

20. FEJEZET

A TEJ ÖSSZETEVŐINEK TÁPLÁLKOZÁSI ÉRTÉKE

20.1. Víz, ásványi anyagok és nyomelemek a tejben

20.1.1. A víz

A víz a földi élet egyik legalapvetőbb feltétele, mert

- oldószerként reakcióközeg és szállítóanyag szerepet tölt be a sejtekben és a szövetekben,
- reakciópartnerként résztvesz számos biokémiai folyamatban,
- hozzájárul számos bioaktív makromolekula konformációjának kialakulásához,
- nagy fajhője és párolgáshője révén fontos szerepet játszik a szervezet hőháztartásában,
- jelentős mértékben hozzájárul az élő szervezetek számára elengedhetetlen környezeti feltételek biztosításához.

20.1.1.1. A víz kötése a tejtermékekben

A tejtermékekben lévő víz különböző módon kapcsolódhat a szárazanyagokhoz; a kötés módja alapján megkülönböztetünk kémiai-, fizikai-kémiai és mechanikailag kötött vizet.

A *kémiai vízmegkötés* elsősorban kémiai reakciók eredményeként, másodsorban kristályosodáskor kristályvízként jön létre. Ez a típusú víz a hidratált anyaghoz fővegyértékkel vagy mellékvegyértékkel kapcsolódik, ezért a kötés rendkívül erős. A kémiai vízmegkötés eredményeként új vegyületek is képződhetnek, mert a víz belép a keletkező anyag molekulaszervezetébe, és a vízmentes anyag tulajdonságai is jelentősen megváltoznak, mivel a víz a kristályszerkezet része lesz.

Tejtermékekben a *fizikai-kémiai kötött víz* fordul elő leggyakrabban. Ebben a vízkötésben az arányok nincsenek szigorúan meghatározva, a víz mennyisége a körülmények változásától függően különböző lehet. A fizikai-kémiai kötött víz adszorpciós kötéssel vagy ozmózis kötéssel kapcsolódhat a szárazanyaghoz.

Mechanikailag kötött víz esetében a kötés arányai meghatározatlanok. A nedvesség szerkezeti vízként, kapilláris nedvességgént vagy egyszerű nedvesítési vízként lehet jelen. A szerkezeti vizet a tejtermék mikroüreges szerkezete tartja körülzárva, mozgékonyásától nagymértékben megfosztva. A kapilláris erővel megkötött víz a tejtermékek 10^{-5} cm-es nagyságrendhez közelálló részeiben található. A leggyengébb kötési forma a nedvesítési víz, ahol a vízmolekulák adhézióval tapadnak a tejtermékek felületére.

Az élelmiszer-technológiában általában elegendő, ha a *víztartalom szabad- és kötött mennyiségét* ismerik. Szabad víznek a víztartalom azon részét tekintjük, ami oldóképességében és mozgékonyságában nincs korlátozva. A kötött víz viszont mozgásában korlátozott, és nem képes annyi oldandó anyagot befogadni, mint a tiszta víz. A tejtermékek vízállapotát egy adott hőmérsékleten a *vízaktivitással* szokás jellemezni, ami az egyensúlyi relatív páratartalom része, ezért értéke 0 és 1 között lehet.

$$a_w = \frac{ERP}{100},$$

ahol:

a_w = vízaktivitás,

ERP = egyensúlyi relatív páratartalm.

A tejtermékek vízáktivitását elsősorban nem víztartalmuk abszolút nagysága határozza meg, hanem a bennük lévő víz kötési módja valamint a szabad- és a kötött víz aránya. Általánosságban elmondható, hogy minél nagyobb a kötött víz aránya a tejtermékekben, annál kisebb annak vízáktivitása.

20.1.2. Az ásványi anyagok

Azokat az alkotórészeket nevezzük ásványi anyagoknak, amelyek a tej és tejtermékek elhamvasztása után visszamaradnak. Ez a meghatározás nem tesz különbséget az eredetileg is szervesen vegyületek, valamint a szerves vegyületekből származó hamualkotórészek között. A szervesen anyagok nélkülözhetetlenek az élővilágban, hisz híg elektrolitok alakjában részt vesznek az élő szervezet elektrokémiai, ozmózis, valamint sav-bázis egyensúlyának fenntartásában, elősegítik a különböző kolloidok állapotváltozását, aktiválják vagy gátolják az enzimreakciókat, részt vesznek a támasztószövet felépítésében.

Az emberi szervezet felépítésében résztvevő elemek közül azokat, amelyek a szervezet tömegének 0,005%-ánál nagyobb mennyiségben vannak jelen, *makroelemeknek*, amelyek ennél kisebb arányúak, *mikroelemeknek* nevezzük. A makroelemek az emberi szervezet ásványianyag-tartalmának több mint 99%-át teszik ki. A mikroelemeket biológiai jelentőségük alapján esszenciális és nem esszenciális elemekre oszthatjuk. Az esszenciális mikroelemek nélkülözhetetlenek az emberi szervezet zavartalan működéséhez, míg a nem esszenciálisak biológiai szerepe még tisztázatlan.

20.1.3. A tej összetétele

20.1.3.1. Makroelemek a tejben

A tehéntej átlagosan literenként 7,3 g ásványi anyagot tartalmaz. A 20.1. táblázat az átlagos ásványianyag-tartalmat, és a határértékeket mutatja.

20.1. táblázat. *A tej ásványianyag-tartalma*

<i>Ásványi anyagok</i>	<i>A tej összetétele (g/dm³)</i>	
	<i>Átlagérték</i>	<i>Szélsőértékek</i>
Kalcium (Ca)	1,21	0,9–1,4
Foszfor (P)	0,95	0,7–1,2
Kálium (K)	1,5	1,0–2,0
Nátrium (Na)	0,47	0,3–0,7
Klór (Cl)	1,03	0,8–1,4
Magnézium (Mg)	0,12	0,05–0,24
Kén (S)	0,32	0,2–0,4

A kalcium és a foszfor 20%-a kalcium-kazeinát komplex formában a kazeinhez kötődik, ezért e két elem fontos a komplex stabilitása szempontjából. A magnéziumnak kb. egyharmada szintén a kazeinhez kötődik. A kalcium 50%-a kolloidális szervesen kalcium, 30%-a pedig kalciumion formában van jelen a tejben. A foszfornál ezek az értékek 40% és 30%, és kb. 10%-a a foszfornak lipidekhez kötött.

A tej ásványi anyagainak koncentrációját alig befolyásolja a takarmányozás. A kolosztrum teljes ásványianyag-tartalma magasabb, és ez igaz majdnem minden mikroelemre is. Egyes

elemek koncentrációja (Ca, P, Na és Cl) a laktáció végén növekszik. Mivel a takarmányozásra érzéketlen, a tej ásványianyag-tartalmát az évszak csak jelentéktelen mértékben befolyásolja.

20.1.3.2. Mikroelemek

A 20.2. táblázat az irodalmi adatok alapján a tej átlagos mikroelem-tartalmát mutatja. A táblázatból látható, hogy az egyes mikroelem-tartalomban igen nagy különbségek vannak, ezért nem lehet átlagértékekkel számolni az emberi szükségletek vonatkozásában, hanem a kérdéses tej analízisét mindig el kell végezni.

20.2. táblázat. *A tej mikroelem-tartalma*

Mikroelemek	A tej összetétele ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)	
	Átlagérték	Szélsőértékek
Réz (Cu)	120	10–700
Vas (Fe)	530	60–1000
Kobalt (Co)	0,8	0,1–2
Molibdén (Mo)	55	13–150
Cink (Zn)	3600	1500–7000
Mangán (Mn)	50	10–280
Jód (I)	75	5–400
Fluor (F)	125	10–350
Alumínium (Al)	600	150–1000
Arzén (As)	45	20–60
Bór (B)	300	100–600
Króm (Cr)	17	5–50
Ón (Sn)	170	40–500
Nikkel (Ni)	25	0–50
Ólom (Pb)	30	2–70
Higany (Hg)	4	1–15
Kadmium (Cd)	4	1–30
Stroncium (Cr)	350	40–1500
Szelén (Se)	25	2–70
Szilícium (Si)	2600	750–7000

A némely esetben kapott extrém érték az analízis hibájának is tulajdonítható, más esetben viszont bizonyos elemek nagy koncentrációja a fejés után bekövetkező külső szennyezés eredménye. Így pl. a réz koncentrációja lényegesen megnőhet a fémedénnyel, vagy a pipettával való érintkezés hatására. A tejben előforduló káros nyomelemeket a 20.3. táblázat tartalmazza.

20.3. táblázat. *A káros nyomelemek koncentrációja a tejben*

Nyomelemek	Koncentráció ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$)
Bróm (Br)	100–500
Lítium (Li)	nyomokban–60
Ezüst (Ag)	nyomokban–50
Vanádium (V)	nyomokban–310
Bárium (Ba)	nyomokban–220

Rubídium (Rb)	1000–9900
Titán (Ti)	nyomokban–170
Ón (Sn)	50
Wolfram (W)	60–290

A mikroelemek a tejben jórészt szerves kötésben fordulnak elő. Így pl. a réz, a cink, a mangán és a vas a zsírgolyócska-membránban található, a vas 60–70%-a kazeinmicellához, a cink 80%-a kazeinhez, 20%-a pedig az immunglobulinokhoz kötött. A legtöbb réz és jodid a tejfehérjékkel van kapcsolatban, a szelén viszont főleg szabad ionként fordul elő, és a jodid és a cink egy része is szerves formában van jelen a tejben.

A kobalt a B₁₂-vitamin alkotórésze, koncentrációja ezért összefüggésben van a tej B₁₂-vitamin-tartalmával. Számos más nyomelem enzimekhez kapcsolódik, pl. a molibdén a *xantin oxidáz*hoz, és a mangán és a cink az *alkalikus foszfatáz*hoz. A tejben lévő néhány nyomelem koncentrációjának nagy ingadozása részben a takarmányozás, az évszak és a laktációs állapot hatásával magyarázható. A legtöbb mikroelem (Cu, Co, Zn, Mn, Si és I) mennyisége a kolosztrumban nagyobb, mint a tejben, és ezen elemek koncentrációja a laktáció során ismét nő. A takarmány nagy Co-, B-, Al-, Mo-, Mn-, F-, Br-, Ti- és Se-koncentrációja megnövelheti a tejben lévő mennyiségüket, de a takarmányozás csak nagyon kis mértékben befolyásolja a Fe-, Ni-, As- és Si-tartalmat. A tejben lévő mikroelemek koncentrációjában évszakbeli változás a takarmányozással összefüggésben fordul elő. Télen a Cu, Co, Fe, Se, I, Mn és Mo koncentrációja a magasabb, a Zn és B koncentrációja pedig alacsonyabb.

A tőgy fertőtlenítésekor gyakran jodfort használnak, melynek során jód kerülhet be a tejbe. Vizsgálatok kimutatták, hogy a tej jód-tartalma egy ilyen kezelés után a normális 30–90 µg/dm³ értékről 120–150 µg/dm³-re, néha esetleg 350 µg/dm³-re nő. A jódszükséglet elemzésénél erre figyelemmel kell lenni, ugyanis ez a mennyiség is hozzájárulhat a jódellátottsághoz. A tőgybimbó szakszerű fertőtlenítésekor 500 µg/dm³-nél több jód a tejben gyakorlatilag sohasem fordul elő, ami még elviselhető az egészséges táplálkozás szempontjából.

A tej fluorid-tartalma kb. duplája azon a területen, ahol a takarmány vagy az ivóvíz fluorid-koncentrációja jelentős, de ez a mennyiség még így is lényegesen alacsonyabb az ivóvíz engedélyezett fluoridszintjének felső határánál.

A nehézfémeknél az ólom, a higany és a kadmium koncentrációja a tejben alig változik a takarmányozás hatására. A 20–30 µg/dm³ normális ólomtartalom még akkor sem növekszik a tejben 100 µg/dm³ fölé, ha a tehén ólomfelvétele magas. Németország különböző területéről különböző ólomtartalommal rendelkező tejmintát vizsgálva az ólomra kapott értékek 15 és 67 µg/dm³ között változtak. Svájcban az autótól mellett, és az autópálya közepén vett széna 99 mg/kg ólomtartalmú volt a szárazanyagban. Ennek etetésekor a tej ólom-tartalma 40–70 µg/dm³ között, a forgalomtól távol begyűjtött széna etetésekor viszont csak 20 µg/dm³ volt. A tehén által felvett ólom döntő többsége kiválasztódik, és csak nagyon kevés abszorbeálódik a vérben. Egy kísérletben, ahol testtömegre számítva 0-tól 28,5 mg/kg mennyiségben etettek ólmot, az ólomkoncentráció a tejben mindig 50 µg/dm³ alatt maradt, ugyanis az ólom főként a vesében, májban és az állat csontjaiban akkumulálódik. Mivel az ólomszennyezés már néhány méterrel az úttól rohamosan csökken, ezért csak viszonylag kevés takarmány alkalmatlan az állatok takarmányozására. A szennyezett területről származó tej kadmium-tartalma sem magasabb lényegesen a normálisnál. A tej mérgező elemeinek határértékei: ólom 50, kadmium 20, higany 20, arzén 100 µg/dm³.

20.1.4. A tej makro- és mikroelemeinek szerepe a táplálkozásban

20.1.4.1. A szervezet makro- és mikroelem-szükségletének kielégítése

A 20.4. táblázat a javasolt napi makro- és mikroelem-szükségletet mutatja felnőttek esetén. Néhány mikroelem esetén a megadott érték vitatható, mert Co-, Mn- és Mo-hiányt az embernél a mai napig nem írtak le. A foszforszükséglet az étrend optimális Ca/P arányából ered, mely 1:1 körül van. A kén-szükségletet a táplálékban lévő esszenciális kéntartalmú aminosav, a metionin mennyiségéből számolják. Néhányan alacsonyabb értéket adnak meg a táplálékkal történő kalciumfelvételre, bár a kalciumszükségletet nem könnyű megbecsülni, mert a kalcium sok anyagcsere-folyamatban vesz részt. A foszforbevitel esetén gyakran ajánlanak 1200 mg napi mennyiséget. A nők általában több vasat igényelnek, és a terhes és a szoptató anyáknak magasabb Ca-, P-, Mg-, Fe-, Zn- és I-felvételt javasolnak. Idősebb embernél magasabb kalciumszükségletet ajánlanak, mivel a csont hajlamossá válik a dekalcifikációra, melyet magasabb kalciumbevitellel ellensúlyozni lehet. A legtöbb állat számára esszenciális nyomelemek a Fe, I, Cu, Mn, Zn, Co, Mo, Se, Cr és talán a Sr, Br, Cd, V, Ni, Si, Sn és a F is. Az állatok megfelelő mikroelem-ellátását a különböző szervek megfelelő enzimaktivitásának mérésével lehet meghatározni.

20.4. táblázat. *Makro- és mikroelemek javasolt napi felvétele, és az 1 liter tejjel kielégíthető mennyiség*

<i>Makro- és mikroelemek</i>	<i>Javasolt felvétel mg</i>	<i>1 dm³ tejjel kielégíthető, %</i>
Kalcium (Ca)	800	150
Foszfor (P)	800	120
Kálium (K)	2000	75
Nátrium (Na)	2000	24
Klór (Cl)	3000	34
Magnézium (Mg)	300	40
Réz (Cu)	2	6
Vas (Fe)	12–18	4
Kobalt (Co)	0,5	–
Molibdén (Mo)	0,5	1
Cink (Zn)	12	30
Mangán (Mn)	4	–
Jód (I)	0,15	50
Fluor (F)	1	3

A makro- és mikroelemek javasolt napi felvételét összehasonlítva a 20.4. táblázatban közölt 1 liter (dm³) tejjel lévő mennyiségekkel látható, hogy az ember számára szükséges kalcium, és foszfor mennyiségéhez a tej nagyban hozzájárul. Az iparosodott területeken a táplálékban lévő kalcium kb. 60–90%-a tejből és tejtermékekből származik, és ezért a nagy tejfogyasztó országokban, mint Írország, Finnország, Svájc, a kalciumszükségletet a tej egymagában fedezi. Felmérések szerint a lakosság egyes rétegeinek kalciumhiányát a tej magas kalciumtartalmával könnyű orvosolni. Olyan országokban, mint India és Japán, ahol kevés tejet fogyasztanak, az átlagos kalciumfelvétel viszonylag alacsony, kb. 400 mg személyenként és naponta. Fejlett ipari országokban a táplálékban lévő foszfor 30–45%-a, a magnéziumnak pedig 20–25%-a származik tejből és tejtermékekből.

A tej és a tejtermékek nagyon változó mennyiségben járulnak hozzá a szervezet mikroelem-ellátásához. A tápanyaggal felvett jód 30–40%-a, a Zn, a Co, a Cr és a Ni 20–30%-a, a Cu, a F és a Se 5–10%-a, a Fe kb. 3%-a, a Mn-nak pedig még kisebb része származik a tej- és

tejtermékfogyasztásból. Egy kiegyensúlyozott étrendnél azonban ezekből az elemekből általában nincs hiány. Hangsúlyozni kell, hogy a nehézfémeknek, ólomnak és kadmiumnak, csak egy kis töredéke (2–10%-a) származik a tejből.

Ásványi anyagok

A kalcium és foszfor jelentősége főleg a csontok és a fogak felépítésében és fenntartásában van, de ezenkívül jelentős szerepet tölt be több különféle anyagcsere-folyamatban is. Előnyös, hogy a tejben a kalcium és foszfor hozzávetőlegesen egyenlő arányban van jelen, hisz a fogzománc is hasonló Ca/P aránnyal rendelkezik. Hogy az étrend Ca/P aránya kb. 1:1 legyen, csak a tej és a tejtermékek képesek biztosítani, mivel minden más táplálék több foszfort tartalmaz, mint kalciumot. A kívánt arányt ezért csak akkor lehet elérni, ha az étrend elegendő mennyiségben tartalmaz tejet, és tejtermékeket. A növekvő kalciumfelvétel nélkülözhetetlen idős embereknél azért, hogy csökkentsük, vagy megelőzzük a csonttrikulást, és késleltessük az öregedési folyamatra jellemző csontállomány károsodását.

A tej tekinthető a legalkalmasabb kalciumforrásnak, mert a kalcium a tejben fehérjéhez kötött, és ebben a formában tudja a legkönnyebben hasznosítani a szervezet. A tejben lévő kalcium hasznosítása nagyon hatékony, mert a kalcium abszorpcióját a laktóz, a fehérje, a D-vitamin és a citromsav is elősegíti. A főlözött tejporból a kalcium felszívódása 85%, míg a zöldségekből 22–74%. A zöldségek kalciumtartalmának hasznosulását javíthatjuk, ha főlözött tejporthoz fogyasztunk velük együtt. A foszforhasznosulás mértéke a két termékcsoporthoz 91% és 61–72%. A kalcium a szervezetben jobban felszívódik kalcium-kazeinát komplex formában, mint ionos formában, amely következtetést a tej, az oltóenzimmel kicsapott kazein és egy kalciumoldat abszorpciójának összehasonlításából vonták le. Ha az ionos kalciumra kapott felszívódást 100-nak vesszük, akkor a tejben lévő kalciumé 113, és a tejjel kevert kazein pedig 144. A foszforhiányt a kísérleti állatoknál a kalciumabszorpció csökkentette, és a magas fehérjetartalmú, vagy magas kalcium- és foszfortartalmú étrend is lényegesen megnöveli a kalcium- és a foszforabszorpciót.

Nehezen lehet az ember kalciumigényének tökéletes kielégítésére javaslatot tenni tej és tejtermékek nélkül. A javasolt napi 800 mg kalciumfelvételt 660 ml tej, vagy 114 g keménysajt biztosítja, míg hasonló mennyiségű kalciumot 6,2 kg marhahús, vagy 29 tojás, vagy 6,2 kg paradicsom tud szolgáltatni. A táplálóanyag-sűrűség (egy élelmiszer táplálóanyag mennyisége az élelmiszer energiataralmára vonatkoztatva) kalciumra vonatkozóan a teljes tejben 0,11, főlözött tejben 0,19, és különböző típusú sajtokban 0,03–0,17. Ajánlás szerint a tápláléknak tartalmazni kell 0,67 g kalcium/1MJ-t, ezzel szemben a tej 0,43 g kalcium/1MJ-t tartalmaz, ezért fél liter tej és 50 g sajt biztosítja az ajánlott napi kalciumszükségletet. A vizsgálatok meglepő módon azt mutatják, hogy a táplálék igen gyakran hiányos kalciumban, így a különböző korcsoportoknál a régóta fennálló tejfogyasztás-csökkenés miatt a kalciumellátásban több mint 30%-os hiányt is találtak. A nők tápláléka is gyakran kalciumhiányos, és a szigorúan vegetáriánusok, valamint a lakto-ovo-vegetáriánusok étrendje is alacsony kalciumban, foszforban és cinkben.

