalma között, ezért a HMF-tartalomból

nem lehet messzemenő következtetéseket levonni a tejfehérje károsodását illetően. A Maillard-reakció csak igen kis mértékben fordul elő folyékony tejtermékekben, mert a víz inhibálja a Maillard-reakciót.



furfurol



hidroxi-metil-furfurol

A Maillard-reakció sok terméke étvágykeltő aromaanyagként funkcionál, ezért jelenlétük kívánatos a különböző ételféleségekben, de a túl magas hőmérsékleten történő hőkezelés rossz illatú illékony anyagok képződésével járhat, amelyek képződése kerülendő. A sterilizett tej karamellizú, amely íz kialakításához, valamint az organoleptikus tulajdonságokhoz hozzájárulnak a furfurool, az aldehidek, a kis molekulatömegű kéntartalmú vegyületek és a heterociklusos komponensek is.

A Maillard-reakcióban az aldehidek főként aminosavakkal, azok közül is a lizin  $\epsilon$ -amino-csoportjával kapcsolódnak, ezért a lizin különösen érzékenynek tekinthető 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 azonban csak igen csekély veszteséget okoz a lizintartalomban, és még az UHT-kezelés hatása sem számottevő ebben a tekintetben. A lizinvesztés a pasztörözött 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 igen magas, az UHT-tejekben a csekély veszteség gyakorlati szempontból elhanyagolható. Csak a magas hőmérsékleten hosszú ideig tartó hőkezelés okoz számottevő veszteséget a hasznosítható lizintartalomban. Főként a savófehérjék károsodnak, míg a kazein károsodása e tekintetben rendkívül csekély. Az esszenciális aminosavakhoz tartozó metionin, treonin és triptofán ellenállnak a hőnek, így a különböző hőkezelések során alig károsodnak, viszont a sterilizett tejben csekély leucin-, izoleucin-, valin-, cisztin- és hisztidinvesztéseket figyeltek meg.

A Maillard-reakció termékeinek táplálkozási értékét tekintve megállapították, hogy az oldódó reakciótermékek, az ún. premelanoidok, csökkentik a fehérje hasznosulását és emészthetőségét, míg az oldhatatlan melanoidoknak nincs fiziológiai hatása. A HMF alig tekinthető károsnak az egészségre, mert  $LD_{50}$  értéke 1 g testtömeg-kilogrammonként, és 250 mg-ot etetve belőle testtömeg-kilogrammonként hosszú időn keresztül semmiféle káros hatást sem fejtett ki. A fruktóz-L-triptofán, a Maillard-reakció egyik első terméke, felszívódik és feltételezik róla, hogy a bélbaktériumok lebontják. Tengerimalacnál a fruktóz-lizin keresztülment a placentán, de mivel az emberiség jelentős mennyiségben fogyasztja ezeket a termékeket, amióta a tüzet használja ételek előállítására, levonhatjuk azt a következtetést, hogy a Maillard-reakció termékei ártalmatlanok a magzat vagy az újszülött számára. Ezen termékek mennyisége a normál ételkészítési eljárások során olyan csekély, hogy nem tekinthetők az egészségre károsnak. Míg a hőkezelt termékek ízletesek, addig nagy biztonsággal nem tartalmaznak egészségre ártalmas terméket. Ellentétes hatás csak akkor várható, ha a hőkezelés túlzott. Mikor a patkányokat hőkárosodott kazeint tartalmazó táppal etették, amelynek  $\epsilon$ -fruktóz-lizin-koncentrációja nagy volt, a testtömeg-gyarapodás kisebbnek bizonyult, mint a kontrollállatoknál. A különbséget a hőkezelt fehérje alacsonyabb lizintartalmának tulajdonították.

#### 21.1.1.6. A hőkezelés hatása az ásványi anyagokra

Hőkezelés hatására az oldható kalcium- és foszfortartalom csökken, amelynek mértéke függ a hőkezelés intenzitásától. Az oldható kalciumtartalom pl. az UHT-kezelés hatására 40–50%-kal csökkent. A tej ionos fluortartalma szintén csökken a hőkezelés során. A fémek hőkezelés hatására nem csapódnak ki a tejből sók formájában, ami a tej és a tejfehérjék, elsősorban a savófehérjék védő hatásának köszönhető. A tej összes kalcium- és foszfortartalma gyakorlatilag változatlan marad a különböző hőkezelések során. Az elemek oldható mennyiségének csökkenése nem vezet a tej tápláléértékének csökkenéséhez, mert patkánykísérletekben kimutatták, hogy a kalcium hasznosulása az UHT-tejben a sterilizett tejben és a nyerstejben azonos volt. Egy csecsemőkkel végzett kísérletben a kalcium és a kálium retenciója UHT-tejből nagyobb volt, mint a pasztörözöttből, míg a foszfor retencióját illetően nem tudtak különbséget tenni a kétféle tej között.

#### 21.1.1.7. A hőkezelés hatása a vitamintartalomra

A zsíroldható vitaminok közül az A-, D- és E-, a B-vitaminok közül pedig a riboflavin, a pantoténsav, a biotin és a nikotinsav viszonylag ellenáll a hőnek és általában nem szenved veszteséget a hőkezelés során. Csak a hosszú hőkezelési és a sterilizációs eljárás alatt figyeltek meg csökkenést az A-, E- és B<sub>2</sub>-vitamin-tartalomban, amelynek okaként az A- és E-vitamin esetében az oxigén jelenlétét, azaz az oxidációs folyamatokat jelölték meg.

A vitaminok másik csoportja, a tiamin, a piridoxin, a kobalamin, a folsav és az aszkorbinsav, viszont érzékenyebb, ezért az intenzívebb hőkezelés jelentős károkat okozhat e vitaminoknál. A 21.1. táblázat a különböző hőkezelési eljárások során tapasztalt vitaminveszteségeket mutatja.

**21.1. táblázat.** A különböző hőkezelések hatása a tej vitamintartalmának alakulására

Eljárás	Veszteség (%)				
	Tiamin	Piridoxin	Kobalamin	Folsav	Aszkorbinsav
Pasztörözés	<10	0–8	<10	<10	10–25
UHT-kezelés	0–20	< 10	5–20	5–20	5–30
Forralás	10–20	10	20	15	15–30
Sterilizés	20–50	20–50	20–100	30–50	30–100

Ezekből az eredményekből az a következtetés vonható le, hogy pasztörözés hatására a vitaminveszteség olyan csekély, hogy az gyakorlatilag nem csökkenti a tej táplálkozási értékét. Hasonlókat lehet elmondani az UHT-kezelésről is, ahol a vitaminveszteség 10–20%; az indirekt UHT-kezelésnél a vitaminveszteség némileg nagyobb, mint a direktnél. Az UHT-eljárás körülményeit lehet azonban úgy is módosítani, hogy a különböző spórák elpusztuljanak anélkül, hogy a tiaminveszteség pl. 3%-nál nagyobb lenne. A pasztörözés vagy UHT-kezelés hatására bekövetkező vitamintartalom-csökkenés azonban jelentősen kisebb annál, mint ami az otthoni ételkészítési eljárások során a háztartásban előfordul. A sterilizett tej vitamintartalmának elbomlása azonban már sokkal komolyabb probléma. A sterilizés hatására bekövetkező veszteségeket elemezve megállapítható, hogy a modern sterilizációs módszerek jobban megóvják a hőre érzékeny vitaminokat, mint a régebbiek, amelyeknél a B<sub>12</sub>- és C-vitamin csaknem teljesen, a B<sub>1</sub>-, B<sub>6</sub>-vitamin és a folsavtartalom pedig kb. 50%-ban elbomlott. Hasonló veszteségek fordulnak elő abban a sűrített tejben is, ahol sterilizációt alkalmaznak, míg a cukrozott sűrített tejben a vitaminveszteség csak 10–30%.

Az aszkorbinsav-veszteség elsősorban az oxidáció és csak másodsorban a hőkezelés következménye. A pasztörözés során, oxigén hiányában alig fordul elő C-vitamin-veszteség. A C-vitamin két formája, az aszkorbinsav és a dehidroaszkorbinsav, különböző módon reagál a

hőkezelésre; az aszkorbinsav csak jelentősebb hőkezelés során bomlik le, a dehidroaszkorbinsav viszont gyorsan elbomlik rögtön azután, hogy oxidációval kialakul az aszkorbinsavból. Ezen utóbbi reakció során a dehidroaszkorbinsav a laktongyűrű felbomlásával átalakul biológiailag inaktív diketogulonsavvá. Hőkezelés hatására a dehidro-aszkorbinsav-veszteség lényegesen nagyobb, mint magáé az aszkorbinsavé. Pasztörözött tejben koncentrációja a felére csökken, míg indirekt hőkezeléssel készült UHT-tejből ki sem mutatható. A C-vitamin-, tiamin-, kobalamin- és folsavveszteség az indirekt eljárással készült UHT-tejekben gáztalanítással, azaz az oxigén mennyiségének redukálásával csökkenthető. A közvetlen hőkezelési eljárással készült UHT-tej oxigéntartalma 0,2–0,6 mg/kg, míg a közvetett hőkezelésnél 7 mg/kg körül van. Az oxigén mennyiségének gáztalanítással 1 mg/kg alá csökkentése jelentősen visszaszorítja a vitaminok elbomlását.

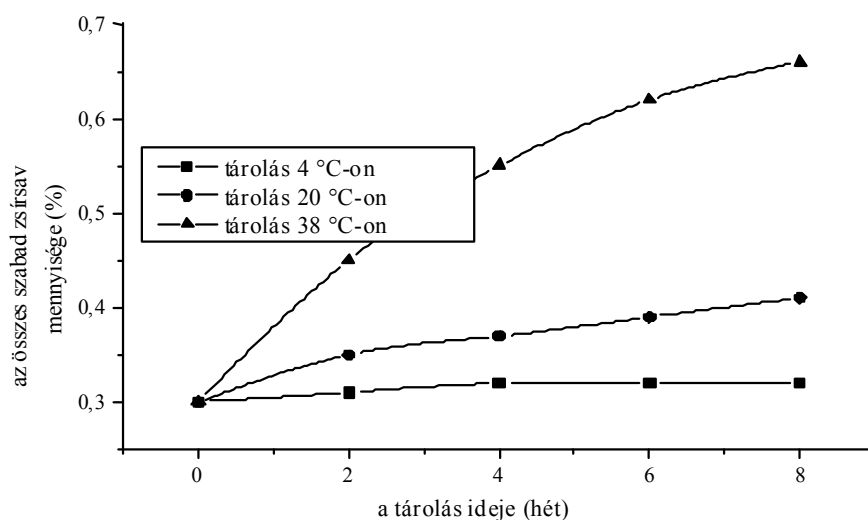
#### 21.1.1.8. A hőkezelés hatása az enzimekre és a szerves savakra

Az enzimek a különböző mértékű hőkezelés során eltérő mértékben inaktiválódnak. Mivel az *alkalikus foszfatáz* a gyors, a *peroxidáz* pedig a pillanatpasztörözés során inaktiválódik, ezért ezen enzimek aktivitásának hiánya a tej megfelelő pasztörözöttségére utal. Ugyanígy ezzel a teszttel ki lehet mutatni, hogy a sajt nyers- vagy pasztörözött tejből készült. A *proteinázok* aktivitása a pasztörözött tejben nagyobb, mint a nyers tejben. Azt is kimutatták, hogy a pillanatpasztörözött tejet a *proteinázok* gyorsabban megemésztik, mint a nyers tejet, amiből azt a következtetést lehet levonni, hogy a hőkezelés inaktiválja a tej hőérzékeny *proteináz* inhibitorait. A *xantin oxidáz* 85 °C-on inaktiválódik. A *savas foszfatáz* nem inaktiválódik a pasztörözés folyamán, de elveszíti aktivitását a sterilizálás, illetve UHT-kezelés során. A *β-glükuronidáz* és a *ribonukleidáz* kismennyiségben az UHT-tejeből is kimutatható.

Lehetséges, hogy a tejfehérjék megóvják a *kataláz* és *foszfatáz* enzimeket a hő okozta inaktiválódástól. A hőkezelés után a lehűtött tejben néhány enzim ismét visszanyeri aktivitását. Ilyen reakciót figyeltek meg az *alkalikus foszfatáz*, a *peroxidáz* és a *xantin oxidáz* enzimek esetében, de a *lipázok* soha sem nyerik vissza aktivitásukat a hőkezelés után. Az *alkalikus foszfatáz* még az UHT-kezelés után is visszanyerheti aktivitását.

Pszihrotrof *Pseudomonas* baktériumok a nyers tejben hőnek ellenálló *lipázokat* termelnek, amelyek csak részben inaktiválódnak az UHT-hőkezelés során. Ezen enzimek 90%-ának inaktiválásához 150 °C hőmérséklet és 30 másodpercnél hosszabb idő szükséges. Az inaktiváláshoz szükséges magas hőmérséklet természetesen jelentős károkat okozhat a termék minőségében. A maradék *lipáz* enzim az UHT-tejben lipolitikus változásokat okoz, amely függ a tárolás hőmérsékletétől. Ennek során megnő a szabad zsírsavak mennyisége a tejben, magasabb lesz a tej savassága, és avas lesz az íze (21.3. ábra).





**21.3. ábra.** A tárolási hőmérséklet hatása az UHT-tej szabad zsírsavainak mennyiségére

Hasonló módon a *proteáz* enzimek hőkezelés után is aktív része a felelős a proteolitikus reakcióért, ami megnöveli a tej NPN-tartalmát, a fehérje koagulációjához, gélesedéshez vezet és keserű ízt kölcsönöz a tejnek. A *proteinázaktivitás* ugyancsak hozzájárul a hőkezelés során keletkezett kazein-savófehérje komplexek szétbontásához. Ezeket a *proteinázokat* inaktíválni lehet az UHT-kezelést megelőzően egy órán keresztül 55 °C-on történő előmelegítéssel, míg *lipázokat* 98%-ban lehet inaktíválni 74 °C-on 10 másodpercig tartó hőkezeléssel. A sterilizett tej enzimaktivitása minimális.

A pasztörözés és az UHT-hőkezelés csak csekély hatással van a tej orotsav- és nukleotid-tartalmára, a sterilizálás és a porlasztva szárítás viszont jelentős mértékben csökkenti a citidin-monofoszfát (CMP), az adenzin-monofoszfát (AMP) és az orotsav koncentrációját. A szokásos hőkezelési módszerek nem teszik tönkre a neuraminsavat. Az UHT-tejekben néha talált magas neuraminsav-koncentráció valószínűleg a tej azon *proteinázainak* köszönhető, amelyek a  $\kappa$ -kazein gliko-makropeptidjeit hasítják szabad neuraminsav keletkezése közben.

### 21.1.2. A tej homogénezése

A homogénezés az a folyamat, amikor csökkentik a zsírgolyócskák méretét azért, hogy megakadályozzák a felfölződést a hosszabb ideig eltartható tejekben. Homogénezés hatására a zsírgolyócskák mérete 3–6  $\mu\text{m}$ -ról 1  $\mu\text{m}$  alá csökken, aminek következtében a felület olyan rendkívüli mértékben megnő, hogy a foszfolipidek mennyisége nem elegendő a zsírgolyócskák felületének beburkolására, ezért a tej felületaktív fehérjéi abszorbeálódnak a zsírgolyócskák felületén zsír-fehérje komplexet létrehozva. A homogénezés után a fehérjemicellák mérete is kisebb.

A tej fizikai tulajdonságaiban bekövetkezett változások különböző emésztési előnyökkel járnak. A zsírabszorpció a kisebb zsírgolyócskák miatt könnyebb; ezért olyan emberek, akik gyomor-bél panaszokban szenvednek, a homogénezett tej zsírtartalmát könnyebben meg tudják emészteni. Egy patkánykísérletben a homogénezett tej nagyobb zsírabszorpciót, jobb fehérjeértékesülést és nagyobb testtömeg-gyarapodást eredményezett a homogénezetlen tejhez viszonyítva. A homogénezett tej íze a zsírgolyócskák nagyobb felülete miatt testesebb, és a homogénezett tej fehér színe is intenzívebb. Az előzőekben felsorolt előnyök miatt a fogyasztásra

szánt folyadéktejeket szinte teljes mennyiségben homogénezzik, és ma már nem homogénezett tej alig van kereskedelmi forgalomban.

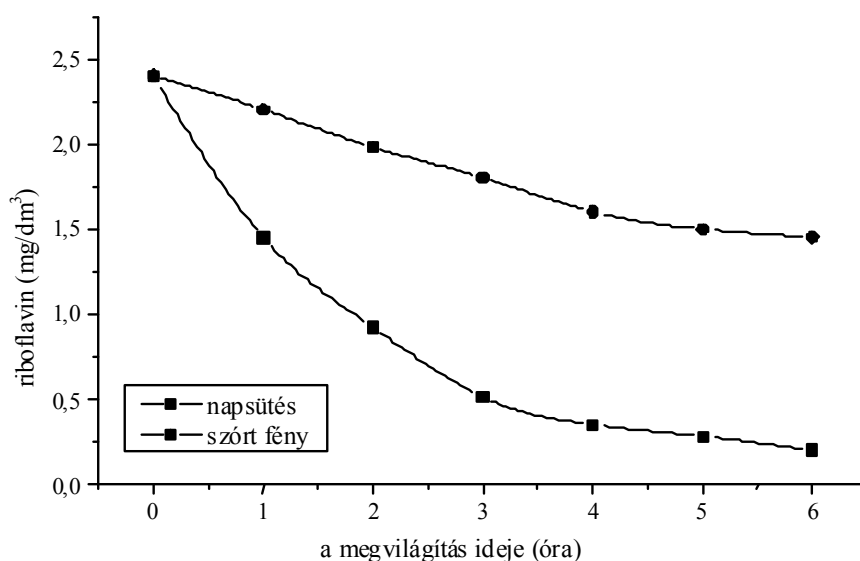
A közönségesen használt homogénezési módszerek nincsenek hatással a tej enzimaktivására. A homogénezett tejekben néha megfigyelt nagyobb fokú lipolízis a zsírgolyócskák nagyobb felületének köszönhető, mert nagyobb támadási felületet adnak a *lipázoknak*. Ez csak rendkívül kis számban okoz problémát, mivel a homogénezett tej *lipázai* inaktiválódnak a pasztörözés folyamán. A homogénezési eljárás meggátolja az oxidált íz kialakulását, érzékenyebbé teszi viszont a tejet a "fényíz" kialakulására. Mivel a homogénezett tejből készült bébitápszerekben a zsír gyorsabban emészthető. A fehérjeemésztés szintén gyorsabb, mivel sav hatására finomabb diszperzió, koagulátum keletkezik. Csecsemőkkel és iskoláskorúakkal végzett kísérletek során bebizonyították, hogy a homogénezett tej emésztéséhez kevesebb gyomornedv szükséges, mint a nem homogénezett tej esetében. A gyomorban való tartózkodás a homogénezett tej esetén ugyanolyan hosszú volt, mint az anyatejnél.

Néhány évvel ezelőtt az az elképzelés ütötte fel a fejét, hogy a homogénezett tej fogyasztása egy újabb rizikófaktor az arterioszklerózis és a szívkoszorúér-megbetegedés területén. A hipotézis szerint a homogénezett tej kisebb zsírgolyócskái sokkal könnyebben áthatolnak a vékonybél falán, magukkal szállítva a *xantin oxidáz* enzimeket, amelyek a zsírgolyócska membránjában helyezkednek el. Ezt az enzimet a vér elviszi az artériák falába és a szívizomba, ahol hisztokémiai változásokat okozva hozzájárulnak az említett betegségek kialakulásához. Ezt az állítást azonban a gyakorlatban nem sikerült bebizonyítani, sőt annak valóságtartalmát a következők cáfolják:

- Mivel a homogénezett tej szintén hőkezelt, a *xantin oxidáz* részben vagy teljesen inaktiválódik. Pasztörözött tejből ugyan aktivitásának 20–40%-át még megőrzi, de 80 °C fölé melegítve teljesen és irreverzibilisen inaktiválódik, így az UHT-tejben ez az enzim aktív formában egyáltalán nem fordul elő.
- A *xantin oxidáz* teljes mértékben inaktiválódik a gyomron való áthaladás során, ezért a bélrendszerbe aktív enzim soha sem kerülhet. Patkányokkal végzett kísérletekben megállapították, hogy a gyomorban az enzim rendkívül gyorsan inaktiválódik. Ezenkívül figyelembe kell venni azt, hogy az enzimek fehérjék, ezért lebomlanak az emésztőenzimek hatására. A *xantin oxidáz* lehasítódik a zsírgolyócska membránjáról, ezért nem tekinthető az enzim szállítójának.
- Állatkísérletekben bebizonyították, hogy a fehérjemolekulák képesek keresztülhatolni a vékonybél falán, de csak akkor, ha molekulatömegük 80 ezernél kevesebb. Mivel a *xantin oxidáz* molekulatömege 300 ezer körül van, ezért ez nem képes keresztülhatolni a vékonybél sejtfalán. Egy patkánykísérletben, ahol az állatokat hosszú időn keresztül homogénezett tehéntejjel etették, nem tapasztaltak növekedést a vér *xantin oxidáz-aktivitásában*. Az embereknél sem volt összefüggés a napi átlagos tejfogyasztás és a vér enzimaktivitása között, sőt a tejet nem fogyasztó emberek között is hasonló enzimaktivitást mértek.
- A *xantin oxidázt* nem lehetett limfocitákból kimutatni, amiből az következik, hogy az enzim nem tud behatolni a limfociták belsejébe. A *xantin oxidázt*, mivel metabolikus funkciói vannak, az emberi test maga is szintetizálja, ami magyarázza jelenlétét a test különböző szöveteiben. Hosszú ideig tartó intravénás *xantin oxidáz-adagolás* következtében nem csökkent a plazmalógén az aortában vagy a szívben és nem okozott elváltozásokat az artériákban. Mindezek miatt a homogénezett tej *xantin oxidáz-tartalma* a legkevésbé sem veszélyezteti az ember egészségét, így a vázolt hipotézis teljesen alaptalannak, légből kapottnak bizonyult.

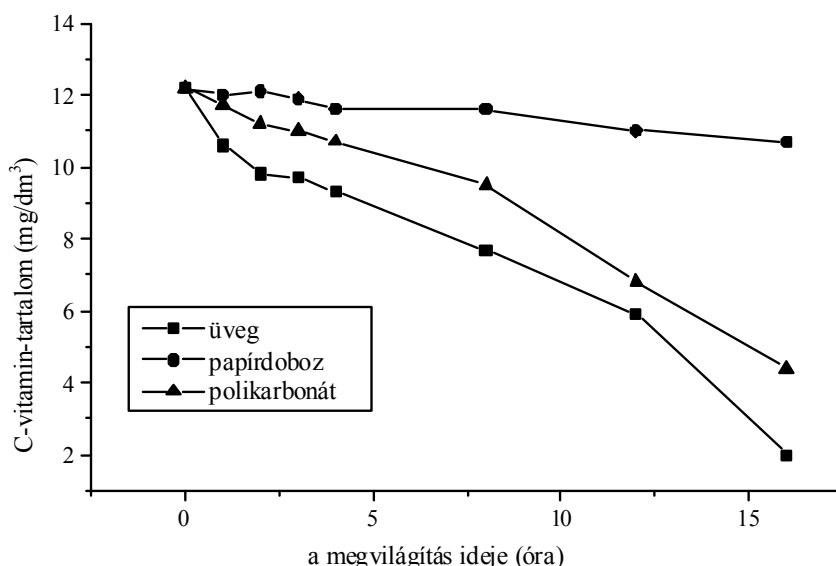
### 21.1.3. A tárolás során bekövetkező változások

A fogyasztási tej táplálkozási értékét elsősorban a fény és az oxigén változtathatja meg a tárolás során. Néhány vitamin erősen érzékeny mindkét behatással szemben. A riboflavin és az aszkorbinsav rendkívül érzékeny a fényre, különösen a rövidebb hullámhosszúakra. A B<sub>6</sub>- és a B<sub>12</sub>-vitamin, a folsav, az A- és a K-vitamin kevésbé, míg a B<sub>1</sub>- és E-vitamin, a nikotinsav, a biotin, a kolin, az inozitol és a D-vitamin egyáltalán nem érzékeny a fényre. Az oxidációra rendkívül érzékeny a folsav, a B<sub>12</sub>-, a C-, E-, A- és D-vitamin, a kolin, míg a B<sub>1</sub>-, B<sub>6</sub>- és a D-vitamin csak kevésbé érzékeny az oxigénre, a B<sub>2</sub>-vitamin, a nikotinsav, a pantoténsav, a biotin, az inozitol és a K-vitamin pedig egyáltalán nem érzékeny rá. Fentiek azt mutatják, hogy a fény és az oxigén kombinációja néhány vitamin elbomlásához vezet, ezért a rossz tárolási körülmények több vitaminvesztést okozhatnak, mint az előállítás.