Túlzott tejfogyasztás esetén sem kell félni azonban a kalciumlerakódástól a szövetekben, vagy a vérér falán, mivel a kalciumabszorpció soha nem lépi túl az élettani szükségleteket. A tej-alkáli-szindróma csak extrém feltételek mellett fordulhat elő. Ha éveken át, vagy az egész életen át napi 3–5 liter a tejtúlfogyasztás, és ez a gyomor magas savtartalmával, rendszeres nátrium-hidrogén-karbonát-, vagy kalcium-karbonát-bevitellel, és esetleg túlzott D-vitamin-felvétellel párosul, a tej-alkáli-szindróma krónikus hiperkalcinémiát vagy a szövetek elmeszesedését okozhatja. Ennek elkerülése érdekében alacsony nátriumtartalmú tejet lehet használni az alacsony nátriumtartalmú táplálék részeként, bár az Egyesült Királyságban végzett felmérések szerint a táplálékban lévő nátriumnak csak 7%-a származik a tejből.

Nyomelemek

Az iparosodott területeken az étrend gyakran vashiányos. A vasszükséglet számolásánál figyelembe kell venni azt is, hogy a test naponta 1 mg vasat választ ki, és az elfogyasztott vasnak csak kb. 10%-a abszorbeálódik. Patkánykísérletek bebizonyították, hogy a vas abszorpcióját aminosavakkal, hisztidinnel, és lizinnel növelni lehet, a Fe beépülése a hemoglobinba pedig az elegendő mennyiségű fehérje, a réz és a B-vitaminok együttes jelenlététől függ. A vas abszorpcióját nem gátolja a magas kalcium-felvétel, ugyanis fiatal felnőtt férfiakkal végzett kísérlet során magas kalciumbevitel mellett is az elfogyasztott vas 18%-a abszorbeálódott. A vas abszorpcióját szintén befolyásolja a táplálék foszfor-, fluorid- és C-vitamin-tartalma is. Mivel az állati testben a nyomelemek abszorpciója jelentősen függ a béltraktus pH-jától, ezért a laktóz hatására kialakuló savanyú pH szintén fontos részt vállal a nyomelem-abszorpcióban. Vassal dúsított tejjel végzett kísérletben kimutatták, hogy 10–30 mg/dm³ vaskiegészítésnél semmilyen ártalmas hatást nem találtak az organoleptikus tulajdonságban. Különböző vassal dúsított tejfehérje-frakciókkal végezve a vaspótlást, egérnél vérszegénységet lehet megelőzni, és az anémiás patkány vére is növekvő hematokrit értéket mutatott. A tejben történő vaskiegészítés nagymértékben alkalmazható az élet különböző területein, ezért a fejlődő országokban, ahol a népesség nagy része vashiánytól szenved, különösen fontos a megemelt vastartalmú tej fogyasztása.

A szelén esszenciális nyomelem, de nagyobb koncentrációban toxikus lehet. Szelénhiány a máj károsodásához vezet, és annak rákos megbetegedését okozhatja. 0,1 mg szelén 1 kg táplálékban megakadályozhatja a máj szövetelhalását. Az ajánlott szelénmennyiség 0,1–0,3 mg/kg, míg a 2–10 mg/kg már toxikusnak tekinthető. A tej és tejtermékek csak 6–10%-ban járulnak hozzá a szelénfelvételhez, de a szelénellátottság a legtöbb helyen kellően változatos étrend mellett biztosított.

A tej jódtartalma, éppúgy mint a vize, vidékenként változik. Tengerparti területeken lévő tej jó jódforrás, míg a parttól távolabb, különösen hegyvidékeken a lakosság jódhánytól szenved az alacsony jódbevitel miatt. Mivel a jód fontos a pajzsmirigy működése szempontjából, ami naponta kb. 75 µg jódot vesz fel, golyva alakulhat ki ott, ahol az ivóvíz és a tej alacsony jódtartalmú. Beszámoltak arról, hogy a különböző országokban (Finnország, Oroszország, Csehország, Szlovákia, Ausztria, Görögország, Irak és Izrael) jelentős helyi különbségek alakulhatnak ki a jódfelvételét illetően. Megfigyelték, hogy a tej kevesebb jódot, és több tiocianátot tartalmaz, amikor a tehenet repcemag-tartalmú takarmánnyal etették. Patkánnyal etetve ezt a tejet, a pajzsmirigyük tömegének és a golyva kialakulásának növekedését tapasztalták. A tejből és tejtermékekből történő jódfelvétel általában nagyobb, mint az ivóvízből, és más élelmiszerekből. A takarmány lehetséges jódhány miatt a jódkészítményekkel végzett tőgyfertőtlenítés, ami a tej jódtartalmának megnövekedését okozhatja, nem veszélyes az egészségre. A tejhez történő jódhozzáadás nem szükséges, mivel az asztali só a lakosság jódelátásának javítása érdekében jódozott.

A patkánykísérletek tanúsága szerint a mangán szállítása és abszorpciója szignifikánsan javul a tejfogyasztás révén.

A tejet bizonyos esetekben olyan tápláléknak tekintik, amely véd az ipari mérgezésekkel, a toxikus nyomelemekkel, a szerves oldószerekkel, a karcinogén anyagokkal és egyéb egészséget károsító anyagokkal szemben is, ezért rendszeres tejfogyasztást javasolnak azoknak a dolgozóknak, akik toxikus anyagokkal dolgoznak. A zsírban oldódó toxikus anyagok által okozott mérgezést viszont elősegítheti a tej, mivel zsírt tartalmaz. Patkánykísérletekben azt találták, hogy ha egy időben ólmot és tejet adtak szájon át, az ólom abszorpciója és retenciója megnőtt. A kadmium és a higany retenciója szintén nagyobb lett, amikor az állatok tejet fogyasztottak. Nemcsak a tej zsírtartalma, hanem néhány tejalkotórész is növeli az ólom abszorpciót, míg mások gátolják azt. A táplálék magas kalcium- és foszfortartalma gátolja, a

laktóz viszont elősegíti az ólom abszorpcióját és visszatartását. Ezzel szemben a hidrolizált laktózt tartalmazó tejjel etetett állatok szöveteiben az ólomtartalom nem volt magasabb a kontrollállatokhoz hasonlítva. A nehézfémek abszorpciója nem növekedett, ha a laktózt hidrolizálták. Az ólomvisszatartás ugyan növekszik tejfogyasztás hatására, de a növekedés nem számottevő, ha a tejet szilárd táplálékkal együtt fogyasztják.

A táplálkozási kísérletek eredménye csak korlátozottan alkalmazható azokra a munkahelyekre, ahol a toxikus anyagok belégzéssel kerülnek be a szervezetbe, ahol a tüdő nagy felülete ideális abszorpciós feltételt biztosít. Ezért kapcsolat van a belélegzett levegő ólomtartalma, és a vér ólomtartalma között, és a tej, valamint más, szájon keresztül felvett táplálék nem hat az abszorpciónak erre a formájára. A toxikus anyag nem halmozódik fel a szervezetben, ha folyamatosan nagyon kis mennyiségben lélegzik be, mert a szervezet a májban központi detoxikáló rendszerrel rendelkezik. A máj ezt a funkcióját jobban ki tudja fejteni, ha optimális a tápanyagellátása, azaz rendelkezik aminosavakkal, esszenciális nyomelemekkel és vitaminokkal. A kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a májsejtek fehérjetartalma nagyobb lesz, és a detoxikáló enzimek koncentrációja is növekvő aktivitást mutat, ha a táplálék optimális mennyiségben tartalmazza a nagy biológiai értékű fehérjét. Ebben a helyzetben a májfunkciók, beleértve a detoxikációt is, az optimális szinten vannak. Mivel a tej nagy mennyiségben tartalmaz magas biológiai értékű fehérjét, kétségtelenül biztosíthatja azt az optimális étrend közeli helyzetet, mely fontos a máj detoxikációs működésének fenntartásához a toxikus anyagoknak kitett dolgozók esetében.

Arzéntartalmú, fehérjében gazdag tejen tartott egerekkel végzett kísérletben a vér, a máj és a vese arzénkoncentrációjának növekedése lassult. Ha a tejfehérje mennyisége elegendő, a karcinogén hatás nem vezet májgyulladásához. Úgy tűnik, hogy a β -laktoglobulin komplexképződés során csökkenti a karcinogén szerves vegyületek toxicitását, mert a 3,4-benzpirénnel szemben védő hatást fejt ki a szervezetben. A szerves oldószerek abszorpcióját a tej nem növeli számottevő mértékben. Néhány állatkísérletben a szelén és az E-vitamin csökkentette a higanymérgezés halálos voltát, míg a többszörösen telítetlen zsírsavak mennyiségének növelése a táplálékban fokozta a hajlandóságot az állatokban a higanymérgezésre.

A tej fluorozása

A fogak képződésének szempontjából a táplálékban lévő fluor jelentősége érthető, mert a fogak fluortartalma viszonylag magas, ami különösen a zománc külső rétegére igaz. A fluorid hozzájárul a fogakban lévő kalcium-foszfát-komplex stabilitásához. Ez az elem ezért védő hatású a fogszuvasodással szemben, ha időben elegendő fluorid áll rendelkezésre a fogképződés alatt. A fluor előnyös hatását a csontképződésben is hasonlóan lehet magyarázni. Kísérletek azt mutatják, hogy kapcsolat van a táplálékban lévő fehérje minősége, és a csontban lévő fluorid beépülése között. A táplálékban lévő fluorid hatását a fogzománc összetételére 7–14 éves kor után már nehezen lehet bizonyítani.

A tej és tejtermékek alacsony fluortartalmuk miatt a javasolt fluorfelvételhez csak 15%-ban járulnak hozzá, de a teljes táplálék az igény mintegy 30%-át biztosítja. A szokásos táplálékban lévő fluorid mennyisége ezért nem elegendő a fogszuvasodás elleni megelőző hatás kiváltásához. Ezért azt javasolják, hogy a tejet ki kell egészíteni fluorral, főleg a gyerekek fogyasztására tekintettel, akiknek ez a legjelentősebb fogszuvasodás megelőző anyag. A fluorozott tej 1 mg fluor/dm³-t tartalmaz NaF formában, amely a tej ízét, illatát és színét nem befolyásolja. A fluorid abszorpciója a tejből valamivel lassabb, de a tejhez történő fluoradagolás nem okoz kalcium-fluorid-kicsapódást. A tej kitűnő fluorközvetítőnek tekinthető, mivel biztosítja a fogak és a csontok képződéséhez szükséges egyéb fontos tápanyagokat (kalcium, foszfor és a D-vitamin) is, ezért nagy jelentőségű, hogy a fluorozott tejet már nagyon korán, akkor alkalmazzuk, mielőtt a fogak kialakultak volna.

Fluorozott tejjel végeztek már kísérleteket Svájcban, Ausztriában, Japánban és az USA-ban is. Néhány esetben a fluorozást otthon végezték, más esetben a fluorozott tejet az iskolában adták a gyerekeknek. Néhány év múlva határozottan csökkent a fogszuvasodás azoknál a gyerekeknél, akik fluorral kiegészített tejet kaptak. A fogszuvasodás csökkenése a kontrollhoz viszonyítva 26 és 74% között volt; a jobb eredményt a fiatalabb gyerekeknél figyelték meg. Az egyéb fogbetegségek esetén kapott különbség is bizonyítja a fluorozott tej sikerét, mivel a fluorozott tej fogyasztása megnöveli a fogak fluortartalmát.

A víz fluorozását is javasolják a fogszuvasodás megakadályozása érdekében. A kiegészített vízben a fluoridkoncentráció 1,0–1,2 mg fluor/dm³. Néhány országban, mint például Hollandiában, már általánosan fluorozzák a vizet, és ezeken a területeken 16 éves korban a fogszuvasodás kb. 50%-ban visszaszorult. A megelőzést a második év után kell elkezdni. A fluorozott ivóvizet összehasonlítva a tejjel látható, hogy a tej kezelése a vízhez képest a következő előnyökkel jár:

- A fluoridfelvétel nem kötelező.
- A fluorozott tej azoknak előnyösebb, akiknek magasabb fluorbevitelre van szükségük, pl. a gyerekeknek.
- A tej fluorozása olcsóbb.
- A 0,05% fluor hozzáadása az ivóvízhez környezetvédelmi problémát is jelenthet.
- A tejhez adott fluorid mennyiségét jobban lehet adagolni és ellenőrizni.
- Minden olyan anyag, amire szükség van a fogképződésnél, és a fogszuvasodás megelőzésénél, jelen van a fluorozott tejben.

A fluorozott tej hátránya lehet, hogy a felvett fluor mennyisége függ az elfogyasztott tej mennyiségétől, ami gyerekeknél jobban változó, mint a víz esetében. Másrésztől megfigyelték, hogy fluorozott ivóvízű területeken a gyerekek nem veszik fel a kívánt mennyiségű fluoridot. Patkányokkal végzett kísérletek bizonyítják, hogy a fluorozott tej és víz a fogszuvasodás szignifikáns csökkenését eredményezi, a fluorozott tej azonban valamivel jobban növeli a fogzománc fluortartalmát, de a fogszuvasodás kialakulása hasonló volt, akár fluorozott tejet, akár fluorozott vizet fogyasztottak az állatok.

20.2. A fehérjék

A fehérjék komplex makromolekulák, melyek mind a növényi, mind az állati sejt citoplazmájában előfordulnak. Az élő sejtek szárazanyagának legalább 50%-át a fehérje teszi ki. A fehérjék nagyrészt szénből, oxigénből, hidrogénből, nitrogénből és kénből felépülő vegyületek. Építőelemeik az α -L-aminosavak, amelyek megszabják a fehérje kémiai, fizikai és biológiai tulajdonságait.

20.2.1. A tejfehérje

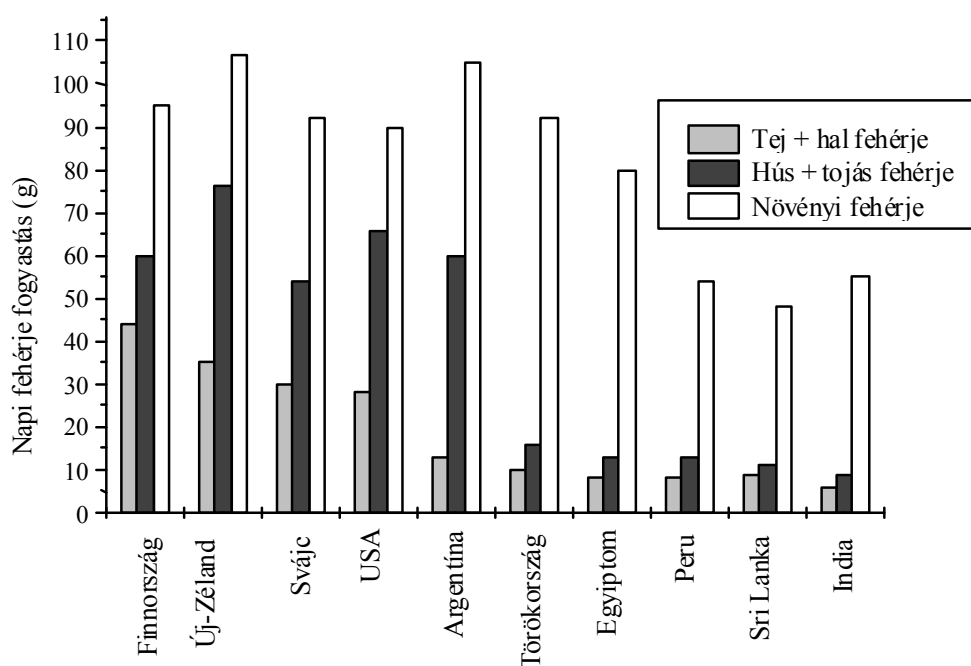
20.2.1.1. A tejfehérje és a fehérjeellátás

A fejlődő országok lakosságának 25–30%-a hiányosan ellátott fehérjével. Egyedül Dél- és Délkelet-Ázsiában több millió ember nem kapja meg a napi szükséges fehérjemennyiséget. Ez azért meglepő, mert a világ lakosságának éves fehérjeszükséglete 60–70 millió tonna, és a világ éves fehérjetermelése 80 és 190 millió tonna közöttire becsülhető, állati fehérjéből pedig az éves igény 22 millió tonnára tehető. Bár a tehén nem igazán hatékonyan használja fel az energiát, figyelembe kell azonban venni azt is, hogy a tehén olyan területeket – legelőket – hasznosít tejtermelésre, amelyek más célra nehezen volnának használhatók. Ennek ellenére az összes háziállat közül a tehén használja fel leghatékonyabban a takarmány energiáját akkor, amikor

állati fehérjét – tejet – állít elő. A tehénnek négy hektár legelő szükséges 1000 kg tejfehérje előállításához, míg a sertésnek ugyanennyi állati eredetű fehérje előállításához 14 hektárra van szüksége.

A kívánatos napi fehérjebevitel az embernél 0,9 g testtömeg-kilogrammonként, másképp kifejezve 7,2–8,4 g/1000 kJ, ami 60–70 g-ra tehető személyenként és naponta. Ez azokra az emberekre vonatkozik, akik könnyű testi munkát végeznek, azoknál az embereknél viszont, akik nehéz fizikai munkát végeznek, ennél több napi fehérjeszükséglettel kell számolni. A napi állati eredetű fehérjeszükségletet 40 g-ra becsülik, és 16 g-ot említenek minimumként. A minimális fehérjeszükségletet 0,6 g-ban határozták meg testtömeg-kilogrammonként vegyes táplálkozás esetén, ami kb. 50 g személyenként és naponta.

Fejlett országokban a napi fehérjefogyasztás 90–110 g, amiből 37–70 g az állati fehérje, melynek felét a tejfehérje teszi ki. A fejlődő országokban ezzel szemben a fehérjefogyasztás 50 g fejenként és naponta, ebből 5–9 g tekinthető állati eredetűnek. A fejlett ipari országokban az összes elfogyasztott fehérje 55–70%-a állati eredetű, míg ugyanez az arány a fejlődő országokban csak 20% (20.1. ábra). Ha azokat az országokat, amelyek nem rendelkeznek elegendő fehérjével, ellátnánk azzal a tejfehérjetöbblettel, ami a fejlett államok többlettermelése, a szegény országok élelmiszereit kiegészítve ezzel a mennyiséggel a hiányt pótolni lehetne. A fehérje optimális részesedése a szervezet energiaellátásából 15%, a 10%-nál kisebb arány pedig már nem kívánatos.



20.1. ábra. A növényi és állati eredetű fehérjék fogyasztása különböző országokban

A fejlett országokban az emberek a szükségesnél több fehérjét fogyasztanak, és itt nincs probléma az állati eredetű fehérjeellátással sem, azonban míg a zsír mennyisége az elmúlt években nőtt, a fehérje mennyisége nem változott a fogyasztott energián belül. A tejfehérje jelentős mennyiségben járul hozzá a szervezet fehérjeellátásához, mert fél liter tejjel a napi fehérjemennyiség 20–25%-át, a napi javasolt állati eredetű fehérje mennyiségének pedig 40–45%-át ki lehet elégíteni. A statisztikák azt mutatják, hogy a fejlett országokban a tejfehérje 20–30%-át teszi ki az összes fehérjének, és 40%-át az állati eredetű fehérjének az emberek táplálkozásában. A fejlődő országokban az összes elfogyasztott fehérjének csak 5%-a a

tejfehérje. Az állati eredetű fehérjét célszerű tej és tejtermék formájában fogyasztani, mert ezeknek nagy a kalcium- és a B-vitamin-tartalma. A teljes tej zsír és fehérje aránya kiegyensúlyozott. A tej átlagos fehérjetartalma 3,3%, a fehérje energiatartalma pedig 15,6 kJ grammonként. A teljes tej energiatartalmának 22%-a, míg a főlözött tej energiatartalmának 40%-a származik a fehérjéből.

A tej fehérjetartalma

A tehéntej átlagos fehérjetartalma 3,4–3,5%. A tej összes nitrogéntartalmának kb. 5%-a, 30 mg/100 cm³ nem-fehérje nitrogén, mint amilyenek a szabad aminosavak, a karbamid, a kreatinin stb. A tej nem-fehérje nitrogén (a továbbiakban NPN) tartalma 16 és 47 mg/100 cm³ között változik. A tág határ a tej karbamidtartalmának köszönhető, amely függ a vér karbamidtartalmától, a karbamid ugyanis az NPN-anyagok felét teszi ki a tehéntejben.

A tej nitráttartalma 0,3–0,8 mg/100 cm³ között van. Az erősen nitrogénműtrágyázott területen termelt takarmány növelni fogja a tej nitráttartalmát. Ez a mennyiség azonban még mindig alacsonyabb, mint ami az ivóvízben megengedett, tehát a tej nitráttartalma nem veszélyes az egészségre.

A tej valódi fehérje-tartalma, az összes fehérjéből levonva az NPN-t, átlagosan 3,3%. A tejfehérje különböző frakciókból áll, amelyek közül a kazein a tejfehérje 80, míg a savófehérjék a tejfehérje 20%-át teszik ki. A kazein négy frakcióra bontható: α -, β -, γ - és κ -kazeinre. A β - és a γ -kazein aminosav-szekvenciájából megállapítható, hogy a γ -kazein a β -kazeinből származtatható. Az α -kazein további alosztályokba osztható, mint amilyenek az α_0 , az α_1 és az α_2 kazein, és egy újabb kazeinfrakcióról, nevezetesen a λ -kazeinről is beszámoltak. Nagyszámú kazeinmolekula együtt alkotja a kazeinmicellát, amelynek átmérője 100–250 mikrométer, ami magába zárja a kalciumot, a foszfátot és a citrátot is. A kazeinkomplex átlagos kalciumtartalma 2,9, foszfortartalma 0,8%. Az egyes kazeinfrakciók jelentős mértékben különböznek a foszfortartalomban. Az α - és β -kazein 1,0 és 0,6% foszfört tartalmaz, míg a κ - és γ -kazein foszfortartalma 0,2 és 0,1%. A foszfortartalom a micella stabilitásában játszik jelentős szerepet.

A tej fő savófehérje-frakciója a szérumalbumin, a β -laktoglobulin, az α -laktalbumin és a globulinok. A proteáz-pepton frakció, amely 11% szénhidrátot tartalmaz, és ellentétben a többi savófehérje-frakcióval, nem csapódik ki 100 °C-ra felmelegítve, miután pH=4,7-re savanyították, szintén a savófehérje részének tekinthető. Az ismertetett fehérjefrakciókon kívül sok változat és fenotípus fordul elő, amelyek aminosav-összetételükben és egyes tulajdonságaikban különböznek egymástól, így a tejfehérje-komponensek több mint 50-re tehetők. Néhány fehérjeváltozatot genetikai variánsnak tekintenek, mert a különböző populációkban különböző mennyiségben fordulnak elő, és vannak olyan genetikai variánsok is amelyek egyes populációkban egyáltalán nem is fordulnak elő. Ezen variánsok egy részéről azt feltételezik, hogy genetikailag egy másik tejkomponenssel vagy tejtulajdonsággal vannak kapcsolatban, mint amilyen pl. a hőstabilitás, az oltós alvadási készség, vagy a tőgygyulladás elleni ellenálló képesség. A 20.5. táblázat a tej fehérjefrakcióit, azok átlagos koncentrációját és szélsőértékeit mutatja. Az adatok nagyszámú irodalmi adat átlagai. A táblázatban a fő fehérjefrakciók variánsai is megtalálhatók.

Az IgG₁, a globulinok fő fehérjefrakciója, 1,2–3,3%-ban fordul elő a tejfehérjében. A többi globulin koncentrációja a következő: IgG₂ 0,2–0,7%, IgA 0,2–0,7% és IgM 0,1–0,7%. A kolosztrum globulintartalma jelentősen nagyobb, mint az érett tejé. A kis mennyiségben előforduló tejfehérjék közül említést érdemel a laktoferrin, amely egy glikoprotein két vasatommal, amelyet korábban vörös fehérjének is hívtak. A laktoferrin nagyon alacsony koncentrációban (0,2 mg/100 cm³) fordul elő a tehéntejben, lényegesen nagyobb a koncentrációja a kolosztrumban és tőgygyulladás után a tejben. A laktoferrin bakteriosztatikus tulajdonságokkal is rendelkezik.

20.5. táblázat. A tej fehérjefrakciói

Fehérjefrakció	Variánsok	Százalék a tejfehérjében		Százalék a kazeinben ill. savófehérjében	
		Átlag (%)	Szélsőértékek (%)	Átlag (%)	Szélsőértékek (%)
α_s -kazein	A, B, C, D	43,5	35–63	54,2	48–60
κ -kazein	A, B	10,7	8–15	13,3	7–21
β -kazein	A1, A2, A3, B, Bz, (B1 ₂) C, D, E	24,2	19–35	30,1	26–40
γ -kazein	A1, A2, A3, B	2,0	1–3	2,5	2–4
Kazein		80,3	76–86	100	
Szérumalbumin		0,9	0,5–1,3	4,6	2–8
β -laktoglobulin	A, B, C, D, D _r	9,6	7–14	48,7	44–59
α -laktalbumin	A, B, C	3,7	2–5	18,8	17–22
Globulinok	IgG, IgM, IgA	2,2	1–4	11,2	8–17
Proteóz-pepton	4 frakció	3,3	2–6	16,8	10–19
Savófehérje		19,7	14–24	100	

A tejfehérje aminosav-összetétele

A 20.6–20.8. táblázatok a tejfehérje és fő frakciói aminosav-összetételét mutatják. Az adatok nagyszámú publikációk eredményeit tartalmazzák. A táblázatokban az adatok az egyes aminosavak százalékos mennyiségét mutatják 16 g nitrogénre, vagy 100 g fehérjére vonatkoztatva. A tejfehérje viszonylag gazdag esszenciális aminosavakban. Az egyes fehérjefrakciók között jelentős különbségek vannak, amelyek nyilvánvalóak, ha összehasonlítjuk a kazein és a savófehérje aminosav-összetételét. 100 g savófehérje átlagos esszenciálisaminosav-tartalma 50,9 g, ami sok treonint, lizint, izoleucint és triptofánt tartalmaz. A kazeinnél ez csak 45,1 g/100 g ugyanezekből az aminosavakból. 100 g savófehérje átlagosan 2,8 g cisztint tartalmaz.

Az egyes kazeinfrakciók jelentősen eltérnek aminosav-összetételükben. A β - és γ -kazein 48,4 és 49,1 g esszenciális aminosavat tartalmaz 100 g fehérjében, és ezért gazdagabbak esszenciális aminosavakban mint a α_s - és κ -kazein, ahol az esszenciális aminosavak összes mennyisége csak 43,3 és 41,7 g 100 g fehérjében. A β - és γ -kazein kitűnik magas leucin- és valintartalmával, az α -kazein viszonylag nagy mennyiségben tartalmazza a lizint és a triptofánt, a κ -kazein pedig gazdag izoleucinban és treoninban. Az α - és a β -kazein nem tartalmaz cisztint.

A β -laktoglobulin és az α -laktalbumin teszi ki a savófehérje megközelítően 80%-át. Gazdagok esszenciális aminosavakban, amelyek mennyisége 53,8 és 52,1 g ezekből az aminosavakból 100 g fehérjére vonatkoztatva. Az összes albuminfrakciónak magasabb a lizin- és a leucintartalma.

Az összes természetes eredetű fehérje közül az α -laktalbuminnak van a legnagyobb triptofántartalma. Említésre méltó a metionin magas koncentrációja a β -laktoglobulinban, a fenilalaniné a szérumalbuminban, és a valiné és a treoniné a globulinokban. Az α -laktalbumin és a szérumalbumin viszonylag nagy mennyiségben tartalmazza a cisztint. Nincsenek megbízható adatok a többi savófehérje cisztintartalmáról.

Sokan vizsgálták az egyes kazein- és savófehérje-frakciók aminosav-összetételét, és ugyancsak vizsgálták a proteóz-pepton valamint a laktoferrin aminosav-összetételét is. Az α_{s1} -

kazein B, a β -kazein A1, a κ -kazein B, a β -laktoglobulin A és az α -laktalbumin B fehérjék aminosav-szekvenciáját is meghatározták.

20.6. táblázat. *A tejfehérje, a kazein és a savófehérje aminosav-összetétele*

Aminosavak	Mennyiség (g/100 g fehérje)		
	Összes fehérje	Összes kazein	Összes savófehérje
Triptofán (Trp)	1,4	1,4	2,1
Fenilalanin (Phe)	5,2	5,1	3,8
Leucin (Leu)	10,4	10,4	11,1
Izoleucin (Ile)	6,4	5,7	6,8
Treonin (Thr)	5,1	4,6	8,0
Metionin (Met)	2,7	2,8	2,4
Lizin (Lys)	8,3	8,3	9,9
Valin (Val)	6,8	6,8	6,8
Hisztidin (His)	2,8	2,9	2,2
Arginin (Arg)	3,7	4,0	3,0
Cisztin (Cys)	0,9	0,3	2,4
Prolin (Pro)	10,1	11,2	5,2
Alanin (Ala)	3,5	3,1	5,0
Aszparaginsav (Asp)	7,9	7,3	11,3
Szerin (Ser)	5,6	5,8	5,2
Glutaminsav (Glu)	21,8	23,0	19,2
Glicin (Gly)	2,1	2,1	2,2
Tirozin (Tyr)	5,3	6,0	3,5

20.7. táblázat. *Az egyes kazeinfrakciók aminosav-összetétele*

Aminosavak	Mennyiség (g/100 g fehérje)			
	α_s -kazein	β -kazein	γ -kazein	κ -kazein
Trp	2,0	0,7	1,2	1,2
Phe	4,9	5,6	5,8	3,7
Leu	8,7	11,8	12,1	6,2
Ile	6,1	5,5	4,4	7,5
Thr	3,9	4,9	4,6	8,6
Met	2,7	3,4	4,0	1,5
Lys	8,9	6,4	6,3	6,4
Val	6,1	10,1	10,7	6,6
His	2,9	3,1	3,7	2,0
Arg	4,0	2,8	1,8	3,6
Cys	0,4	0	0	1,2
Pro	8,9	17,2	17,8	13,0
Ala	4,2	2,4	2,4	8,7
Asp	8,5	5,0	4,1	7,9
Ser	7,1	7,5	5,7	7,9
Glu	22,5	22,3	22,5	18,7
Gly	3,5	2,5	1,7	2,1
Tyr	7,5	2,7	3,5	6,7

Mivel az egyes fehérjefrakciók évszak szerinti változatosságot mutatnak, az összes fehérje aminosav-összetételét is befolyásolja az évszak. Arra a következtetésre jutottak, hogy az aminosav-összetételt befolyásolja a környezet hőmérséklete is, ugyanis a melegebb hónapokban az állatok kisebb fehérjetartalmú tejet termelnek nagyobb esszenciális aminosav-tartalommal.

20.8. táblázat. *Az egyes savófehérje-frakciók aminosav-összetétele*

<i>Aminosavak</i>	<i>Mennyiség (g/100 g fehérje)</i>			
	<i>szérumalbumin</i>	<i>β-laktoglobulin</i>	<i>α-laktalbumin</i>	<i>összes globulin</i>
Trp	0,7	2,2	6,6	3,0
Phe	6,5	3,5	4,4	4,2
Leu	12,1	15,3	11,6	10,2
Ile	2,7	6,7	6,8	3,8
Thr	5,7	5,4	5,5	9,9
Met	0,8	3,1	1,0	1,3
Lys	12,6	11,7	11,4	6,5
Val	5,8	5,9	4,8	9,6
His	3,9	1,7	2,9	2,9
Arg	5,8	2,8	1,1	4,1
Cys	5,4	2,5	5,9	3,2
Pro	4,6	4,6	1,6	9,9
Ala	5,9	7,0	2,1	5,0
Asp	10,9	11,2	18,6	9,7
Ser	4,1	4,5	5,0	7,5
Glu	16,1	19,2	12,8	12,7
Gly	1,8	1,4	3,7	4,8
Tyr	5,0	3,8	5,2	6,1

A tejfehérje szerepe az emésztésben

A fehérje táplálkozási értéke. Kémiai, biológiai és mikrobiológiai módszerek segítségével nagyon sok indexet kidolgoztak a fehérje minőségének meghatározására, amelyek alapján a különböző fehérjéket egymással össze lehet hasonlítani. A mindennapi gyakorlatban a következő indexeket használják:

- A biológiai érték az a szám, amely megmutatja, hogy a fejlődő szervezet 100 g táplálék fehérjéből hány g fehérjét tud a szervezetébe beépíteni. Vonatkoztatási alapnak a tojásfehérjét választották, amelynek biológiai értéke 100. A szervezet fehérjeszükséglete ezért kevesebb magasabb biológiai értékű fehérjével elégíthető ki, míg alacsonyabb biológiai értékű fehérjéből többet kell elfogyasztani. Ugyanez vonatkozik a nitrogénegyensúlyra is.
- A nettó fehérjehasználás vagy NPU a biológiai értékhez hasonló, rendszerint állatkísérletekkel határozzák meg.
- A fehérjehatékonysági hányados (PER) a növekedésre vonatkozik. Az a testtömeggyarapodás, amelyet az állat 1 g fehérje elfogyasztása után produkál. Kísérletek történtek arra vonatkozóan, hogy a PER-értéket az aminosav-összetételi adatokból határozzák meg regressziós egyenletek alkalmazásával.

A 20.9. táblázatban a tejfehérje és egyéb élelmiszer-fehérjék biológiai értékét, PER- és NPU-adatait hasonlítjuk össze. Az adatok azt mutatják, hogy a tejfehérje táplálkozási értéke csak kissé alacsonyabb a tojásfehérjénél. Világos különbség mutatkozik a kazein és a laktalbumin között is, ugyanis az utóbbinak a legnagyobb a biológiai értéke az összes tejfehérje közül, sőt biológiai értéke még a tojásfehérjénél is nagyobb. Míg laktalbuminból csak 14,5 g szükséges az ember napi esszenciális aminosav-szükségletének kielégítéséhez, addig ez az érték tojásalbuminból 17,4 g, tejfehérjéből pedig 28,4 g. A laktalbumin ezért a legnagyobb biológiai értékű fehérjének tekinthető, bár részesedése az összes fehérjén belül csak mintegy 20%. A kazein táplálkozási értéke a legkisebb, de a két fehérje kombinálásával lényegesen megnő a keverék biológiai értéke. Egy patkányokkal végzett kísérletben a savófehérje nagyobb testtömeg-növekedést eredményezett, mint a kazein. Egy másik kísérletben a 12% savófehérje kiegészítést kapott patkányok ugyanolyan testtömeg-növekedést produkáltak, mint a 20% kazeint fogyasztók. A kazein PER-számát általában 2,5-nek tekintik, de egyes kísérletek azt mutatják, hogy elérheti a 3,2-et is. A savófehérjék közül az α -laktalbumin 4,0, a β -laktoglobulin pedig 3,5 PER-értékkel rendelkezik.

20.9. táblázat. *A tejfehérje és egyéb élelmiszer-fehérjék táplálkozási értéke*

<i>Élelmiszer-fehérje</i>	<i>Biológiai érték</i>	<i>PER-érték</i>	<i>NPU-érték</i>
Teljes tojás	100	3,8	94
Tehéntej	91	3,1	82
Kazein	77	2,9	76
Laktalbumin	104	3,6	92
Marhahús	80	2,9	73
Burgonya	71	–	–
Szójafehérje	74	2,1	61
Rizs	59	2,0	57
Búza	54	1,5	41
Bab	49	1,4	39

A fehérje minősége még a következő módokon is kifejezhető:

- Az esszenciális és a nem esszenciális aminosavak arányával, vagy az esszenciális és a nem esszenciális nitrogénnel. Ez az érték a tojásfehérjére 3,22, a tejfehérjére 3,20, a szójafehérjére pedig 2,58.
- Az esszenciális aminosav-index (EAA) a fehérje kémiai analízisének alapszik. A tojásfehérje EAA-indexe 100, a tejfehérjéé pedig 90.
- Kémiai érték (chemical score, CS) szintén az egyes fehérje esszenciális aminosav-tartalmán alapszik. Tejfehérjére ez az érték 81, savófehérjére 87, a FAO által ajánlott referencia fehérjéhez viszonyítva a savófehérje CS értéke 103–109.
- A laktalbumin és a kazein patkánykísérlettel meghatározott relatív tápláléértéke 100 és 90, ami azt mutatja, hogy a kazein értéke nagyobb, mint azt előzetesen meghatározták.
- A laktalbumin relatív fehérjeértéke 0,9, a kazeiné 0,72, a bab fehérjéé pedig 0,33.
- A nettó fehérjearány (NPR) a tojásfehérje esetében 5,0, a tejfehérje esetében 4,0 (a kazeiné 3,7, a laktalbuminé 4,3), a szójafehérjéé pedig 2,6.
- A relatív fehérjehasznosításnál (RNU) a laktalbumint tekintik referencia fehérjének, melynek RNU értéke 100. Ez az érték a kazein esetében 87, a szójafehérjénél pedig 70.

- A plazma szabadaminosav-tartalma, valamint a plazma karbamidtartalma szintén alkalmazható a fehérje táplálkozási értékének megállapítására.
- A felsoroltakon kívül még számos paramétert fel lehet használni a fehérje táplálkozási értékének meghatározására. Ilyen például a fehérje emészthetősége. Egy sertésekkel végzett kísérletben a tejfehérje emészthetőségét 85%-nak, a szójafehérjéét pedig csak 57–67%-nak találták.
- Olyan mikroorganizmusokat is használnak a fehérje biológiai értékének meghatározására, amelyek aminosav-szükséglete hasonló az emberéhez. Így pl. használják a *Tetrahimena* piriformist, amellyel a fehérje biológiai értékének meghatározása gyors és olcsó, és az eredmények jól egyeznek a tényleges biológiai értékkel.

Bármelyik értékelést is választjuk, egyértelműen kitűnik, hogy a tejfehérje lényegesen értékesebb, mint a növényi fehérje. Ennek részben az is az oka, hogy a növényi fehérje kevésbé emészthető, mint az állati fehérje, mivel ez utóbbit a *tripszin* és a *pepszin* könnyebben hidrolizálja, mint a növényi fehérjéket.

A fehérje tökéletes hasznosulásához megfelelő mennyiségű energiát is biztosítani kell, ugyanis ha nem áll rendelkezésre megfelelő energia, a fehérje egy része energianyeresre használódik fel. Egy emberekkel és egy patkányokkal végzett kísérlet bizonyította, hogy a kazeinhasznosulás jobb volt akkor, amikor megfelelő mennyiségű energia állt rendelkezésre.

A húsfehérje biológiai értéke alacsonyabb, mint a tejfehérjéé annak ellenére, hogy a húsfehérje lizintartalma nagyobb, mint a tejfehérjéé. Ennek oka az aminosav-szekvenciában keresendő, ugyanis a húsfehérjénél olyan a lizin környezete, ami csökkenti a lizin hozzáférhetőségét a tejfehérjéhez képest.

Azt is meg kell említeni, hogy a tejfehérje sokkal olcsóbb, mint az egyéb állati eredetű fehérjék. A statisztikai elemzések azt mutatták, hogy a tejfehérje az összes fehérjefogyasztás 20%-át teszi ki, holott ennek ára csak 15%-a az összes elfogyasztott fehérjének. Németországban egységnyi mennyiségű hal vagy tojásfehérje ára két-háromszorosa, a húsfehérjéé pedig négy-hatszorosa a tejfehérjének. Az Egyesült Államokban egy egység földimogyoró vagy búzalisztfehérje ára több, mint a sovány tejpor fehérjéé. Egy egység marhahúsfehérje ára tízszeresébe kerül egy egység tejfehérje árának, és a sovány tej tejfehérjéje csak alig kerül valamivel többre, mint a szójafehérje. Fentiek miatt a különböző fehérjékre egy gazdasági élelmiszerérték-index bevezetését javasolják, amelyben nemcsak a fehérje táplálkozási értékét, hanem annak árát is figyelembe vennék. Zsírtmentes tejporon vagy savófehérje-koncentrátumon alapuló komputerprogramokat is kifejlesztettek élelmiszerek előállítására, amelyek nemcsak a fehérje esszenciálisaminosav-tartalmát, hanem a fehérje árát is figyelembe veszik.

Esszenciálisaminosav-ellátás. Az aminosavak közül a triptofán, a fenilalanin, a leucin, az izoleucin, a treonin, a metionin, a lizin és a valin tekinthető felnőtt ember számára esszenciálisnak. A hisztidint nem tekintjük esszenciális aminosavnak, ugyanis az emésztő traktusban élő mikroorganizmusok egészséges embernél szintetizálni tudják. Az emberi szervezet számára minimálisan szükséges esszenciális aminosavak mennyiségét többen meghatározták. A 20.10. táblázat a felnőtt ember minimális napi esszenciálisaminosav-szükségletét mutatja, és tartalmazza a napi szükséglet kielégítéséhez szükséges tej mennyiségét is.