**21.4. ábra.** A megvilágítás hatása a tej riboflavintartalmára

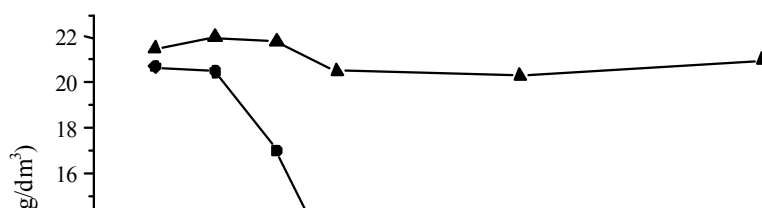
A riboflavin rendkívüli nagy érzékenysége a fényre egyértelmű, hisz a közvetlen napsugárzásnak kitett tejben a vitamin 90%-a néhány óra alatt elbomlik (21.4. ábra). A két C-vitaminvariáns közül az aszkorbinsav érzékenyebb a fényre és dehidroaszkorbinsavvá oxidálódik, amely csak hosszú ideig tartó fényhatás során alakul tovább diketogulonsavvá. A lebomlás főleg az 500 nm alatti rövidebb hullámhosszak hatására megy végbe. A vitaminok 70%-a is elbomolhat közvetlen napsütés mellett egy óra alatt. Egy kísérletben 200 lux esetén hat óra alatt a C-vitamin 12%-a, 2000 lux hatására 87%-a, 4000 lux hatására három óra alatt pedig a C-vitamin teljes mennyisége elbomlott. Egy órás napsütés után a B<sub>6</sub>- és B<sub>12</sub>-vitamin, valamint a folsav 20–30%-a elbomlott. A pasztőrözött tej E-vitamin-tartalmának 43%-a elbomlott négy napos világosban történő tárolás során.



**21.5. ábra.** Különböző csomagolású tejek C-vitamin-tartalmának változása a megvilágítási idő függvényében

A tej csomagolóanyagainak ezért megfelelő védeltséget kellene biztosítani a fényvel szemben. Ez a feltétel teljesül, ha a csomagolóanyag karton, belső oldalán alumíniumfóliával, de az átlátszó üveg vagy műanyag zacskók gyakorlatilag semmiféle védelmet nem nyújtanak a fényvel szemben, a színes csomagolóanyagokat viszont a fény kevésbé tudja átjárni. Számos kísérletben, ahol különböző csomagolóanyagokat tettek ki fényhatásnak bebizonyosodott, hogy a nem megfelelő fényvédő képesség miatt a B<sub>2</sub>- és a C-vitamin jelentős része elbomlott (21.5. ábra).

A hosszú ideig fényvel történő megvilágítás jelentősen befolyásolja a tej B<sub>6</sub>- és A-vitamin-tartalmát. Az eljárás folyamán a riboflavin lumikrómmá és lumiflavinné alakult át, amelyek katalizálják az aszkorbinsav elbomlását és koncentrációjának igen gyors csökkenését okozzák. Ha a tejet üveg vagy polikarbonát palackokban tárolják, a vitamintartalom már az első órákban is jelentősen csökken, és 16 órás tárolás után a tej C-vitamin-tartalma gyakorlatilag nullának tekinthető. Egy belső alumíniumréteggel ellátott kartondobozban való tárolás viszont megfelelő védelmet biztosít a fény ellen. Az ilyen csomagolóanyagok megvédik az UHT-tej vitamintartalmát, és hosszú szavatossági időt tesznek lehetővé. A fény a tejszír oxidációját is indukálhatja, de a fluoreszcens fény nincs hatással a fehérje aminosav-összetételére. A napfénybesugárzás jelentős izomlást okoz a tejben "fényíz" formájában. A metionin fény hatására átalakulhat metionallá, később metil-merkaptánná, ami hozzájárulhat a tej rossz ízéhez. Különböző aldehidek (propanal, hexanal és heptanal) is hozzájárulhatnak a kellemetlen íz kialakulásához, amely komponensek kialakulásában a riboflavinnak jelentős szerepe van. A B<sub>2</sub>-vitamin fény indukálta elbomlása a kereskedőházak tárolóiban alkalmazott megvilágítás hatására 2–4 óra alatt bekövetkezik.



**21.6. ábra.** *A pasztőrözött és a különböző UHT-tejek C-vitamin-tartalmának alakulása a tárolás során*

Az előzőek egyértelműen bizonyítják a fénynek ellenálló csomagolás rendkívüli jelentőségét a tej organoleptikus tulajdonságai megőrzése érdekében. A pasztőrözött tej aszkorbinsav-tartalma csökken a hűtőszekrényben való tárolás során is az oxigén jelenléte miatt. Az indirekt eljárással készült UHT-tej kb. 8 mg/kg oldott oxigént tartalmaz, aminek hatására aszkorbinsav-tartalma kéthetes tárolás alatt jelentős mértékben csökken. Ezzel szemben a direkt eljárással készült UHT-tej aszkorbinsav-tartalma az oxigén szinte teljes hiánya miatt gyakorlatilag változatlan (21.6. ábra). A folsav is teljesen inaktiválódik oxigénben gazdag tejben, míg oxigén hiányában eredeti koncentrációja a hosszú tárolási idő alatt is megmarad. Némileg nagyobb a veszteség a B<sub>12</sub>-vitaminnál oxigén jelenlétében, mint hiányában. A fentiek miatt az UHT-tejeből az oxigént el kell távolítani. Az indirekt hűtésnél ez egy gáztalanító lépés közbeiktatásával megvalósítható. Ezt követően természetesen meg kell akadályozni az oxigén ismételt felvételét, ami az oxigén számára átjárhatatlan csomagolóanyaggal, illetve a tej csomagolás előtti tárolásának kiiktatásával érhető el.

Az UHT-tej tárolása során a fehérje minősége nem változik jelentősen. A pszeudomonasz baktériumok *proteázainak* maradék aktivitása esetenként az NPN-tartalom megnövekedéséhez vezethet. A Maillard-reakció csak igen csekély mértékben megy végbe, ezért nem okozza a fehérje értékének csökkenését. Az UHT-tejet tekintjük ezért a legalkalmasabbnak a trópusokon és a fejlődő országokban való felhasználásra; csak extrém tárolási körülmények között (37 °C, 12 hónap vagy több) fordul elő csökkenés a fehérje emészthetőségében. Az UHT-tej szobahőmérsékleten való tárolása 10–30%-kal csökkenti néhány vitamin (B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub>, nikotinsav, pantoténsav) mennyiségét. A zsírsav-összetételben, illetve a trigliceridek mennyiségében bekövetkező változások még a hosszú tárolás után is csekélyek.

Az UHT-tej organoleptikus tulajdonságai is megváltoznak a tárolás folyamán, ami elsősorban a szabad szulfhidrilcsoportok csökkenésének köszönhető. A lipolízis következtében megnő a szabad zsírsavak mennyisége, ami szintén hozzájárul az organoleptikus tulajdonságok megváltozásához. A tárolási hőmérséklet függvényében megnő a metil-keetonok koncentrációja, az oxigén jelenléte pedig növeli az aldehidek mennyiségét, amelyek elsődlegesen felelősek a rossz íz kialakulásáért. Mivel a Maillard-reakció szobahőmérsékleten csak rendkívül lassan megy végbe, a tej HMF-tartalma csak kismértékben változik, sőt folyékony bébitápszerekben a HMF-tartalom hat hónapos tárolás során csökken. A hőnek ellenálló *lipázok* és *proteázok* azok, amelyek felelősek az UHT-tej organoleptikus tulajdonságainak megváltozásáért. A Maillard-reakciónak, és

a zsírok oxidációjának csak igen csekély hatása van ezen a területen, mivel ezek a reakciók hőmérsékletfüggőek. A tej 8 °C-on való tárolásával a rossz íz kialakulása megelőzhető.

A műanyag csomagolásból nem számottevő azon anyagok kioldódása, amelyek a későbbiek folyamán befolyásolják a tej minőségét. A poli(vinil-klorid) önmagában nem toxikus, de a monomerjét, a vinil-kloridot rákkeltőnek tartják, emiatt szigorúan megszüntették azokat a határokat, amiket a csomagolóanyagból származó kis molekulatömegű anyagok koncentrációja elérhet a tejben. A poli(vinil-kloridot) ritkán használják a tej csomagolására, a polisztirol, illetve a polietilén csomagolás sokkal elterjedtebb. A polietilén nem toxikus, de esetenként ízhibát okozhat a tejben.

#### 21.1.4. Kémiai tartósítószer

A mérsékelt égőv alatti országokban a tej kémiai tartósítása hidrogén-peroxiddal tilos, de néhány trópusi, szubtrópusi országban alkalmazható a nyers tej hosszú távolságra történő szállítása során, amikor a környező hőmérséklet túlzottan magas. 0,5–0,8% hidrogén-peroxid még 30 °C-on is tartósítja a tejet. A hidrogén-peroxid nem marad változatlanul a tejben, hisz a *kataláz* enzim tökéletesen elbontja. A baktericid hatása a hidrogén-peroxidból felszabaduló naszcenz oxigénnek köszönhető, amely nemcsak az *E. coli* növekedését gátolja, hanem a baktériumspórákat is elpusztítja. Hatására majdnem minden anaerob mikroorganizmus inaktívulódik, de néhány patogén szervezet túlélheti ezt a kezelést, ezért a pasztörözés továbbra is szükséges.

Az úgynevezett peroxid-katalázos eljárást néhány országban engedélyezik a sajtgyártáshoz használt tejek esetében. Az eljárással a sajtok vajsavas puffadását lehet egyebek közt kiküszöbölni. A hidrogén-peroxid a tejhez adott *kataláz* enzim hatására 30–40 perc alatt tökéletesen elbomlik. Az aszeptikus csomagolású UHT-tejknél a hidrogén-peroxidot gyakran alkalmazzák a csomagolóanyag töltés előtti sterilizálására. Ezt követően a hidrogén-peroxid forró levegő hatására elbomlik, ezért az UHT-tej gyakorlatilag nem tartalmaz hidrogén-peroxidot. Patkánykísérletekben kimutatták, hogy a hidrogén-peroxiddal kezelt tej táplálkozási értéke alig változik. A tejfehérje struktúrájában, főleg a savófehérjében, ugyan némi változás megfigyelhető, a kazein azonban jobban ellenáll a hidrogén-peroxid denaturáló hatásának. A kéntartalmú aminosavak, a metionin és a cisztin részlegesen oxidálódnak a hidrogén-peroxiddal, de a metionin oxidációjából keletkező metionin-szulfoxid ugyanolyan jól hasznosul a szervezetben, mint az eredeti metionin. A vitaminvesztés csak csekély; a tiamin, a piridoxin, a nikotinsav és az aszkorbinsav részben oxidálódnak a hidrogén-peroxiddal, de az egyéb vitaminok gyakorlatilag változatlanok maradnak. A hidrogén-peroxid csekély mértékben befolyásolja a *peroxidáz*, a *xantin oxidáz* és az *alkalikus*, valamint a *savas foszfatáz* enzim aktivitását.

### 21.2. Színtenyészetekkel előállított savanyú tejtermékek és a vaj

#### 21.2.1. Színtenyészetekkel előállított savanyú tejtermékek

##### 21.2.1.1. Összetétel

A különböző típusú tejtermékek előállítása során eltérő színtenyészeteket használnak. A tejsavtermelő sztreptokokkuszokat, mint pl. a *Streptococcus (S.) lactist*, a *S. cremorist* és a *S. diacetilactist*, a fermentációval előállított tejtermékek előállítására, a *Lactobacillus (L.) bulgaricust* és a *S. thermophilust* a rendkívül közkedvelt joghurt előállítására használják. (A tejsavbaktériumok nevezéktana a legújabb kutatások eredményeként megváltozott, de az új nevezéktan a tudományos szakirodalomban még nem terjedt el). A kefir készítésére a tejsavat

előállító sztreptokokkuszokat és a laktobacillusokat, valamint a szén-dioxidot és kevés alkoholt produkáló laktózfermentáló élesztőket használják.

**21.2. táblázat.** *A joghurt és a vaj átlagos összetétele*

<i>Komponens</i>	<i>Mértékegység</i>	<i>1 kg</i>	
		<i>joghurt</i>	<i>vaj</i>
<i>összetétele</i>			
Fehérje	g	33	7
Szénhidrát	g	40	7
Ásványi anyagok	g	8	1,2
Ca	g	1,2	0,16
P	g	0,9	0,2
Na	g	0,45	0,06
K	g	1,6	0,2
Mg	g	0,14	0,22
Zn	mg	4	2
Mn	mg	–	0,4
Fe	mg	1,0	0,9
Cu	mg	–	0,15
F	mg	–	1,3
I	mg	0,85	0,08
Cr	mg	–	0,15
Se	µg	5	3
Vitaminok			
A-vitamin	mg	0,30	6,8
Karotin	mg	0,15	5,8
Tiamin	mg	0,40	0,06
Riboflavin	mg	2,0	0,19
Piridoxin	mg	0,5	0,04
Nikotinsav	mg	1,4	0,5
Kobalamin	µg	3	–
Folsav	mg	0,1	–
Pantoténsav	mg	3,8	2,3
Biotin	µg	3	–
Aszkorbinsav	mg	10	–
D-vitamin	µg	–	10
Tokoferol	mg	1,8	28
K-vitamin	mg	–	0,6
Tejsav	g	8	–

Míg a hagyományosan készített kefirekben az alkohol koncentrációja 0,2–1,0% közötti, addig a mai kereskedelmi forgalomban kapható kefir alkoholtartalma csak 0,02 és 0,05% között van. Szintenyészeteket használnak pl. a kumiszt előállítására kancatejből, amelynek során a laktobacillus fajok és a szacharomices élesztőfajok legalább 1%-os alkoholtartalmú tejsavas italt produkálnak. A kumiszt átlagos összetétele: 1,9% zsír, 2,2% fehérje, 2,2% laktóz, valamint változó koncentrációban alkohol, tejsav és egyéb ízanyagok.

A szintenyézzettel készült tejtermékek összetételét legnagyobb mértékben a kiindulási tej összetétele határozza meg; ennek komponensei alig változnak pl. a joghurt-előállítás folyamán (21.2. táblázat). A joghurt zsírtartalma attól függ, hogy zsírtalanított, részben zsírtalanított vagy teljes tejből készült. A laktóztartalom csökken a joghurtkészítés során, hisz az részben átalakul tejsavvá. A laktóz hidrolízis termékeiből, a galaktózból és a glükózból, a joghurt eltérő mennyiségeket tartalmaz: a galaktóztartalom 1% körüli, míg a glükóztartalom egészen csekély. A gyümölcsjoghurtok 9–12% szénhidrátot is tartalmaznak szacharóz, glükóz és fruktóz formájában. A fehérjékben gazdagított joghurt fehérjetartalma 4–5%-kal nő, és nő a joghurt fehérje- és ásványianyag-tartalma is, amikor sűrített tejet használnak előállításukra. A *L. bulgaricus* proteolitikus enzimjei hatására megnő a joghurt szabadaminosav-tartalma, különösen prolintartalma, amelynek koncentrációja elérheti a 300–500 mg/kg-ot is. A joghurt karbamidtartalma viszont a *S. thermophilus* aktivitásának következtében (amelynek proteolitikus aktivitása csekély, és amely az egyéb szervezetek által felszabadított aminosavakat használja fel életműködése során) az eredeti érték 10%-ára csökken. A proteolízis a hagyományos aludttejben kisebb mértékű, mint a joghurtban. A frissen gyártott joghurtban az eredeti fehérjének csak 1–2%-a található szabad aminosav formában, de a szabadaminosav-tartalom folyamatosan nő a tárolás során.

A zsírok elbomlása, a laktóz, a fehérje, valamint a citromsav adják azokat az aromaanyagokat, amelyek jellemzőek a joghurtokra. Az egyik legfontosabb az acetaldehid, amelynek koncentrációja 15–40 mg/kg. A többi aromaanyag az acetoin, az etil-acetát, a laktonok és az észterek. Hozzájárulnak még a joghurt ízanyagainak kialakulásához a szabad zsírsavak, a diacetil és az acetoin. Az aromaanyagok kialakulásával párhuzamosan fejlődő szén-dioxid is részt vesz a joghurt friss ízének kialakításában, és a szabad aminosavak szintén aromakomponensek. A kefir ízét elsősorban az illózsírsavak, az acetaldehid, az acetoin, a butanon, az acetoin, a diacetil, valamint a propionaldehid és az amil-alkohol alakítja ki. A joghurt előállítása során a tejsavbaktériumok – főként a szaporodási szakaszban – sok vitamint szintetizálnak, és úgy tűnik, hogy néhány vitamin szintézisére a későbbiek folyamán is képesek; ugyanekkor számos vitamin mennyisége csökkenő tendenciát mutat. A B<sub>12</sub>-vitamin szükséges a joghurtkultúrák működéséhez, ezért ennek koncentrációja a végtermékben csak a fele az eredeti tejének. A többi B-vitamin hatása lényegesen csekélyebb, mivel néhányat a vitaminok közül (B<sub>2</sub>, biotin és kolin) a mikroorganizmusok is képesek szintetizálni. Néhány szerző a joghurt magasabb folsav-, nikotinsav-, biotin-, pantoténsav-, valamint B<sub>6</sub>- és B<sub>12</sub>-vitamin-tartalmáról számol be az eredeti tejhez viszonyítva. Lehetséges magyarázat erre, hogy néhány tejsavbaktérium-tenyészet képes ezeket a vitaminokat nagyobb mennyiségben szintetizálni. A joghurt aszkorbinsav-tartalma lényegesen lecsökken a joghurtgyártásnál alkalmazott erőteljesebb hőkezelés miatt. Tehát a tej vitamintartalma gyakorlatilag nem csökken a joghurtkészítés folyamán. Kézenfekvő a C-vitamin-pótlás a joghurt esetében, mert a savas közeg megakadályozza elbomlását a tárolás során, és az aszkorbinsav-hozzáadás nem befolyásolja károsan a joghurt íz- és aromaanyagait. A gyümölcsjoghurtok C-vitamin-tartalma rendszerint szintén magasabb mint a kiindulási tejé.

A kefir és a kumis esetében nagyobb B<sub>1</sub>-, B<sub>2</sub>-, B<sub>6</sub>-vitamin- és pantoténsav-tartalomról számoltak be a kiindulási tejhez viszonyítva. A kefir és más savanyított tejtermékek kobalamin-tartalmának növelésére javasolják, hogy a tenyészethez adjanak *Propionibacterium (P.) shermanii* tenyészetet, mert ezek a mikroorganizmusok szimbiózisban más mikroorganizmusokkal, különösen a kefirlesztőkkel, nagy mennyiségben képesek a B<sub>12</sub>-, valamint a B<sub>1</sub>-, B<sub>2</sub>-, B<sub>6</sub>-vitamin, a nikotinsav és a folsav szintézisére. Ezzel a módszerrel a kefir B-vitamin-tartalmát mintegy 10-szeresére lehet növelni. Ezeket a vitaminokban gazdagított termékeket azután szárítják és olyan embercsoportok táplálására használják fel, akik B-vitamin-hiányban szenvednek, hisz 100–200 g így készített tejtermék tartalmazza egy felnőtt napi B<sub>12</sub>-vitamin-szükségletét. Savanyított tejtermékek tejsavtartalma 0,7–1,0% között változik. A citromsav aromaanyagokká alakul át a



joghurt előállítása folyamán, ezért koncentrációja csökken, a kefir citromsavtartalma gyakorlatilag nulla. Az orotsavtartalom szintén csökken, mivel a mikroorganizmusok nukleotidok szintézisére használják fel. A szintenyészetekkel készített tejtermékek benzoosav-tartalma nő, mivel a benzoosav a starterkultúrák metabolizmusának mellékterméke. A joghurt és a kefir benzoosav-tartalma 30 mg/kg.

A kultúrákkal készített tejtermékeket az élesztők és penészek eltávolítására, valamint a tápláléérték megnövelésére néha utóhőkezelik az előállítás után. Néhányan úgy vélik, hogy ez a kezelés csökkenti a termék minőségét, mivel a kultúrákkal készült utóhőkezelt termékek csökkentették a kísérleti patkányok testtömegének növekedését, továbbá a hőkezelés csökkentette a *laktázaktivitást* is. A szintenyészetekkel készült tejtermékek tejsavtartalma lehetővé teszi a hosszú időn keresztül történő tárolást, ezért forró égővi országokban ezek a készítmények széles körben elterjedtek. Gyakran használják őket gabonafélékkel történő keverékekben, amelyek fehérjékben, ásványi anyagokban és vitaminokban gazdagok.

Sok baktérium termel olyan poliszacharidokat, amelyeket nem épít be, hanem kijuttat a sejtből. Ez az anyag vagy a sejt közötti térbe jutva nyálkát képez, vagy kívülről rögzül a sejtfalhoz, burokként körbevéve azt. Ezen poliszacharidokat exopoliszacharidoknak (a továbbiakban EPS) nevezzük, mivel a poliszacharidok a sejt falon kívül találhatóak. Számos tejsavbaktérium is képes EPS-termelésre. E nyálkatermelő kultúrák alkalmazása a joghurtgyártásban javíthatja a termék szerkezetét, mivel az EPS hatására kedvezőbbé válhatnak a reológiai tulajdonságok, nőhet a viszkozitás, valamint a géltörés és a szinerézis megelőzhető. Egyes EPS-termelő tejsavbaktérium fajták használatával elkerülhető a növényi eredetű állományjavítók használata, s így „természetes”, „adalékmentes” joghurtot, illetve jégkrémet állíthatunk elő. Az EPS jelenléte azonban nem minden élelmiszer esetében kívánatos, ugyanis pl. a borok állaga nyálkás, olajos lesz tőle.

Egyes EPS-fajták kedvező hatással lehetnek az ember egészségére, egyrészt mivel nem emészthető élelmiszeralkotók, másrészt rákellenes és koleszterinszint-csökkentő hatást is tulajdonítanak nekik. Napjainkban folyamatban van a különböző tejsavbaktérium-fajok által termelt EPS szerkezetének és mennyiségének feltérképezése. A szerkezet egyes szerzők szerint ugyanazon fajta esetében is eltérő lehet a fermentációs körülmények függvényében, és a termelt EPS mennyisége a fermentációs körülményektől, fajtától függően is tág határok között változik. Ahhoz, hogy az EPS-termelő fajok által nyújtott előnyöket kiaknázhassuk az élelmiszer-iparban, egyrészt ismernünk kell, hogy melyik fajta milyen körülmények között milyen mennyiségű és szerkezetű EPS-ot termel, másrészt, hogy az adott szerkezetű és mennyiségű EPS szignifikánsan javítja-e a termék fizikai tulajdonságait.

A nemkívánatos EPS esetében (pl. nyálkás bor) a viszkozitást csökkentő enzimes kezelés kidolgozása a cél, s ehhez szintén az adott EPS szerkezetének ismerete szükséges. A tejsavbaktériumok által termelt EPS-ok kémiai szerkezetük alapján három csoportba oszthatók:

- $\alpha$ -glükánok, amelyek főként  $\alpha$ -1,6 és  $\alpha$ -1,3 kötésekkel kapcsolódó glükóz egységekből állnak, például a dextránok és mutánok,
- fruktánok, amelyeket leginkább  $\beta$ -2,6 kötéssel kapcsolódó fruktózmolekulák alkotnak, például a leván,
- és heteropoliszacharidok.

Az oligoszacharidok közül jelenleg az érdeklődés középpontjába kerültek azon, 2–10 molekula glükózt és/vagy fruktózt és galaktózt tartalmazó szerkezetek, amelyeket galakto-oligoszacharidoknak (a továbbiakban GalOS) nevezünk. A GalOS-ok pozitívan hatnak a bélműködésre: elősegítik a hasznos bifidobaktériumok szaporodását, csökkentik a pH-t és a rothadás során keletkező termékek mennyiségét. Mivel emészthetetlenek, a diétás rosthoz hasonló fiziológiai hatást fejtenek ki, azaz csökkentik a vérszérum koleszterinszintjét és a vérnyomást,

ezenkívül élelmiszer- és kozmetikai adalékként is használatosak (pl. kis energiatartalmú édesítőszer). Mindezek miatt tanulmányozzák a GalOS-ok ipari előállításának lehetőségeit, amelyre háromféle módszer ismeretes:

- a galaktán és a laktóz kémiai vagy enzimes hidrolízise,
- kémiai vagy enzimes szintézis,
- eukarióta sejt kultúrák fermentációja.

A savó magas laktóztartalma miatt alkalmas alapanyag a GalOS-ok enzimes termelésére. Vizsgálták az enzimes módszerek termelékenységét, és optimalizálták a fermentációs paramétereket. Ezekhez a vizsgálatokhoz, valamint az EPS-ok és a GalOS-ok élelmiszer-ipari alkalmazása és élettani hatásainak vizsgálata érdekében szükség van az előállított GalOS-ok mennyiségének és szerkezetének meghatározására.

#### 21.2.1.2. A szintenyészetekkel előállított tejtermékek szerepe az emésztésben

A szintenyészetekkel készült termékek emészthetősége jobb, mint a kiindulási anyagé. Ennek két oka van.

- Az első az, hogy a tejsavbaktérium által termelt tejsav rendkívül finom csapadék formájában kicsapja a fehérjét. Az apró részecskék óriási felülete lehetőséget biztosít az emésztőenzimek számára a fehérje lehető legnagyobb felületen való megtámadására és gyors lebontására.
- A második ok, hogy az előállítás során a mikroorganizmusok a fehérje egy részét peptidekké és szabad aminosavakká bontják le, amit a fehérje előemésztésének is neveznek. A nyerstejben lévő fehérjét kétszer annyi idő alatt tudják lebontani az enzimek, mint a joghurtét.