A táblázat adatai 3,3%-os fehérjetartalom alapjának. A táblázatban a metionin és a cisztin együttesen szerepel, mert a cisztin részben ki tudja elégíteni a kéntartalmúaminosav-szükségletet. Ugyanez vonatkozik a fenilalaninra és a tirozinra is. Fél liter tej elfogyasztásával a metionin és a cisztin kivételével az összes esszenciálisaminosav-szükségletet ki lehet elégíteni. A metionin- és a cisztinszükségletet csak több tejjel, esetleg sajt adásával lehet fedezni. A tej és

tejtermékek ezért nagymértékben hozzájárulnak a szervezet esszenciálisaminosav-szükségletének kielégítéséhez különösen akkor, ha kiegyensúlyozott diéta részei, amelyek más egyéb élelmi fehérjéket is tartalmaznak. A vegetáriánus élelmiszerek mintegy 30%-a metioninhiányos, és a szójafehérje is viszonylag kevés metionint és cisztint tartalmaz.

20.10. táblázat. *A felnőtt napi átlagos esszenciálisaminosav-igénye, és az annak kielégítéséhez szükséges tej mennyisége*

<i>Esszenciális aminosav</i>	<i>Minimális mennyiség (g)</i>	<i>1 dm³ tej tartalma (g)</i>	<i>A kielégítéshez szükséges napi tejmennyiség (dm³)</i>
Trp	0,25	0,5	0,5
Phe + Tyr	1,1	3,5	0,3
Leu	1,1	3,4	0,3
Ile	0,7	2,1	0,3
Thr	0,5	1,7	0,3
Met + Cys	1,1	1,2	0,9
Lys	0,8	2,7	0,3
Val	0,8	2,2	0,4

A FAO/WHO egy szakértői csoportja kidolgozta az ideális táplálékot, amely optimális mennyiségben és arányban tartalmazza az esszenciális aminosavakat. E referencia fehérje aminosav-összetételét a 20.11. táblázatban a tejfehérje, a savófehérje és a tojásfehérje aminosav-összetételéhez hasonlítjuk.

20.11. táblázat. *Az esszenciális aminosavak mennyisége a vonatkoztatási fehérjében, a tejfehérjében és a tojásfehérjében*

<i>Esszenciális aminosav</i>	<i>Koncentráció (g/100 g fehérje)</i>			
	<i>Vonatkoztatási fehérje</i>	<i>Teljes tojás fehérje</i>	<i>Tejfehérje</i>	<i>Savófehérje</i>
Trp	1,0	1,5	1,4	2,1
Phe + Tyr	6,0	10,5	10,5	7,3
Leu	7,0	9,1	10,4	11,1
Ile	4,0	6,7	6,4	6,8
Thr	4,0	5,1	5,1	8,0
Met + Cys	3,5	5,9	3,6	4,8
Lys	5,5	6,9	8,3	9,9
Val	5,0	7,5	6,8	6,8

A táblázat adatai azt mutatják, hogy a tejfehérje az összes esszenciális aminosavból megfelelő mennyiséget tartalmaz, még a kéntartalmú aminosavakból is, amelyekből a tojásfehérje esetében felesleg mutatkozik. Ez az összehasonlítás ismét rámutat a savófehérje magas biológiai értékére. A savófehérje több esszenciális aminosavat tartalmaz, mint a tejfehérje, és több triptofánt, treonint, leucint és lizint tartalmaz, mint a tojásfehérje. Ez utóbbi azonban gazdagabb metioninban és ciszteinben, valamint fenilalaninban és tirozinban. Néhány, emberekkel végzett kísérletben rájöttek arra, hogy az ember jobban elviseli a kazeinből és az

albuminból álló élelmiszeradagot mint az ún. ideális fehérjét, amelyet tiszta aminosavak keverékeként állítottak elő.

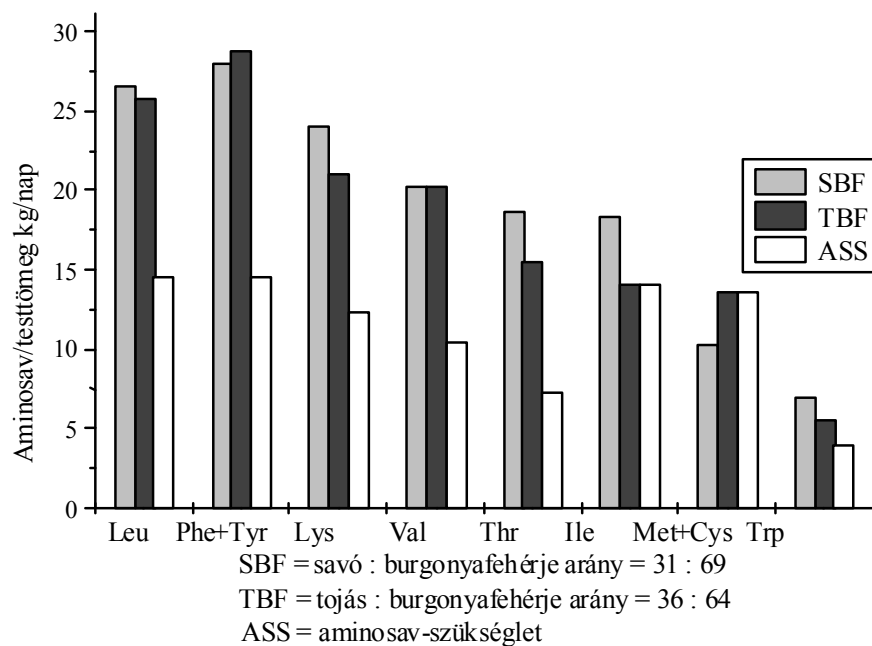
Az esszenciális aminosavak optimális hasznosulásához bizonyos mennyiségű nem esszenciális aminosavnak is rendelkezésre kell állni, ami bőségesen megtalálható a tejfehérjékben. Mivel a metionin a tejfehérje limitáló aminosava, esetleg megfontolandó a tejfehérje metioninnal történő kiegészítése. Ilyen kiegészítést mégis inkább a növényi fehérjék fogyasztása esetén, ill. az állati takarmányozásban célszerű végezni. A növekvő biológiai érték elérése érdekében a tejfehérjét inkább savófehérjével – amelynek biológiai értéke a legnagyobb a tejfehérjék közül – kellene kiegészíteni, a savófehérje-koncentrátum ugyanis nagyon magas biológiai értékű.

Az élelmiszerek tápláléértékének növelése

Mivel a tejfehérje nagyobb mennyiségben tartalmaz esszenciális aminosavakat, növényi eredetű tápanyagokhoz keverve képes azok tápláléértékét megnövelni. Érdemes tejfehérjét adni a kenyérhez és más, gabonafélékből készült élelmiszerekhez, mert ezzel növelhető a tápértékük. A 76% tejfehérjét és 24% gabonafehérjét tartalmazó keverék aminosav-összetételét ideálisnak tartják, melynek biológiai értéke nagyobb, mint magáé a tejfehérjéé. Általános szabály, hogy az ilyen keverékek biológiai értéke nagyobb, mint amit az egyes komponensek alapján kalkulálni lehet. Érdemes megemlíteni egy kísérlet eredményét, amelyben 52-es biológiai értékű kenyeret és 76-os biológiai értékű sajtot együtt fogyasztva a keverék biológiai értéke 76 volt, holott egymást követő napokon, külön külön fogyasztva, az együttes biológiai érték csak a 67-et érte el.

A növényi fehérjék átlagos kémiai értékszáma 84,7, de amikor állati eredetű fehérjét is adnak hozzájuk, a kémiai értékszám 91,3-ra nő. A nitrogén emészthetősége a két anyag esetében átlagosan 80,3 és 88,3 volt. A kazein egyedül is növeli a növényi eredetű fehérje biológiai értékét. Egy kísérletben a reggeliben lévő fehérje akkor érte el a legnagyobb biológiai értéket, ha tojást, kenyeret és sajtot tartalmazott. Az élelmi fehérjék biológiai értékének növelése különösen a fejlődő országokban fontos, ahol jelentős fehérjehiánnyal kell számolni. A rizs, a kukorica, a köles és a búza fehérjéjének biológiai értékét jelentős mértékben meg lehet növelni sovány tejjel vagy savófehérje-koncentrátummal, és a legtöbb, ezekbe az országokba irányuló táplálkozási programtervezet számol is ezekkel a lehetőségekkel. A tej és a kenyér együttes fogyasztása az aminosav-ellátáson túl kiegyensúlyozott ásványianyag- és vitaminellátást is biztosít az emberi szervezet számára.

A tejfehérje burgonyával való kombinálása szintén azt mutatja, hogy hogyan lehet a tejfehérje segítségével megnövelni a fehérjekeverék biológiai értékét. A két fehérje optimális arányát 1:1-nek találták. Hasonló volt az optimális arány akkor is, amikor a tejfehérjét a rizshez, a kukoricához, a babhoz, vagy gyümölcshez és zöldségfélékhez keverték. Különösen magas (118,5) biológiai értékű fehérjekeveréket kapunk, ha tojás- és tejfehérjét keverünk 75–25% arányban. A savófehérje magasabb biológiai értéke miatt jobban növeli a keverékek biológiai értékét, mint a tejfehérje. A 70% laktalbumint és 30% burgonyafehérjét tartalmazó keverék biológiai értéke 134 volt. A savófehérje magas biológiai értéke kitűnik akkor is, ha a savófehérje–burgonyafehérje, valamint a tojásfehérje–burgonyafehérje keverékek biológiai értékét hasonlítjuk össze. Savófehérje és búza, rizs vagy kukorica keverékekben a legmagasabb PER-értéket akkor kapták, ha mindegyik komponenst egyenlő arányban keverték össze. Hangsúlyozni kell, hogy a savófehérje a tejfehérjében, amely a kazein és a savófehérje keveréke, a kazein értékét is növeli. A savófehérjéket különösen előszeretettel használják az ún. körültekintő, kímélő diétákban. A különböző fehérjekeverékek esszenciális aminosav-tartalmát és az ember aminosav-szükségletét a 20.2. ábra mutatja.



20.2. ábra. A különböző fehérjekeverékek esszenciális aminosavtartalma és az esszenciális aminosav-szükséglet

Számos vizsgálat bizonyította, hogy a tejfehérje, de különösen a savófehérje, számottevő mértékben megnövelte a szójafehérje biológiai értékét élelmiszer-keverékekben. Ez a hatás a savófehérje nagy kéntartalmú aminosav-koncentrációjának köszönhető, amely kiegészíti a kéntartalmú aminosavakban szegény szójafehérjét. Amennyiben a savófehérje PER-értékét 100-nak tekintjük, akkor a szójafehérje PER-értéke 41, de ha 1:1 arányban összekeverjük a szójafehérjét és a savófehérjét, akkor a PER-érték 85-re nő, sőt 10% savófehérje szójához történő keverése is már jelentős biológiaiérték-növelést eredményez. Egy patkánykísérletben 10% fehérjetartalmú, 1:1 arányú savófehérjét és szójafehérjét tartalmazó tápot etetve ugyanazt a növekedést érték el, mint a tiszta savófehérje esetében, míg a szójafehérje izolátum esetében a testtömeg-növekedés lényegesen kisebb volt.

A biológiailag értékes fehérjék egy részét nem esszenciális nitrogéntartalmú vegyületekkel is helyettesíteni lehet. Ezt a megállapítást azokból a kísérletekből vonták le, ahol a tojás- és a tejfehérje biológiai értéke nem csökkent, amikor ezt a két értékes fehérjét részben aszparaginsavval, glutaminsavval vagy diammonium-citráttal helyettesítették. Ily módon a tojásfehérje 67%-át, a tejfehérjének pedig 10–15%-át tudták helyettesíteni. Itt célszerű megemlíteni azt is, hogy az állati eredetű fehérje 40%-át tej vagy tejtermék formájában fogyasztjuk, míg a tojásfehérje csak a 7%-át teszi ki az összes elfogyasztott állati eredetű fehérjének.

A tejfehérje étrendi hatása

Az élelmiszer-fehérjéknek könnyen kell emésztenedniük. Ennek a kívánalmaknak a tejfehérje teljes mértékben eleget tesz, mert könnyebben emésztdik, mint a növényi fehérje. Ennek az az oka, hogy a tejfehérjék hidrolízisekor sokkal több kis molekulatömegű peptid válik szabaddá, mint pl. a szója hidrolízisekor, és ezek a kis peptidek könnyen abszorbeálódnak a vékonybélben. A tejfehérjék valódi emészthetőségét 96%-nak találták, míg ugyanez az érték növényi fehérjére 78–84%. A tejfehérjék és különösen a kazein emészthetősége azért nagyon jó, mert ezek finom

eloszlású koagulátumot képeznek a gyomorban. A tej finom eloszlású koagulátummá válását homogénezéssel és hőkezeléssel lehet elősegíteni.

A tejfehérje magas biológiai értéke, különösen a savófehérjéé, alkalmassá teszi a tejet és tejtermékeket arra, hogy olyan betegek táplálására alkalmazzák, akik máj- és epebántalmakban szenvednek, túlsúlyosak vagy cukorbetegek. Ezeket a fehérjéket fogyókúrák esetében is használják, sőt a tejfehérjéket előszeretettel használják olyan betegek táplálására is, akik májcirrózisban szenvednek, mivel segítik az új sejtek regenerálását. A vesebajban szenvedőknek is előnyös a nagy biológiai értékű fehérje fogyasztása, mert nem terheli meg a vesét a sok fölösleges anyag kiválasztásával.

A tejfogyasztás nagyon előnyös azok számára is, akik gyomorhurutban vagy gyomorfekélyben szenvednek, mert a tejfehérje nagy pufferkapacitása segít megelőzni a sok gyomorsav káros hatását. A tej és a tejtermékek fogyasztása segít a hiperurikémia és a köszvény megelőzésében is, mert ezek nem tartalmaznak purint, ami a húgysav prekursora. A húgysav egyrészt köszvényt okozhat, amikor az ízületekben lerakódik, másrészt húgykőképződéshez is vezethet.

Állatkísérletekben nagyobb volt az ellenálló képesség a bakteriális fertőzéssel szemben, akkor, amikor a tápanyag 15–20% kazeint tartalmazott. Kimutatták azt is, hogy a laktoglobulin emésztése során olyan antibakteriális anyagok keletkeznek, amelyek okai lehetnek a vékonybélben lévő mikroszervezetek pusztulásának, a kazein degradációs termékeiből pedig egy ópiumhoz hasonló hatású anyagot extraháltak, amely ellenállt a *peptidázoknak*.

Állatkísérletekben megállapították, hogy nyulak esetében a kazein növeli, a szójafehérje pedig csökkenti a szérum koleszterinszintjét. Szójafehérje esetében hasonló hatást tapasztaltak a hiperkoleszterinemiában szenvedő betegek esetében is. Ezen kutatási eredmények publikálása után számos megfigyelés látott napvilágot, amely tagadta, hogy kapcsolat volna ezen két fehérje fogyasztása és a szérumkoleszterin-szintje között. Azt találták, hogy a kazein egyedül nem megfelelő fehérjeforrás a nyúl számára, így keverék fehérjében adva a tejfehérjét, az csökkenteni fogja a koleszterinszintet. Kísérleteket végeztek fenti eredmények magyarázatára, amelyeket a kazein és a szójafehérje különböző aminosav-összetételében véltek felfedezni. Ennek azonban ellentmondtak azok a vizsgálatok, amelyekben a kazein és a szója aminosav-összetételét azonos szintre állították be. Azok a patkányok, amelyek a tejfehérjéhez és a szójafehérjéhez nagyon hasonló összetételű tápot fogyasztottak, nem mutattak különbséget a szérumkoleszterin-szintben, ebből arra lehet következtetni, hogy a talált különbségek okai nem a fehérjék, hanem az egyéb összetevők (pl. a szénhidrátok vagy a rost) voltak.

Egy kísérletben a nyulakat szójafehérjével etetve magasabb koleszterinszintet mértek, egy másik kísérletben pedig, amikor a kazein mennyisége elérte a takarmány összes energiataralmának 40%-át, nőtt a koleszterinszint a 10, illetve 20%-os kazein energiaszinthez képest. Patkányoknál a magas fehérjeszint megnövelte a koleszterin abszorpcióját, de megnövelte a koleszterin kiválasztást is. Itt ismételt hangsúlyozni kellene, hogy az állatkísérletek eredményei nem vihetők át teljes mértékben az emberre, mert pl. egy fiatal emberekkel végzett kísérlet azt mutatta, hogy a kazein- vagy a szójafogyasztás nem befolyásolta a szérum lipidtartalmát. Egy másik kísérletben, ahol fiatalok két csoportja az élelmiszer teljes energiataralmának 13–16%-át kitevő mennyiségű szója-, illetve kazeinfehérjét fogyasztott, mindkét csoportnál csökkent a szérumkoleszterin-szintje.

Tejfehérje-intolerancia és tejfehérje-allergia

A tejjel kapcsolatos intolerancia a csecsemőnél nem mint fehérje-, hanem mint laktózingtolerancia jelentkezik. A fehérjeintolerancia kimutatásához néhány nagyon egyértelmű teszt elvégzése szükséges. Az egyszerű bőrtesztnél több szükséges annak eldöntésére, hogy

csakugyan a tejfehérjével szembeni allergiás reakcióról van-e szó. A kiváltó okok miatt a tejfehérje-intolerancia három okra vezethető vissza:

- A malabszorpció a komponensek tökéletlen abszorpciójának következménye, amelyek aztán a vékonybélben elbomlanak és másodlagos, nemkívánatos hatásokkal járnak.
- Az intolerancia enzimhatás következménye, ami különböző, olyan anyagok felhalmozódásához vezethet, amelyeket a szervezet nem képes megemészteni és amelyek más enzimek blokkolását okozhatják.
- Allergiás reakció alakul ki a szervezetben a tejfehérjével vagy a részlegesen lebontott tejfehérjével szemben.

A speciális tejfehérje-malabszorpció ismeretlen. A tejfehérje-intolerancia legismertebb formája a fenilketonurea (PKU), amikor egy örökölt fogyatékoság következtében a *fenilalanin hidroxiláz* enzim nem tudja a fenilalanint tirozinná átalakítani, ezért a fenilalanin és patológiás bomlástermékei akkumulálódnak a szervezetben. Ezek sejtkárosodást, mentális visszamaradást, végső soron a központi idegrendszer irreverzibilis károsodását okozhatják. A fenilalanin akkumulációja a szövetekben csökkenti az esszenciális aminosavak szállítását és azok abszorpcióját. Ráadásul a fenilalanin egy része fenolszármazékokká bomlik le, amelyek inhibíálják a triptofán metabolizmusát. A fenilketonureás megbetegedés 10–15 ezer újszülött közül egy esetben fordul elő.

A rendellenes enzimműködés az újszülötteknél kimutatható. Hogy a kezelés hatékony legyen, a speciális étkezést már az élet első hónapjában el kell kezdeni. Egy ilyen étrend nem tartalmazhat anyatejet vagy tehéntejet vagy ezekből előállított preparátumokat és semmi egyéb, természetes eredetű fehérjét sem, mert ezek túl sok fenilalanint tartalmaznak. Ezek helyett olyan kazeinhidrolizátumokat használnak, amelyekből a fenilalanin nagy részét eltávolították. Ennek az étrendnek azonban az esszenciális aminosavakat tartalmazni kell, különben a testi fehérjék lebomlanának. A tejfehérje részvétele egy ilyen étrendben azzal indokolható, hogy biztosítja a szervezet számára szükséges esszenciális aminosavakat úgy, hogy a fenilalanin szintje a plazmában elegendő legyen a normális növekedéshez, de elég alacsony legyen ahhoz, hogy ne okozzon károsodást a központi idegrendszerben. Növekvő tirozinadaggal bizonyos mértékben kompenzálni lehet az alacsony koncentrációjú fenilalanint.

Kezdetben az étel nem tartalmazhat 55–60 mg-nál több fenilalanint naponta testtömeg-kilogrammmra számolva, amely mennyiséget természetesen a hetente elvégzett véranalízis alapján korrigálni kell. Az első három hónapban a csecsemők napi adagja testtömeg-kilogrammonként 45–60 mg között változik, ami az első év végére 20–30 mg-ra, ezt követően pedig 15–20 mg-ra csökken. A szérumban lévő szabad fenilalanin optimális koncentrációja 1–2 mg/100 cm³, PKU-étrend hatására beteg embereknél ez a szint 5–10 mg/100 cm³ körül alakul. Ilyen esetben javasolják a magas esszenciálisaminosav- és alacsony fenilalanintartalmú savófehérjéket a betegek étrendjében. Mivel a savófehérjék természetes eredetűek, biológiai értékük és emészthetőségük jobb, mint a hagyományosan alkalmazott PKU-étrenddé anélkül, hogy megemelnék a plazma fenilalaninszintjét. Ezek a savófehérje preparátumok pozitív nitrogénegyensúlyuk révén különösen alkalmasak fenilketonureában és hiperfenilalaninémiában szenvedők étrendjében. A szigorú diétát 8–10 éves korban lehet enyhíteni, amikor az agy már tökéletesen kifejlődött.

A tejfehérje-allergia vagy túlérzékenység rendkívül ritka. Konkrét adatok ugyan nem állnak rendelkezésre, de a közleményekből megállapítható, hogy ezen betegségben szenvedők számát egyesek 0,5–1%-ra teszik, mások, és talán ez áll közelebb a valósághoz, ötezerből egy esetet említenek, és ezeknek az eseteknek a száma is, a klinikák legújabb adatai alapján, az utóbbi években jelentősen csökkent. Az allergia vagy túlérzékenység okozói az egyes tehéntej-fehérjefrakciók, de néhány esetben anyatejre is kimutattak érzékenységet. A tehéntejben a β -laktoglobulin a fő felelős az allergiáért, hisz ez a fehérjefrakció az anyatejben nem fordul elő, de

az α -laktalbumin, a szérumalbumin és a kazein is kiválthat allergiát, egyszóval az összes tejfehérje lehet allergén hatású. Az allergiás tüneteknek megjelenési formája lehet hányás, hasmenés, egyéb emésztési zavarok, ekcéma, bronhitisz, súlyvesztés, sőt anafilaxiás sokk is, és a vékonybél mukóza károsodásáról szintén beszámoltak. Mivel a tejfehérje-allergia bizonyos családoknál igen gyakran előfordul, úgy tűnik, hogy ennek okát örökletes alapon kell keresni. Ez az allergia gyakran társul egyéb fehérjékkel (pl. a szójával, a rizzsel és a búzafehérjével) szembeni allergiával is.

A fehérjeallergiában szenvedő csecsemőknek nem szabad tehéntejet adni, a tehéntejre való érzékenység azonban a tej hőkezelésével némiképp csökkenthető. Mivel a hőkezelés hatására elsőként a savófehérjék, az allergia fő okozói denaturálódnak, lehetségesnek tűnik egy olyan tej alapú tápszer előállítása, amely biológiailag igen értékes fehérjéből áll, és nem allergén. Károsak lehetnek azonban a hőkezelés során a Maillard-reakcióban képződő melléktermékek, mert ezek is okozhatnak allergiát. Meg kell említeni itt még azt is, hogy a csecsemőknél tapasztalt fehérje allergia 1–2 éves kor után megszűnik, így ezen életkor után a tej- és tejtermék-fogyasztás fokozatosan növelhető.

Felmerül a kérdés, hogy van-e valamilyen kapcsolat a fehérjével szembeni allergia és az antigén–antitest reakció között. Ezt a kérdést csak nemlegesen lehet megválaszolni, mivel a béltraktusban sok idegen fehérjével kapcsolatos antitest alakul ki. Az antitestek jelenléte a vérben azt jelzi, hogy a szervezet reagál olyan antigének hatására, mint amilyenek pl. a toxinok, mikroorganizmusok, vírusok, idegen fehérjék és egyéb más anyagok. Ezért nincs kapcsolat az antitestek vérbeli jelenléte és az allergiás reakció között. Az antitestek alkalmatlanok a diagnózisra, nem jelzik a betegséget, és nagyon ritkán okoznak csak klinikai tüneteket. Nem találtak jelentős különbséget a vér antitestjeinek számában egészséges és fehérjére allergiás gyermekek között. A csecsemők 42–76%-ának vérszéruma tartalmaz a tejfehérjével szembeni antitesteket, de ez az arány a gyermekeknél és a felnőtteknél sokkal kisebb. Az újszülöttek vére nem tartalmaz antitesteket, és az antitestek koncentrációja csak a harmadik és a 12. hónap között éri el a maximumát. Ezt követően folyamatosan csökken, így a négy–hat éves gyerekek vérének antitestszintje már minimális. Szoptatott csecsemők vére kevesebb tehéntej elleni antitestet tartalmaz, mint azoké, akiket teljesen tehéntejen alapuló csecsemőtápszerrel neveltek fel vagy ilyen tápszert már életük 15. napja előtt is fogyasztottak. A tehéntejen nevelt csecsemők nem termelnek antitesteket az anyatejjel szemben, fordított esetben azonban megindulhat az antitesttermelés. A tehéntejjel szembeni antitest-termelődés megindulhat azoknál a csecsemőknél is, akik ugyan szopnak, de anyjuk tehéntejet fogyaszt.

Majdnem az összes tejfehérje képes antitest-termelődést kiváltani (bár közülük legjelentősebb a β -laktoglobulin), amelyek különböző variánsai immunológiailag azonos hatást mutatnak. A tejfehérje hidrolízise után kapott termékek is rendelkezhetnek antigén hatással, bár az antigén hatást hőkezeléssel – a hőkezelés hatása a savófehérjéknél a legnagyobb – itt is jelentősen csökkenteni lehet. Említésre méltó, hogy tojásalbuminnal, húsfehérjével, kecsketejfehérjével, búza- és szójafehérjével szembeni antitestek is megtalálhatók a vérszérumban.

Immunológiai szempontok és a tejfehérje

Az embernél és az emlősöknél az anyai szervezet immunoglobulinjai a születés előtt vagy röviddel a születés után kerülnek be az újszülött szervezetébe, kialakítva ott a kórokozókkal és azok toxinjaikkal szembeni immunitást. Az immunanyagok átadása és ideje függ a placenta szerkezetétől. Az embernél az antitestek, főként az immunoglobulin-G, a méhen belüli életben mennek át az anya véréből a magzatba, így az újszülött passzív immunitással születik. Ugyanez a helyzet a patkánynál és a tengerimalacnál is. Ezzel ellentétben a szarvasmarhánál, a lónál, a birkánál, a kecskénél és a sertésnél az immunanyagok a születés után a kolosztrumból kerülnek

át az újszülöttbe. A patkánynál, az egérnél, a kutyánál és a macskánál mindkét mechanizmus működik.

Az immunglobulinok közül az IgG és IgM csak az első szoptatás után jelenik meg a borjú vérszérumában, ezért a kolosztrumítás feltétlenül szükséges a betegséget okozó kórokozók elleni immunitás kialakításához. Az első fejésű kolosztrum a szarvasmarhánál 8–11% immunglobulint tartalmaz, ami az összes fehérjének több mint 50%-a. Az anya kolosztrumában is nagy az immunglobulinok koncentrációja, de míg a tehén kolosztrumában dominál az IgG, addig humán kolosztrum főként IgA-t tartalmaz.

A nyers tehéntej fehérjéje nem tud áthatolni az egészséges újszülött csecsemő vékonybelének falán, ennek megfelelően az anyatej immunglobulinjai sem képesek átjutni ezen az úton az újszülött szervezetébe. Ezért nincs szignifikáns növekedés a vérszérum immunglobulin-tartalmában az első adag kolosztrum elfogyasztása után és előtt, és ezért gondolják többen azt, hogy az antitesteknek nincs komoly szerepük az újszülött szempontjából az anyatejben. A legújabb vizsgálatok szerint azonban az élet első 24 órája alatt az IgA 10–15%-a képes az újszülött vékonybeléből felszívódni, ezért a humán kolosztrum nagyobb IgA-szint kialakítására képes, mint ha a csecsemőt tehéntejjel táplálnák.

Az előzőek miatt többen úgy gondolják, hogy az anyatej bizonyos immunológiai védettséggel látja el az újszülöttet a különböző kórokozókkal szemben, sőt az anyatejnek antimikrobiális hatása is van. Az antimikrobiális hatást korábban a lakteninnek tulajdonították, de ma már tudjuk, hogy ez a hatás egy összetett mechanizmus eredménye, amelyben olyan anyagok vesznek részt, mint az immunglobulinok, a laktoferrin, a lizozim, a *laktoperoxidáz*, vagy a *laktoperoxidáz*–tiocianát rendszer és a vitaminkötő fehérjék. Az immunglobulinok, főként az IgA, nem emésztődnek meg, az emésztő enzimek nem támadják meg őket, ezért ezek eredeti formában érik el a vékonybelet, ahol nemcsak a bél nyálkahártya védelmében vesznek részt, hanem megakadályozzák az idegen fehérjék abszorpcióját is. Az IgA ezért a patogén vagy potenciálisan patogén mikroorganizmusok, baktériumok és vírusok ellenanyaga. Ezek az immunglobulinok igen kis mennyiségben is megvédik az újszülöttet életének első évében a fertőzésekkel szemben mindaddig, amíg a saját immunrendszere ki nem alakul.

A laktoferrin különösen fontos szerepet játszik a bélfertőzéssel szembeni rezisztencia, különösen az *E. coli* ellen. A laktoferrin egy vasszállító fehérje, amely a szervezet vastranszportjában játszik szerepet. A fehérje bakteriosztatikus hatását, ami a vékonybelet változatlanul éri el, abban látják, hogy megköti a vasat és ezzel inhiálja azoknak a baktériumoknak a növekedését, amelyeknek vasra van szükségük. A laktoferrin normál állapotban csak részlegesen telített vassal, így kb. 70%-ban hatásos az *E. coli* növekedésének inhiálására. Amikor azonban kiegészítésül vasat adnak az anyatejhez, a laktoferrin telítődik vassal, és ezzel elveszíti bakteriosztatikus hatását. Az immunglobulinok erősítik a laktoferrin bakteriosztatikus hatását.

Az anyatej viszonylag nagy mennyiségben tartalmaz egy B₁₂-vitamint kötő fehérjét, amely csak részlegesen telített B₁₂-vitaminnal, és teljes mértékben hiányzik a tehéntejből. Ez a fehérje verseng a baktériumokkal a B₁₂-vitaminért, és így hozzájárul az anyatej védő hatásához. A fertőzés elleni védelemhez hozzájáruló fehérjék között vannak a glikoproteinek is, amelyek elősegítik a béltraktusra oly jellemző *Lactobacillus bifidus* elszaporodását.

Beszámoltak arról is, hogy a szoptatott csecsemők kisebb mértékben betegszenek meg, mint a tehéntejjel tápláltak, ami az anyatej specifikus antimikrobiális hatásának tulajdonítható.

20.3. A lipidek

A lipidek közé sokfajta, igen változatos felépítésű anyag tartozik. Közös bennük az, hogy vízben nem, csak apoláros zsírolószerekben (petroléter, kloroform, éter, benzol) oldódnak.

Ezekkel a különböző szövetekből extrahálhatók. A szervezetben betöltött funkcióik alapján az alábbiak szerint lehet őket csoportosítani:

- raktározott üzemanyagok,
- a fehérjékkel közösen membránok alkotórészei,
- a sejtmembrán borító-, védőanyaga,
- bioaktív vegyületek (amelyek kismennyiségben is jelentékeny hatást fejtenek ki).

20.3.1. A tejsír

20.3.1.1. A tejsír mint energiahordozó

A tehéntej átlagos zsírtartalma 3,8%, de ez az érték 2,5 és 8,0 százalék között változhat. Hazánkban a legtöbb folyadéktej zsírtartalmát 2,8%-ra állítják be, más országokban ez az érték 3,0 és 3,8% között változik, és néhány helyen a tejet a természetes zsírtartalommal árusítják. A tejsír energiatartalmának nincs különösebben nagy jelentősége a fejlett országokban, hisz ott úgyis energia-túlfogyasztással kell számolni. A napi energiafelvétel átlagosan 12,5 MJ, holott az ideális energiafelvétel 9,2–10,5 MJ lenne akkor, ha nem végeznek nehéz fizikai munkát. A legtöbb ipari országban a napi zsírfogyasztás személyenként 130–150 g, holott 80–90 g elegendő lenne, a minimális zsírigényt pedig 40–50 g-ra becsülik.

Az ideális táplálék energiatartalma 25–30%-ának a zsírból, 15%-ának a fehérjéből, 50–60%-ának pedig a szénhidrátból kellene származnia. A különböző szerzők által javasolt részarány az energiaellátásból zsírra 25–35% között, fehérjére 12–20% között, szénhidrátra pedig 45–60% között van. Ezekből a javaslatokból levonhatjuk azt a következtetést, hogy a zsír és a fehérje hozzájárulása a szervezet energiaellátásához optimális esetben 1,6:1 arányú. A fogyasztói szokások megváltozása miatt ez az arány a 20. században egyre romlott, ugyanis 1910-ben ez az arány 2,64, 1937-ben 3,42, 1963-ban pedig 4,35 volt. Manapság a fehérje alig több mint 10%-kal, a zsír pedig kb. 40%-kal veszi ki részét a szervezet energiaellátásából, és ez az arány az elmúlt 30 év alatt alig változott.

A tej és a tejtermékek aránylag kis részben vesznek részt a szervezet teljes energiaellátásában; az Egyesült Államokban és Németországban ez az arány 10% körül alakul, míg Nagy-Britanniában kb. 20%. A teljes tej átlagos energiatartalma 2,81 MJ/kg, ami gyakorlatilag teljesen azonos az anyatejével. Fél liter tej kb. 11%-át fedezi egy felnőtt teljes energiaszükségletének. A 3,5%-os zsírtartalmú teljes tejben a zsír az összes energia 45%-át, az 1,5%-ra csökkentett zsírtartalmú tejben 30%-át, a főlözött tejben pedig mintegy 3%-át teszi ki. A különböző országokban a napi tejszírfogyasztás 30–40 g körül alakul, ami a teljes energiaszükséglet 25%-át fedezi. A napi ételmiszeradag zsírból és fehérjéből eredő kedvezőtlen energiaarányát a tejfogyasztás mérsékelni tudja, hisz a tejben a fehérje az összes energia mintegy 20%-át teszi ki. Érdemes figyelemmel lenni arra is, hogy az optimális fehérjebeépüléshez adott minimális energiatartalom is szükséges, ellenkező esetben a fehérjét használja fel a szervezet energiaigényének kielégítésére, ami csökkenti a fehérje biológiai hasznosulását. A nitrogénbeépüléshez ezért mintegy 0,63 MJ szükséges 1 g nitrogénre ill. 0,1 MJ 1 g fehérjére vonatkoztatva. Ez azt is jelenti, hogy ha növeljük az étrend fehérjetartalmát, akkor növelni kell annak energiatartalmát is.

20.3.1.2. A zsírgolyócskák felépítése

A zsír főképpen zsírgolyócska formában emulzióként fordul elő a tejben. Mennyisége milliliterenként $1,5-4,6 \times 10^9$ db, átmérője pedig 2000 és 6000 nm között változik. Ezekből az adatokból ki lehet számítani a zsírgolyócskák felületét, amely 1000 cm^2 milliliterenként, illetve 100 m^2 literenként. Ez a hatalmas felület különleges reaktivitást biztosít a tejsírnak, amit még

tovább fokoznak az enzimek és a katalitikusan aktív fémek, amelyek a zsírgolyócskák membránjában helyezkednek el. A membrán mintegy 60%-a lipid, 40%-a pedig fehérje. A zsírgolyócska membránrétegének 60%-a trigliceridekből, 20%-a pedig foszfolipidekből áll, és az anyatej zsírgolyócskamembránjának is hasonló a szerkezete.

20.3.1.3. A tej lipidjei

A lipidek 98–99%-a triglicerid, ami a zsírgolyócskában helyezkedik el. A zsírgolyócskamembrán ezenkívül még tartalmaz kis mennyiségben foszfolipideket és szterineket is. A tej összes lipidjeinek 95,0–98,7%-a a zsírgolyócskán belül, 0,4–2,17%-a a zsírgolyócska membránjában, 0,8–3,35%-a pedig a szérumban található. Ez a megosztottság némi változást mutathat az évszakok szerint. A tehén- és a humán tej lipidjeit a 20.12. táblázat tartalmazza.

A digliceridek kizárólagosan 1,2-diglicerid formában fordulnak elő, ezért ezek a triglicerid-szintézis közttermékeinek tekinthetők, a digliceridek tehát nem a lipolízis eredményei, mert szabad zsírsavak csak nagyon kis mennyiségben találhatók a tejben. A monogliceridek többnyire 2-monoglicerid formában fordulnak elő, és zsírsav-összetételük jelentősen eltér mind a trigliceridekétől, mind a digliceridekétől, míg a szabad zsírsavak összetétele nagyjából megegyezik a trigliceridekével.

A szabad zsírsavak mennyisége a tejben 2–6 mg/kg, míg a tejszír szénhidrát-tartalma 30–50 mg kilogrammonként.

20.3.1.4. A tejszír zsírsav-összetétele

A tejszír több mint kétszáz különböző zsírsavat tartalmaz, ezek közül azonban a legtöbb csak nyomokban fordul elő a tejben.

20.12. táblázat. A tej lipidjei

<i>Lipid (g/100 g zsír)</i>	<i>Tehéntej</i>	<i>Anyatej</i>	<i>Elhelyezkedés</i>
Trigliceridek	96–99	98	zsírgolyó
Digliceridek	0,3–1,6	0,7	zsírgolyó
Monogliceridek	0,002–0,1	nyomokban	zsírgolyó
Foszfolipidek	0,2–1,0	0,26	zsírgolyómembrán és tejszérum
Cerebrozidok	0,01–0,07		zsírgolyómembrán
Szterinek	0,2–0,4	0,25	zsírgolyómembrán, és tejszérum
Szabad zsírsavak	0,1–0,4	0,4	zsírgolyó és tejszérum
Szénhidrátok		nyomokban	zsírgolyómembrán
Zsíroldható vitaminok (mg/kg zsír)			
Karotinoidek	6–10	1–20	
A-vitamin	6–20	5–50	
D-vitamin	nyomokban	nyomokban	
K-vitamin	1	15	

A tejszír zsírsavai lehetnek telítettek, telítetlenek, elágazók, valamint hidroxisavak és ciklikus vegyületek. A tejszír zsírsav-összetétele jelentősen eltér a többi természetes zsírtól. Csak 15 olyan zsírsav található benne, amelynek mennyisége meghaladja az 1%-ot. A tejszír zsírsav-összetételét és a határértékeket a 20.13. táblázat tartalmazza. A tejszír zsírsavait a szénlánc hosszúsága szerint a következőképpen lehet felosztani:

- rövid szénláncú zsírsavak: 4–8 szénatomszám között,

- közepes szénláncú zsírsavak: 8–14 szénatomszám között,
- hosszú szénláncú zsírsavak: 14-nél nagyobb szénatomszámmal.

A táblázatból világosan látszik, hogy a tejsír viszonylag sok rövid szénláncú zsírsavat tartalmaz, ami a tejsír talán legfontosabb jellegzetessége, ugyanis a legtöbb zsír vagy olaj csak nyomokban tartalmazza ezeket a rövid szénláncú zsírsavakat. A táblázatból az is kitűnik, hogy a tejsír aránylag kis mennyiségben tartalmazza a többszörösen telítetlen zsírsavakat, és a páratlan szénatomszámú zsírsavak koncentrációja is csekély. A rövid szénláncú zsírsavak relatíve nagy koncentrációja még inkább szembeötlő, ha részarányukat a tejsírban mólszázalékban fejezzük ki; ugyanis ekkor a vajsav 7–13%-ot, a kapronsav 4–5%-ot, a kaprilsav pedig 1–2,5%-ot képvisel az összes zsírsavon belül. Keveset tudunk a minor zsírsavak táplálkozási jelentőségéről, amelyek mennyisége kevesebb mint 1%. Kivételt képeznek ez alól a többszörösen telítetlen minor zsírsavak, amelyeknek táplálkozási értéke közismert. A 20.14.–20.15. táblázatok azokat a minor zsírsavakat tartalmazzák, amelyeket a tehéntejből mutattak ki.

Hidroxisavakat szintén kimutattak a tejsírból. Ezek hidroxitriglicerideket, illetve laktonokat képeznek. A laktonok 70–120 mg/kg mennyiségben vannak jelen a tejsírban, és jelentős mértékben hozzájárulnak a tej zamatának kialakításához.