A fermentált tejtermékek *pepszin-pankreatin* enzim emésztési indexe nagyobb, mint a kiindulási tejé. A biológiai érték és az NPU-érték gyakorlatilag nem változik a fermentáció során, és a savanyított tejtermékekben a fehérje allergén hatása sokkal kisebb, mint az eredeti nyers tejben. A savanyított tejtermékekben a lipolitikus enzimek hatására a tejsír emészthetősége és abszorpciója jelentős mértékben megnő. Beszámoltak arról is, hogy a fermentációval készült tejtermék fogyasztására megnőtt a nyál, az epe, a gyomornedv és a hasnyálmirigy elválasztása, és csökkent az étel emésztőtraktusban eltöltött ideje. A patkányok testtömeg-gyarapodása nagyobb volt, amikor joghurtot keverték a takarmányhoz. A fehérje emészthetősége a joghurtban az anyatejéhez hasonló, ezért a fermentációval készült tejtermékeket különösen értékesnek tartják csecsemők és gyermekek táplálásában, és hasonló előnyöket tapasztaltak idősebb embereknél is. A fejlődő országokban különös veszélyt jelent, hogy a gyermekek hat hónapos kortól kétéves korig nem kapják meg a magas biológiai értékű fehérjét. Fermentált tejtermékekkel át lehet hidalni ezt a szakadékot a jelzett életkorban, és általánosan megállapítható, hogy ezek a termékek rendkívül értékes állati eredetű fehérjeforrások a fejlődő országok növekvő népessége számára.

A fermentált tejtermékek még a laktóznál is jobban javítják a kalcium felszívódását, mivel a tejsav részt vesz a kalcium hasznosulásának folyamatában. Arra a következtetésre jutottak, hogy a tejsav, a laktóz, a D-vitamin és a kalcium speciális kombinációja savanyított tejtermékekben különösen optimális feltételeket teremt a kalcium felszívódására. Patkányokkal végzett kísérletekkel bizonyították, hogy több kalcium abszorbeálódott és hasznosult akkor, amikor joghurtot keverték a takarmányhoz. Ez utóbbi esetben a foszfor és a vas retenciója szintén nőtt.

A tejsav két optikai izomerjének (L(+), D(-)) különböző fiziológiás tulajdonságai vannak. A D(-) izomerek csak egy kis része hasznosul az emberi szervezetben, ezzel szemben úgy tűnik, hogy a patkány többé-kevésbé jól hasznosítja ezt az izomert is, mivel 24 óra alatt az elfogyasztott

D-izomernek csak 1–2%-a jelent meg a vizeletben. Ennek ellenére úgy látszik, hogy a két izomer metabolizmusa különböző a szervezetben. Az ember csak egy részét tudja lebontani a D(–) tejsavnak, de csak a rendkívül kiegyensúlyozatlan és rendkívül nagy koncentrációban fogyasztott tejsav esetében fordul elő D(–) tejsavakkumuláció a szervezetben, amelyből jelen pillanatban még nem tudjuk, okoz-e valamilyen károsodást. A szintetizetekkel készült tejtermékek általában mindkét tejsavizomert tartalmaznak, a D-izomer relatív aránya azonban függ az alkalmazott kultúrától és még számos egyéb tényezőtől is, amelyek közül legfontosabb az inkubálás hőmérséklete. A sztreptokokkuszok által szintetizált tejsav több mint 92%-a L-izomer, a *L. bulgaricus* pedig szinte csak D-izomert termel. A joghurt fermentációja során főként L(+) tejsav keletkezik, de a D-izomer koncentrációja nő a tárolás folyamán. A savanyú tej, a kefir, az író és a túró D-tejsav-tartalma rendkívül alacsony, ezzel szemben a hagyományos technológiával készült kefir tejsavtartalmának kb. 50%-a D-izomer. A joghurt D-tejsavból többet tartalmazhat, mint a többi fermentációval készült tejtermék, és magas lehet a D-izomer részaránya a gyümölcsjoghurtokban is (21.3. táblázat).

**21.3. táblázat.** *Savanyú tejtermékek D(–) tejsav-tartalma*

<i>Termék</i>	<i>A D(–) tejsav %-os aránya az összes tejsavhoz viszonyítva</i>
Kefir	2–5
Író*	3–6
Savanyú tej	4–12
Túró	4–14
Joghurt	25–60
Sajt	10–50

\*savanyú tejszínből készült

Különböző típusú sajtok D(–)tejsav-tartalma egészen eltérő lehet. Többen javasolják, hogy olyan starterkultúrákat kell alkalmazni a sajtgyártás során, amelyek főként L(+)tejsavat termelnek. A WHO javaslata szerint a maximális napi D(–)tejsav-fogyasztásnak nem szabadna többnek lenni 100 mg-nál testtömeg-kilogrammonként, de néhányan úgy gondolják, hogy ez a mennyiség már meghaladja azt a mértéket, amelyet a szervezet még metabolizálni tud, ezért a napi D(–)tejsav-felvétel maximumát 60 mg-ban jelölik meg testtömeg-kilogrammonként. Ezen alacsonyabb érték alapján egy 60 kg-os felnőtt ember 1 kg joghurtot fogyaszthatna naponta anélkül, hogy a D(–)tejsav javasolt mennyiségénél több kerülne a szervezetbe. Ennek alapján leszűrhető az a következtetés, hogy a normál táplálkozási körülmények között a szervezetbe jutó D(–)tejsavnak gyakorlatilag nincs egészségkárosító hatása.

### 21.2.1.3. Táplálkozási szempontok

A fermentációval készült tejtermékeket rendkívül előnyösen lehet felhasználni olyan emberek táplálására, akik gyomor-bél panaszokban szenvednek, mint amilyen a gyomorsav elválasztásának panasza vagy a vékonybél és vastagbél gyulladása. A savanyított tejtermékek fogyasztása több páciensnél korrigálta a gyomorsavhiányt. Beszámoltak arról is, hogy a joghurtfogyasztás kedvező volt gyerekek hasmenésének és más emésztőszervi megbetegedések kezelésére is. Számos, állatokkal és emberekkel végzett kísérletben kimutatták, hogy a tej koleszterincsökkentő hatása valószínűleg nő a fermentáció hatására, bár ezen kísérletek eredményeit azok a tanulmányok nem tudták megerősíteni, amelyek a szérumkoleszterin szintjét nagymennyiségű joghurt fogyasztásával próbálták csökkenteni.

Az előző fejezetek egyikében már szó volt róla, hogy a laktóztartalom csökkenthető *laktáz* enzim adagolásával, ami alkalmassá teszi ezen termékek fogyasztását azok számára is akik laktózmalabszorpcióban szenvednek. Sokan beszámoltak arról is, hogy a kultúrákkal készített tejtermékeknek antimikrobiális hatása is van. Néhányan ezt a hatást a tejsavnak tulajdonítják, amely megvédi a terméket a baktériumok elszaporodásától, mások szerint viszont néhány laktobacillus tenyészet képes antibiotikumszerű anyagok szintézisére, amely meggátolja a patogén szervezetek elszaporodását. Az ilyen anyagok különösen hatásosak a Gram-negatív bélbaktériumokkal szemben. Sertésekkel végzett kísérletben megállapították, hogy a joghurt csökkentette az *E. coli*-számot a vékonybélben, és a patogén mikroorganizmusok is gyorsabban távoztak a szervezetből a kísérleti csoportnál a kontroll csoporthoz viszonyítva. A bakteriosztatikus- és baktericid hatás teljesen nyilvánvalóvá válik, amikor patogén mikroorganizmusokat juttatunk a fermentációval készített termékekbe. Így például a szalmonella a joghurtban pár óra alatt elpusztult, és a joghurton kívül a kefir antimikrobiális hatásáról is beszámoltak.

A volt Szovjetunió területén a kumisznak speciális, *Mycobacterium (M.) tuberculosis* elleni antibiotikus hatást tulajdonítottak, ezért az orosz kórházakban a tüdőbaj korai szakaszában a kumis részét volt az integrált gyógyításának. Megfigyelték, hogy a tuberkulózisbacillusok az erjesztett tejtermékekbe juttatva néhány óra alatt elpusztultak. Valószínűleg a benne lévő antibiotikumok miatt a kumis is rendkívül hatékony volt a tuberkulózis kezelésére. A kumis az anaerob spórás baktériumok növekedését is gátolja, ezért májgyulladásos gyerekek kezelésére is alkalmazták. Egy kísérletben tumorsejteket implantáltak egerekbe, miközben az állatok ad libitum fogyasztottak joghurtot. Megállapították, hogy a tumorsejtek nem szaporodtak el a vékonybélben, ezért a joghurtnak rákellenes hatást is tulajdonítanak. Hasonló sejtburjánzás-ellenes hatást tapasztaltak egerekkel végzett vizsgálatoknál a *L. casei* esetében is. A patkánykutatásoknál a karcinogén anyagok rákkeltő hatását fermentált tejtermékek etetésével meg tudták előzni.

#### 21.2.1.4. A szintenyészetekkel előállított tejtermékek mikrobiológiai szempontú értékelése

Régebben azt gondolták, hogy a fermentált tejtermékek fogyasztásával az emésztő rendszer természetes bélflóráját helyre lehet állítani. Mivel a *L. bulgaricus* nem része a normál bélflórának, ezért joghurt fogyasztásával a természetes bélflóra nem állítható helyre. Az úgynevezett acidofil-tejben, amelyet a tej *L. acidophilussal* történő beoltásával kapnak, olyan baktérium található, amely eredetileg is része a bél flórájának. Meg kell jegyezni azonban azt is, hogy a bélben lévő mikroorganizmusok alig szaporodnak a tejben, mivel az nem természetes közegük, ezért aztán más mikroorganizmusok szaporodása elnyomhatja a bél eredeti mikroflóráját. Általában nem lehetséges a bélflóra mikroorganizmusait elszaporítani a gyomor erősen savas (pH 0,9–1,6) kémhatása miatt sem, hisz ez a legtöbb mikroorganizmust megöli. Azokat a mikroorganizmusokat, amelyek keresztüljutnak a gyomron, a vékonybél első szakaszának baktericid anyagai támadják meg, mint amilyen pl. a dezoxikolsav az epében, amely igen erős baktericid hatással rendelkezik a *L. acidophilussal* szemben, és ez az oka annak, amiért szinte lehetetlen mikroorganizmusokat bevinni a bélrendszerbe a táplálékok segítségével. Sertésekkel végzett kísérletekben nem találtak különbséget a bélflórában, ha az állatok élő, ill. elölt baktériumokat tartalmazó joghurtot fogyasztottak. Élő baktériumokat keverve az egerek takarmányához, nem találtak bizonyítékot arra, hogy ezek eljutottak volna a gyomor- és a bél nyálkahártyájához. A joghurtkultúrában található mikroorganizmusok gyakorlatilag teljesen eltűntek, miközben áthaladtak a gyomor- és bélrendszeren, és nem találtak bizonyítékot arra nézve sem, hogy a *Bifidobacterium (B.) bifidum* és a *L. acidophilus* permanensen megmaradt volna a bélben, és arra sincs bizonyíték, hogy a bélflórának fontos fiziológiás funkciója lenne. Kétséges a *L. acidophilus* fontossága is, mivel számos egészséges ember emésztő rendszere nem

tartalmazza azt. Ennek ellenére a fermentációval készült tejtermékek rendkívül értékes élelmiszerek, mivel táplálják a természetes bélbaktériumokat, és mert a bennük lejátszódó biokémiai változások rendkívül jó élettani hatással bírnak. A szintenyészetekkel készített tejtermékek legfontosabb bélflórára ható komponense a laktóz.

Ezért meglepő arról olvasni a szakirodalomban, hogy az élelmiszerekkel az emésztőrendszerbe került mikroorganizmusok megtelepednek a bélben. Beszámoltak olyan, emberekkel és állatokkal végzett kísérletekről, amelyekben megállapították, hogy a *L. acidophilus* és a *L. bulgaricus* kultúrákkal készült tejtermékek fogyasztása csökkentette a kóliformok és növelte a laktobacillusok számát a bélrendszerben. Ezekből a kísérletekből azt a következtetést lehet levonni, hogy a kultúrákkal készített tejtermékek hozzájárulnak a bélflóra regenerálásához és a bélpanaszok megelőzéséhez. Nem lehet azonban levonni ezekből a kísérletekből azt a következtetést, hogy néhány bélbaktérium eredetileg is jelen van az élelmiszerekben, az élelmiszer összetételének megváltoztatásával viszont (a savanyított tejtermékek esetében főleg a laktóz és tejsav által) megváltozhat a bélflóra. Ilyen változásokat főleg olyan embereknél figyeltek meg, akik bélrendszeri problémákkal küzdenek, de szinte sohasem fordult elő hirtelen és drasztikus változás a bélflóra összetételében egészséges embereknél. Gyermeknél könnyebben lehetséges a bélflóra összetételének megváltoztatása a táplálék összetételének változtatásával. Lehetséges, sőt valószínű az is, hogy néhány laktobacillus tenyészet túléli az emésztőrendszer rájuk nézve rendkívül kedvezőtlen körülményeit is. A *L. casei* pl., amelyet Japánban és Dél-Koreában előszeretettel alkalmaznak savanyú tejtermékek előállítására, úgy tűnik, ellenáll az epének. Beszámoltak arról is, hogy a *L. bulgaricus* és a *S. thermophilus* nem tud keresztülmenni a bélrendszeren életképességének elvesztése nélkül, ennek ellenére átmeneti növekedést figyeltek meg a bélflóra laktobacillusainak számában.

A tejcukorból képződő laktulóz és laktitol a bélazonos tejsavbaktériumok és bifidobaktériumok kizárólagos táplálékai, ezért ezek serkentik a bélazonos baktériumok elszaporodását, azok túlsúlyba kerülését. Ezeket a tejfeldolgozás (ultrapasztörözés) hatására keletkező speciális szénhidrátokat, amelyek biztosítják az emberi vastagbélben a jótékony hatású mikroorganizmusok elszaporodását (a káros, rákkeltő, mérgező baktériumokkal szemben) prebiotikumoknak hívjuk. Azokat a humán bélbarát tejsavbaktériumokat pedig, amelyek nélkül az emberi élet nem képzelhető el, probiotikumoknak nevezzük, a velük készített tejtermékek pedig probiotikusak.

A probiotikumok és a prebiotikumok együtt a szimbiotikumokat jelentik, tehát szimbiotikusak azok a tejtermékek, amelyek készítésénél prebiotikumokat is és probiotikumokat is felhasználnak. A probiotikus szintenyészetekkel előállított tejtermékek a múlt század utolsó évtizedeiben rendkívüli módon elterjedtek. Legismertebbek közülük a savanyú tejkészítmények és italok, de századunk első évtizedében a probiotikus sajtok nagymértvű elterjedése is várható. A probiotikus kultúrákkal készített tejtermékek fogyasztásának hatására bizonyítottan csökken a vérérum koleszterinszintje. Ennek következtében kisebb lesz az érlemezsedés kockázata, a  $\beta$ -galaktozidáz termelése következtében a tejcukor-érzékenység gyakorisága ötödére csökken, a probiotikus baktériumok rövidszénláncúszírsav-termelése véd az elhízás ellen, az egészséges bélflóra helyreállítása, a fekálenzimek aktivitásának csökkentése és a fekátoxinok visszaszorítása révén pedig csökken a vastagbélrák előfordulása, ezért a probiotikus termékek nagymértékben hozzájárulhatnak a hazai lakosság egészségi állapotának javításához.

## 21.2.2. A vaj

### 21.2.2.1. Összetétel

A vaj zsírtartalmára annak víztartalmából lehet következtetni. A vaj maximális megengedett víztartalma 16%, zsírtartalma kb. 82%, a maradék 2%-ot pedig a fehérjék, a szénhidrátok és az ásványi anyagok teszik ki. A vaj átlagos összetételét a 21.2. táblázat tartalmazza, amelyből látható, hogy a sózott vaj nátriumtartalma elérheti a 10 g/kg-ot is. A vízoldható vitaminoknak csak kis része megy át a vajba, de a zsíroidható vitaminok koncentrációja, különösen az A-vitaminé és a tokoferolé, sokkal nagyobb, mint a tejben, ezért a vaj az egyik legfontosabb természetes A-vitamin forrásnak tekinthető. A tokoferol a vajban csak  $\alpha$ -formában fordul elő. A nyáron készült vaj több A- és E-vitamint tartalmaz, mint a téli. Az  $\alpha$ -tokoferol rendkívül hatásos antioxidáns, amely megvédi az A-vitamint és a karotint az oxidációtól, ezért 0,01–0,02% tokoferol hozzáadását javasolják a hosszú ideig tárolt vajhoz, és ugyancsak szokás aszkorbinsavat adni a vajhoz antioxidánsként. Különösen télen, amikor a karotintartalma rendkívül alacsony, színezőanyagot is adnak a vajhoz, amely lehet  $\beta$ -karotin vagy valamilyen más egyéb növényi színezék. A hosszú ideig végzett állatkísérletekkel bizonyították, hogy más adalékok káros hatással is járhatnak, a  $\beta$ -karotin koncentrációjának növelése viszont növeli a vaj A-vitamin-értékét.

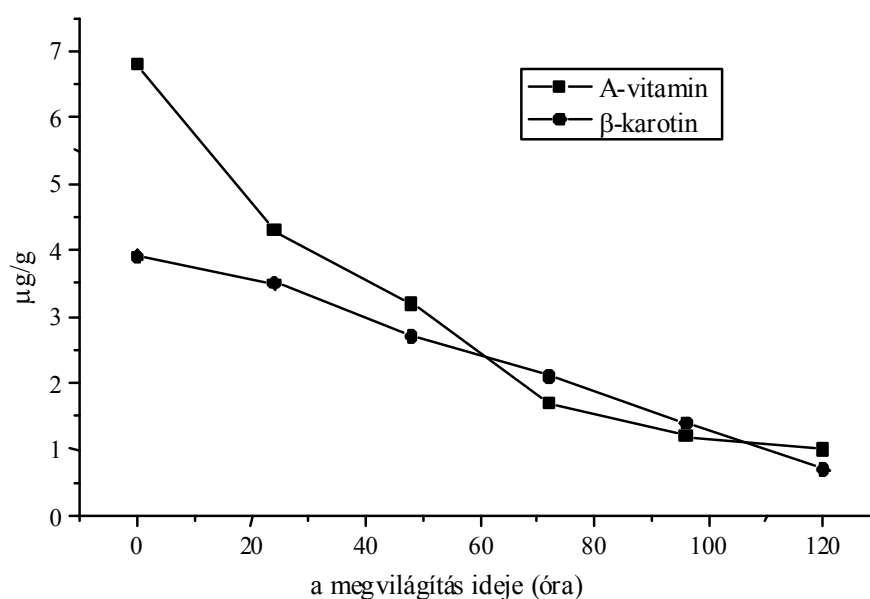
A tejszín érlelése során sok olyan vegyület keletkezik, amelyek hozzájárulnak a vajra jellemző aromához. A starterkultúra két legfontosabb komponense, a *S. lactis* és a *S. cremoris*, a laktózt tejsavvá alakítják át, ezzel párhuzamosan kis mennyiségben szén-dioxidot, alkoholt és ecetsavat is termel. Azonban azok a szervezetek, amelyek igazán felelősek a vaj aromaanyagainak kialakulásáért a *S. diacetylactis* és a *Leuconostoc (L.) citrovorum*. Ezek főként a citromsavat, kisebb mértékben pedig a laktózt alakítják át aromaanyagokká, amelyek közül a legfontosabb az acetoin és a diacetyl. Kisebb mennyiségben még acetaldehidet, acetont és etil-alkoholt is termelnek.

Az érlelési szakasz folyamán termelődő diacetylnek kb. 40%-a, az acetoinnak 10%-a található meg a vajban, mert ezen anyagok nagyobb része átmegy az íróba, illetve a mosóvízbe. A vaj diacetyl-tartalma 0,2–3,9 mg/kg között változik, amelyből legalább 1 mg/kg szükséges a jó vajaroma kialakításához. A diacetyl érzékelési küszöbe kb. 0,055 mg/kg. A vaj több acetoint tartalmaz, mint diacetyl, amelynek koncentrációja elérheti a 35 mg/kg-t is. A vaj aromaanyagainak kialakulásához még az alábbi vegyületek is hozzájárulnak: aldehidek, ketonok, laktonok, alkoholok, észterek, dimetil-szulfid és számos szabad zsírsav. A szabad laktonok koncentrációja a vajban 10–50 mg/kg között van, és koncentrációjuk a tárolás során folyamatosan nő. A laktonok fő összetevője a delta-deka-laktontól a hexa-deka-laktonig terjed. A tejszín hőkezelése során a vajkészítést megelőzően számos szabad szulfhidrilcsoport keletkezik, amely a frissen készített vajnak főtt ízt kölcsönöz, ez az íz azonban néhány napon belül eltűnik. A szabad SH-csoportok antioxidánsként viselkednek. A vaj tápláléértékéről ugyanazokat lehet elmondani, mint amit a tejszír értékelése során már említettünk.

### 21.2.2.2. A tárolás során bekövetkező változások

Hosszú ideig tartó tárolás során alig változik meg a vaj A-vitamin-tartalma, de a vajra jellemző aromaanyagok jelentős mértékben elbomlanak. Így például 30 napon keresztül 10 °C-on való tárolás során a vaj diacetyl- és acetoin-tartalma 30–40%-kal csökken. Az ízben végbemenő változást a szabad zsírsavak, a metil-ketonok és a laktonok koncentrációjának megváltozása okozza, amit jelentős mértékben befolyásol a tárolás időtartama és hőmérséklete. A legnagyobb kárt a vaj ízanyagaiban az oxidáció okozza, amelyet felgyorsít a réz jelenléte, ami katalizálhatja az

ízanyagok elbomlását. A réz legnagyobb része a molibdénnel, a vassal, a kobalttal és a krómmal együtt a tejből átmege a vajba, a magnézium és a cink legnagyobb része viszont a főlözött tejben marad. A fentiek miatt a vaj réztartalma nem haladhatja meg a 0,1 mg/kg-ot. A több országban alkalmazott sózási eljárás során kerülni kell, hogy nyomnyi mennyiségű réz is bekerüljön a vajba, továbbá nem szabad használni olyan csomagolóanyagot sem, amelyből akárcsak nyomnyi mennyiségű réz is kidiffundálhat. A rézzel szemben a vas és a mangán természetes alkotóeleme a vajnak, amelyek nem gyorsítják meg az oxidációt. Az UV-fény még kis dózisban is a zsírok oxidációjához vezet, ezért a vajat meg kell óvni a fényhatástól. A marhafaggyú és a vaj, a különböző szenzibilizáló anyagok jelenléte miatt, a kevesebb telítetlen zsírsav ellenére érzékenyebb a fényre, mint a növényi olajok. Az oxidáció során keletkező hidroperoxidok gyorsan lebomlanak ketonokká és aldehidekké, ízhibákat okozva a vajban. A fény indukálta oxidáció során csökken a vaj A-vitamin- és karotintartalma (21.7. ábra).



**21.7. ábra.** A fluoreszcens fény hatása a 15 °C-on tárolt vaj A-vitamin- és β-karotin-tartalmára

A hideg körülmények között tárolt vaj aromaanyagainak romlásáért a telítetlen zsírsavakból (linolsav, linolénsav, arachidonsav) autooxidációval keletkező termékek a felelősek. Az aszkorbilpalmitát antioxidáns hatására viszont a zsírok –25 °C-on akár évekig is tárolhatók különösebb minőségromlás nélkül. Javasolják más antioxidánsok, pl. a tokoferol vajhoz keverését a hosszú ideig tartó, minőségromlás nélküli tárolás érdekében. Amikor PVC-fóliát használnak a vaj tárolására, fennáll annak a veszélye, hogy a csomagolóanyagból vinil-klorid kerülhet a zsírba. A vinil-klorid maximális mennyiségét a legtöbb országban 0,05 mg/kg-ban szabták meg, és vizsgálatokkal igazolták, hogy a vinil-klorid aktuális koncentrációja ennél mindig lényegesen alacsonyabb, 0,02 mg/kg között alakul.

A vaj minőségének hosszabb idejű megőrzése érdekében a víz lehető legnagyobb részét el kell távolítani, miközben vajolaj, illetve tiszta vajzsír keletkezik. A vajolaj zsírtartalma 99,6% és 0,4% a víz és az egyéb, nem zsírszerű anyagok koncentrációja. A vajolajat vákuumban való kezeléssel lehet előállítani, ami ezt követően továbbra is tartalmazza a zsírgolyócskák membránfoszfátidjait, amelyek megvédik a zsírt az oxidációval szemben. Az ilyen vajolaj 1–2,5 évig 15 °C-on minőségromlás nélkül eltartható. A tárolási idő tovább növelhető a hőmérséklet csökkentésével vagy antioxidáns alkalmazásával. A tárolás alig van hatással a vaj karotin- és tokoferoltartalmára. A vajolajat és különböző változatait különösen a forró égövi országokban

alkalmazzák előszeretettel. Indiában készült speciális termék a Ghee, amelynek aromaanyagai az acetaldehid, a butilaldehid, az aceton és a metil-keton; ezeken kívül a laktonok és a szabad zsírsavak is hozzájárulnak az aroma kialakulásához. A vajolaj természetes aromaanyagai közé tartozik az indol és a szkatol is.

### 21.2.3. Tejszín és tejföl

A tejszínnek általában egy alacsony (10%) és egy magasabb (30%) zsírtartalmú változata kerül kereskedelmi forgalomba. Az Egyesült Királyságban a 18, 36, 48 és 63% zsírtartalmú tejszín is forgalmaznak, míg Magyarországon a tejszín és a tejföl zsírtartalma általában 12 vagy 20%. Az alacsony zsírtartalmú tejszínnek magasabb a fehérje-, a laktóz- és az ásványianyagtartalma, a magas zsírtartalmúaknak viszont nagyobb az A-vitamin- és a karotintartalma. A tejszín több zsírolható vitamint tartalmaz, mint az eredeti tej, de a vízzeloldható vitamintartalma némileg kisebb. A tejszín és a belőle savanyítással előállított tejföl aromaanyagait ugyanúgy, mint a vajnál, elsősorban az acetaldehid, a diacetil, az aceton, a szabad zsírsavak és más aldehidek, ketonok, valamint a metil-szulfid alkotják. A tejföl tejsavtartalma kb. 0,8%.