20.13. táblázat. *A tejsír főbb zsírsavai*

Zsírsav		Átlag (%)	Szélsőértékek (%)
Vajsav	C4	3,6	2,5–6,2
Kapronsav	C6	2,3	1,4–3,8
Kaprilsav	C8	1,3	0,5–1,9
Kaprinsav	C10	2,7	1,9–4,0
Laurinsav	C12	3,3	1,9–4,7
Mirisztinsav	C14	10,7	7,8–14,0
Mirisztolajsav	C14:1	1,4	0,3–2,6
Pentadekánsav	C15	1,2	0,4–2,3
Palmitinsav	C16	27,6	22,0–41,9
Palmitolajsav	C16:1	2,6	0,9–4,6
Margarinsav	C17	0,9	0,4–1,6
Sztearinsav	C18	10,1	6,2–13,6
Olajsav	C18:1	26,0	19,7–34,0
Linolsav	C18:2	2,5	0,8–5,2
Linolénsav	C18:3	1,4	0,3–2,9

Egyszeresen elágazó szénláncú, 21–26 szénatomszámú, valamint háromszor-öttször elágazó szénláncú, 16–28 szénatomszámú zsírsavak csak nyomnyi mennyiségben vannak jelen a tejsírban. A többszörösen elágazó zsírsavak mennyisége 0,1–0,7%-a az összes többi hosszú szénláncú zsírsavnak. A 16-os szénatomszámú háromszorosan elágazó zsírsav 9%-a, a prisztanoilsav 17%-a, a fitanoilsav pedig 74%-a az összes izoprenil savnak.

Az elágazó szénláncú zsírsavak különböző formában (izo és anteizo) vannak jelen a tejsírban. A metildodekanoilsav főképpen izo formában, a metil-tetradekanoilsav és a metil-hexadekanoilsav pedig anteizo alakban van jelen. Az elágazó szénatomszámú zsírsavak 2–4%-át teszik ki az összes zsírsavnak, a legtöbbjük 15–17 szénatomszámú zsírsavból áll. Mivel az elágazó szénláncú zsírsavak mintegy 1%-át teszik ki a takarmányok összes zsírtartalmának, különösen a szilázsoknak, feltételezhető, hogy a tejelő tehének bendőlakó mikroorganizmusai

felelősek az elágazó szénláncú és a páratlan szénatomszámú zsírsavakért. Az, hogy a bendőbaktériumok lipidjei 2,9% fitanoilsavat (3,7,11,15-tetrametil-hexadékansav) tartalmaznak, szintén megerősíti ezt a feltevést. Az elágazó szénláncú zsírsavakat nem tekinthetjük különlegesnek a tejszírsban, hisz az egyéb zsírszövetek, a nemkérődző állatok és az anyatej is tartalmaz ilyen zsírsavakat.

20.14. táblázat. *A tejszír telített minor és páratlan szénatomszámú zsírsavai*

<i>Zsírsav</i>		<i>Mennyisége a tejszírban (%)</i>
Ecetsav	C2	ny.–0,09
Arachidinsav	C20	0,06–1,20
Behénsav	C22	0,01–0,19
Lignocerinsav	C24	0,02–0,35
Cerotinsav	C26	ny.–0,07
Montaninsav	C28	ny.
Valeriánsav	C5	ny.–0,06
Heptanoilsav	C7	ny.–0,06
Pelargonsav	C9	ny.–0,07
Undekanoilsav	C11	ny.–0,20
Tridekanoilsav	C13	0,02–0,28
Nonadekanoilsav	C19	0,01–0,27
Heneikozanoilsav	C21	ny.–0,06
Trikozanoilsav	C23	ny.–0,17
Pentakozanoilsav	C25	ny.–0,02
Heptakozanoilsav	C27	ny.

ny. = nyomokban

A tejszír zsírsav-összetétele széles tartományban változhat, ezért érdemes megvizsgálni, hogy mi befolyásolja azt. A kolosztrum több rövid szénláncú és a 18-as szénatomszámú csoportba tartozó zsírsavat és kevesebb közepes szénatomszámú zsírsavat tartalmaz mint az érett tej. A laktáció folyamán a tejszír zsírsav-összetétele tovább változik: a rövid szénláncú zsírsavak csökkennek, és a laktáció első harmada után a közepes szénláncú zsírsavak frakciója is csökkenni kezd. A sztearinsav, az olajsav és a linolsav mennyisége nő, a linolénsav mennyisége pedig fokozatosan csökken a laktáció folyamán.

A takarmányozás hatását vizsgálva a tejszír zsírsav-összetételére megállapítható, hogy a legeltetés csökkenti a laurinsav-, mirisztinsav-, valamint palmitinsav-tartalmat, és növeli a sztearinsav-, továbbá olajsavtartalmat. A linolsav mennyisége csak kismértékben változik, az arachidonsav arányát pedig igen nehéz befolyásolni. Pozitív összefüggés van a takarmány telítetlenszírsav-tartalma és a tejszír telítetlenszírsav-tartalma között. A többszörösen telítetlen zsírsavak mennyisége a tejszírsban azonban lényegesen kisebb a takarmányhoz viszonyítva, mert ezeket a bendőbaktériumok hidrogénezik. A téli szilázsetetés növeli a telítetlen zsírsavak arányát a tejben, és azt jelentősen befolyásolja a nagy növényiolaj-tartalmú takarmányok etetése is. Sáfrányolaj etetés megduplázza a tejszír telítetlenszírsav-tartalmát, sőt növeli a palmitinsav mennyiségét is annak ellenére, hogy palmitinsav nincs is a sáfrányolajban. A tejszír többszörösen telítetlenszírsav-tartalmát jelentős mértékben növelni lehet, ha az állatoknak a nagy telítetlenszírsav-tartalmú zsírt formaldehiddel kezelt kazeinnel burkolt kapszulában adjuk be. Az így kezelt kazein nem bontódik le a bendőben, ezért a telítetlen zsírsavak sem tudnak hidrogéneződni. A kazein az emésztőrendszer savas részében feloldódva szabadon engedi a telítetlen zsírsavakat, amelyek az emésztőrendszer további részében felszívódnak. Ezzel a

módszerrel a tej többszörösen telítetlenzsírsav-tartalmát, különösen linolsavtartalmát, 20–30%-kal, szélsőséges esetben 35%-kal is növelni lehet, miközben a tejsír mirisztin-, palmitin-, sztearin- és olajsavtartalma csökken.

20.15. táblázat. *A tejsír egyszeresen és többszörösen telítetlenzsírsav-tartalma*

<i>Zsírsav</i>		<i>Mennyisége a tejsírban (%)</i>
Kaproleinsav	C10:1	0,08–0,50
Dodekanoilsav	C12:1	0,01–0,28
Tridecenoilsav	C13:1	0,01–0,20
Pentadecenoilsav	C15:1	0,01–0,23
Heptadecenoilsav	C17:1	0,14–0,73
Nonadecenoilsav	C19:1	0,02–0,12
Gadoleinsav	C20:1	0,10–0,41
Heneikozenoilsav	C21:1	ny.–0,02
Erukasav	C22:1	ny.–0,03
Trikozenoilsav	C23:1	ny.–0,03
Szelakoleiksav	C24:1	ny.–0,10
Pentakozenoilsav	C25:1	ny.
Hexakozenoilsav	C26:1	ny.
Tetradekadiénsav	C14:2	0,04
Hexadekadiénsav	C16:2	0,02
Oktadekatetraénsav	C18:4	0,10
Eikozadiénsav	C20:2	0,05–0,12
Eikozatriénsav	C20:3	0,03–0,17
Arachidonsav	C20:4	0,07–0,40
Eikozapentaénsav	C20:5	0,01–0,07
Dokozadiénsav	C22:2	0,01
Dokozatriénsav	C22:3	0,02–0,03
Dokozatetraénsav	C22:4	0,02–0,12
Dokozapentaénsav	C22:5	0,02–0,06
Tetrakozadiénsav	C24:2	ny.–0,02
Hexakozadiénsav	C26:2	ny.

ny = nyomokban

20.16. táblázat. *A tejsír egyszeresen és többszörösen elágazó valamint ciklikus zsírsavai*

<i>Zsírsav</i>		<i>Mennyiség a tejsírban (%)</i>
Metil-nonanoilsav	C10br	ny.
Metil-dekanoilsav	C11br	ny.
Metil-undocanoilsav	C12br	ny.–0,10
Metil-dodekanoilsav	C13br	0,03–0,31
Metil-tridekanoilsav	C14br	0,20–1,85
Metil-tetradekanoilsav	C15br	0,20–1,85
Metil-pentadekanoilsav	C16br	0,12–0,75

Metil-hexadekanoilsav	C17br	0,30–1,91
Metil-heptadekanoilsav	C18br	0,02–0,20
Metil-oktadekanoilsav	C19br	ny.–0,10
Metil-nonadekanoilsav	C20br	ny.–0,01
4,8,12-Trimetil-tridekanoilsav	C16br3	ny.–0,01
2,6,10,14-Tetrametil-penta- dekanoilsav (Prisztanoilsav)	C19br4	ny.–0,03
3,7,11,15-Tetrametil-hexa- dekanoilsav (Fitanoilsav)	C20br4	ny.–0,10
<u>11-Ciklohexil-undekanoilsav</u>	<u>C17c</u>	<u>ny.–0,01</u>

br = elágazó; c = ciklikus

Elképzelhető, hogy kapcsolat van a zsírmennyiség és a tejsírminőség között, ugyanis az utolsó évtizedekben tapasztalt zsírtartalom-növekedéssel párhuzamosan csökkent a tejsír jódszáma és a telítetlen zsírsavak mennyisége. A zöldtakarmányokban csak cisz-formában fordulnak elő telítetlen zsírsavak, a katalitikus hidrogénezés során, valamint a bendőben lejátszódó hidrogénezés hatására transz-izomerek is keletkeznek a telítetlen zsírsavakból, így pl. a takarmány linolsavtartalma 70–90%-ban biológiailag hidrogéneződik a bendőben. Ezzel is magyarázni lehet a tejsír relatíve alacsony linolsavtartalmát, valamint azt, hogy hogyan kerülnek a transz-zsírsavak a tejsírba, és miért magas a margarin és a növényi zsírok transz-zsírsav-tartalma. A tejsír 2,5% elaidinsavat (transz-oktadecénsav) tartalmaz, amely összességében a C18:1 telítetlen zsírsavak mennyiségének 10%-át teszi ki. A többi C18:1 izomer mennyisége kisebb, mint 1%. A transz-zsírsavak mennyisége nyáron nagyobb, mint télen, és a szójaolajjal való táplálás is nagyobb értékeket eredményez. Ami a C18:2 zsírsavakat illeti megállapították, hogy transz-transz izomerek vagy nem fordulnak elő a tejsírban, vagy mennyiségük nagyon kicsi. 0,1–0,4%-ban sikerült kimutatni cisz-transz izomereket a többi különböző helyzetű telítetlen kötést tartalmazó zsírsavhoz hasonlóan.

A transz-zsírsavak mennyisége jelentősen változik a hidrogénezettség fokának függvényében. A transz C18:1 és a transz C18:2 zsírsavak mennyisége jelentősen nő, ha megnő a hidrogénezés foka, miközben a linolsav mennyisége számottevően csökken. A transz-zsírsavak mennyisége a részlegesen hidrogénezett növényi zsíroknál elérheti az 50%-ot. A hidrogénezett gabonaolajban a cisz C18:2 zsírsav izomerizációja transz C18:2 zsírsavvá főképpen a triglicerid kettes helyzetben lévő zsírsaván megy végbe. Néhány C18:2 zsírsav cisz-transz konfigurációt mutat a margarinban, míg a transz-transz konfiguráció csak nagyon kis mennyiségben fordul elő. Ezért a margarinban a C18:2 zsírsavaknak csak fele-kétharmada tekinthető linolsavnak.

Az évszak a takarmányozáson keresztül jelentősen befolyásolja a tejsír zsírsav-összetételét. A 20.17. táblázatban a fő zsírsavak mennyisége látható téli és nyári takarmányozási viszonyok között. A táblázat adataiból látható, hogy a hat hónapos nyári szezonban az összes 18-as szénatomszámú zsírsav, de különösen az olajsav nagyobb koncentrációban van jelen, mint a téli hónapokban. Minimális a különbség a linolsavtartalomban, de a linolénsav mennyisége nyáron csaknem duplája a téliének. Ezzel szemben a palmitinsav mennyisége nyáron nagymértékben csökken. Az összes rövid szénláncú zsírsav mennyisége, beleértve a telítetlen zsírsavakat is, nyáron kisebb.

20.17. táblázat. *Az évszak hatása a tejsír zsírsav-összetételére*

Zsírsavak		Mennyiség a tejsírban (%)	
		Télen	Nyáron
Vajsav	C4	3,9	3,6
Kaprónsav	C6	2,5	2,1
Kaprilsav	C8	1,5	1,2
Kaprinsav	C10	3,2	2,5
Laurinsav	C12	3,9	2,9
Mirisztinsav	C14	11,7	9,7
Mirisztolajsav	C14:1	2,1	1,8
Pentadekánsav	C15	1,5	1,3
Palmitinsav	C16	30,6	24,0
Palmitolajsav	C16:1	2,2	1,8
Margarinsav	C17	1,4	0,9
Sztearinsav	C18	8,8	12,2
Olajsav	C18:1	22,2	29,5
Linolsav	C18:2	2,0	2,1
Linolénsav	C18:3	1,2	2,4

20.3.1.5. A tejsír emészthetősége

A tejsír emészthetősége megmutatja, hogy az elfogyasztott zsírmennyiség hány százaléka képes a testbe beépülni. Sok kísérleti adat bizonyítja, hogy a különböző élelmezési célú zsírok és olajok között a tejsír tekinthető a legjobb emészthetőségű zsírnak. Egy patkánykísérletben a természetes eredetű növényi és állati zsiradékok emészthetőségét és a bevitt zsírmennyiség felének megemésztéséhez szükséges időt vizsgálva megállapították, hogy a tejsír emészthetősége a legjobb, jobb a kukorica-, a szója-, a napraforgó-, az olíva- és a heringolajnál is. A patkánykísérletben megállapították, hogy a takarmány zsírjának emészthetősége 97,4% volt, amikor az vajat, 94,5%, amikor margarín bázisú hidrogénezett repceolajat, és 91,6%, amikor hidrogénezett repceolajat tartalmazott. Emberekkel végzett kísérletekben szintén bebizonyosodott, hogy a tejsírt az emberi szervezet jobban emészt, mint a faggyút vagy a különböző növényi olajokat. A nagyobb zsírszorbpció gyorsabb növekedést eredményez, hisz azoknál a patkányoknál, ahol a tejsír szerepelt lipidkomponensként, a növekedési arány nagyobb volt, a repceolajat fogyasztottakhoz képest. A tejsír jó emészthetősége egyrészt a kisméretű zsírgolyócskáknak, másrészt a tejsír kiváló zsírsav-összetételének köszönhető. A tejsírban lévő zsírsavak olvadáspontja alacsony, ezért a testhőmérsékleten a tejsír zöme folyékony állapotú. A 45 °C alatti olvadáspontú zsírok emészthetősége pedig legtöbbször jobb mint 95%.

A diszperzió és az emészthetőség kapcsolata

A tejsír a tejben természetes zsíremulzió formában fordul elő, ezért a zsír egy része nem glicerinként és zsírsavakként fog abszorbeálódni, hanem mint zsírgolyócska, mindenfajta enzimes beavatkozás nélkül. A vékonybél tartalmaz olyan pórusokat, amelyeken keresztül a 100 µm-nél kisebb átmérőjű zsírgolyócskák fel tudnak szívódni, közvetlenül a nyirokrendszerbe tudnak kerülni. A triglicerideket, az egyéb lipideket és a tejsír zsírolható vitaminjait a zsírgolyó membránja megvédi az endogén enzimektől, miközben a vékonybélből eljutnak a sejtekig. A zsírgolyócskák a nyirokrendszerbe, majd a vénás hálózatba kerülnek, a szíven

keresztül bejutnak az artériás rendszerbe, majd elérik a testi sejteket körülvevő folyadékot. Innen a zsírgolyócskák a sejtmembránon keresztül, minden lényeges enzimatis hidrolízis nélkül, a citoplazmába jutnak. Ezen az úton tehát a zsírgolyócskák rendeltetési helyüket elérik anélkül, hogy keresztülmennének a májon. Úgy tűnik, hogy még a nagyobb részecskék is képesek a bélbolyhokon keresztüli áthatolásra. A többi élelmiszer zsírját az epe, a pankréász enzimeit és a vékonybél *lipázai* részlegesen emulzifikálják, mielőtt azok mint finom emulzió vagy mint lebontási termék keresztülmennek a vékonybél falán. Amennyiben a tejszíremulziót megszüntetjük és dehidratált vajolajat használunk, az enzimatis bontás már a lumenben megkezdődik. A táplálék zsírjai enzimatisan részlegesen lebontódnak, és trigliceridek, digliceridek, monogliceridek, valamint szabad zsírsavak elegye alakul ki.

A diszpergált részecskéket a fehérjemembrán veszi körül, és az így kialakult golyócskák transzportálódnak a bélbolyhokon keresztül a nyirokrendszerbe. Ez a korpuszkuális abszorpció lehetővé teszi azt, hogy a fehérje és a zsír anélkül szívódjon fel, hogy előtte építőkövekre, aminosavakra, illetve zsírsavakra esnének szét.

Amikor a tejet homogénezik, akkor a zsírgolyócskák mérete 1 µm körülire vagy az alá csökken, így felületük mintegy hússzor nagyobb lesz, ami miatt az abszorpció megnövekszik és az emészthetőség javul. Egy patkánykísérletben a tejszír abszorpciókoefficiense majdnem duplájára nőtt homogénezés hatására a nem homogénezett kontrollhoz képest.

A zsírsav-összetétel és az emészthetőség

A tejszír viszonylag magas koncentrációban (10–15%) tartalmazza a rövid és a közepes szénláncú zsírsavakat, és mivel ezek a zsírsavak sokkal könnyebben abszorbeálódnak, mint a hosszú szénláncúak, a tejszír emészthetősége jobb, mint a többi zsír, sőt még a rövid szénláncú zsírok oxidációja is lényegesen gyorsabb, mint a hosszú szénláncúaké. Egy patkánykísérletben kimutatták, hogy a kaprilsav széntartalmának 90%-a már két órával az etetés után már széndioxid formájában eltávozott, míg a sztearinsavnak csak alig több mint fele használódott fel 18 órával az etetés után. Erre az lehet a magyarázat, hogy a rövid szénláncú zsírsavak a visszereken keresztül közvetlenül a májba kerülnek, míg a hosszú szénláncú zsírsavak tovább tartózkodnak a véráramban kilomikron formában. A tejszír emészthetőségét egy kísérletben 99%-nak, a palmaolajét pedig 91%-nak találták. A sztearinsav csökkenti a tejszír emészthetőségét, különösen akkor, ha trisztearin formában fordul elő, míg a kevert digliceridnek az emészthetőségre való befolyása lényegesen kisebb. Ezen túl amint azt a laurinsav és a mirisztinsav esetében kimutatták, amikor egy vajalapú takarmányt egy margarín alapúval hasonlítottak össze a rövid szénláncú zsírsavak meggyorsítják a hosszú szénláncúak metabolizmusát.

Érdemes megemlíteni, hogy csecsemők és kisgyermekek étrendjében azért használnak főként kapril- és kaprinsavat, mert azok emészthetősége jobb, mint a többi zsírsavé. Ezek a zsírsavak a visszereken keresztül közvetlenül felszívódnak, míg a hosszú szénláncú zsírsavak csak később érik el a vérkeringést a nyirokrendszeren keresztül. Egy sztearin-, olaj-, linol- és arachidonsavval végzett kísérlet során megállapították, hogy az azonos szénláncú telített és telítetlen zsírsavak oxidációja nem különbözik lényegesen egymástól, bár arányuk a metabolizmusban különböző lehet. Megállapították azt is, hogy a linolsav, mint esszenciális zsírsav, nem gyorsította a zsírm metabolizmust.

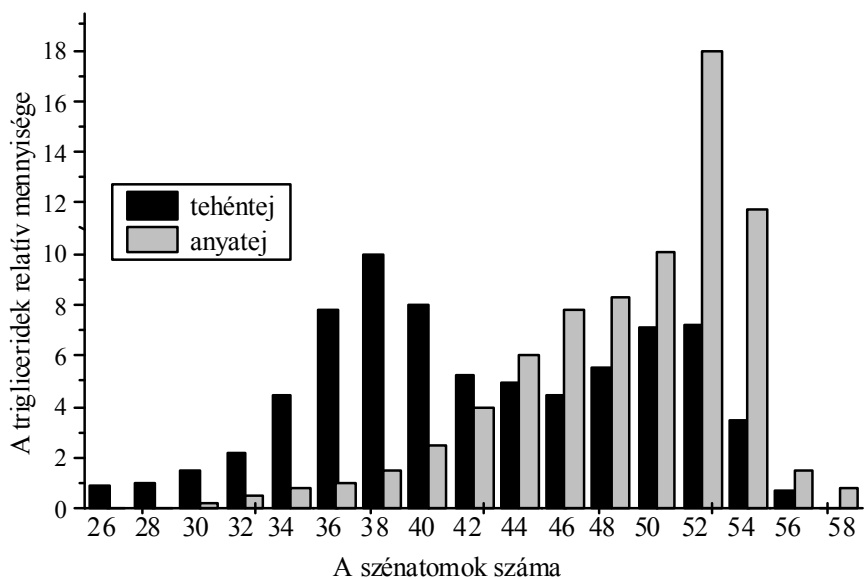
A zsír emészthetősége az egyes zsírsav helyzetétől is függ a trigliceridben, hisz a *lipáz* először a triglicerid egyik külső zsírsavát támadja meg 1,2-digliceridet hozva létre, majd ezt folytatva 2-monoglicerid alakul ki. A zsír szabad zsírsav és 2-monoglicerid alakban tud abszorbeálódni. Az egyes zsírsavak megoszlása a trigliceridben nem véletlenszerű, ami abban nyilvánul meg, hogy a rövid szénláncú zsírsavak (főként vajsav és kaprinsav) külső pozícióban vannak a trigliceridben, míg a hosszú szénláncú zsírsavak, különösen a mirisztinsav, foglalják el

a belső pozíciókat. A vajsav kb. 95%-a van 1-es és 3-as helyzetben, míg a mirisztinsav 54%-a 2-es helyzetet foglal el a trigliceridben. A tejsír több telített, mint telítetlen zsírsavat tartalmaz a 2-es pozícióban. Az anyatej abban hasonlít a tehéntejhez, hogy a rövid szénláncú kaprinsav és laurinsav főként 1-es és 3-as pozícióban van, míg a palmitinsav legtöbbször a 2-es helyzetet foglalja el. A transz-telítetlen zsírsavak jobbra külső pozícióban vannak a trigliceridben. A transz- egyszerűen telítetlen zsírsavak elhelyezkedése hasonló a cisz-izomerekéhez. A rövid szénláncú zsírsavakat tartalmazó trigliceridek a trigliceridben elfoglalt helyük miatt a *lipáz* sokkal gyorsabban hidrolizálódnak, mint azok a trigliceridek, amelyek rövid szénláncú zsírsavakat nem tartalmaznak. Kimutatták, hogy 40 °C-on percenként a *lipáz* 463 μmol zsírsavat szabadít fel a tributirátból, míg ez az érték tripalmitin és trisztearin esetében csak 9, triolein esetében pedig 107 μmol percenként. A vajsav egyenletesen oszlik el a trigliceridben, ami rendkívül fontos, mert ebből az következik, hogy a trigliceridmolekulákban nagy valószínűséggel csak egy vajsavmolekula van. Mivel a *lipáz* enzim előnyben részesíti a rövid szénláncú zsírsavakat tartalmazó triglicerideket leszögezhető, hogy a tejsírt a *lipáz* minden egyéb zsírnál előbb fogja lebontani.

20.18. táblázat. *A tehén- és az anyatej trigliceridjeiben a zsírsavak megoszlása*

<i>Zsírsavak</i>	<i>Jellemző hely</i>	
	<i>Tehéntej</i>	<i>Anyatej</i>
Vajsav	3	–
Kaprinsav	3	–
Kaprilsav	3	–
Kaprinsav	2+3	3
Laurinsav	2	3
Mirisztinsav	2	2
Palmitinsav	1+2	2
Sztearinsav	1	1
Olajsav	1–3	1+3
Linolsav	1–3	1–3

Az izomereket nem számolva a tejsír 168 különböző zsírsav-összetételű trigliceridet tartalmaz. A tejsír mintegy 55% alacsony szénatomszámú trigliceridet tartalmaz (44 szénatom alatt), míg az anyatej tejsírja csak 10%-ban tartalmaz ilyen zsírokat. A tehéntej tejsírja 26 és 54 szénatom közti triglicerideket tartalmaz 32-es és az 54-es szénatomszámnál két maximummal. Az anyatej trigliceridjei 30 és 58 szénatomszám között változnak, és 52-es szénatomszámnál mutatnak maximumot. Az anyatej a szülés után közvetlenül kevesebb közepes szénláncú zsírsavat tartalmaz, ezért a C46-os trigliceridek kisebb koncentrációban vannak jelen, mint a C52-esek. A tejsír nem tartalmaz trisztearint. A triglicerideknek átlagosan 34%-a három telített zsírsavat, 39%-a egy, 25%-a kettő, 2%-a pedig három telítetlen zsírsavat tartalmaz. Az anyatejnél a trigliceridek 9%-a három telített zsírsavat, 40%-a egy, 42%-a kettő, 9%-a pedig három telítetlen zsírsavat tartalmaz (20.18. táblázat). A különböző szénatomszámú trigliceridek eloszlását a tehén- és anyatejben az 20.3. ábra mutatja.



20.3. ábra. Különböző szénatomszámú trigliceridek a tehén- és anyatejben

20.3.1.6. A tejsír táplálóértéke

Mivel a tejsír könnyen emészthető és gyorsan abszorbeálódik, viszonylag kevésbé terheli meg a szervezetet, ezért nagyon értékes zsírforrásnak tartják olyan emberek ételmiszereiben is, akik gyomor- és bélpanaszokban szenvednek, problémájuk van a májjal, veséjükkel vagy az epehólyagjukkal, és emiatt nehezen emésztik meg a zsírt. A tejsírtartalmú és tejsírt nem tartalmazó élelmiszerek hatását összehasonlítva gyomor- és bélpanaszokkal küszködő emberek esetében megállapították, hogy azoknál az embereknél, akiknél vajat alkalmaztak sütésre, nem jelentkeztek panaszok, míg a többi zsír hatására gyomorfájás jelentkezett. Hasmenésben szenvedő kisgyermek esetében több nitrogén-visszatartást tapasztaltak, ha 5% vajot adtak táplálékukhoz.

Egyes elképzelések szerint a túlsúlyt el lehet kerülni, ha az állati eredetű zsíradékot nagy telítetlenszirsav-tartalmú növényi olajokkal helyettesítik. Egy malacokkal végzett kísérlet azonban kétségbevonta ezt az állítást, ugyanis ezekből a kísérletekből azt a következtetést lehetett levonni, hogy 50 g vaj helyettesítése 50 g margarinnal a napi zsírfelvételt 7 g-mal növelte, ami 0,25 MJ-lal több napi energiefelvételt jelentett. A dietetikusok gyakran azért javasolják a rövid és a közepes szénláncú zsírsavakat tartalmazó trigliceridek fogyasztását, mert a tejsír ezen trigliceridjeinek kedvező élettani és biokémiai, valamint gyógyhatása is van. Könnyen abszorbeálódva gyorsan szolgáltatnak energiát, aminek akkor van különösebb jelentősége, ha valaki emésztőrendszeri megbetegedésben szenved vagy zsírfelszívódási zavarai vannak. Sok kutató rámutatott arra, hogy a kis és közepes szénláncú zsírsavaknak szerepük lehet a testsúlykontrollban, valamint a vér lipidkoncentrációjának csökkentésében.

20.3.1.7. A tej koleszterintartalma

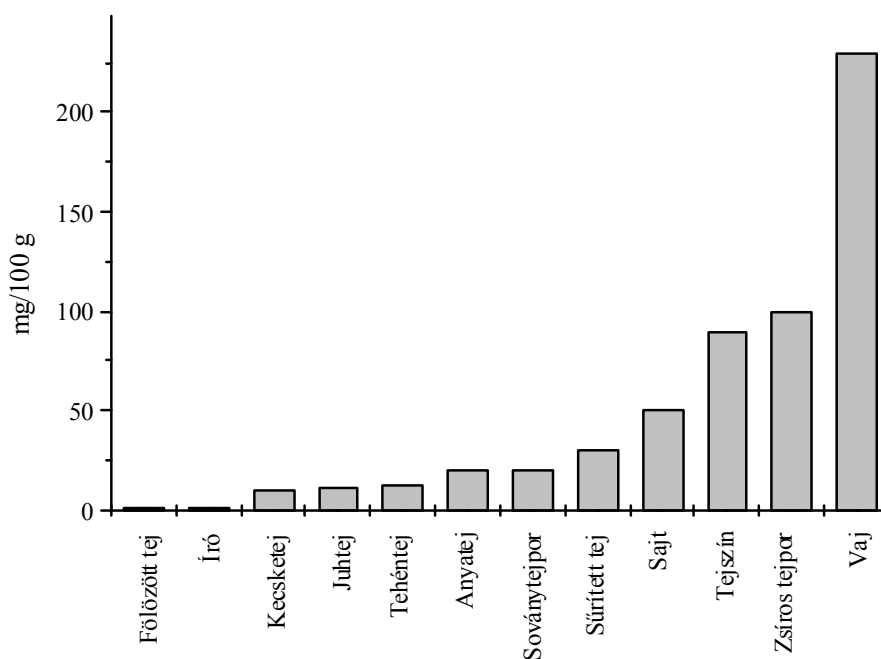
A koleszterin az egyik legfontosabb része a tej szterinjének csakúgy, mint a többi állati eredetű zsírnak. Néhányan arra a következtetésre jutottak, hogy az ételmiszer magas koleszterintartalma hatással van a vér koleszterintartalmának emelkedésére, amit kapcsolatba hoztak az érlelmeszedéssel és a szívkoszorúér-panaszok kialakulásával. Ezért javasolják, hogy a vér magas koleszterintartalmát elkerülendő, csökkenteni kell a magas koleszterintartalmú

élelmiszerek fogyasztását. A feltételezett kapcsolatot a koleszterinbevitel és a szívpanaszok között az utóbbi időben többen megcáfolták.

Mint ahogy az a 20.19. táblázatból látszik, a tejszír koleszterintartalma a többi állati zsiradékhoz viszonyítva alacsony. A tej átlagos koleszterintartalma 13 mg/100 cm³, ami 3 mg/g-nak felel meg a tejszírban. Mivel a koleszterin a tej összes lipidjeinek 0,25–0,40%-át teszi ki, a tej és a tejtermékek koleszterintartalma függ azok zsírtartalmától (20.4. ábra). A koleszterin főleg a zsírgolyócska membránjában fordul elő, annak 0,4–3,5%-a. A koleszterin 80%-a szabad állapotú a tejben, és csak kisebb része van észter alakban.

20.19. táblázat. *Különböző élelmiszerek koleszterintartalma*

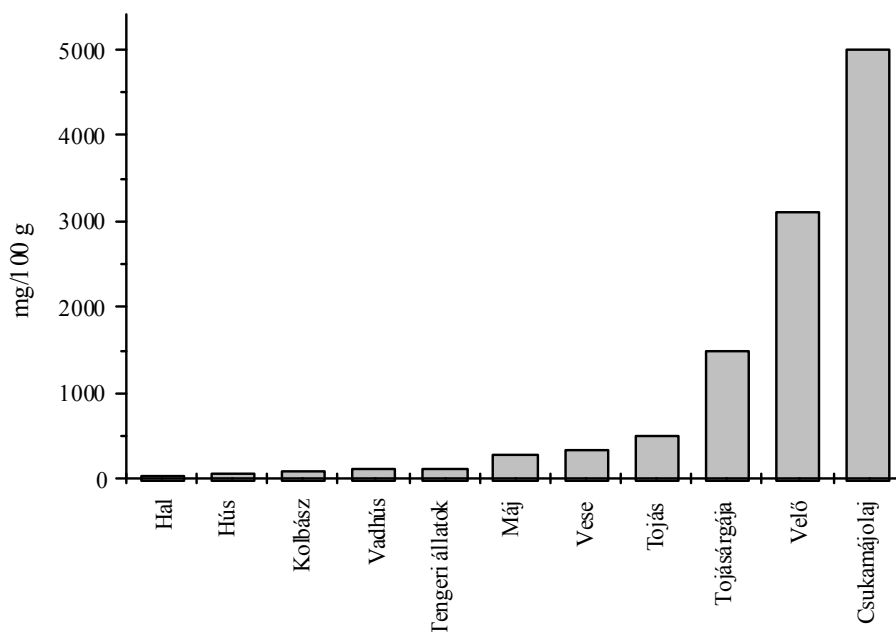
Élelmiszer	Koleszterintartalom (mg/100 g)	Élelmiszer	Koleszterintartalom (mg/100 g)
Tehéntej	13	Hal	30–70
Főlözött tej	2	Hús	70–90
Anyatej	20	Kolbász	80–100
Kecsquetej	10	Vadhús	110
Juhtej	11	Tengeri rákok	110
Író	2	Máj	280
Sűrített tej	30	Vese	350
Tejszín	90	Tojás	500
Sajt	0–100	Tojássárgája	1500
Vaj	230	Velő	3100
Soványtejpör	20	Csukamájolaj	5000
Zsíros tejpör	100		



20.4. ábra. *Tej és a tejtermékek koleszterintartalma*

Az anyatej koleszterintartalma valamivel nagyobb, mint a tehéntejé, bár mennyisége viszonylag széles határok között változik annak ellenére, hogy az anyatej koleszterintartalma függetlennek tűnik az ételmiszer-fogyasztástól. A növényi olajok rendszerint nem tartalmaznak koleszterint (kivéve a szezámolajat és a pálmaolajat, amelyek kismértékben tartalmaznak koleszterint), bennük elsősorban fitoszterin, sztigmaszterin és kampeszterin található. A növényi szterinek ugyanúgy részt vesznek az anyagcserében, mint a koleszterin. Az állati zsiradékkal kiegészített margarin, a tojás, a csukamájolaj sokkal gazdagabbak koleszterinben, mint a tej, ezért a tej hozzájárulása a koleszterinbevitelhez meglehetősen csekély (20.5. ábra).

A szervezet maga sokkal nagyobb mennyiségben (1–4 g naponta egy felnőtt embernél) szintetizálja a koleszterint, mint amennyi a táplálékból felszívódik. A koleszterin főként a májban képződik ecetsavból az acetil-koenzim-A segítségével. A koleszterinnek számos fontos funkciója van az emberi testben, fontos szerepe van a sejtmembránok kialakításában, és kiinduló anyaga az epesavak és a szteroid hormonok szintézisének, részt vesz a zsírszállításban továbbá az idegszövet felépítésében. A vér átlagosan 10–12 g koleszterint tartalmaz, míg a szervezet összes koleszterintartalma 100–150 g. Ezzel szemben a táplálékkal felvett koleszterintartalom csak 20%-a annak, amit a szervezet naponta előállít. Közép-Európában a napi átlagos ételmiszeradag 460–750 mg koleszterint tartalmaz, és ehhez a tej és a tejtermékek csak 100 mg-mal járulnak hozzá.



20.5. ábra. Különböző élelmiszerek koleszterintartalma

Az ételmiszer koleszterintartalma csak minimális hatással van a vér koleszterintartalmára, a szervezetnek van ugyanis egy ellenőrző mechanizmusa, amelynek hatására a szervezetben leáll a koleszterinszintézis, ha az élelmiszerek koleszterinszintje magas. Amikor a koleszterin szintje elér egy értéket, a sejtfal receptorai aktiválódnak és inhibiálják a koleszterinszintézist a sejtben. Nagyszámú vizsgálat igazolta, hogy semmiféle összefüggés sincs a táplálék és a vér koleszterintartalma között. Egy kísérlet résztvevőinél, akik a napi élelemadagon kívül még 300 mg koleszterint kaptak, a szérumkoleszterin-szint csak 9 mg/100 cm³-rel emelkedett. Egy másik kísérletben, ahol a napi koleszterinbevitelt 600 mg-ról 300 mg-ra csökkentették, a szérumkoleszterin szintje csak 6 mg/100 cm³-rel csökkent. Egy következő kísérletben

bebizonyosodott, hogy 1–3 plusz tojás fogyasztás nem növelte meg a vér lipidtartalmát. Mivel több vizsgálatban bebizonyosodott, hogy nincs összefüggés a táplálék és a szérumban a koleszterintartalma között, ezért nincs értelme annak a korlátozásnak sem, amely azt javasolja, hogy a napi koleszterinbevitel ne haladja meg a 300 mg-ot.

Irreálisan nagy koleszterintartalmú takarmányt fogyasztó állatoknál kísérletesen ki tudtak váltani hiperkoleszterinémiát vagy érlemeszesedést, de ezeket az eredményeket nagyon nehéz az emberre átültetni, mert a koleszterin-anyagcsere a különböző kísérleti állatfajoknál egészen más mint az embernél, és a kísérletek körülményei is sokszor nagyon szélsőségesek voltak. Erősen kétséges ugyanis, hogy a növényevő nyulakra kapott eredmények alkalmazhatók lennének az emberre is. Az összes kísérleti állatnak alacsony volt a szérumban a koleszterin-szintje, az emberé azonban magas, 200 mg/100 cm³, a kísérletben részt vevő állatoké pedig a következő: tengerimalac és nyúl 40 mg/100 cm³, patkány 50–70 mg/100 cm³, egér és cébusmajom 90–100 mg/100 cm³, kutya 140 mg/100 cm³.

A kísérleti állatok több koleszterint abszorbeáltak a táplálékból, mint az ember. Az emberben a tápanyag koleszterintartalmának csak 10–40%-a abszorbeálódik, míg ez az érték a patkányoknál 50–80%, a majomnál és a kutyánál 50–70% volt, a nyúlnál pedig elérte a 90%-ot. Az embernél a koleszterin abszorpciója behatárolt, ugyanis egy az Egyesült Államokban végzett vizsgálat szerint a napi 300–800 mg bevitt koleszterinből csak 150–300 mg szívódott fel, és ugyanez a mennyiség abszorbeálódik akkor is, ha a tápanyag koleszterinszintje jóval nagyobb, tehát úgy tűnik, hogy az emberi szervezet 300–500 mg körül limitálja a felszívható koleszterin mennyiségét, megvédeve önmagát az extrém hiperkoleszterinémiától. Az emberi szervezet ebben is különbözik a kísérleti állatokétól. Amikor az állatok fehérjében gazdag takarmányt fogyasztottak, akkor megnőtt a koleszterin abszorpciója, de megnőtt ekkor a kiválasztása is.

Végül említést érdemel még, hogy az előbbi kísérletekben az állatok extrém mennyiségű koleszterint (a takarmány szárazanyagának 1–5%-a) fogyasztottak, ami az embernél soha nem fordul elő.

20.3.1.8. A tejsír telítetlen zsírsavai

A telítetlen zsírsavaknak speciális biológiai hatást tulajdonítanak az anyagcserében. E szempontból figyelembe kell venni, hogy

- csak a linolsav és az arachidonsav esszenciális az ember számára, melyeket feltétlenül meg kell kapni az étellel,
- csak a többszörösen telítetlen zsírsavak fontosak a koleszterin metabolizmusában,
- az egy kettős kötést tartalmazó zsírsavaknak nincs különösebb jelentősége a koleszterin metabolizmusában.

20.3.1.9. A tejsír esszenciális zsírsavai

Amikor a kísérleti állatok takarmánya kevés esszenciális zsírsavat tartalmazott, akkor különféle tünetek (súlycsökkenés, bőrhámlás, szőrhullás, a vese, a petefészkek és a tejmirigy degeneratív elváltozása, zavar a vízháztartásban, szaporodási rendellenességek és korai halál) léptek fel náluk. Nem világos azonban, hogy ezek a tünetek speciálisan az esszenciális zsírsavhiánynak, vagy a zsírhíánynak köszönhetőek. Az embernél esszenciális zsírsavhiányt csak csecsemőkorban észleltek, felnőtteknél ilyen hiányról napjainkig még nem számoltak be. Egyetlen esetben hosszú időn keresztül szintetikus étellel történő táplálás után alakult ki hiperkeratotikus dermatózis. Zsírmentes étellel történő táplálásnál hiánytünetek lépnek fel, ami az eikozatrién és az eikozatetraén zsírsavak arányában mutatkozik meg a vérben. A két legfontosabb esszenciális zsírsav a cisz,cisz-9,12-oktadekadiénsav (linolsav) és a cisz,cisz,cisz,cisz-5,8,11,14-eikozatetraénsav (arachidonsav), míg a linolénsav (cisz,cisz,cisz-

9,12,15-oktadekatriénsav) nem esszenciális zsírsav, mert a szervezet linolsavból elő tudja állítani. A szervezetben a linolsavból arachidonsav is keletkezik, amely a megnövekedett szénláncnak és a több kettős kötésnek köszönhetően biológiailag sokkal aktívabb. Az arachidonsav biológiai aktivitása 30%-kal nagyobb, mint a linolsavé, és nagyon fontos alkotórésze a sejthártyamembrán lipidjeinek. Biokémiai prekursora a prosztaglandinnak, amelynek élettani jelentősége nagy, hisz szabályozza a trombociták aggregációját, a simaizmok összehúzódását, a vérnyomást, a szív vérellátását, a zsírok mobilizációját a szövetekből, és hatással van a központi idegrendszerre is. Hatását igen alacsony mennyiségben fejti ki a vérszérumban; koncentrációja 0,001–0,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$, ami nagyságrendileg megfelel a különböző hormonok koncentrációjának.