### 21.2.4. Író

Az író összetételét a 21.4. táblázat tartalmazza. Az író alacsony zsírtartalmának köszönhetően viszonylag kevés zsírolható vitamint tartalmaz. A savanyú tejszínből készült író tejsavtartalma kb. 0,8%, ezért ez az író erjesztéssel készült tejterméknek tekinthető. A manapság készült író tejsavat nem tartalmaz, mert a vajat ma már édes tejszínből készítik. A vaj esetében már említettük, hogy az aromaanyagok jelentős része a tejszín érlelése során átmegy az íróba. Az író diacetiltartalma 0,7–4,0 mg/dm<sup>3</sup>, és az író ugyanazokat az aromaanyagokat tartalmazza, mint a vaj. A szabad SH-csoportot tartalmazó komponensek szintén átmennek a tejszínből az íróba.

Az írópor összetétele a következő: 97% szárazanyag, ezen belül 34% fehérje, 50% laktóz, 5% zsír, 7% ásványi anyag, amelyből a kalcium 13 g/kg, a foszfor pedig 9 g/kg. A savanyú tejszínből készült írónak hasonló helye van a táplálkozásban, mint a többi, savanyítással készült tejtermékeknek, de többen állítják róla, hogy igen jó hatással van azokra a betegekre is, akik májbetegségben és gyomornyálkahártya-gyulladásban szenvednek. Ráadásul az írófogyasztás alacsonyabb vérnyomáshoz vezet és még a szérumkoleszterin szintjét is csökkenti. A kalcium és a riboflavin szempontjából az író az eredeti tejjel egyenértékű. Az emberi fogyasztásra fel nem használt író kiválóan lehet hasznosítani az állatok takarmányozására. Az író rendkívül gazdag lecitinben, mivel a zsírgolyómembránok a vajkészítés során átmennek abba, ezért az író foszfolipid-tartalma lényegesen nagyobb, mint a tejé: az író zsírtartalmának 20%-a, míg a tej zsírtartalmának csak 1%-a foszfátid. Az író és a joghurtot a gyerekek hasmenésének megelőzésére javasolják, és alkalmazzák a csecsemőtápszer tejsavtartalmának növelésére is.



**21.4. táblázat.** *A főlözött tej és az író átlagos összetétele*

<i>Komponensek</i>	<i>Mértékegység/kg</i>	<i>Fölözött tej</i>	<i>Író</i>
Fehérje	g	24–33	35
Zsír	g	–	5
Szénhidrát	g	30–40	40
Ásványi anyagok	g	4–6	7
Ca	g	0,7–1,2	1,1
P	g	0,5–0,9	0,8
Na	g	0,3–0,4	0,6
K	g	0,9–1,4	1,5
Mg	g	0,10	0,13
Zn	mg	3,5	5,0
Fe	mg	1,1	1,0
Cu	mg	0,2	0,1
F	mg	0,1	0,2
I	mg	0,1	–
Mn	µg	28	35
Co	µg	0,6	–
Se	µg	6	–
Vitaminok			
A-vitamin	mg	0,7–2,8	0,1
Karotin	mg	0,5–1,3	0,09
Tiamin	mg	0,25	0,28
Riboflavin	mg	1,5	1,6
Piridoxin	mg	0,25	0,4
Kobalamin	µg	4	2
Biotin	µg	30	–
Pantoténsav	mg	3,4	4
Nikotinsav	mg	0,9	1,0
Folsav	mg	0,1	0,09
Aszkorbinsav	mg	10	10
D-vitamin	µg	10	–
Tokoferol	mg	7	1

### 21.3. A sajt

#### 21.3.1. Az érés hatása a sajt összetételére

##### 21.3.1.1. Zsírtartalom

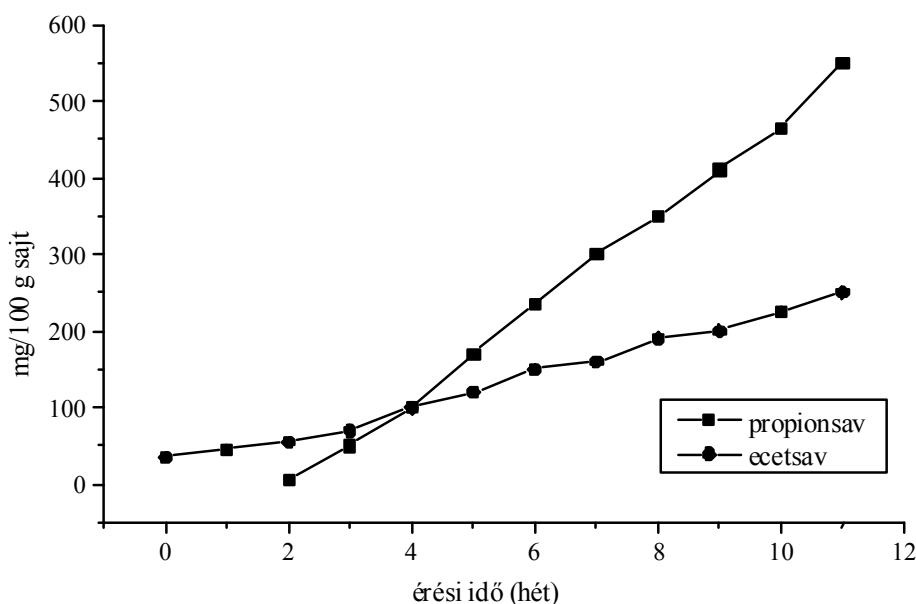
A tej összetételét a különböző sajtok készítésénél eltérő zsírtartalomra állítják be, ezért a különböző sajtok is nagyon eltérő zsírtartalmúak lehetnek. A zsírtartalmat általában a szárazanyag százalékában adják meg.

A vásárlók általában a nagy zsírtartalmú sajtokat kedvelik, mert a zsírtartalom hozzájárul a sajt ízéhez és aromájához. Néhány sajtnál (pl. a Cheddarnál) az aroma csak akkor fejeződik ki igazán, ha a szárazanyag zsírtartalma legalább 40–50%, mert az aromaanyagok főként a zsír

bomlásából, átalakulásából keletkeznek az érlelés folyamán. Az érlelés körülményei és az aromaanyagok kialakulása az érlelés folyamán nagyon eltérő a különböző sajtoknál. A sajtgyártás során fellépő általános változások az alábbiak.

A sajt lipolízisét az érlelés folyamán mikrobák okozzák, mert a tej eredeti *lipáz* enzime majdnem teljesen inaktiválódik a pasztörözés folyamán. A lipolízis eredménye 4,22% diglicerid, 0,5–1,5% monoglicerid és szabad zsírsavak, ezek koncentrációja egy normál sajtban 1–2 g/kg, a hosszabb ideig érlelt sajtokban 5 g/kg, a nagyon hosszú ideig érlelt, erős illatú sajtokban pedig elérheti a 11 g/kg-ot is. Ennek ellenére a tejsír zsírsav-összetételének változását csak kevésbé befolyásolja a lipolízis az érlelés folyamán. A különböző sajtok zsírtartalmának emészthetősége 88–94%.

Szoros összefüggés van az illózsírsav-összetétel és a sajt illata, aromája között. A sajt aromájának kialakulásáért elsősorban az ecetsav, a vajsav, a kapronsav, a kaprilsav és a kaprinsav a felelős. Ezekon kívül még néhány sajt aromaanyagainak kialakulásához hozzájárul a propionsav és a valeriansav, és néhány elágazó szénláncú zsírsav is, mint pl. az izovajsav, izovaleriansav és az izokapronsav is. A rövid szénláncú zsírsavak egy része nem a lipolízisből származik: az ecetsav a laktóz lebomlásából, néhány páratlan szénatomszámú és elágazó zsírsav pedig az aminosavak dezaminálásából ered. A kemény sajtokban a propionsav-baktériumok a tejsavat propionsavvá tudják átalakítani. Az érlelés folyamán fejlődő CO<sub>2</sub> felelős a sajt lyukacsosságáért. A különböző zsírsavak alakítják ki néhány sajt speciális aromáját; így pl. a vajsav és a kapronsav a kék sajtét, az izovaleriansav a Limburger és a Romadur sajtét, a vajsav az Edámiét és a Tilsiti sajtét, az ecetsav és az izovaleriansav a Gouda sajtét, a propionsav pedig az Ementáli, az Alpin és a Gruyere sajtét. A propionsav koncentrációja az utóbbiban elérheti a 2 g/kg-ot is. A kék sajtok nagy koncentrációban tartalmazzák a szabad zsírsavakat; ezek jelenléte a Feta sajtban jelentős lipolízisre utal. Az Ementáli sajt propionsav-tartalma az érlelés második hetében mért 20 mg/100 g-ról a 12. hétig 500–600 mg/100 g-ra, ecetsav-tartalma pedig 80–100 mg/100 g-ról 250–300 mg/100 g-ra nő (21.8. ábra).



**21.8. ábra.** Az Ementáli sajt propionsav- és ecetsav-tartalmának alakulása az érés során

Egyéb komponensek is hozzájárulnak a sajt íz- és aromaanyagainak kialakulásához, amelyek a zsír bomlása vagy más kémiai reakciók során keletkeznek az érlelés folyamán. Ilyenek pl. az aldehidek és a ketonok, olyan aromaanyagok, amelyek más tejtermékben is megtalálhatók, mint pl. a diacetil, acetoin, acetaldehid, laktonok, aromás szénhidrogének,  $\alpha$ -ketosavak, kéntartalmú

komponensek, mint amilyenek pl. a szulfidok és merkaptánok, és egyéb olyan vegyületek, mint pl. az alkoholok és az észterek. Mindegyik sajtnak van egy speciális íz- és aromaanyaga, amely felelős ezek kialakulásáért. Néhány ezek közül a következő.

Roquefort jellegű sajt:	a penészek által termelt metil-keetonok.
Camembert:	kéntartalmú anyagok, $\alpha$ -ketosavak.
Ementáli:	pirazinok.
Alpin sajt:	szeszkviterpének.
Parmezán:	acetyl-metil-karbinol, etil-észter.

A zsírsavakkal és az előzőekben felsorolt aromaanyagokkal szemben a proteolízis során keletkező szabad aminosavak és a peptidek csak kismértékben járulnak hozzá a sajt aromaanyagaihoz. Az aromaanyagok kapcsán nagyon sokan tanulmányozták a Cheddar sajtot. Megállapították, hogy itt az íz és aromaanyagok kialakításában elsősorban a szabad zsírsavak (ecetsav, vajsav), a kéntartalmú komponensek (szulfidok, merkaptánok, tiolok), a keetonok (butanon, pentanon), az acetaldehid, a diacetyl, az acetoin, a laktonok és az etanol vesznek részt, valamint hogy a metil-keetonok szerepe kevésbé fontos az íz- és aromaanyagok kialakításában, és azt is hogy a szabad zsírsavak mennyisége nő a tárolás folyamán.

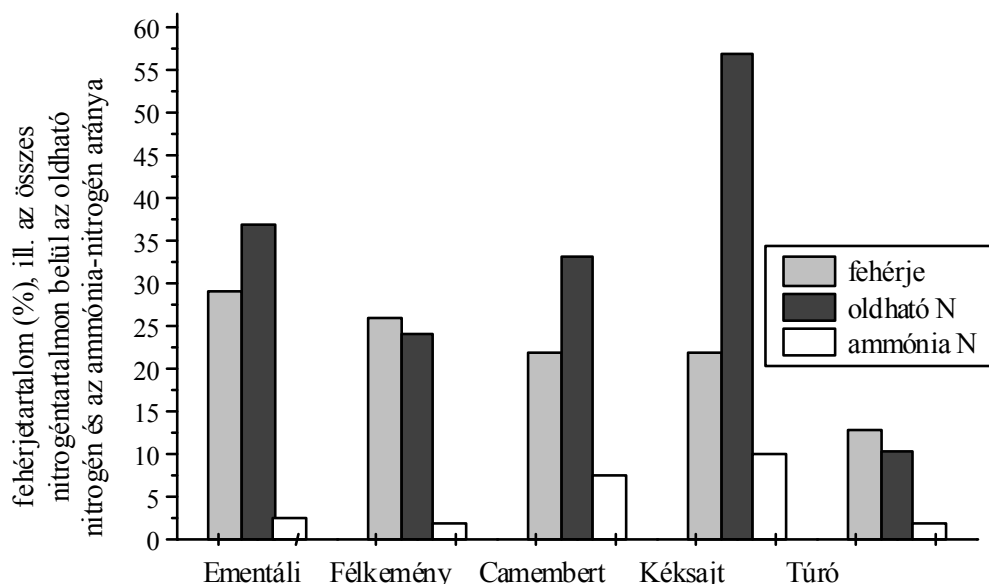
### 21.3.1.2. Fehérjetartalom

#### Fehérjebomlás

A sajt érése folyamán fehérjebomlás is bekövetkezik, amelynek mértéke a különböző sajtoknál eltérő. A proteolízis eredményei a proteozok, a peptonok, a polipeptidek, a peptidek és végül a szabad aminosavak. A szabad aminosavak dezaminálása ammóniához és szabad zsírsavakhoz, decarboxileződése pedig aminokhoz vezet. A különböző sajtokban nagyon sokféle amidot is kimutattak. Amikor *rennint* adnak a tejhez, az először a glikopeptid  $\kappa$ -kazeint bontja el, amelynek következtében a  $\kappa$ -kazein elveszíti a többi kazeinfrakciót védő kolloid jellegét, és a kazein kicsapódik. A *rennin* csak igen gyenge proteolitikus hatással rendelkezik, csak a proteozfrakcióig bontja a fehérjét. A tejsavbaktériumok enzimeit azok, amelyek a proteolízis legnagyobb részéért felelnek, amelyek a szabad aminosavakig bontják le a fehérjét. Az  $\alpha$ -kazein sokkal gyorsabban lebomlik, mint a  $\beta$ -kazein: az érlelési idő végére az  $\alpha$ -kazein 60–80%-a, a  $\beta$ -kazeinnek pedig csak 10%-a bomlik le. Az  $\alpha_s$ -kazein A-variánsa ellenállóbb a fehérje hidrolízisével szemben, mint a B- és C-variáns.

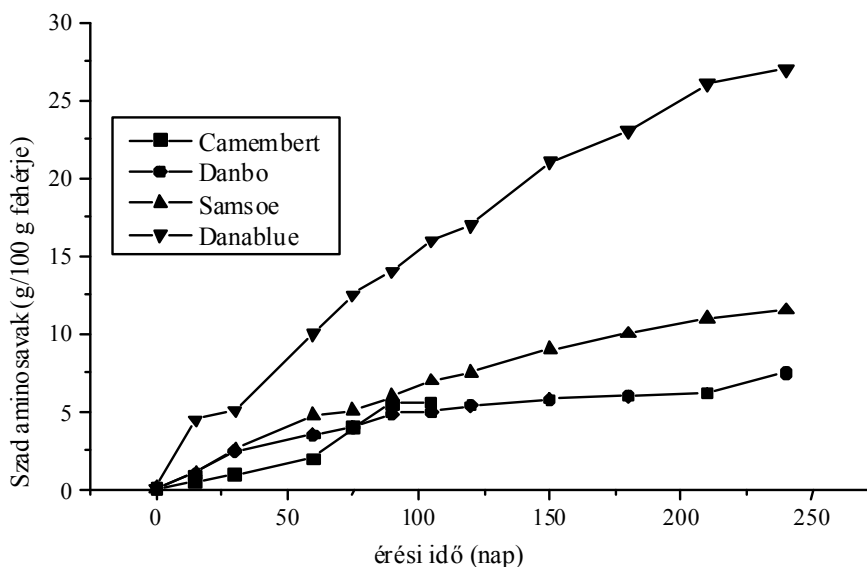
A sajt peptid-, szabadaminosav- és ammóniatartalma folyamatosan nő az érlelés folyamán. Az érlelési időszak végére a különböző sajtok eltérő koncentrációban tartalmazzák ezeket a komponenseket, és mindegyik sajtra jellemző az érlelés végére egy speciális szabadaminosav- és peptidösszetétel. A sajt érlelése folyamán a vízben oldhatatlan kazein vízoldható nitrogéntartalmú vegyületekké alakul, mint amilyenek pl. a fehérjehidrolízis köztitermékei, illetve a szabad aminosavak. A vízoldható nitrogéntartalmú anyagok részaránya a sajt fajtájától függően elérheti a 10–60%-ot. A kék és lágy sajtok vízoldható nitrogéntartalmú komponenseinek aránya nagyobb, mint a félkemény és a kemény sajtoké (21.9. ábra). A túlérett Camembert és Limburger sajtok nitrogéntartalmú anyagainak vízoldható frakciója több, mint 90%. A különböző sajtok vízoldható nitrogénfrakciójának az aránya a következő:

Parmezán és Grana sajt:	60–70%,
Ementáli és Gruyere típusú kemény sajtok:	35–40%,
Camembert sajt:	10%.



**21.9. ábra.** Dán sajtok fehérjetartalma, valamint az oldható nitrogén és az ammónia-nitrogén aránya

A szabad aminosavak átlagos koncentrációja a különböző sajtokban 0,6–1,1%, amelyek összetétele nagyban függ a kazein összetételétől (21.10. ábra). Általában a szabad lizin koncentrációja a legnagyobb, de jelentős mennyiséget képvisel a szabad leucin és glutaminsav is. Az oldható triptofán és tirozin koncentrációja függ a  $\beta$ -kazein hidrolízisének fokától. A sajtokban olyan aminosavak is előfordulnak, amelyek nem találhatók meg a kazeinben; ilyen pl. az ornitin és a  $\gamma$ -amino-vajsav, amelyek nagy valószínűséggel a glutaminsavból és az argininből keletkeznek. A szabad hisztidin, arginin és a szerin csak igen kis koncentrációban mutatható ki a sajtokból. A különböző sajtok ammóniatartalma a vízoldható frakcióban is igen eltérő. A Camembert és Limburger sajtokban a vízoldható frakciónak 25%-a, a Gruyere sajtban pedig 13%-a ammónia. Az Ementáli sajtban az összes nitrogén 2–3%-a, az érett Kashkaval sajtban pedig 0,09%-a az ammónia.



**21.10. ábra.** Dán sajtok szabad aminosav-tartalmának alakulása az érés során

A szabad aminosavak önmagukban csak kismértékben járulnak hozzá a sajt aromájának kialakításához, a háttérhatásban azonban jelentős szerepük lehet. Ízetlenek azok a sajtok, ahol a szabad aminosavak koncentrációja alacsony. Egyesek szerint nincs összefüggés az aminosavak koncentrációja, valamint az íz- és aromahatás között, mások szerint viszont a sajt aromaanyagainak kialakulásához mind a zsír, mind a fehérje bomlásának termékei hozzájárulnak. A Cheddar sajt esetében bizonyították, hogy az aroma részben a fehérjehidrolízis termékeinek is köszönhető.

A sajt keserű ízét a keserű peptidek okozzák, így a  $\beta$ -kazeinből származó peptidek felelősek pl. a Cheddar sajt keserű ízéért. Az Alpin sajt keserű ízét a Leu-Trp-Arg tripeptid okozza, amelynek érzékelhetőségi határa 60 mg/kg. A keserű ízű leucin, fenilalanin és arginin nagy koncentrációja a szabadaminosav-frakcióban szintén hozzájárulhat a keserű íz kialakulásához.

### **Különféle sajtok összes szabad- és szabad D-aminosav-tartalma**

Az utóbbi évek kutatásai tisztázták, hogy élelmiszereink vagy a technológiai beavatkozás következtében vagy az élelmiszer mikrobiológiai állapotában bekövetkezett változásnak köszönhetően jelentős mennyiségben tartalmazhatnak D-aminosavakat. Nagyon kevés adattal rendelkezünk különböző sajtok összes szabad- és különösen szabad D-aminosav-tartalmáról, ezért azt vizsgáltuk, hogy a különböző sajtok előállítása során felhasznált mikroorganizmusok milyen mértékben járulnak hozzá a sajt szabad-, illetve szabad D-aminosav-tartalmához, hisz a D-aminosavak a mikroorganizmusok anyagcseretermékeiként kerülnek be a tejbe.

Egy kísérlet során nyolc különböző technológiával készült sajt szabad- és szabad D-aminosav-összetételét határoztuk meg. A vizsgált sajtok a következők voltak:

- érett Ardrahan ír sajt külső (kb. fél cm vastag) rétege és belső része,
- Camembert sajt külső (kb. fél cm vastag) rétege és belső része,
- Dán kék sajt,
- Ementáli sajt,
- Gouda sajt,
- Mozzarella sajt,
- Parmezán sajt,
- közönséges Cheddar sajt,
- különböző módszerekkel előállított Cheddar sajt.
  - 1. kísérlet: csak starterrel (I) előállított,
  - 2. kísérlet: starterrel (I) és laktobacilusokkal előállított,
  - 3. kísérlet: csak starterrel (II) előállított,
  - 4. kísérlet: starterrel (II) és laktobacilusokkal előállított Cheddar sajt.

A különböző sajtok összes szabadaminosav-tartalmát a 21.5.–21.8. táblázat, szabad D-aminosav-tartalmát pedig a 21.9. táblázat mutatja be.

**21.5. táblázat.** Az Ardrahan ír és a Camembert sajt külső rétegének és belső részének összes szabadaminosav-tartalma

Aminosavak $\mu\text{mol}/100\text{ g}$	Érett Ardrahan ír sajt külső rétege	Érett Ardrahan ír sajt belső része	Camembert sajt külső rétege	Camembert sajt belső része
Asp	272	337	302	259
Thr	274	320	209	195
Ser	364	465	337	232
Glu	1325	1634	945	1193
Pro	1169	1207	1970	1544
Gly	938	708	875	616
Ala	1598	1395	1858	1613
Cys	194	145	24	29
Val	1850	1826	1629	1264
Met	639	558	623	530
Ile	972	904	938	790
Leu	2661	3078	1836	1533
Tyr	340	260	625	524
Phe	1327	1467	1081	945
His	3256	3116	1353	1584
Lys	1062	1389	1393	1336
Arg	1280	1173	487	522

A különböző sajtok összes szabadaminosav-tartalmát vizsgálva megállapítható, hogy a legtöbb szabad aminosavat – 39677  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -ot, amely 128-as átlagos aminosav-molekulatömeggel számolva mintegy 5,1 g szabad aminosavnak felel meg 100 g sajtban – a Parmezán sajt tartalmazza, a legkevesebbet pedig 2446  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -mal a Mozzarella. A szabad aminosavak mennyiségét illetően a második helyen a Gouda sajt található 24010  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -mal, majd következik az Ardrahan sajt belső, ill. külső része 19982, illetve 19521  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -mal. Ötödik helyre az Ementáli sajt került 18460  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -mal alig maradván el az Ardrahanétól. A Camembert külső rétegének (16458  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ) szabadaminosav-koncentrációja némileg nagyobb, mint a belső résznél (14709  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), ellentétben az Ardrahannal, ahol a külső és belső rész között a szabad aminosavak tekintetében nem volt lényeges különbség. Kissé kisebb szabadaminosav-tartalmat mértünk a Dán kék sajt esetében 13008  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -mal.

**21.6. táblázat.** A Dán kék, az Ementáli, a Gouda és a Mozzarella sajt összes szabadaminosav-tartalma

Aminosavak $\mu\text{mol}/100\text{ g}$	Dán kék	Ementáli	Gouda	Mozzarella
Asp	286	157	214	18
Thr	360	613	980	44
Ser	773	661	2223	110
Glu	739	734	1077	40
Pro	827	2425	3446	226
Gly	426	865	1306	117
Ala	500	888	1204	156
Cys	36	118	24	2.4

Val	735	1657	2360	197
Met	712	504	712	130
Ile	569	928	1546	139
Leu	1467	2380	2586	299
Tyr	787	471	468	126
Phe	964	1120	1610	190
His	2137	2616	1541	360
Lys	1314	1672	2231	256
Arg	376	651	482	106

A Cheddar sajtok szabadaminosav-tartalma lényegesen kisebb volt az előbbieken felsoroltaknál. A közönséges Cheddarnál kaptuk a legkisebb szabadaminosav-tartalmat (3977  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), a kísérletben előállított Cheddar sajtnál pedig ott volt nagyobb szabadaminosav-tartalom, ahol nemcsak starterkultúrát (6567, illetve 5393  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), hanem laktobacillusokat is felhasználtak (7359, illetve 6028  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ) az előállítás során.

Az egyes aminosavak mennyiségét külön-külön vizsgálva megállapítható, hogy legkisebb koncentrációban a cisztin fordul elő (2,4–194  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ). Ezen belül az Ardrahan külső és belső rétege, valamint az Ementáli tartalmazta a legtöbb cisztint (118–194  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), a Camembert, a Dán kék és a Gouda cisztintartalma mintegy 20%-a, a Mozzarella, a Parmezán és a Cheddar sajt cisztintartalma pedig csak mintegy 2–5%-a volt az előzőeknek.

Az Ardrahan és a Camembert külső és belső részének szabadaminosav-összetételét vizsgálva megállapítható, hogy az aszparaginsav, a treonin, a szerin és a tirozin mennyisége 200–600  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  között, a metionin, a glicin és az izoleucin mennyisége pedig 550–950  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  között változik. Ezeket követi növekvő sorrendben az arginin, a lizin, a glutaminsav, a valin, a prolin, fenilalanin és az alanin 1000–2000  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  koncentrációval, míg a sort az Ardrahan sajt zárja a maga igen magas leucin- (2600–3100  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ) és hisztidin- (3100–3300  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ) tartalmával.

**21.7. táblázat.** *A Parmezán, a kereskedelmi forgalomban kapható Cheddar és a különböző technológiával készült Cheddar sajtok összes szabadaminosav-tartalma*

<i>Aminosavak</i> <i><math>\mu\text{mol}/100\text{ g}</math></i>	<i>Parmezán</i>	<i>Kereskedelmi</i> <i>Cheddar</i>	<i>Cheddar 1-es</i> <i>kísérlet</i>	<i>Cheddar 2-es</i> <i>kísérlet</i>
Asp	273	160	170	215
Thr	2120	95	151	179
Ser	4433	218	401	479
Glu	678	319	497	527
Pro	6193	432	560	610
Gly	2096	139	212	262
Ala	2018	212	331	343
Cys	5,4	4,8	2,4	4,7
Val	3542	234	495	490
Met	1156	158	204	243
Ile	2742	154	213	276
Leu	3391	352	999	1250
Tyr	1153	189	188	156
Phe	2162	268	646	673

His	1727	521	805	933
Lys	3457	362	481	562
Arg	2531	159	212	157

A Parmezán és a Gouda sajtoknál a helyzet lényegesen megváltozik egyes aminosavak esetében. Ezeknél a sajtoknál jelentősen megnőtt a treonin, de különösen a szerin és a prolin mennyisége. A Parmezánnál a prolinra mértük az összes sajt és összes vizsgált aminosav vonatkozásában a legnagyobb értéket 6193  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -mal, a második legnagyobbat pedig a szerin esetében 4433  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -mal. A többi aminosav mennyisége hasonlóan alakul az Ardrahan és a Camembert sajtoknál tárgyaltakhoz azzal a különbséggel, hogy a Parmezán esetén a lizintartalmat is nagyinak (3457  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ) mértük.

A Cheddar sajtoknál nem volt lényeges különbség a különböző módszerekkel előállított sajtok között a szabad aminosavak arányát tekintve. Egyedül a közönséges Cheddar tért el jobban a másik négytől lényegesen alacsonyabb valin-, leucin- és hisztidintartalmával. Amennyiben a Cheddar sajtokat a Camemberthez vagy az Ardrahanhoz hasonlítjuk, megállapítható, hogy a szabad aminosavak közötti arányok egy két esettől eltekintve gyakorlatilag megegyeznek. Említést érdemlő különbség az, hogy a Cheddar sajtoknál alacsonyabb az alanin és a valin, ezzel ellentétben viszont lényegesen nagyobb a szerin részaránya.

**21.8. táblázat.** *A különböző technológiával készült Cheddar sajtok összes szabadaminosav-tartalma*

<i>Aminosavak</i> <i><math>\mu\text{mol}/100\text{ g}</math></i>	<i>Cheddar 3-as kísérlet</i>	<i>Cheddar 4-es kísérlet</i>
Asp	130	137
Thr	104	100
Ser	241	285
Glu	426	384
Pro	437	605
Gly	187	198
Ala	336	271
Cys	2,4	2,4
Val	378	445
Met	175	214
Ile	106	112
Leu	932	1069
Tyr	155	192
Phe	587	671
His	778	874
Lys	316	363
Arg	103	106

Amennyiben az összes általunk vizsgált sajt szabad aminosavainak arányait hasonlítjuk össze, akkor megállapítható, hogy az Ardrahan és a Cheddar sajtok a leucin és a hisztidin igen magas részarányával, a Parmezán és a Gouda magas szerin- és prolin-, és viszonylag alacsonyabb glutaminsav- és hisztidinrészarányával tűnnek ki, míg a többi sajtnál egy viszonylag kiegyenlítettebb szabadaminosav-arány mutatkozik.

A sajtok szabad D-aminosavait vizsgálva megállapítottuk, hogy a 14 vizsgált minta átlagában a D-Asp mennyisége a legkisebb (5,2–89  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), a D-Ala mennyisége a legnagyobb



(52–752  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), míg a D-Glu mennyisége közbűső értéket foglal el a másik két aminosav között 9,6–244  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ -mal. A D-aminosavak mennyiségét az összes szabad aminosav százalékában kifejezve a D-Glu-nál kaptuk a legkisebb értéket 15,84%-kal, míg a D-Asp (30,31%) és a D-Ala (37,15%) aránya lényegesen kisebb mértékben különbözött egymástól.

Az egyes sajtokat tekintve mind a szabad D-aminosavak mennyisége, mind aránya jelentős eltérést mutat. Az Ardrahan és a Camembert külső és belső rétegében a szabad D-aminosavak mennyisége gyakorlatilag megegyezik. Mind a négy vizsgált minta esetében a D-Asp mennyisége a legkisebb (36–42  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  a Camembertnél és 70–74  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  az Ardrahannál), a D-Glu mennyisége közbűső helyet foglal el (122–235  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ), míg a legnagyobb mennyiségben a D-Ala található a mintákban (259–433  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$ ). Egészen más a helyzet ha a D-aminosavak százalékos arányát tekintjük az összes aminosav százalékában. Ebben az esetben az Ardrahannál a D-Asp (23,2–27,2%) és a D-Ala (27,1–28,2%) százalékos aránya lényegesen nagyobb, mint a Camemberté (13,9–14,0%, ill. 16,1–18,0%), a D-Glu százalékos arányában viszont nincs különbség a két sajt között (13,1–14,4% az Ardrahannál és 12,9–14,8% a Camembertnél). Sem a D-aminosavak mennyiségében, sem azok részarányában nem találtunk lényeges különbséget a külső réteg és a belső rész között.

**21.9. táblázat.** *A különböző sajtok D-aminosav-tartalma*

<i>Sajtok</i>	<i>D-aminosavak, <math>\mu\text{mol}/100\text{ g}</math></i>					
	<i>D-Asp</i>	<i>D-Asp%</i>	<i>D-Glu</i>	<i>D-Glu%</i>	<i>D-Ala</i>	<i>D-Ala%</i>
Érett Ardrahan ír sajt külső rétege	74	27,2	173	13,1	433	27,1
Érett Ardrahan ír sajt belső része	70	23,2	235	14,4	393	28,2
Camembert sajt külső rétege	42	13,9	122	12,9	334	18,0
Camembert sajt belső része	36	14,0	176	14,8	259	16,1
Dán kék sajt	89	31,1	149	20,2	212	42,4
Ementáli	42	26,8	195	26,6	405	45,6
Gouda sajt	61	28,5	244	22,7	462	38,4
Mozzarella	5,2	28,9	9,6	24,0	52	33,3
Parmezán	57	20,8	72	10,6	752	37,3
Kereskedelmi Cheddar	74	46,3	45	14,1	96	45,3
Cheddar 1-es kísérlet	74	43,5	62	12,5	153	46,3
Cheddar 2-es kísérlet	89	41,4	65	12,4	165	48,1
Cheddar 3-as kísérlet	59	45,4	53	12,5	161	47,9
Cheddar 4-es kísérlet	41	33,4	42	10,9	125	46,1

Az előzőekben elmondottakhoz hasonló a helyzet akkor, ha a Dán kék, az Ementáli, a Gouda, a Mozzarella és a Parmezán szabad D-aminosavainak mennyiségét hasonlítjuk össze. Mindegyik sajt esetében a D-Asp mennyisége a legkisebb, a D-Ala mennyisége a legnagyobb, a D-Glu pedig közbűső helyet foglal el a másik két aminosav között. Szembeötlő a Mozzarella igen kis D-aminosav-tartalma, ami nem meglepő ha tudjuk, hogy az összes szabad aminosav tekintetében is a Mozzarella van az utolsó helyen. Ugyancsak szembeötlő az, hogy a Parmezán D-Asp-tartalma nem különbözik lényegesen a másik hárométól, D-Glu-tartalma közülük a legkisebb, legnagyobb viszont – az összes többi sajttal összehasonlítva is – a D-Ala-tartalma, amit talán magyaráz a Parmezán kiemelkedően magas összes szabad Ala-tartalma. Ha a D-aminosavak mennyiségét vizsgáljuk az összes szabad aminosav százalékában akkor megállapítható, hogy az

Ementáli kivételével (ahol a D-Asp és D-Glu százalékos aránya gyakorlatilag megegyezik) a D-Asp %-os részaránya 5–20%-kal nagyobb mint a D-Glu-é. Lényegesen nagyobb (33,3–45,6%) a D-Ala részaránya az összes D-aminosavon belül.

A különböző technológiával kapott Cheddar sajtok szabad D-aminosav-összetételét összehasonlítva, törvényszerűségeket a sajtelőállítás technológiája és a szabad D-aminosav-tartalom között nem tudunk megállapítani. A különböző technológiával előállított Cheddar sajtok szabad D-Asp-tartalma 41–89, D-Glu-tartalma 42–65, D-Ala-tartalma pedig 125–165  $\mu\text{mol}/100\text{ g}$  között változott. Amennyiben a D-aminosavak százalékos arányát hasonlítjuk össze, akkor megállapítható, hogy a negyedik kísérletben kapott sajt kissé alacsonyabb D-Asp arányától eltekintve az összes D-aminosav aránya mindegyik technológiával kapott sajt nál gyakorlatilag megegyezik, tehát úgy tűnik, hogy a sajtelőállítás módszere a Cheddar sajtok esetében nem befolyásolja a sajt D-aminosav-tartalmát és a D-aminosavak arányát.

### Élelmezési szempontok

Élelmezési szempontból a sajtok nagyjelentőségűek a magas biológiai értékű fehérjetartalmuk miatt, ezért a sajtok jelentős mértékben hozzájárulnak a szervezet esszenciális aminosav-ellátásához. A sajtok fehérjetartalma 20 és 35% között változik, és egy típuson belül a fehérjetartalmat a zsírtartalom jelentős mértékben befolyásolhatja. 100 g lágy sajt a napi fehérjeszükséglet 30–40%-át, 100 g kemény sajt 40–50%-át biztosítja. A 21.10. táblázat néhány sajt fehérje- és zsírtartalmát, valamint kalcium- és foszfortartalmát is mutatja. A sajtok szénhidrát-tartalma a sajt fajtájától függően 0,6–4,75% között változik. A viszonylag alacsony értéknek az az oka, hogy a laktóz nagy része a savóban marad a sajt készítés során, illetve a tejcukor az érlelt sajtokban egy-két hét alatt tejsavvá bomlik.

A sajt előállítás folyamán a sajt főként kazeinből készül, míg az igen nagy biológiai értékű savófehérje jobbra a savóban marad. Ezért a sajtfehérje biológiai értéke kissé alacsonyabb, mint a teljes tejfehérjéé, de nagyobb, mint a kazeiné. Hogyha a tejfehérje esszenciális aminosav-indexe 100, akkor a különböző típusú sajtok fehérjéjéé 91 és 97 között változik. A sajtfehérje biológiai értékét nem befolyásolja a *renninnel* való kezelés, az érlelés során lejátszódó változások vagy a savas alakban való kicsapás. A Maillard-reakció nem fordul elő a sajtgyártás folyamán, ezért a sajtfehérje lizinjének hasznosulása ugyanaz, mint a tejé. A Gouda és a Tilsiti sajt esetén a 16–20 hetes érlelési periódus nem okozott jelentős változást a fehérje PER-vagy NPU-értékében. Néhány esetben a sajtfehérje NPU- és PER-értékét nagyobbak találták a tejfehérjénél, végeredményben tehát mind a sajtfehérje esszenciális aminosav-tartalma, mind a tejfehérjéé, nagyon közel áll a referencia fehérjéhez. A sajt érlelése bizonyos előemésztésnek tekinthető, aminek következtében a fehérje emészthetősége nő, és több sajtfehérje valódi emészthetősége megközelíti a 100%-ot. A kis tagszámú peptidek keresztülmennek a vékonybél sejt falán, sőt keresztüljutnak a sejtmembránon, és így közvetlenül hasznosulnak a sejtben. A sajtfehérje esszenciális aminosavainak hasznosulása 89,1%, nagyobb, mint a vonatkozó tejfehérjéé (85,7%) és majdnem azonos a tojásfehérjéével (89,6%). A sajt szabad aminosavai, különösen az aszparaginsav és a glutaminsav, elősegítik a gyomornedv-elválasztást.

**21.10. táblázat.** Néhány sajt zsír-, fehérje-, kalcium- és foszfortartalma

Sajt	Zsírtartalom		Fehérjetartalom	Ca-tartalom	P-tartalom
	Száranyagban %	Abszolút %	%	g/kg	g/kg
Parmezán	40	26,0	36,5	13,0	8,8
Ementáli	45	29,0	27,9	10,8	8,6
Tilsiti	45	27,7	26,0	8,0	5,3

Cheddar	50	32,4	25,4	8,0	5,0
Edami	45	26,0	25,5	7,5	4,5
Gouda	45	29,0	25,4	8,2	4,4
Butter sajt	50	28,8	21,1	6,9	4,2
Roquefort sajt	50	29,0	22,4	7,0	4,9
Brie	50	23,0	22,4	4,0	4,0
Camembert	45	22,3	22,0	4,0	4,0
Limburger	40	19,7	22,4	5,7	3,0
Romadur	30	15,0	23,2	5,1	3,0
Feta	40	18,8	17,8	6,5	4,0
Cottage sajt	20	4,6	14,7	0,8	1,6
Túró	40	11,8	11,8	0,7	1,5

### Aminok

A szabad aminosavak dekarboxileződése a sajt érése folyamán aminok keletkezéséhez vezet. Jó példa erre a tirozin átalakulása tiraminná a dekarboxileződés folyamán. A sajt legfontosabb aminjai a hisztamin, a tiramin, a triptamin, a putreszcin, a kadaverin és a fenil-etil-amin. Az egyes aminok koncentrációja a sajtokban nagyon különböző. A Cheddar sajt tiramintartalma pl. 0 és 155 µg/kg, hisztamintartalma pedig 0 és 1300 µg/kg között változhat. Az aminok koncentrációja függ az érlelés idejétől, az ízanyagok kialakulásától és a mikrobiális tevékenységtől. A nagy variabilitás ellenére a sajtok átlagos amintartalmát becsülni lehet. Ezen értékek a 21.11. táblázatban találhatóak.

**21.11. táblázat.** *Néhány sajt tiramin- és hisztamintartalma*

Sajt	Tiramintartalom		Hisztamintartalom	
	µg/g			
Cheddar	910		110	
Ementáli	190		100	
Roquefort sajt	440		400	
Edami, Gouda	210		35	
Camembert	140		30	
Cottage sajt	5		5	

A táblázatból kitűnik, hogy a Cheddar sajt meglepően nagy koncentrációban tartalmazza a tiramint, a kék sajt mind a tiramint, mind a hisztamint, és kevés különbség van a kemény, a félkemény és a lágy sajtok között. Esetenként a sajtkegreg tiramintartalma is magas volt.

A tej amintartalma igen alacsony. Egy cm<sup>3</sup> tejből 0,2–0,8 µg tiramint, és 0–1,1 µg hisztamint lehet kimutatni. A trimetil-amint, amelynek kimutatási határa 1 µg/cm<sup>3</sup>, csak olyan állatok tejből lehet kimutatni, amelyek speciális takarmányt fogyasztottak. Nagyon alacsony koncentrációban hisztamint és tiramint is ki lehet mutatni tejporból és csecsemőtápszerből. A tejpore két anyagból 0,42 és 0,16 mg-ot, a csecsemőtápszer pedig 1,31 és 1,18 mg-ot tartalmaz kilogrammonként.

A fiziológiásan aktív aminok közül a tiramin és a fenil-etil-amin növeli, a hisztamin pedig csökkenti a vérnyomást. A *mono-* és *diamin oxidázok* viszonylag gyorsan átalakítják az élelmiszerekben relatíve jelentős mennyiségben előforduló biogén aminokat az oxidatív dezaminálás során aldehidekké és karbonsavakká, ezért a sajtok és egyéb élelmiszerek amintartalma nem veszélyes a fogyasztó egészségére. Csak néhány rendkívül érzékeny ember panaszkodott migrénre sajt fogyasztás után, amit talán a sajt amintartalma okozott.

Az ilyen emberek szervezetéből nagy valószínűséggel hiányzik a genetikailag determinált *monoamin oxidáz*. Az ilyen embereknél 100 mg tiramin fogyasztás erős fejfájást okozhat. A különböző aminvegyületek toxicitása széles tartományban változik; tiraminra 10–80 mg-ot, hisztaminra 5–8 mg-ot és 70–1000 mg-ot is megállapítottak. Meg kell azonban említeni a sok hátrányos hatás mellett, hogy az aminok gátolják egyes baktériumok szaporodását.

Azoknál az embereknél, akik magas vérnyomásban, vagy más hasonló betegségben szenvednek, és monoaminoxidázinhibitor-tartalmú gyógyszereket fogyasztanak, az aminok lebomlása a szervezetben gátolt. Ilyen esetekben a sajt fogyasztás fél-két órán belül magas vérnyomáshoz vezetett, ezért az ilyen eseteket sajt-szindrómának is hívták. Patkányokkal és macskákkal végzett kísérletek azt mutatták, hogy a hatásért elsődlegesen a tiramin a felelős, ilyen gyógyszereket azonban manapság már csak elvétve használnak. Azokban az esetekben azonban, ahol ilyen gyógyszereket alkalmaznak, óvakodni kell a sajt és a magas tiramintartalmú élelmiszer fogyasztásától.

### 21.3.1.3. Ásványi anyagok és nyomelemek

A sajt kalcium- és foszfortartalma ugyanolyan szerepet tölt be az emberi szervezet kalcium- és foszforellátásában, mint a tej; 100 g lágy sajt a szervezet napi kalciumszükségletének 30–40%-át, foszforszükségletének pedig 12–20%-át biztosítja, míg 100 g kemény sajttal a napi kalciumadagot teljesen, a foszforszükségletet pedig 40–50%-ban fedezni lehet. A különböző sajtok ásványianyag-tartalmát a 21.10. táblázat tartalmazza. Ismételten fel kell hívni a figyelmet arra, hogy a sajt zsírtartalma nemcsak a fehérjetartalmat, hanem az ásványianyag-tartalmat is jelentős mértékben befolyásolja, a több zsír ugyanis kevesebb ásványianyag-tartalommal jár együtt. A *renninnel* koagulált tejből készült sajt kalciumtartalma nagyobb, mint a savas kicsapás után. A Tilsiti és a Trappista sajt a tej kalciumtartalmának 60–65%-át, a foszfortartalomnak pedig 50–55%-át visszatartja. A vízoldható kalciumkomponensek részaránya az érlelés folyamán nő. A sajt kalcium-, foszfor- és magnéziumtartalmát a szervezet ugyanolyan jól tudja hasznosítani, mint a tejét. Nem csak a kalcium és a foszfor mennyisége nagy a sajtokban, hanem e két elem aránya is optimális a szervezet számára, a sajt ezenkívül egyike azon élelmiszereknek, amelyek nem okoznak fogszuvasodást.

A különböző sajtok összes ásványi anyagainak mennyisége 0,7 és 6% között van. Legalacsonyabb a frissen készült sajtok és a juhsajt ásványianyag-tartalma. A különböző sajtok nátrium-, kálium- és magnéziumtartalmának határértékeit az alábbi összeállítás tartalmazza g/kg-ban:

nátrium	0,3–18,5
kálium	0,5–3,8
magnézium	0,1–0,7

Az igen eltérő nátriumtartalom oka a sajtok eltérő sózása, aminek következtében a különböző sajtok só-tartalma nagyságrendekkel különbözhet. A vásárlók ízlése az utóbbi időben változott, és inkább a kevésbé sós sajtok irányába tolódott el. A különböző sajtok só-tartalmát (g/100 g) a következő összeállítás tartalmazza:

Cheddar	1,7
Ementáli	0,6
Tilsiti	1,3
Camembert	1,6
Gruyere, Parmezán	2,1
Gouda, Edami, Brie	2,1

Roquefort	4,3
Feta	4,6
Friss sajtok	0,4
Juhsajt	0,8

A forró égövi országokban készített helyi sajtok (a török fehér sajt vagy az iráni Kashkaval) sótartalma 10% körül alakul vagy azt még meg is haladhatja. A különböző sajtokban előforduló nyomelemek koncentrációhatárait a következő összeállítás mutatja mg/kg-ban.

Vas	0–12,0
Réz	0,2–3,6
Mangán	0,3–5,3
Molibdén	0,05–0,5
Cink	2,7–120
Nikkel	0,05–1,4
Fluor	0,1–3,0
Króm	0,05–1,6
Jód	0,05–1,0
Szelén	0,05–0,12
Bór	0,2–7,9
Kobalt	0,004–0,038

Régebben az Ementáli sajt réztartalma a 27 mg/kg-ot is elérte, mert a sajtot rézből készült kádakban készítették. Manapság a réztartalom nem haladja meg az előbbi összeállításban szereplő értékeket. A magas réztartalom egyrészt az aszkorbinsav teljes oxidációjához vezetett, másrészt részben inhiválta a propionsav fermentációját, az acetoin és a diacetyl kialakulását, de nem volt hatással a tejsav fermentációjára.

A cink- és a vasvisszatartást különböző speciális technológiai eljárásokkal növelni lehet. A Cottage sajtot például megnövelt vastartalmú tejből készítik, amelynek 58%-a visszamarad a sajtban. Az ilyen sajt 100 g-ja egy felnőtt napi vasszükségletének 30%-át is képes fedezni.

#### 21.3.1.4. Vitaminok

A sajt zsírolható vitamintartalma függ a zsírtartalomtól. A tej A-vitamin-tartalmának 80–85%-a átmegy a sajtba. Ez az arány a vízoldható vitaminokra sokkal alacsonyabb. A nikotinsav, a folsav és az aszkorbinsav 10–20%-a, a riboflavin és a biotin 20–30%-a, a piridoxin és a pantoténsav 25–45%-a, a B<sub>12</sub>-vitaminnak pedig 30–60%-a megy át a tejből a sajtba, a maradék pedig a savóban marad. A B<sub>12</sub>-vitamin esetében megállapították, hogy több vitamin marad a sajtban, ha savval kicsapott, és kevesebb, ha *renninnel* kicsapott kazeinből készül. Annak ellenére, hogy a B-vitaminok nagyobb része a savóban marad, a tej igen nagy B-vitamin-tartalma következtében a sajtok még így is jelentős mennyiségben járulnak hozzá a szervezet B-vitamin-ellátottságához.

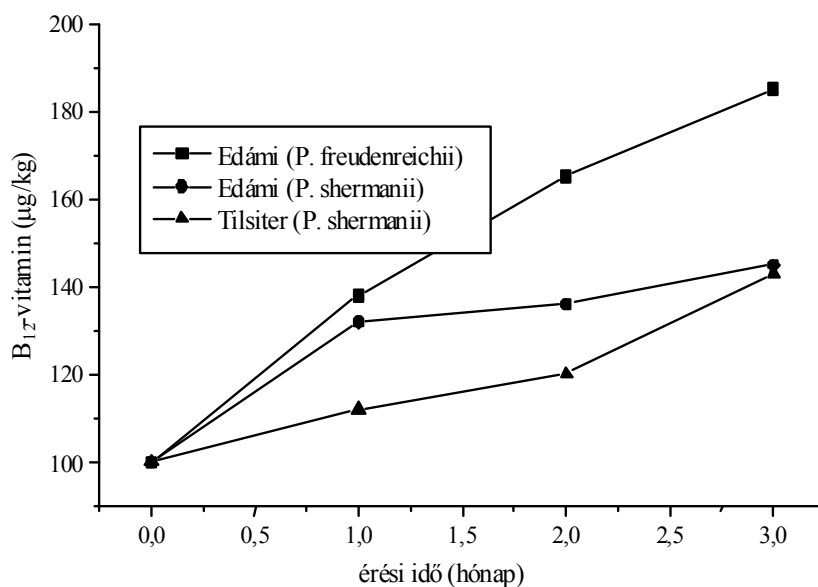
A 21.12. táblázat a különböző sajtok vitamintartalmát mutatja. A penésszel érő sajtok egy része több B-vitamint tartalmaz, mint a nem penésszel érők, amire jó példa az igen nagy B<sub>1</sub>- és B<sub>6</sub>-vitamin-tartalmú Camembert sajt. A lágy sajtok és a kék sajt kéregállománya több B-vitamint tartalmaz, mint azok belső része.

**21.12. táblázat.** *Néhány sajt vitamintartalma*

Vitamin	Vitamintartalom (mg/kg)
---------	-------------------------

	<i>Ementáli</i>	<i>Cheddar</i>	<i>Edami</i>	<i>Roquefort</i>	<i>Camembert</i>	<i>Cottage</i>	<i>Túró</i>
	<i>sajtban</i>						
A-vitamin	3,3	3,6	2,5	3,6	3,0	0,4	0–1
Tiamin	0,5	0,4	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3
Riboflavin	3,5	4,7	3,5	2,9	5,8	2,9	2,8
Piridoxin	0,9	0,7	0,6	–	2,0	0,25	–
Kobalamin	0,02	0,01	0,02	0,02	–	0,02	0,02
Nikotinsav	1,0	1,0	1,0	1,0	12	1,0	1,0
Folsav	0,2	0,15	–	0,4	–	0,3	–
Tokoferol	3	10	–	6	3	2,4	–

A sajtok B-vitamin-tartalma az érlelés folyamán jelentősen változik, ugyanis ezeket a vitaminokat a mikroorganizmusok szintetizálják és fogyasztják is. A sajt néhány B-vitaminjának koncentrációja függ attól, hogy milyen starterkultúrákat alkalmaztak, és függ a tárolás idejétől is. A hosszú tárolási idő ezért a B-vitamin-tartalom növekedéséhez vezethet.



**21.11. ábra.** A B<sub>12</sub>-vitamin mennyiségének növekedése a sajt érése során propionsavbaktériumkultúra hatására

A sajt egyes mikroorganizmusainak izolálásával kimutatták, hogy azok képesek a nikotinsav, a folsav, a biotin és a pantoténsav szintézisére. A *Geotrichum candidum*-ról kiderült, hogy képes a piridoxin szintézisére. A propionsav-baktériumok B<sub>12</sub>-vitamin szintézise a kemény sajtokban, különösen az Ementáliban, érdeklődésre tarthat számot.

Amikor az Edami, a Tilsiti és sok egyéb más sajt előállításánál propionsavbaktérium-szintenyészetet adtak a sajttejhez, néhány esetben, különösen a *Propionibacterium freudenreichii* esetében, a kobalamin-tartalom megduplázódott (21.11. ábra). A sajtok külső fehér penésze rétege, mint amilyen pl. a Camembert-é, ergoszterin is tartalmaz, amely a D<sub>2</sub>-vitamin prekursora. Az ergoszterin normál körülmények között nem fordul elő a tejben, hanem a sajt érlelése során a *Penicillium (P.) caseicolum* termeli. A B-vitaminok koncentrációjának növekedésével ellentétben, a sajt C-vitamin-tartalma gyakorlatilag teljesen elbomlik az érlelés során.

#### 21.3.1.5. Szerves savak

A sajt laktóztartalma viszonylag alacsony, mert a laktóz egy része a savóban marad, a túró laktóztartalma pedig részben tejsavvá alakul át az érlelés folyamán. A Cheddar sajt laktóztartalma kilogrammonként 0,7–4,8 g, galaktóztartalma 0,02–1,5 g, glükóztartalma pedig 4–110 mg. A különböző sajtok átlagos tejsavtartalma a következő:

Parmezán	0,7%
Cheddar	1,3%
Tilsiti	1,0%
Quarg	0,7%
Roquefort	0,6%,
Ementáli	0,4%
Juhsajt	0,3%
Camembert	0,2%

A tej természetes orotsavtartalmát a mikroorganizmusok elbontják, ezért jelenléte a sajtban már csak alig mutatható ki, ezzel szemben az N-acetil-neuraminsav koncentrációja nem változik az érlelés folyamán. A citromsav 90%-a a savóban marad a sajt készítés folyamán. A nukleotidok nagy része szintén a savóban marad, de a sajt érése folyamán újraképződnek, ezért mennyiségük indikátora a sajt érettségi fokának.

Egy kísérletben a sajt nukleotidtartalma 4,7  $\mu\text{mol}/100$  g-ról 28 nap alatt 9,8  $\mu\text{mol}/100$  g-ra nőtt. Bizonyos nukleinsavak és nukleinsav-származékok hozzájárulnak a sajt zamatához. A sajt készítés során használt starterkultúrák benzooesavat szintetizálnak a sajt érése folyamán. A különböző sajtok benzooesav-tartalma mg/kg-ban kifejezve a következő:

Skandináv savósajt	25–64
Cheddar	35
Cottage sajt	9–18
Camembert, Gouda, Edámi, Herrgard sajt	6–11

A Roquefort sajt csak nyomokban tartalmaz benzooesavat.

### 21.3.2. Mikrobiológiai szempontok

A sajttejet általában rövid idejű hőkezeléssel pasztörözik, amelynek során a patogén mikroorganizmusok elpusztulnak. Ennek következtében annak az esélye, hogy a sajt fogyasztás során az ember megfertőződik ezekkel a mikroorganizmusokkal, gyakorlatilag nulla. Az Ementáli sajtot nyerstejből is készítik ugyan, de a túró hőkezelése jelentős mértékben csökkenti a virulens mikroorganizmusok számát, a hőkezelést túlélő mikroorganizmusok pedig elpusztulnak az érlelés folyamán. Ennek következtében még az a sajt is biztonságosan fogyasztható hat hónapos érlelés után, amelyet tuberkulózisbaktériummal erősen fertőzött tejből készítettek. Egy másik kísérletben viszont, ahol a tejet szándékosan tuberkulózis- és *Brucella* baktériumokkal fertőzték, kimutatták, hogy ezek a mikroorganizmusok képesek bizonyos érlelési időt túlélni, hisz lágy sajtokon még az érlelés végén is életképes baktériumokat találtak. Ezzel szemben a *salmonella* néhány napon belül elpusztul, feltéve, ha a tejsavas erjedést követően megfelelően alacsony a pH. A kevés számú fertőzést okozhatta, hogy a sajtot nyers tejből készítették, hogy a sajttej újrafertőződött vagy mert a sajt érlelése folyamán nem képződött elegendő sav.

A manapság készített sajt abszolút biztonsággal fogyasztható nemcsak azért, mert a sajtot csak pasztörözött tejből készítik, hanem azért is, mert a brucellózis és a tuberkulózis csak igen ritkán fordul elő tejtermelő tehenészetekben, ezért a brucellózisra vagy tuberkulózisra irányuló tesztek lágy sajtokból az utóbbi időkben mindig negatív eredményt adtak. Az az időtartam, amelyet a patogén mikroorganizmus a sajtokban képes túlélni, függ a mikroorganizmus típusától,

a sajt fajtájától és az alkalmazott starterkultúrától. Az enteropatogén *E. colit* pl. a starterkultúrák teljesen elnyomják, a sztafilokokkuszok száma a savasság növekedésével csökken, míg a száj- és körömfájás vírusa 30 napos érlelési idő alatt inaktiválódik.

A penészeket, különösen a *Penicillium*-tenyészeteket előszeretettel használják a sajtelőállítás folyamán, különösen a sajtok felszínén, ezért felvetődik a kérdés, hogy vajon keletkeznek-e mikotoxinok az előállítás folyamán. Korábban azt gondolták, hogy ezek a penészek termelhetnek aflatoxinokat, de később kiderült, hogy ez a feltételezés a kísérleti eredményekből levont helytelen következtetés volt. A *P. roqueforti* az alábbi vegyületeket és bomlástermékeket szintetizálja:

- A roquefortin alkaloida, amely 0,05–6,8 mg/kg koncentrációban lehet jelen pl. a kék sajtban, a *P. roqueforti*ra jellemző degradációs termék. Jelenlegi tudásunk szerint ez a koncentráció igen alacsony ahhoz, hogy toxikus legyen, ezért a kék sajt fogyasztása semmiféle veszéllyel sem jár.
- Az ún. RP-toxint csak nagyon kevés *P. roqueforti* tenyészet termeli, és az is csak mesterségesen előállított táptalajon. A sajt alkalmatlan médium az RP-toxinok termelésére, másfelől pedig az RP-toxinok instabilak és különösen a sajtban gyorsan reagálnak egy aminocsoporttal, majd rövid idő alatt átalakulnak egy ártalmatlan vegyületté, ezért ezt a toxint sohasem tudták sajtból kimutatni még akkor sem, ha a sajtot RP-toxint is termelő tenyészettel készítették.
- Az egerek számára rákkeltő patulint nem termelnek azok a tenyészetek, amelyeket a sajtelőállítás folyamán használnak. Ezen túlmenően a patulin a sajtban gyorsan detoxikálódik, valószínűleg egy szulfhidrilcsoporttal való reakció során, így ez az anyag nagyon gyorsan eltűnik akkor is, ha esetleg kezdetben még jelen is volt a sajtban. Nem tudtak kimutatni patulint a Tilsiti sajtból még akkor sem, amikor azt mesterségesen megfertőzték patulint termelő mikroorganizmusokkal.

Nem tudtak kimutatni mikotoxinokat *P. caseicolum* és *P. camemberti* tenyészetekből sem. Semmiféle káros hatást sem találtak, amikor a sajtelőállításnál használt penészeket állatokkal etették. Végső következtetésként elmondható, hogy a sajt készítés során használt penészek ártalmatlanok az ember számára, fogyasztásuk teljes biztonsággal javasolható.

### 21.3.3. Nitráthozzáadás hatása a sajt minőségére

#### 21.3.3.1. A nitrit hatása

A hosszú érlelési idejű sajtoknál fennáll annak a veszélye, hogy az anaerob spórás klosztridium, különösen a *Clostridium (Cl.) tyrobutyricum*, amely nem pusztul el a pasztörözés hatására, vajsavas fermentációt indíthat el, aminek következtében a sajt felpuffadhat és így alkalmatlanná válik emberi fogyasztásra. A klosztridiummal való fertőződés veszélye akkor nagy, amikor az állatokat olyan szilázssal takarmányozzák, amelyben a fermentáció nem játszódott le tökéletesen, ezért nagyszámú klosztridium-endospórát tartalmaz. Az ún. kólis puffadás elkerülésére jelenleg még megengedik maximum 20 g nátrium- vagy kálium-nitrát 100 liter sajttejhez történő hozzáadását a sajtelőállítás, különösen a félkemény sajtok előállítása folyamán, mert az érlelési periódus alatt a nitrát nitritté redukálódik, ami megakadályozza a kólifórm mikroorganizmusok és bizonyos mértékig a klosztridiumok szaporodását, és így elkerülhető a sajtok ún. korai és esetleg a késői puffadása. A nitritnek nincs hatása a tejsavbaktériumok növekedésére. Nitritet nem vagy csak nagyon kis koncentrációban használnak az Ementáli sajt előállítása során, mivel az megzavarhatja a propionsavas fermentációt. A nitritadagolás a sajttejhez mégis kerülendő, ugyanis legtöbbször a gyártás nem kielégítő higiéniai viszonyait korrigálják vele.



A nitrit toxikus, ezért jó lenne, ha a sajt nem tartalmazna nitritet az érlelés végén. Valójában tényleg ez a helyzet, mert a nitrit gyorsan elbomlik az érlelés folyamán, és az érlelés végén a legtöbb sajt esetleg csak nyomnyi koncentrációban tartalmaz nitritet. Amikor 20 g nitrátot adnak 100 liter sajttejhez, az érett sajt általában 1 mg/kg nitritet tartalmaz. A Parmezán nitrittartalma átlagosan 0,48, a Tilsitié pedig 0,27 mg/kg. A sajtok többségéhez azonban nem adnak a sajtelőállítás folyamán nitrátot, ezért ezek nitrittartalma is nulla. Hollandiában a sajtok megengedett maximális nitrittartalma 2 mg/kg, de az ellenőrzések folyamán a talált értékek mindig kevesebbek ennél. A különböző nitráttartalommal készített Gouda sajtok nitrittartalma az érlelési periódus 5–10. hetéig nőtt, majd a 20. hétig minden mérésnél 0,5 mg/kg érték alá csökkent. Így ha 100 liter sajttejhez 20 g nitrátot adtak, a nitrit maximális koncentrációja 0,7 mg/kg volt, amely érték az érlelési periódus végére 0,1 mg/kg-ra csökkent.

A nitrit és a lipidek közötti reakció is a nitrit jelentős csökkenéséhez vezet. A holland törvények nemcsak a nitrit, hanem a nitrát koncentrációját is limitálják a sajtban: a maximális megengedett koncentráció 50 mg/kg. Ezt a maximális értéket csak nagyon ritkán múlják felül, hisz az átlagos érték 1–40 mg/kg között változik. A nitráttal nem kezelt sajttejből készült sajt esetén is kimutatható minimális nitráttartalom a tejben, amit a technológia során használt víz nitráttartalma okozhat. A sajttejhez adott nitrát legnagyobb része átmegy a savóba, a sajtban lévő nitráttartalom pedig jelentősen csökken az érlelés során. Összehasonlítva a vezetékes víz nitráttartalmával, amelynek megengedett maximális értéke 30 mg/dm<sup>3</sup>, vagy néhány zöldség maximális nitráttartalmával, amely egyes esetekben elérheti a 2500 mg/kg-ot is, a sajt nitráttartalma rendkívül kicsi.

Patkányokkal végzett kísérletek kimutatták, hogy a megemésztett nitrát egy része a vékonybélben a mikroflóra hatására átalakul nitritté, és ez a folyamat játszódik le a vékonybél mukózában is. Ráadásul a nitrittartalom függ a nitrátbeviteltől és a gyomor pH-jától is. Ennek ellenére a megemésztett nitrit és nitrát legnagyobb része nagyon gyorsan kiürül a vizelettel és a bélsárral. Az embereknél az ételmiszer nitráttartalmát a mikroorganizmusok a szájban nitritté redukálják, így a nyál tartalmaz nitritet. Egy patkányokkal végzett kísérletben, ahol a takarmány 0–5% nitrátot, vagy 0–1% nitritet tartalmazott, szignifikáns testtömeg-csökkenést valamint hematokrit- és hemoglobinszint-csökkenést figyeltek meg azoknál az állatoknál, amelyek a legnagyobb koncentrációban fogyasztották ezeket az anyagokat. Az állatkísérletek arra is rámutattak, hogy a nitrát- és nitritfogyasztás negatív hatással van a reprodukcióra, az A-vitamin hasznosulására és a pajzsmirigy működésére. Állatkísérletekkel meghatározták, hogy testtömeg-kilogrammonként 45 µg nitrit abszolút biztonságos az ember számára. A WHO ajánlása szerint 5 mg nitrát és 0,2 mg nitrit testtömeg-kilogrammonként még elfogadható felnőtt emberek esetében. Ebből következően a sajtok igen alacsony nitrit- és nitráttartalma nem jelent veszélyt a fogyasztó számára. A különböző országokban a napi nitrátfogyasztás 50–100 mg között változik, amihez a zöldségek 70–80%-ban, a tej és tejtermékek pedig 0,2–0,7%-ban járulnak hozzá. A tejtermékfogyasztással felvett nitrit részaránya még ennél is kisebb.

Életük első három hónapjában a csecsemők különösen érzékenyek a táplálék nitráttartalmára. Ennek az az oka, hogy az emésztő rendszerben lévő baktériumok a nitrátot toxikus nitritté redukálják, ami blokkolja a hemoglobin oxigénszállítását, methemoglobinémiát okozva. A csecsemőtápszerhez használt alapanyagoknak ezért alacsony nitráttartalmúaknak kell lenni. Több esetben beszámoltak csecsemők methemoglobinémiájáról, de egyetlen esetben sem a tej volt a mérgező anyag forrása, hanem a bébitápszer előállításához felhasznált víz igen magas nitráttartalma. Egy kísérlet szerint ily módon a csecsemők nitrátfelvétele 7 mg volt testtömeg-kilogrammonként. A zöldségféléken alapuló bébitápszerek néha veszélyes koncentrációban tartalmazzák a nitritet és a nitrátot.

Mivel a sajt készítésénél a tejhez adott nitrát nagy része átmegy a savóba, a savó nitrát- és nitrittartalmát ellenőrizni kell, ha a továbbiakban fel akarjuk használni szilárd vagy folyékony

formában akár emberi táplálékként, akár állatok takarmányozására. A tejsavópor nitráttartalma 5–100 mg/kg között változik, bár néhány esetben ennél sokkal nagyobb értéket is mértek. A Nemzetközi Tejgazdasági Szövetség ajánlása alapján a savópor nitráttartalma nem lehet több 10 mg/kg-nál. Néha igen kis koncentrációban a tejporból is kimutatható nitrit és nitrát.

Mivel a sajt nitríttartalma esetenként jelentős lehet és belőle a technológiai folyamatok során nitrózaminok is keletkezhetnek, néhány országban megtiltották a nitrát használatát a sajt készítés során. A nitráton és nitriten kívül vannak más lehetőségek is, amelyekkel meggátolják a klosztridiumok nemkívánatos tevékenységét a sajt készítés folyamán. Egyik ilyen módszer a nagy fordulatszámmal végzett centrifugálás, amelynek során a klosztridium-spórákat eltávolítják a tejből. Ezeknek a szervezeteknek lizozimmal történő inaktiválása a gyakorlatban nem vezetett teljes sikerre. Kimutatták azt is, hogy kisebb koncentrációban (10 g/100 dm<sup>3</sup> sajttej) alkalmazva a nitrátot megfelelő hatást lehet elérni a klosztridiumok gátlása terén, és így a sajt nitríttartalmát jelentős mértékben csökkenteni lehetett.

### 21.3.3.2. Nitrózaminok

A nitrózaminok másodrendű aminok és nitritek reakciójából keletkeznek. Eddig kb. 60 különféle nitrózamint ismertünk meg, amelyek nagy része a patkánykísérletek tanúsága szerint erősen karcinogén. Nitrózaminok előfordulnak a cigarettafüstben, különböző húskészítményekben és a sörben. A nitrózaminok kialakulása függ a nitrit koncentrációjától, de független az amintól. A sajtban előforduló két legfontosabb amin, a hisztamin és a tiramin, nem képeznek a nitrittel nitrózaminokat. A reakció pH-függő; az optimális pH 2 és 4,5 között van. Mivel a sajtok pH-ja ennél magasabb, ez meggátolja a nitrózaminok kialakulását. Néhány penész, mint pl. a *P. camemberti*, képes nitrózaminokat szintetizálni ebben a pH-tartományban, de azoknál a sajtoknál, amelyeket nitráttal kezelnek, nem alkalmazzák ezt a penészkultúrát.

Nitrózaminok az emberek és az állatok gyomrában is képződhetnek nitritből és másodrendű aminokból, ugyanis a gyomornedv alacsony pH-ja elősegíti ezt a reakciót. A reakció kinetikája azonban valószínűtlenné teszi, hogy ez a reakció akár a sajtban, akár a gyomorban végbemenjen, ezért csak nyomnyi mennyiségű nitrózamint lehet kimutatni a gyomorból. Az aszkorbinsav is teljesen gátolja a reakciót, és többen arra a következtetésre jutottak, hogy a sajtban esetleg keletkezett nitrózókomponenseket az enzimek lebontják a sajt érése folyamán. Ez az oka annak, hogy a nitrózaminok csak elenyésző koncentrációban mutathatók ki azokból a sajtokból, amelyekhez engedélyezett mennyiségű nitrátot adtak. Koncentrációjuk némely esetben elérte az 1–5 µg/kg-ot, de a legtöbb kísérletben a koncentráció nem haladta meg a 0,2 µg/kg-ot. A legtöbb sajtmintában a nitrózamin-koncentráció a kimutathatósági határ, 0,01 µg/kg koncentráció alatt volt.

A sajtban leggyakrabban a dimetil-nitrózamin fordul elő. Nincs kapcsolat a sajt nitrát- és nitrózamintartalma között, és kimutatták azt is, hogy azok a sajtok is tartalmaztak nitrózamint, amelyek előállításánál nem is használtak nitrátot. A nitrózamin nemcsak a sajtból, hanem a speciális sajt készítéséhez felhasznált hústermékből is származhat. Minden esetben meg lehet azonban előzni a nitrózaminok keletkezését aszkorbinsav hozzáadásával. Egy kísérlet során nem tudtak nitrózamint kimutatni házilag készített, nitritet tartalmazó sajtból és húsból álló ételismiszerből (sonkás sajt pirítóssal).

A tejet és a tejtermékeket szintén intenzíven vizsgálták nitrózaminokat keresve, és megállapították, hogy nitrózaminok nem kerülnek a tejtermékekbe a fermentált alapanyagokkal. Egy alkalommal igen kis koncentrációban (1 µg/kg) kimutattak nitrózamint sovány tejporból, de további vizsgálatokkal fermentációval előállított tejtermékekből sem sikerült ezt az eredményt megismételni.

A nitrózaminok azon vegyületek közé tartoznak, amelyek igen erősen, nem egészen bizonyítottan, az ember számára is karcinogének. Mi az a maximális mennyiség, ami még az ember számára elviselhető? Állatokkal végzett kísérletek alapján úgy gondolják, hogy a még elviselhető mennyiség 5–10 µg/kg ételiszter körülire tehető, ami már a biztonsági tényezőt is magában foglalja. Egy kísérletből kitűnt, hogy az átlag ember évente mintegy 50 µg nitrózamint fogyaszt az ételiszterekkel. Nagy-Britanniában a napi átlagos nitrózaminfogyasztás 1 µg, amelyhez a sajt mintegy 4%-ban járul hozzá, ezért a sajtban igen kis koncentrációban előforduló nitrózaminok jelentősége elhanyagolható. Ismerve azt a tény, hogy a szervezet maga is képez nitritet, a sajt igen kis nitrózamintartalma ténylegesen elhanyagolható.

#### **21.3.4. A csomagolóanyag hatása**

A sajt és az egyéb tejtermékek csomagolására gyakran használják a műanyagokat, sőt a sajtot még az érlelés folyamán is gyakran beburkolják műanyaggal, hogy megvédjék a felületet a penészek elszaporodásától. A csomagolóanyagoknak szigorú követelményeknek kell eleget tenni. A megfelelő átjárhatatlanságon túl nem szabad toxikusnak lenni, szag- vagy ízanyagokat képezni, mert kölcsönhatás léphet fel ezen anyagok és a zsírtartalmú ételiszter között. A zsír elvándorol az ételiszterből a műanyag csomagolóanyaghoz, a stabilizátorokat, az emulgeátorokat, az antioxidánsokat vagy a monomereket kioldhatja abból, és ezek belekerülhetnek az ételiszterekbe. Ezeknek az anyagoknak a vándorlása függ a tárolás hőmérsékletétől. Mivel a tej csak rövid ideig érintkezik ezekkel a csomagolóanyagokkal, a tejből nem lehet a csomagolóanyagból származó komponenseket kimutatni. A sajt esetében egy hónapos tárolás során a csomagolóanyag 1%-a oldódott ki és került a sajtba. Mivel a polietilén extraktumot veszélyesnek találták állatkísérletek során, megállapítottak egy minimális értéket, ami kioldódhat a csomagolóanyagból a tárolás folyamán. Azon csomagolóanyagok használatát, amelyek nem tudják ezt a megengedett szintet tartani, be kell tiltani. A biztonsági határ vízoldható anyagokra 15 mg/kg, zsíroidható anyagokra pedig 50–60 mg/kg. A tej és tejtermékek csomagolására használt polietilén és a polisztirol megfelel ennek a követelménynek, a PVC-t viszont kevésbé tartják alkalmasnak a zsírdús sajtok csomagolására. A kemény PVC ugyanakkor biztonságos csomagolóanyag még a hosszú ideig tárolt ételiszterek esetén is.

#### **21.3.5. A sajtok tartósítása**

##### *21.3.5.1. Szorbinsav*

A szorbinsav, valamint kalcium-, nátrium- és káliumsója igen hatékonyan megvédi a sajtot az élesztőgombáktól és a penészeketől, továbbá megakadályozza a pszeudomonasz fajok szaporodását is. A szorbinsavat ezért esetenként a kemény és félkemény sajtok felületének kezelésére használják, megvédve ezzel őket a gombáktól az érlelés és a tárolás során, végső soron megőrizve a sajt minőségét. Ez a módszer különös jelentőségű, mert meggátolja az aflatoxinokat termelő penészgombák elterjedését is: pl. ha a szorbátkoncentráció 200–400 mg/kg, nem szaporodik a mikotoxinokat termelő *Aspergillus versicolor*. A szorbinsav a 24 hetes érlelési idő alatt a Gouda sajt felületén lévő viaszban meggátolja a penészek elszaporodását. A szorbinsav az Ementáli, a Tilsiti és a Provolone sajtjánál is hatásos. A felület kezelése a konzerválószerrel nem befolyásolja az érési folyamatokat és a sajt organoleptikus tulajdonságait. A szorbinsav fungicid hatása jobb, mint a benzoésavé, a felületkezelés azonban csak bizonyos ideig hatásos, mert a szorbinsavat a mikroorganizmusok lebontják, egy része pedig bediffundál a sajt belső részébe. A szorbinsavat ugyancsak használják a csak rövid ideig tárolható Quarg (túrósajt) konzerválására is; 0,05–0,07% szorbinsav legalább egy héttel kitolja az eltarthatóság idejét. A szorbinsav az aromát

termelő mikroorganizmusokra nincs hatással. Némi aromahiány akkor figyelhető meg, ha a szorbinsav koncentrációja több mint 0,1%. A vaj 0,1% szorbinsavtartalma megakadályozza a penészek és a kóliform mikroorganizmusok elszaporodását. A szabad zsírsavak koncentrációja ilyen vajban hosszabb tárolás után kisebb a kontrollhoz viszonyítva. A szorbinsav használata szóba jöhet még esetleg a Feta sajt, a joghurt és a tejszín tartósításánál is.

A szorbinsav szerkezetéből adódóan abszolút veszélytelen a szervezet számára, mert a szervezet a hat szénatomos kapronsavval azonosítja. Azoknál a kísérleti állatoknál, amelyek 5% szorbinsavtartalmú takarmányt fogyasztottak, nem tapasztaltak semmiféle egészségkárosodást. Ezért engedélyezik számos országban a szorbinsavat és sóit többfajta élelmiszer tartósítására, így a sajtéra is, bár megkövetelik ennek feltüntetését a csomagolóanyagon. A szorbinsav tehát a legsokoldalúbban használt tartósítószer, mivel veszélytelen és rendkívül hatékony.

#### 21.3.5.2. Natamicin

A natamicin a *Streptomyces (Stm.) natalensis* által termelt antibiotikum. A szorbinsavhoz hasonlóan meggátolja a penészek és élesztők szaporodását, de csak csekély hatással van a baktériumokra. Az *Aspergillus (A.) flavus* pl. különösen érzékeny a natamicinre. A natamicint, a szorbinsavhoz hasonlóan, a sajt felületének kezelésére használják. A penészek növekedése megelőzhető a sajtok natamicinoldatba történő bemártásával. A natamicin viszonylag hosszú ideig megmarad a sajt felületén, a sajt külsejének csak a legkülső rétegébe hatol be, megvédi a sajtot a felületi penészeketől legalább nyolc héten át, és elpusztítja az aflatoxint termelő fajokat is. A sajt ízét a kezelés nem befolyásolja. Bár a natamicint még csak néhány éve használják, néhány penész és élesztő rezisztenciát mutat az antibiotikummal szemben. A natamicint a Cottage sajt esetében is használják a penészek elpusztítására és a tárolás idejének megnövelésére. A natamicin a legtöbb európai államban engedélyezett a sajtok felületének kezelésére, mert semmiféle fiziológiás vagy toxikus hatást sem mutattak ki róla. Némi kétség merült föl a tekintetben, hogy vajon segíti-e a rezisztencia kialakulását olyan antibiotikumokkal szemben, amelyeket a humán gyógyászatban előszeretettel alkalmaznak. Az ilyen jellegű vizsgálatok negatív eredményt hoztak, sőt még azt is megállapították, hogy allergiás reakciókat sem okoz. A még elviselhető szint natamicinből testtömeg-kilogrammonként 0,25 mg.

#### 21.3.5.3. Nisin

A nisin antibiotikum egy polipeptid, amelyet a *S. lactis* termel. A nisin csökkenti a hőnek jobban ellenálló spórás baktériumok hőtűrő képességét, és így lehetővé teszi számos élelmiszer alacsonyabb hőmérsékleten történő sterilizálását. A nisin használatát számos országban engedélyezték az élelmiszeriparban. Mivel a nisin hatásos az anaerob spórás klosztridiumokkal szemben, ezért a múltban a félkemény és a kemény sajtok esetében használták a vajsavas erjedés megelőzésére. A nisin nincs hatással a starterkultúrák mikroorganizmusaira (sőt a sztreptokokkuszok még *nisináz* enzimet is termelnek), de néhány esetben hatással volt a sajt későbbi érésére. Kísérletekben kimutatták, hogy ha a starterkultúra nisint is termelő tejsavbaktériumokat is tartalmazott, akkor a vajsavas erjedés és a sajt érés közbeni puffadása visszaszorult, ez a módszer azonban a gyakorlatban nem terjedt el. Az élelmiszerek nisintartalma nem veszélyes az egészségre, mert az emésztőenzimek aminosavakra bontják, és ezért nincs hatással a bélflóra tevékenységére. A humán gyógyításban nem használják, ezért az esetleges rezisztencia kifejlődése az ember számára nem jár káros következményekkel. Állatkísérletekben, igen nagy koncentrációban adagolva a takarmányhoz, semmiféle toxikus hatást sem tapasztaltak, és végül az abszolút biztonságos voltát bizonyítja az is, hogy a tej és néhány tejtermék természetes alkotórésze.

### 21.3.6. Túró

A 21.10. és a 21.12. táblázatok a túró fehérje-, ásványianyag- és vitamintartalmát mutatják. A kalcium a túróban majdnem teljesen oldott formában található. A túró érelni is szokták. Ilyenkor a kazein egy része peptidekké és szabad aminosavakká bomlik le. Az aromaanyagokat főként a diacetil és az acetoin alkotja, amely az érlelés folyamán keletkezik. Gyümölcszel kombinálva fehérjetartalma kissé alacsonyabb (8,9%), mint az eredeti túróé, szacharóz-, glükóz- és fruktóztartalma pedig kb. 11%. A túró előállítására használt tejet erőteljesebb hőkezelésnek vetik alá (82–84 °C, 1–2 másodperc), amelynek során savófehérje-kazein komplex képződik, és az ezt követő savanyítás után a savófehérje nagy része a kazeinnel együtt kicsapódik és átmegy a túróba. Az így kicsapódott nitrogén mennyisége tej esetében 77–79%-tól 88–89%-ig változik. A  $\beta$ -laktoglobulin 90%-a, az  $\alpha$ -laktalbuminnak pedig 60%-a a túróban található, ezért ez nagyobb koncentrációban tartalmazza az esszenciális aminosavakat, mint a kazein. Cisztintartalma 1,3 g/100 g fehérje a kazein 0,7 g/100 g kazein értékével szemben.

Emésztésélettani szempontból a túró értéke hasonló a többi tejsavbaktérium kultúrával előállított tejtermékéhez. Alacsony zsírtartalma miatt relatíve sok magas biológiai értékű fehérjét, valamint kalciumot és foszfort is tartalmaz, és alacsony energiatartalma miatt mindenkinek – különösen idősebb embereknek és fogyókúrás étrenden lévőeknek – javasolt a fogyasztása. A túró rendkívül könnyen emészthető, ezért felbecsülhetetlen szerepe van a gyógyításban, különösen a májproblémákkal küzdő emberek esetén.

### 21.3.7. Ömlesztett sajtok

Az ömlesztett sajtokban a kazeint az emulgeáló sók hidratálják és peptizálják, ezért a vízoldható fehérje mennyisége jelentősen megnő a feldolgozás során. Németországban az emulgeáló só mennyiségét a foszfát esetében 3%-ban, a citrát és a laktát esetében pedig 4%-ban limitálták. Organoleptikus szempontból a polifoszfátokat széles körben használják. A tárolás során az ömlesztett sajtok polifoszfátjai részben vagy egészben di- és monofoszfáttá bomlanak le. A felhasznált mennyiség limitált (2–3%), ezért nem kell félni attól, hogy a szervezet számára optimális kalcium-foszfor arányt túlságosan lerontja. Az ömlesztett sajtokban a natúrsajtok ideális kalcium-foszfor aránya (1,5–1,6:1) 1:2-re módosul, amely alól kivétel a Pécsi MTKI által kifejlesztett „Boci” kalcium-plussz sajt, amelyben a kalcium-foszfor arány 4,2:1. Az emulgeálósó nem tartalmazhat 10%-nál több metafoszfátot.

Az ömlesztett sajt nagyjából ugyanazokat a tápanyagokat tartalmazza, mint a kiindulási sajt, amiből készült. A zsírtartalom 9–31%, a fehérjetartalom pedig 8–24% között változik. Kivételt képez ez alól a nátrium és a kálium, amelyeknek koncentrációja nagyobb, de az egyéb ásványi anyagok mennyisége hasonló a kiindulási sajtéhoz. A polifoszfát hozzáadása nem emeli meg jelentős mértékben a foszfortartalmat, ugyanis a normál sajtok foszfortartalma 0,4–2,7%, az ömlesztetteké pedig 0,8–2,7% között változik. Az ömlesztett sajt előállítása folyamán kissé csökken a B<sub>1</sub>-, a B<sub>2</sub>-, a nikotinsav-, a pantoténsav- és a B<sub>12</sub>-vitamin-tartalom. A sajt szabadaminosav-tartalma és a fehérje in vitro emészthetősége nő a technológiai beavatkozással, így az ömlesztett sajt fehérjéjének hasznosulását jobbnak tartják, mint az eredeti sajtét. A hasznosítható lizin-tartalomban nem volt különbség a kétféle sajt között. Az ömlesztett sajt a magas hőmérsékletű hőkezelésnek köszönheti hosszú eltarthatóságát, amely hőkezelés inaktíválja a sajt *proteázait*. Az ömlesztett sajt szabadzsírsav-tartalma nagyon hasonlít az eredeti sajtéhoz. Kén-hidrogént, ami fontos alkotórésze némely sajt aromaanyagainak, ömlesztett sajtból nem tudtak kimutatni.

A polifoszfátoknak semmiféle élettani hatásuk sincs, mert gyorsan lebomlanak monofoszfáttá, amelyek aztán felszívódnak, így a polifoszfátnak semmiféle káros hatása sincs az emberi szervezetre. Patkányokat hosszú időn keresztül polifoszfáttal etetve semmiféle káros hatást sem tudtak kimutatni. A hozzáadott foszfáttartalmat természetesen figyelembe kell venni a foszforszükséglet számolásánál; az összes foszfortartalom a természetes és a hozzáadott foszforból tevődik össze, és a kiegészítés is hozzájárul a szervezet foszforszükségletének kielégítéséhez. Esetleg akkor adódhat foszforból túlzott felvétel, ha az ömlesztett sajtokat más, foszforban ugyancsak gazdag élelmiszerekkel együtt fogyasztják. Nem okoz problémát azonban, ha az ömlesztett sajtból történő foszforfelvétel nem haladja meg a napi 1,2 g-ot. Végezetül leszögezhető, hogy az ömlesztett sajt egy igen értékes élelmiszer. Az egyéb emulgeálóanyagokkal, a citromsavval és sóival szemben semmilyen kifogás sem merült fel, mivel ezek nagyon sok élelmiszerben előfordulnak és normál metabolikus anyagai az emberi testnek.

### 21.3.8. A savó

#### 21.3.8.1. A savó összetétele

A sajtelőállítás során sok tejalkotórész a savóban marad; így pl. a fehérje 25%-a a savót gazdagítja. A savó ezért viszonylag gazdag fehérjében, laktózban, ásványi anyagokban és vitaminokban. A savó és a savópor átlagos összetételét a 21.13. táblázat tartalmazza.

**21.13. táblázat.** *A savó és a savópor átlagos összetétele*

<i>Komponens</i>	<i>Mértékegység</i>	<i>1 liter savóban</i>	<i>1 kg savóporban lévő mennyiség*</i>
Szárazanyag	g	61	
Nedvesség	g		44
Tejcukor	g	48/42	740/660
Fehérje	g	8	125
Zsír	g	2	10
Ásványi anyagok	g	5/7	80/105
Tejsav	g	1/5	2/42
Ca	g	0,5/1,0	7/20
P	g	0,5	8
K	g	1,4	20
Na	g	0,45	9
Cl	g	1,0	16
Mg	g	0,04/0,08	1/2
Zn	mg	0,3/2,3	10/60
Fe	mg	0,9	
Cu	mg	0,2	3
Mn	µg	6/26	120/470
Tiamin	mg	0,4	5
Riboflavin	mg	1,4	25
Piridoxin	mg	0,5	
Kobalamin	µg	1,5	25
Nikotinsav	mg	2	8
Folsav	µg	50	220
Pantoténsav	mg	115	

Aszkorbinsav	mg	9	45
pH		6,0/4,5	

\*Az első érték az édes savóra, a második a savanyú savóra vonatkozik.

A táblázat jól mutatja az édes és a savanyú savó közötti különbségeket, ami elsősorban a laktóz, a tejcukor, a pH és az ásványi anyagok esetében jelentős. A táblázatban szereplő 0,8% fehérjetartalom túl nagynek tűnik, mert a savó nitrogéntartalmú anyagainak 20–32%-a nem-fehérje nitrogén (NPN), ezért a savó átlagos fehérjetartalma 0,65%, citromsavtartalma 0,14%, orotsavtartalma pedig 60–150 mg között van 100 cm<sup>3</sup>-ben.

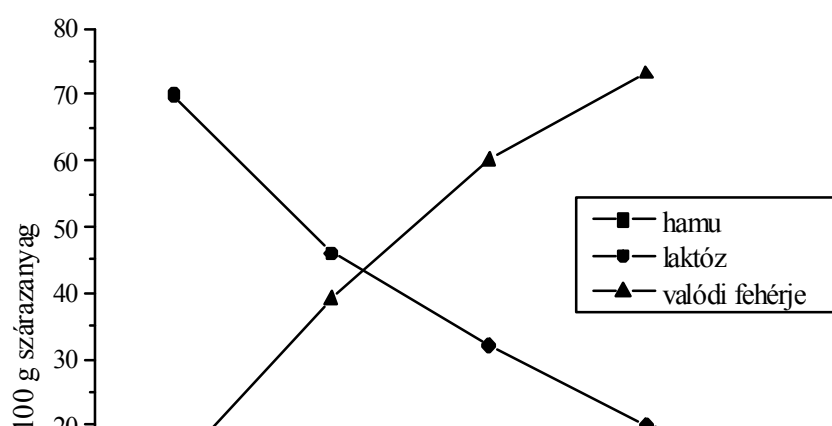
A savófehérje emészthetősége 94–100%. Szobahőmérsékleten tárolva hosszabb ideig minimális a lizin- és vitaminvesztés. A porlasztva szárítás kevesebb veszteséget okoz az eredeti savóhoz képest, mint a hengeren történő szárítás. Így pl. porlasztva készült savóporban 7,0 g/100 g fehérje, a hengerszáritásnál pedig 4,0 g/100 g a hasznosítható lizintartalom.

Magyarországon az éves savótermelést mintegy 450 ezer tonnára becsülik, amelyben mintegy 2,8 ezer tonna igen magas biológiai értékű fehérje van. A múltban a savót környezetet szennyező melléktermékeknek tekintették, manapság azonban egyre többen állati takarmányként használják fel. Mivel igen gazdag fehérjében, ásványi anyagokban és vitaminokban, újabb eljárásokat dolgoznak ki a savó emberi fogyasztásra történő alkalmassá tételére is. Magas táplálkozási értékét csak a XX. században ismerték fel, bár a XVIII–XIX. században a savóval való gyógyítás mindennapos volt Svájcban, Ausztriában és Németországban. Csak a magas laktóztartalom miatt kell korlátozni a savópor felhasználását, bár több élelmiszerben lehetőség van széles körű alkalmazására. Így a csecsemőtápszerek 25–40%, levesporok pedig 50–70% savóport is tartalmazhatnak, és a sütőipari termékek és desszertek 3–10% savóport is elbírnak. Az egyéb termékek, amelyekhez savóport használhatnak az előállítás folyamán a következők: kenyér, tésztafélék, jégkrém és ömlesztett sajt. A savópor javítja a különböző termékek ízét, színét és állagát.

Sok savó alapú gyümölcs- és más aromákkal ízesített italt forgalmaz a kereskedelem. A savó-szója, és a savó-földimogyoró alapú termékeket különösen javasolják kisgyermekek táplálására a minden szempontból igen nagy biológiai érték miatt. Ezenkívül előállítanak még néhány fermentációval készült ivólevet is savóból. A további elképzelés a savóval kapcsolatban az, hogy frissfogyasztású Quargot készítsenek nagyobb mennyiségben belőle, ill. az, hogy az élesztőfehérje gyártásánál alapanyagként használják fel.

### 21.3.8.2. Tejfehérjéből előállított termékek

Miután a savó fehérjetartalma még mindig nagy (0,7–1,1%), ezért a tejfehérje előállítására is használt, modern technológiai eljárásokat dolgoztak ki a savófehérje koncentrálására. Ezekkel az eljárásokkal a tejből és a savóból a következő termékeket állítják elő: oltós vagy savas kazein, kazeinátok, co-precipitátumok, hővel koagulálódott savófehérje és ultraszűrővel előállított savófehérje. Kis mennyiségben texturált tejfehérjét is előállítanak néhány élelmiszer készítéséhez. Tej- és savófehérje-koncentrátumokat gélfiltrálással is előállítanak (21.12. ábra).



**21.12. ábra.** *A savó fehérje-, laktóz- és hamutartalmának változása az ultraszűrés során*

A kazeinátok és a co-precipitátumok átlagos összetételét a 21.14. táblázat tartalmazza. A táblázat adataiból megállapítható, hogy a kazeinátok PER-értéke nagyobb, mint a kazeiné. Co-precipitátumok esetében a kazein és a savófehérje együtt csapódik ki, így ennek fehérjéje nagyobb biológiai értékű, mint a kazeiné: lényegesen gazdagabb kéntartalmú aminosavakban, mint a kazeinát. E módszerrel a tejfehérje 96%-a, a savófehérjének pedig kb. 70%-a kicsapható, ennek megfelelően aminosav-összetétele nagyon hasonlít a tejfehérjééhez.

**21.14. táblázat.** *Néhány tejfehérje-készítmény átlagos összetétele*

Komponens	Összetétel (%)			
	Kazeinát	Co-precipitátum	Savófehérje-koncentrátum alacsony fehérjetartalommal	magas
Nedvesség	4,5	6,0	4	4
Fehérje	90	82,5	40	70
Tejcukor	0,3	0,8	46	18
Zsír	1,2	1,2	4	5
Hamu	4,1	9,5	5	4
Na	0,1	2,2	0,4	0,3
K	0,1	0,1	1,2	1,0
Ca	0,1	2,0	0,7	0,5
P			0,4	0,3

Ha kalcium-kloridot is használnak a precipitáció folyamán, akkor nagy kalciumtartalmú termékhez jutnak. Mind a kazeinátokat, mind a precipitátumokat számos élelmiszer előállításánál felhasználják, így pl. alkalmazzák a joghurt, a kefir és más kultúrával készített tejtermékek, az ömlesztett sajt, alacsony zsírtartalmú kenhető tejtermékek, tejjel készült édes tészták, tejeskávé, kenyér, péksütemények, húskészítmények, desszertek, sütemények, levesek, mártások, pudingok, jégkrém és diétás élelmiszerek előállításánál. A kalcium-kazeinát és a húsfhérje keverék magas biológiai értéke jelzi az így készült termékek kiváló felhasználhatóságát az emberi táplálkozásban.

A hővel kicsapott savófehérje 88% fehérjét, 4,5% zsírt, 0,2% laktózt, 4% hamut és 3% nedvességet tartalmaz. *Proteázokkal* (pl. a *tripszin*) történő kezeléssel könnyen átalakítható vízoldható savófehérje koncentrátummá. Az így készült termék igen magas biológiai értékű, amelyet az eredeti savófehérjénél nagyobb PER- és NPU-értéke bizonyít. A fehérje



emészthetősége 100%, és aminosav-összetétele igen közel áll az optimális aminosav-összetételűnek tekintett referencia fehérjéhez. E termék alkalmazása is igen széles körű; használják pl. a Quarghoz kiegészítő anyagként, kultúrával előállított tejtermékekhez, sajtokhoz, sültetekhez, húskészítményekhez, tésztafélékhez és jégkrémhez.

Az ultraszűrést membrán segítségével végzik, amelynek során a nagy molekulatömegű fehérjéket elválasztják a tej és a savó kis molekulatömegű komponenseitől, mint amilyen a víz, a tejcukor és az ásványi anyagok. Az ultraszűrés hatékonyságától függően a koncentrátum fehérjetartalma szárazanyagra számolva 12 és 70% között változik, a laktóztartalom 70-ről 20%-ra, az ásványianyag-tartalom pedig 10-ről 4%-ra csökken. Diafiltrálással a szárazanyag fehérjetartalma 88%-ig növelhető. Mivel az NPN-anyagok és a proteáz-pepton-frakció egy része átmegy a membránon, a koncentrátum összetétele, a fehérjefrakciók mennyisége és aránya jelentős mértékben eltér a savó eredeti összetételétől. Az összes fehérjében a savófehérje aránya 50-ről 83%-ra emelkedik, a proteáz-pepton-frakció 17-ről 10%-ra, az NPN-frakció pedig 32-ről 7%-ra csökken. Az ultraszűrés nem okoz fehérjedenaturációt, de az így kapott fehérje könnyebben denaturálódik, mint a tejben. Azon savófehérje-koncentrátum ásványianyag-tartalmát, amelyet csecsemőtápszerekben vagy egyéb speciális dietetikus készítményekben használnak, elektrodialízissel még tovább kell csökkenteni, a nitrátot pedig a savóból ioncserés kromatográfiával lehet eltávolítani. A fehérjéhez kötött kobalamin és folsav 95–98%-a, a többi vitamin 60–70%-a, az aszkorbinsavnak pedig kb. 15%-a marad a koncentrátumban. A 21.14. táblázat az ultraszűréssel kapott, két különböző fehérjetartalmú savófehérje-koncentrátum összetételét mutatja. Ezen termékek B-vitamin-tartalma mg/kg-ban a következő:

B <sub>1</sub> -vitamin	3,8	Nikotinsav	12
B <sub>2</sub> -vitamin	31	Pantoténsav	46
B <sub>6</sub> -vitamin	3,3	Folsav	5,9
B <sub>12</sub> -vitamin	0,2	Biotin	0,4

A savófehérje-koncentrátum fehérjéjének biológiai értéke ugyanolyan nagy, mint az eredeti savófehérjéé. Esszenciális aminosav-tartalma minden esszenciális aminosav tekintetében nagyobb, mint a FAO által meghatározott referencia fehérjéé; ez a megállapítás vonatkozik a metioninra és a cisztinre is. A savófehérje-koncentrátum PER-értéke a tojásfehérjéhez hasonló; ebből következően nagyobb, mint a tejpore vagy az egyéb tejfehérje-koncentrátumoké (kazeinát, coprecipitátum). Hasznosítható lizintartalma nem változik lényegesen az ultraszűrés hatására, ezért ezek a termékek rendkívül fontosak az emberi táplálkozásban.

A nagy fehérje- és az alacsony zsírtartalom különösen alkalmassá teszi ezeket a készítményeket speciális, magas fehérjetartalmú termékek előállítására. Különösen ajánlják ezeket a termékeket fogyókúra ételkészítményekbe, hiperlipoproteinémiában szenvedőknek és azoknak a pácienseknek, akik máj és epehólyag problémákkal, illetve cukorbetegségben szenvednek. Az ilyen adalékanyagok használatát ezenkívül javasolják csecsemőtápszerekbe, sportemberek, gyermekek és idősebbek ételkészítményeibe, akik esetében kívánalom a magas fehérjetartalom. Emlékeztetni kell arra is, hogy a savófehérje jelentősen emeli a zöldségfélék és gabonamagvak (búza, kukorica, rizs stb.) fehérjéje biológiai értékét. A növekedés a tejfehérjéhez viszonyítva sokkal jelentősebb. Savófehérje-koncentrátum adagolásával mintegy 6%-kal meg lehet növelni pl. a kenyér fehérjetartalmát. A savófehérje kiegészítéssel készült makarónifehérje PER-értéke nagyobb, mint a tejfehérjéé, és a savófehérje kiegészítés növeli a sovány tejpore biológiai értékét is. A savófehérje-koncentrátum funkcionális tulajdonságai lehetővé teszik felhasználását a tésztaféléknél a tojásfehérje helyett. A savófehérje zöldségfélék biológiai értékét növelő hatása különösen a fejlődő országokban fontos, ahol, (pl. Mexikóban) a tortilla PER-értékét majdnem duplájára sikerült növelni savófehérje hozzáadásával.

Az ultraszűrés után visszamaradó melléktermék, a szűrlet (permeát) főként laktózt, ásványi- és NPN-anyagokat tartalmaz. Az elhelyezési gondok megoldására és a felhasználásra szóba jöhet az állatokkal történő feletetés vagy az alkoholtartalmú italok és alkoholmentes üdítőitalok előállítása. Egy másik felhasználási mód a laktóz hidrolízisét követő szirup előállítása, amely a két hidrolízis termék, a glükóz és a galaktóz miatt rendkívül édes. Ezt a terméket jégkrémek, cukrászsütemények és csökkentett energiatartalmú édességek előállítására használják. A permeát hidrolízise után kapott szirup összetétele: 72% szárazanyagban 12% laktóz, 27% glükóz, 22% galaktóz, 3% fehérje és 6% hamu. A tejpork laktóztartalmát szintén hidrolizálni lehet, de ilyen tejporkban a hasznosítható lizintartalom a reaktív hidrolízis termékek miatt nagyon gyorsan csökken.

#### *21.3.8.3. Sajtkészítés savókeletkezés nélkül*

Ultraszűréssel a sajttej koncentrációját a sajt szárazanyag-tartalmáig fokozni lehet, így savó sem keletkezik a sajtkészítés folyamán. Ennek az eljárásnak nagy előnye, hogy a savófehérje teljes egészében átmegy a sajtba, és ez az eljárás a sajt kitermelést 15–25%-kal megnöveli, és megnöveli a sajtfehérje biológiai értékét is, mert az ilyen sajt nemcsak kazeint, de savófehérjét is tartalmaz. Míg a normál sajtokban a savófehérje csak 2–3%-a a sajt összes fehérjetartalmának, addig az így készülő sajtokban elérheti a 15%-ot is. Az ilyen sajtok összetétele a nagyobb ásványianyag-tartalomtól eltekintve nem különbözik lényegesen a normál sajtokétól. Kalcium- és foszfortartalma nagyobb, kálium- és nátriumtartalma viszont kisebb a normál sajtokhoz viszonyítva. Az  $\alpha_{s1}$  és  $\beta$ -kazein proteolízise a hagyományos sajtokéhoz hasonló módon játszódik le, a savófehérjék viszont lényegesen ellenállóbbak az enzimikus fehérjehidrolízissel szemben, ezért az ilyen sajtok kisebb koncentrációban tartalmazzák az oldható fehérjekomponenseket és a szabad aminosavakat. Az ultraszűrési technológiát sikeresen alkalmazták túró, Cottage sajt, Feta sajt, Mozzarella, Ricotta, Roquefort, lágy sajtok, félkemény sajtok és a Cheddar sajt előállítására. A Camembert sajt előállítása során is lehetséges a sajttej szárazanyag-tartalmának kívánatos szintre emelése savófehérje-koncentráttal, amikor az összes fehérjének 35%-a is savófehérje lehet.

A fogyasztásra szánt folyadéktej és egyéb tejtermékeket is lehet koncentrálni a magasabb tejfehérjetartalom érdekében ultraszűréssel. Az alacsony zsírtartalmú tej fehérjetartalmát 1–2%-kal is növelni lehet kazeinát, co-precipitátum vagy savófehérje-koncentrátum adagolásával, és ugyanezt a célt el lehet érni közvetlenül ultraszűréssel is. Egy ilyen eljárás során megváltozik a zsír és a fehérje által képviselt energia mennyisége, ami a normál tejben 2,4:1, a fehérjével kiegészített tejben pedig 0,7:1. A fermentációval előállított termékek fehérjetartalmát 6–7%-kal is emelni lehet. Ultrafiltrálással a tehéntej összetétele hasonlóná tehető a kancatejéhez akkor, ha nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségben kancatej pl. a kumiszkészítéshez.

### **21.4. A sűrített tej és a tejpork**

#### **21.4.1. Sűrített tej**

##### *21.4.1.1. Összetétel*

A sűrített tej a víz részleges eltávolításával készül, aminek során a tej szárazanyag-tartalma két-háromszorosára nő. A víz elpárologtatása vákuumban viszonylag alacsony (72–45 °C, növekvő vákuum mellett) hőmérsékleten nem okoz lényeges változást a tej összetételében. Nagyobb változások a sűrítést követő sterilizálás alatt fordulnak elő, amikor a sűrítmenyt konzervdobozokban 115–120 °C-on, 20 percig vagy átfolyó rendszerű sterilizáción 135–150 °C-on pár másodpercig tartják. Németországban a kereskedelmi forgalomban kétfajta sűrített tej

kapható; az egyik 7,5% zsírt és 25% szárazanyagot, a másik 10% zsírt és 33% szárazanyagot tartalmaz. Ezenkívül kapható még egy csökkentett zsírtartalmú készítmény is 4% zsírral és 24% szárazanyag-tartalommal. Az Egyesült Államokban érvényes szabvány szerint a sűrített tej minimális zsírtartalma 7,9%, szárazanyag-tartalma pedig legalább 25,9%. A cukrozott sűrített tej tartósságát a szacharóz biztosítja. A tejet manapság már hőkezelés nélkül, ún. fordított ozmózissal is be lehet sűríteni, de ezt a műveletet is hőkezelés kíséri a termék tartósítása miatt.

A sűrített tejben ugyanúgy, mint a sterilizáltban, a savófehérje majdnem teljesen denaturálódik. A kazein hőstabilitása a tej koncentrációjának növelésével csökken, ennek ellenére a kazein koagulációja a fenti körülmények között csak igen ritkán fordul elő. A fehérje aminosav-összetétele a sűrített tejben alig különbözik a kiindulási tejétől. A lizinvesztés a technológiai folyamatok során elérheti a 20%-ot is, de ez alig befolyásolja a sűrített vagy cukrozott tej fehérjéje biológiai értékét. Patkánykísérletekkel nem tudtak ilyen tejek fehérjéje emészthetőségében lényeges változást kimutatni. A koncentrált, sűrített tejben a Maillard-reakció terméke, a hidroximetil-furfurol (HMF) nagy koncentrációban fordul elő. Egy kísérletben 60  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  koncentrációt mértek, ahol a szélsőértékek 30 és 100  $\mu\text{mol}/\text{dm}^3$  között változtak. Negatív összefüggést kaptak a sűrített tej HMF-tartalma és a hasznosítható lizintartalma között.

A sűrített tej vitamintartalmának vesztesége hasonló a sterilizált tejéhez, de a cukrozott sűrített tejben a vitaminvesztés kisebb. Javasolják a sűrített tej aszkorbinsavval való kiegészítését oly mértékben, hogy az így kapott sűrített tej jelentős mértékben járuljon hozzá a napi C-vitamin-szükséglethez. Kanadában előírják a sűrített tej minimális C-vitamin-tartalmát. Hasznos a C-vitamin-kiegészítés azért is, mert a C-vitamin megakadályozza a melanoidok kialakulását. Javasolják ezenkívül még a sűrített tej kiegészítését A- és D-vitaminnal is.

A sűrített tejben a Maillard-reakció során ugyanazok az aromaanyagok fordulnak elő, mint az egyéb hőkezelt tejekben; ezek a kéntartalmú anyagok, metil-keetonok, aldehidek és laktonok. A sűrített tej sterilizálása jelentős mértékben megnöveli a szabad SH-csoportok mennyiségét.

**21.15. táblázat.** *A sűrített tej átlagos összetétele*

Komponens	Mértékegység	1 kg-ban lévő mennyiség	
		sűrített tej*	cukrozott sűrített tej*
Fehérje	g	68/88	82
Zsír	g	77/100	88
Szénhidrát	g	99/125	550
Ásványi anyagok	g	16	18
Ca	g	2,5/3,1	2,8
P	g	2,0/2,5	2,4
Na	g	1,1/1,3	1,2
K	g	3,1/4,2	3,7
Mg	g	0,28/0,35	0,30
Fe	mg	1,5	1,2
Cu	mg	0,4	0,4
Zn	mg	8,5	
Mn	$\mu\text{g}$	10	10
F	mg	0,4/0,5	
Se	mg	0,2	
I	mg	0,25	0,25
Vitaminok			
A-vitamin	mg	0,7/1,0	0,9
Tiamin	mg	0,6/0,8	0,8
Riboflavin	mg	3,7/4,7	4,0

Piridoxin	mg	0,5	0,5
Nikotinsav	mg	2,0	2,0
Pantoténsav	mg	7,5	8
Biotin	µg	10	10
Kobalamin	µg	1,5	6
Folsav	mg	0,07	0,1
Aszkorbinsav	mg	15	20
D-vitamin	µg	1	1
Tokoferol	mg	2,5	3

\*Az első érték a 7,5% zsírtartalmú, a második érték a 10% zsírtartalmú sűrített teje vonatkozik.

A 21.15. táblázat a sűrített és cukrozott tejek összetételét mutatja. A csökkentett zsírtartalmú sűrített tej 7,5% fehérjét, a cukrozott sűrített tej 42% szacharózt és 13% laktózt tartalmaz.

#### 21.4.1.2. Az összetétel változása a tárolás során

A sűrített tej 10 °C-on kb. hat évig eltartható. A besűrűsödés és a kocsonyásodás megelőzésére, valamint a tárolás idejének megnövelésére a sűrített tejet polifoszfátok, nátrium-citrát és nátrium-hidrogén-karbonát hozzáadásával stabilizálják. A polifoszfátok mono- és difoszfátokra bomlanak le az előállítás és a tárolás folyamán. A polifoszfátokkal stabilizált sűrített tej ásványi anyagainak (foszfor, kalcium, magnézium) és fehérjetartalmának hasznosulása ugyanolyan volt, mint a kiindulási tejé.

A sűrített tej összetételének változását a tárolás folyamán jelentős mértékben befolyásolja a tárolás hőmérséklete. Hideg körülmények közti tárolásnál a vitaminvesztés még évek múltán is elhanyagolható. A B<sub>1</sub>- és a B<sub>2</sub>-vitamin koncentrációja egy év alatt mintegy 30%-kal csökkent. A sterilizálás 20% veszteséget okoz a hozzáadott C-vitamin-tartalomban, további 20% elvész 12 hónapos tárolás alatt 21 °C-on, és 60% a veszteség, ha a tárolás hőmérséklete 36 °C. Nincs jelentős változás az aminosav-összetételben vagy a tejfehérje PER-értékében a 12 hónapos tárolási periódus alatt. 20 °C-os tárolási hőmérsékleten a tej íze romlik, mert nő a szabad zsírsavak mennyisége, és a metil-keetonok és hidroximetil-furfurol koncentrációja is meghaladja az érzéketlenség határát. Újabban egy új, nemkívánatos aromát is azonosítottak sűrített tejből, az o-amino-acetofenont.

Az ólom- és óntartalmú varratok a tárolóedényeken nem növelik a sűrített tej ólomtartalmát jelentősen a tárolás folyamán. A sűrített tej átlagos ólomtartalma az Egyesült Államokban 80 µg/dm<sup>3</sup>, és ennél magasabb érték csak akkor fordul elő, ha a sűrített tej koncentráltabb a szokásosnál. A sűrített tej óntartalma viszont nő a tárolás folyamán a frissen előállított sűrített tejben mért 5–20 mg/kg-ról 40–100 mg/kg-ra. Az óntartalom tovább nő, ha a sűrített tejet nyitott edényben rövid ideig tárolják. Az óntartalom kioldódását meg lehet előzni, ha ónmentes, saválló acélból készült edényeket használnak vagy ha az edények falát szintelen lakkal bevonják.

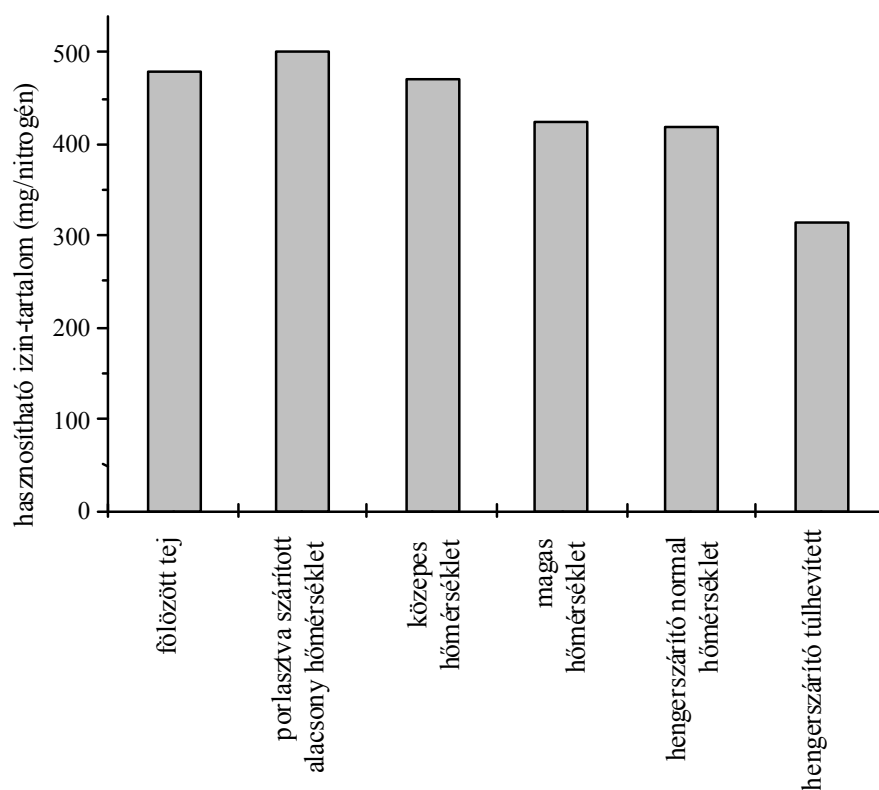
### 21.4.2. Tejpor

#### 21.4.2.1. Összetétel

A szárítás hatásának tanulmányozásánál figyelembe kell venni azt, hogy a tejet a szárítást megelőzően mintegy 45% szárazanyagig koncentrálnak vákuumban, ami után sterilizálás természetesen nem szükséges. Két eljárást használnak tejpor előállítására, amelyek között lényeges különbség van. A porlasztva szárítás alacsonyabb hőmérsékleten megy végbe, mint a hengeres szárítás, ugyanis porlasztva szárításnál csak 0,5–1,0 másodpercig éri 80–100 °C-os

hőhatás a tejet, míg ezek az értékek hengeres szárításnál 2–3 másodperc és 100–130 °C. A porlasztásnál a tej 50 µm-es cseppecskék formájában kerül kapcsolatba a forró levegővel, ami lehetővé teszi az igen rövid ideig tartó szárítást. Mivel a savófehérje denaturációja kapcsolatban van a hőmérséklettel, az alacsonyabb hőmérséklet a porlasztva szárítás során kisebb denaturációt okoz, mint a hengersizítés, melynek során a savófehérje jelentős része kicsapódik. Ugyanez érvényes a Maillard-reakcióra is; míg a porlasztva szárítás során csak gyenge barnulás fordul elő, addig a hengersizítés során kapott anyag HMF-tartalma kissé nagyobb, átlagosan 12 µg/100 g, (ez az érték a porlasztva szárításnál csak 7 µg/100 g), sőt a régebbi típusú hengersizítőknél a HMF-tartalom elérheti az 50 µg/100 g-ot is. A tejpork HMF-tartalmát a tej előzetes hőkezelése csak csekély mértékben befolyásolja. A tejpork a hőkezelés hatására ki nem csapódott savófehérje-nitrogén alapján minősítik; alacsony hőhatás esetén ez az érték 6 mg N/g, közepes hőhatásnál 1,51–5,99 mg N/g, míg erőteljes hőkezelésnél maximum 1,50 mg N/g tejpork.

A szárítási eljárás során a fehérje aminosav-összetétele csak kismértékben változik meg, és az instantizálás sem okoz jelentős összetételbeli változást. Porlasztva szárítás során a lizinvesztés maximum 5%, míg hengersizítással elérheti a 10–15%-ot is. A lizinvesztést befolyásolja a tej előhőkezelése is. A hasznosítható lizintartalom a porlasztva szárítást követően az eredeti tejhez viszonyítva 90–97%, míg hengersizítés után, az alkalmazott technológia, illetve paraméterek függvényében csak 60–95% (21.13. ábra). Amikor a tejpork színéből a szárítás magas hőmérsékletére lehet következtetni, akkor a hasznosítható lizintartalom 50% körül alakul. A hasznosítható lizintartalom mellett veszteségeket mértek a cisztin-, a metionin-, a treonin- és a leucintartalomban is a szárítás után.



**21.13. ábra.** A tejporkok hasznosítható lizin-tartalmának változása a tejporkkészítési technológia függvényében

A PER- és az NPU-értékeket meghatározva megállapították, hogy csak minimális különbség van a tejpork és a kiindulási tej között. A lizin, a metionin és a cisztin valódi emészthetősége a

sovány tejporban 94–97%, és az NPU-érték is csak a hengeren szárított tejporban csökken. Állatkísérletekkel nem tudtak különbséget kimutatni a különböző szárítási technológiákkal készült tejporfehérje táplálkozási értékében. Csecsemők a tejporból készült tápszert jobban emésztették, mint az eredeti nyers tejet, mert egy kísérlet során az előbbi esetében nagyobb mennyiségű lizin került a gyomorba. A hőkárosodást szenvedett tejporfehérje biológiai értéke csökken. Növésben lévő állatokkal végzett kísérletekben kimutatták, hogy szoros összefüggés van a tej hasznosítható lizintartalma, a testtömeg-növekedés és a fehérjehasználtság között.

A hőkezelés hatására bekövetkező fehérjekárosodás megnöveli azon ninhidrin-pozitív anyagok koncentrációját, amelyek a bázikus aminosavak közé tartoznak és amelyek a kazein és a glükóz vagy a kazein és a laktóz reakciójából jönnek létre. A furozin, a fruktózlizin egyik származéka, a Maillard-reakció kezdeti szakaszában jön létre lizin–laktóz komplex formájában, a furozin meghatározást ezért a tejpor hőkárosodásának mérésére javasolják. A hőkárosodást szenvedett tejporban a lizin legfontosabb reakcióterméke a fruktózlizin. Patkányokkal végzett kísérletek bizonyították, hogy a fruktózlizin emészthetetlen, a szerkezet nem tudja hasznosítani, nem tud felszívódni hidrolízis nélkül.

**21.16. táblázat.** *A tejpor átlagos összetétele*

Komponens	Mértékegység	1 kg-ban lévő mennyiség	
		Teljes tejpor	Sovány tejpor
Nedvesség	g	33	38
Fehérje	g	255	355
Zsír	g	265	9
Tejcukor	g	380	515
Ásványi anyagok	g	62	79
Ca	g	9	13
P	g	7	10
Na	g	3,7	5
K	g	12	16
Mg	g	1,0	1,2
Fe	mg	4,8	5,8
Cu	mg	1,8	1,8
Se	mg	0,09	0,14
Mo	mg	0,24	0,27
F	mg	0,6	
Co	µg	12	12
Vitaminok			
A-vitamin	mg	3,3	0,2
D-vitamin	µg	30	0,3
Tiamin	mg	2,9	3,5
Riboflavin	mg	14	19
Nikotinsav	mg	7	10
Pantoténsav	mg	26	34
Piridoxin	mg	3,6	4,3
Biotin	mg	0,12	0,17
Folsav	mg	0,09	0,12
Kobalamin	µg	27	31
Aszkorbinsav	mg	60	70

A 21.16. táblázat a tejpor, különösen a sovány tejpor nagy fehérjetartalmát mutatja. A tejpor ásványianyag-tartalma, különösen kalciumtartalma, valamint B-vitamin-tartalma nagy. Amikor porlasztással olyan tejből készítenek tejport, amelyben a laktózt előtte hidrolizálták, a tejfehérje minősége és annak hasznosítható lizintartalma jelentős mértékben csökken, mivel a Maillard-reakció a sűrítés és a szárítás során a laktóz hidrolízise miatt jelentős mértékben felgyorsul. Ez az eljárás együtt jár a HMF-tartalom megnövekedésével és a lizintartalom csökkenésével. A termék a tárolás közben gyorsan megbarnul. Mindezek miatt a hidrolizált laktózt tartalmazó tej kondenzálása és szárítása különösen nagy figyelmet és speciális feltételeket követel.

A 21.17. táblázat a szárítás hatására bekövetkező B- és C-vitamin-károsodásról ad információt. A porlasztva szárítás viszonylag kis vitaminvesztést okoz, de a hengersizárításnál, a technológiai paraméterek függvényében, a vitaminvesztés jelentős lehet. A szárítási technológia némileg csökkenti az A- és az E-vitamin-, a riboflavin-, a biotin- és a pantoténsav-tartalmat, míg a piridoxin-tartalomra, úgy tűnik, nincs hatással.

A sovány tejpor zsírolható vitamintartalma alacsony, ezért ennek kiegészítését javasolják A- és D-vitaminnal vagy tokoferollal. Különösen jelentős azoknak a sovány tejpor küldeményeknek a kiegészítése A-vitaminnal, amelyeket a fejlődő országokba szállítanak, ahol a gyerekek A-vitaminhiányosan táplálkoznak és ahol még ma is jelentős az angolkóros kisgyerekek száma. Az előzőek alapján megállapítható, hogy ilyen gyerekeknél előnyös lenne a 40–80 g vitaminnal kiegészített tejpor fogyasztása, amelyben a WHO ajánlása alapján 1,5 mg retinol (A-vitamin) és 12,5 µg kolekalciferol (D-vitamin) vitamin-kiegészítés van 100 g-onként.

**21.17. táblázat.** *A tej szárítása során bekövetkező vitaminvesztés*

Vitamin	Vitaminvesztés (%)	
	porlasztva szárítva	hengersizárítóval
Tiamin	10	15–30
Kobalamin	20–30	30–40
Aszkorbinsav	20	30–40

Néhány évvel ezelőtt szövetelhalást találtak olyan patkányok májában, amelyek egyedüli fehérjeforrásként csak sovány tejport kaptak. A szövetelhalást csak a hengersizárítón készített tejpor esetében figyelték meg. Megállapították azonban azt is, hogy a szövetelhalás nem valamilyen, a tejporban előforduló mérgező anyag következménye, hanem néhány esszenciális anyag hiánya, amelyek a szárítás folyamán mennek tönkre. Így pl. a májban szövetelhalást okoz, ha az etetett fehérje hiányt szenved kéntartalmú aminosavakból. Ezt követően a tejpor szeléntartalmát tették felelőssé a kórok kialakulásáért, mert arra a megállapításra jutottak, hogy a tej szeléntartalmának több mint 50%-a elillan a szárítás folyamán, ezért a szelénhiányt kapcsolatba hozták a máj nefrotikus elváltozásával. Ezt a teóriát megerősítette az, hogy a szelénkiegészítés megóvta a kísérleti állatokat a májproblémák kialakulásától. Kimutatták azt is, hogy csak egyfajta tejpor okoz nefrotikus változásokat, mégpedig az, amelyet hosszú időn keresztül hőhatásnak tettek ki. Egy másik kísérletben még akkor sem tudtak nefrotikus tüneteket kimutatni, ha olyan tejpormal etették az állatokat, melyet hengersizárítón, extrém magas hőmérsékleten készítettek. Az is kiderült, hogy a szelénvesztés 5%-nál kisebb, függetlenül attól, hogy a tejpormal hengersizárítón, vagy porlasztással készítették. A szelén hatékonysága attól függ, hogy milyen vegyület formájában fordul elő, ezért elképzelhető, hogy néhány nagyon aktív szelénvegyület inaktívódik a tejporkészítés folyamán. Egyértelműen állítható, hogy manapság a tejporkészítési technológia olyan színvonalra jutott el, hogy elképzelhetetlen nefrotikus anyagok képződése az előállítás folyamán.

A tejpor nehézfém-tartalma igen alacsony. A különböző nehézfémek átlagos koncentrációja a tejben a következő: ólom 30 µg/kg; kadmium 14 µg/kg; higany 1 µg/kg.

#### *21.4.2.2. Az összetétel változása a tárolás során*

A sterilizálás nem része a tejpor-előállítási technológiának, ezért a végtermék nem teljesen mentes a mikroorganizmusoktól, de a tejpor alacsony nedvességtartalma gyakorlatilag lehetetlenné teszi azok elszaporodását a tárolás folyamán. A tejpor mikrobiológiai analízise azt mutatja, hogy annak összcsíraszám, *E. coli* és más speciális mikroorganizmusainak a száma jóval a megengedett határérték alatt marad. A tejporkészítéshez használt tejnek a patogén mikroorganizmusoktól mentesnek kell lenni, mert a hőkezelés, különösen a porlasztva szárítás során a mikroorganizmusok nem pusztulnak el teljesen. Amikor szalmonellával céltartozott tejből készítették a tejport, azt tapasztalták, hogy a végtermékben a mikroorganizmusok száma jelentős mértékben csökkent, de egyetlen tejporminta sem volt mentes a fertőzéstől. Ennek ellenére manapság csak nagyon kevés esetben mutattak ki szalmonellát tejporból.

A teljes tejpor magas zsírtartalma fogékonyra teszi azt az oxidációra, amelynek során rossz ízű és illatú termékek keletkeznek. A rossz íz és zamat kialakulásáért a laktonok, az aldehidek és a ketonok felelősek, amelyek koncentrációja nő a tárolás folyamán. Ennek ellenére az egyes ketonok koncentrációja 37 °C-on való 16 hónapos tárolás után alacsonyabb volt, mint azok kimutathatósági határa. A nitrogénatmoszférában való tárolás csökkenti az ilyen anyagok kialakulását. Az oxidált minták telítetlen aldehideket is tartalmaznak, amelyek az oxidált íz okozói. Újabban olyan bébitápszerekből, amelyeket szélsőségesen rossz körülmények között tároltak, hosszú szénláncú alifás aldehideket is ki tudtak mutatni. Ezek a karbonil-csoportot tartalmazó komponensek a Maillard-reakcióból is származhatnak, ami szintén előfordul a tejpóban a tárolás folyamán. A pirazinok felelősek részben a tejpor sült, illetve főtt ízéért. Antioxidánsok tejporthoz keverése vagy az oxigén távoltartása a tárolás folyamán megóvják a tejport az ilyen jellegű átalakulástól. Javasolják azt is, hogy savófehérjéket adjanak a teljes tejporhoz, mert az SH-csoportok növekvő száma inhibálja az oxidációt a tárolás folyamán. Sem a szárítási folyamat, sem a tárolás nem okoz veszteséget az esszenciális zsírsavak koncentrációjában.

A tejfehérje minősége csak igen kis mértékben változik meg akkor, ha a tejport megfelelően, nem túl magas hőmérsékleten és alacsony nedvességtartalom mellett tárolják. Egy olyan tárolási kísérletben, ahol a tejport 25 és 37 °C-on, egy éven keresztül tárolták, a fehérje PER- és NPU-értéke nem változott számottevő mértékben. A fehérje relatív táplálkozási értéke 8%-kal csökkent és hasonló mértékben csökkent a hasznosítható lizintartalom is. Más vizsgálatok a PER-érték némi csökkenését mutatták ki. Hengeren szárított tejpóban a lizintartalom csak 2%-kal csökkent hat hónapos tárolás folyamán. A hasznosítható lizintartalom csökkenése növekvő nedvességtartalom mellett nő a tárolás folyamán, de a vákuum alatti tárolás csökkenti a lizinvesztést. A fehérje minőségének romlásáért a Maillard-reakciót tartják a fő felelősnek, ami optimális körülmények között is bekövetkezhet hosszabb tárolás alatt. Ezt a folyamatot a tejpor HMF-tartalmának mérésével lehet követni. A tejfehérje biológiai értékének megóvása miatt nem célszerű a tejport nagyon hosszú ideig tárolni, még optimális tárolási feltételek esetén sem.

A tárolási feltételek hatással vannak a tejpor vitamintartalmára is. Általánosságban megállapítható, hogy a vitaminvesztés a tárolás alatt alacsony. Egy esetben 33%-kal csökkent a tejpor B<sub>6</sub>-vitamin-tartalma porlasztva szárítással készült tejpóban 40 hónapos tárolás során. Egy másik esetben a B<sub>1</sub>- és a C-vitamin mennyisége 10%-kal csökkent két éves tárolás során. A tejpor C-vitamin-tartalma függ a csomagolóanyag oxigén- és vízáteresztő képességétől, és a tejport a fénytől is óvni kell, hogy megelőzzük a fényre érzékeny vitaminok, főként a riboflavin elbomlását.