Az esszenciális zsírsavak napi szükségletét meg lehet határozni. Linolsavhiány hatására megnő a vérszérum eikozatriénsav-tartalma, így e zsírsav arachidonsavhoz viszonyított aránya jelzi a linolsavhiányt. Ha az arány nagyobb mint 0,4, hiánnyal kell számolni. Egy patkányokkal végzett kísérletben azt találták, hogy az energia 0,5%-ának linolsavból kell származnia a megfelelő ellátáshoz, azonban ez a szám hosszan tartó etetés esetén kevés lehet. Embernél a napi energiamennyiség 1%-ának kellene linolsavból származnia a tökéletes ellátáshoz, így napi 10,5 MJ energiafelvétellel számolva ez legalább 3 g linolsavat jelent naponta. Általában az energiatartalom 1–2%-át javasolják minimumként, de a 6%-os és a 12–22%-os érték túlzottnak tűnik.

A tejszír 3% linolsav- és 0,5% linolénsav-tartalmával relatíve alacsony esszenciáliszsírsav-tartalmúnak számít. Nem kellene azonban ebből azt a következtetést levonni, hogy a tejszírt ki kellene egészíteni ezen esszenciális zsírsavakkal, mert az emberi élelmiszerek bőségesen tartalmazzák ezeket a zsírsavakat. Svájcban a linolsavfogyasztás naponta és fejenként 17 g. Ugyanez az érték Dániában 13 g, Írországbban pedig 9 g. Németországban a napi linolsavfogyasztás 13,5 g, amely átlagosan az alábbiak szerint oszlik meg a különféle élelmiszerek között:

növényi olajok és zsírok:	6,6 g,
tej és tejtermékek, tojás és hal	1,0 g,
hús és hústermékek	2,4 g,
kenyér, gabonafélék, burgonya, zöldségek és gyümölcs	2,4 g,
majonéz	1,1 g.

Az összeállításból látszik, hogy a kiegyensúlyozott táplálék biztosítja az esszenciáliszsírsav-tartalmat anélkül, hogy speciális, magas esszenciáliszsírsav-tartalmú kiegészítőhöz kellene folyamodni. Hasonló eredményt hozott az a klinikai kísérlet is, amelyben a vaj és a margarin biológiai értékét hasonlították össze úgy, hogy mindkét esetben optimális volt a tápanyag energiatartalma (10,5 MJ 25% zsírtartalommal). Ez napi 5 és 12 g linolsavfelvételt jelentett a vaját és a margarint fogyasztó csoportnál, és mivel az eikozatriénsav és az arachidonsav aránya mindkét esetben 0,22–0,23 között volt, levonható az a következtetés, hogy a linolsavszükségletet a vaját tartalmazó diétával is tökéletesen ki lehetett elégíteni.

Csak a cisz-térszerkezetű linolsav esszenciális, a transz-izomer nem rendelkezik biológiai aktivitással. A különböző kísérletek alapján a transz-zsírsavakkal kapcsolatban az alábbi megállapításra jutottak:

- Amikor a táplálék transz-zsírsavakat tartalmaz, az esszenciáliszsírsav-igény megnő, valószínűleg azért, mert csökken az arachidonsav szintézisének hatásfoka. Valószínűleg a máj megfelelő enzimeinek inhibíálásával a prosztaglandin szintézisét is akadályozzák a transz telítetlen zsírsavak.
- A már meglévő esszenciáliszsírsav-hiányt a transz-zsírsavak még tovább fokozzák.

- Az elaidinsav kisebb oxidációs sebességgel rendelkezik mint az olajsav, bár a transz-zsírsavak is metabolizálódnak a szervezetben. A szervezetben betöltött szerepük a telített zsírsavakéhoz hasonló.
- A transz-zsírsavak beépülnek a zsírszövetbe, így a tartalék zsír zsírsav-összetétele hasonló lesz a táplálékéhoz. Ezek a zsírsavak jelentős mértékben épülnek be a szívbe, a vesékbe és a májba, ugyanakkor a plazma lipidjeinek csökken a linolsav- és az arachidonsav-tartalma.
- A transz-zsírsavak szervezetbe jutásával megváltozik pl. a mitokondrium és a vértetek sejtmembránjának összetétele.

Egy emberekkel végzett kísérletben a magasabb koleszterinszintet kapcsolatba hozták a nagy sűrűségű zsírok csökkenésével, és a nagyon alacsony sűrűségű zsírok növekvő koncentrációjával.

Megoszlanak a vélemények afelől is, hogy vajon a hidrogénezett zsírsavak okoznak-e érlelmeszesedést. Egy transz-zsírsavakkal állatokon végzett kísérletben megállapították, hogy transz-zsírsavak hatására megnőtt a máj és a vese tömege, míg a tüdő tömege csökkent. A transz-zsírsavak hatására csökken a szív reakciója a stresszre, patkányokban a transz-zsírsavak keresztüljutottak a placentán, és megváltozott néhány enzim és a zsírszövet tulajdonsága is.

Németországban a C18:1 zsírbevétel naponta személyenként 4,5–6,4 g között alakul. Ebből a mennyiségből csak 1,6 g származik tejből és tejtermékből, míg 3,2–4,1 g forrása növényi zsír. Az Egyesült Államokban ez az arány csak 4,5%, Svédországban normál táplálkozás esetén 5%, laktovegetáriánusoknál 3,9%, míg vegetáriánusoknál 1,8%.

Általánosságban el lehet mondani, hogy a transz-zsírsavaknak nincs káros hatásuk, ha esszenciális zsírsav megfelelő mennyiségben rendelkezésre áll a táplálékban. Különösen elmondható ez a kis mennyiségben felvett és a tejszírral együtt fogyasztott transz-zsírsavakról.

20.3.1.10. Többszörösen telítetlen zsírsavak, koleszterinmetabolizmus és érlelmeszesedés

Az úgynevezett lipid hipotézis azt állítja, hogy kapcsolat van az élelem zsírsav-összetétele és a vérszérum koleszterintartalma között; a telített zsírsavak növelik, míg a telítetlen zsírsavak csökkentik. Továbbá, mivel a hiperkoleszterolémia hatással van az érlelmeszesedésre és a szívkoszorúér megbetegedésére, gyakran javasolják, hogy a telített zsírsavakat tartalmazó zsírokat sok telítetlen zsírt tartalmazó zsírokkal és olajokkal kell helyettesíteni. Javaslatok szerint a többszörösen telítetlen és a telített zsírsavak arányának legalább 1-nek kell lenni, vagy a többszörösen telítetlen zsírsavak energiájának el kell érni az összes energia 10%-át.

Köztudott, hogy a koronaér-megbetegedés és az ebből eredő elhalálozás a legtöbb iparosodott országban az első helyet foglalja el a betegség statisztikákban. Nem lehet azonban ezért a kórért csupán a táplálék telítettzsírsav-tartalmát felelőssé tenni, mert komplex problémával van dolgunk. Hogy mennyire komplex ez a probléma, azt a következők igazolják:

A 12-nél kisebb szénatomszámú telített zsírsavak nem növelik a vérszérum koleszterintartalmát, és nem növeli azt a sztearinsav sem, amit feltétlenül figyelembe kell venni, mivel a tejszír viszonylag sokat tartalmaz ezekből a zsírsavakból. A mirisztinsav hatása a koleszterintartalomra csekély, és ténylegesen csak a palmitinsav koleszterinszintet emelő hatásával kell számolni. Figyelemmel kell azonban lenni még a palmitinsav–sztearinsav arányra is, amely magyarázza azoknak a kísérleteknek az eredményeit, ahol nem kaptak összefüggést a fogyasztott zsírfajta és a koleszterinszint között.

Amikor a linolsav mennyiségét a kísérleti élelmiszerben 10–30%-ra növelték, a szérumkoleszterin-szintje nem változott jelentős mértékben. A többszörösen telítetlen zsírsavak koleszterincsökkentő hatása több tényezőtől is függ, ami magyarázza azon kísérletek eredményeit, ahol a különböző fajtájú zsírok fogyasztásának hatására nem változott lényegesen a

szérum koleszterintartalma. Nem változott pl. a szérum koleszterintartalma akkor, ha a kísérleti csoportok az energia 31,5%-át vajban vagy margarinban kapták, ahol a linolsavbevitel naponta 5,0 és 16,2 g volt.

Amennyiben a kísérlet résztvevői olyan tejsírt fogyasztottak, ahol kapszulázott telítetlen zsírsavakkal megnövelték a tej telítetlen zsírsavainak mennyiségét, a szérum koleszterintartalma, hasonlóan a más, sok telítetlen zsírsavat tartalmazó zsírokkal elvégzett kísérletekhez, 10%-kal csökkent.

Általában a növényi eredetű olajokról és zsírokról sem lehet egyértelműen elmondani, hogy nagy mennyiségű, hasznos többszörösen telítetlenzsírsav-tartalommal rendelkeznek, ugyanis vizsgálatok igazolták, hogy a különböző eredetű margarinok linolsavtartalma 4–68% között, a sütésre használt növényi olajoké pedig 1 és 42% között változott. Ugyanakkor a palmitinsav, az egyik legjelentősebb telített zsírsav, mennyisége a margarinban 8–32% között, növényi olajokban pedig 9–42% között változott.

Figyelemmel kell lenni arra is, hogy a szérum koleszterinje különböző lipoproteinekhez kötött, és ezért nem a szérum összes koleszterinszintje, hanem a különböző lipoproteinek viszonya az, ami fontos. A HDL (high density lipoprotein; nagy sűrűségű lipoprotein) koleszterin növekedése akár abszolút mértékben, akár az LDL (low density lipoprotein; alacsony sűrűségű lipoprotein) koleszterinhez viszonyítva megakadályozza az érlemezés kialakulását, míg az LDL és a VLDL (very low density lipoprotein; nagyon alacsony sűrűségű lipoprotein) koleszterin megnöveli a rizikófaktorokat. A többszörösen telítetlen zsírsavakról azt tartják, hogy azok fogyasztása csökkenti az LDL és a VLDL koleszterin mennyiségét, bár vannak akik kétségbe vonják, hogy a táplálkozással lehet-e hatni a szérum lipoproteinjeire. Egy körültekintően összeállított ételmező esetében, ahol a palmitinsav–sztearinsav arány 2,2 volt, csökkent az összes koleszterinszint, de a lipoproteinek részaránya változatlan maradt.

Sem az állattal, sem az emberrel végzett kísérletekből nincs olyan adat, mely minden kétséget kizáróan igazolná a telítetlen zsírsavak koleszterinmetabolizmusra kifejtett kedvező hatását. A legtöbb esetben a linolsav mennyisége és az érlemezés kialakulása között nem volt szignifikáns összefüggés. Nincs bizonyíték arra, hogy a vajfogyasztás és a szív- és érrendszeri megbetegedések között bármilyen kapcsolat is volna. Az elvégzett kísérletek azért vezettek több ízben fals eredményre, mert a kísérleti állatok többségének más volt az anyagcseréje mint az emberé, sokkal rövidebb ideig éltek, mint az emberek, holott köztudott, hogy pl. az embernél az érlemezés hosszú időn keresztül alakul ki.

Az Egyesült Államokban és Izraelben elvégzett vizsgálat tanúsága szerint a szívproblémákkal küszködő emberek nagy része túlsúlyos volt; esetükben nem a koleszterinszint jelentette a fő problémát, hanem a túltáplálás. Megállapították, hogy a súlycsökkenés, a zsíradékok fogyasztásának korlátozása (35%-os részarányra az összes elfogyasztott energián belül), mind a növényi, mind az állati eredetűeké, csökkenti a szívbetegségek kockázatát.

A különböző ételmezők is hatással lehetnek a szív- és érrendszeri megbetegedésekre. Káros hatása lehet egyes szénhidrátoknak, pl. a szacharóznak, de ilyen közvetett hatásról nem számoltak be a laktóz esetében. Az ételmező fehérjetartalmának növelése csökkenti a szérumkoleszterin-szintjét, ennek ellenére egyes megfigyelések szerint a megemelt fehérjetartalom növelte az infarktusos megbetegedések számát. Hatással van a betegség kialakulására az ételmező ásványianyag-tartalma is. Egy nyulakkal végzett kísérletben, ahol nagy kalciumtartalmú, sovány tejpört etettek, csökkent a szérumkoleszterin-szintje, és nem jelentkeztek az érlemezés tünetei. A lágú vizet fogyasztóknál fokozottabban jelentkezik a szívérrendszeri megbetegedés. Ha magas az ételmező C-vitamin-tartalma, csökken a szív- és érrendszeri megbetegedések száma, és ugyanez elmondható az ételmező rosttartalmáról is, hisz a nagy rosttartalmú ételmező csökkenti a szérum koleszterintartalmát, és ezzel együtt a megbetegedések számát.

Kétségtől van összefüggés a szérumkoleszterin koncentrációja és az érlelmeszesedés, valamint a szívkoszorúér-megbetegedések között, de ez a kapcsolat nem tekinthető a betegségek kialakulása fő okának. Nagyon sok olyan humán vizsgálatot folytattak, amelyek nem hogy nem erősítették meg ezt a kapcsolatot, hanem azzal ellentétes eredményt hoztak. Az infarktuszok száma nem csökkent, ha a koleszterinszintet sikerült csökkenteni a szervezetben, és számos kísérlet bizonyította, hogy nincs kapcsolat a betegség gyakorisága és a szérumkoleszterin szintje között. Ezen vizsgálatok szerint a koleszterin csak egy mellékhatása, de nem kiváltó oka a betegségnek, annál is inkább, mivel a betegséget számos egyéb ok is befolyásolja, pl. a magas vérnyomás, a dohányzás, genetikai faktorok, mozgáshiány, immuno-biológiai faktorok, kor, szex, pszichológiai faktorok, személyiség, stressz stb., összesen 37 olyan tényezőről történik említés a szakirodalomban, amely hatással van a betegség kialakulására.

Végezetül érdemes még szót ejteni a zsírsavak és a daganatos megbetegedések kapcsolatáról. Egy nyolc évig tartó klinikai teszt során bebizonyosodott, hogy azoknál a csoportoknál, akik 40%-nál nagyobb mennyiségben fogyasztottak telítetlen zsírsavakat, nagyobb volt a daganatos betegségek részaránya, mint a kevesebb telítetlen zsírsavat fogyasztóknál. Ez felhívja a figyelmet arra, hogy a túlzott telítetlenzsírsav-fogyasztás a daganatos betegségek egyik kiváltó tényezője lehet. Amikor daganatos sejteket ültettek be patkányok tejmirigyébe, a tumor kialakulása a többszörösen telítetlen zsírsavakat fogyasztó csoportoknál szignifikánsan nagyobb volt, mint a telített zsírsavakkal takarmányozottaknál, ráadásul a kitapintható tumor is sokkal előbb jelentkezett. A fentieket magyarázni lehet azzal, hogy a növekvő tumorsejteknek szükségük van többszörösen telítetlen zsírsavakra. A tumor gyakorisága és a többszörösen telítetlenzsírsav-fogyasztás közti kapcsolatot pedig az E-vitamin-hiánnyal lehet magyarázni. Más szerzők szerint a koleszterin epesavak formájában történő fokozott kiválasztása a többszörösen telítetlen zsírsavak hatására megnöveli az epesavakat lebontó baktériumok számát, ami sokak szerint oka lehet a tumor kialakulásának. A kutatók hangsúlyozzák, hogy a hosszú időtartamú megnövekedett epesavtermelés káros hatással jár.

Az előbbieken közölt tények felhívják a figyelmet arra, hogy káros lehet, ha hosszú időn keresztül fogyasztunk többszörösen telítetlen zsírsavakat. Ezt táplálkozási szempontból is káros lehet ez, hisz a táplálék kiegyenlítetlenné válik, és köztudott, hogy a tápanyagok többségének túlzott hiánya vagy bősége szinte mindig valamilyen káros következménnyel jár. Mindebből következik, hogy a növényi és állati zsiradékot is tartalmazó étrend felel meg a többszörösen telítetlen és az esszenciális zsírsavak iránt támasztott igénynek. Más oldalról nézve egy extrém összetételű zsír, amely bármelyik típusú zsírsavból sokat tartalmaz, különösen a fülös mennyiségű energiabevitel miatt nem kívánatos. Vannak olyan vélemények is, amelyek teljesen kizárnák a vaj emberi felhasználását, de ezek nem számolnak azzal, hogy ezen keresztül olyan esszenciális tápanyagok hiányát idéznék elő a szervezetben, amelyek valamilyen módon a tejszírhoz kötöttek.

20.3.1.11. Az egyes zsírsavak speciális hatásai

A 4–12 szénatomszámú rövid szénláncú zsírsavak, amelyek viszonylag nagy koncentrációban fordulnak elő a tejszírban, antimikrobiális aktivitással rendelkeznek. A rövid szénláncú zsírsavak jobban inhibálják a Gram-negatív baktériumokat (pl. szalmonella), mint a hosszú szénláncúak. A rövid szénláncú zsírsavak hatásosak a penészek és a savas közegnek ellenálló baktériumok ellen.

20.3.1.12. A tej foszfolipidjei

A tej 30–50 mg/100 cm³ koncentrációban tartalmaz foszfolipideket (20.20. táblázat). A tej foszfolipid-tartalmát befolyásolja a laktációs állapot és az évszak is; a kolosztrum foszfolipid-

tartalma lényegesen nagyobb, mint a normális tejé, elérheti a 67–97 mg/100 cm³-t. A tejsírban a foszfolipidek mennyisége 0,2–1,0% között mozog. Az anyatej foszfolipid-tartalma 80 mg/100 cm³, ami mintegy kétszerese a tehéntejének. A foszfolipidek 60–65%-a a zsírgolyócska membránjában helyezkedik el, míg a maradék rész a fölözött tejben található. A zsírgolyócska membránja 20–40% foszfatidot tartalmaz. A foszfolipidek védőfunkciót látnak el a membránban. Mivel a foszfolipidek más és más koncentrációban fordulnak elő a tej különböző komponenseiben, ezért a különböző tejtermékek különböző mennyiségben tartalmazzák azokat.

A foszfolipideknek a tejben mintegy tíz frakciója ismert. A fő komponensek a foszfogliceridek közé tartozó kefalin, lecitin és szfingomielin (20.21. táblázat). A lecitin két molekula zsírsavat és egy molekula foszforsavat tartalmaz, amely kolinnal van észterezve. A kefalinban etanol-amin vagy szerin van foszforsavval észterezve. A foszfatidil-etanol-amin a tej uralkodó frakciója, míg a foszfatidil-szerin csak 20%-át teszi ki a kefalinnak, vagy 2–4%-át az összes foszfatidnak. A foszfatidil-inozitol egy igen kis frakciója a foszfatidoknak, a lizofoszfatidil-kolin és lizofoszfatidil-etanol-amin pedig csak nagyon kis mennyiségben fordul elő, és a difoszfo-glicerid is csak nyomokban található a tejben.

20.20. táblázat. *A tej és néhány tejtermék foszfolipid-tartalma*

<i>Tej és tejtermék</i>	<i>Foszfolipid-tartalom mg/100 cm³ ill. mg/100 g</i>
Teljes tej	30–50
Fölözött tej	14–23
Író	103–191
Tejszín	100–500
Vaj	100–250
Sajt	100–200

20.21. táblázat. *A foszfolipid-frakciók megoszlása a tej összes foszfolipidjében*

<i>Foszfolipid-frakció</i>	<i>Részarány (%)</i>		
	<i>Átlagérték</i>	<i>Szélsőértékek</i>	<i>Anyatej</i>
Kefalin	37	21–45	35
Lecitin	34	22–48	29
Szfingomielin	21	12–35	29
Foszfatidil-inozitol	5	2–11	5
Plazmalogének	3	2–3	–

Nagy a hasonlóság a tejsír és a fölözött tej foszfolipidjei között, és ugyanez elmondható az anyatejről is. A foszfolipidek zsírsav-összetétele eltér a tejsírtól. Érdemes megemlíteni, hogy nem tartalmaznak rövid szénláncú zsírsavakat, viszont sok a 20-nál is több szénatomot tartalmazó zsírsavak aránya. Ezen túl a foszfolipidek több telítetlen, különösen több többszörösen telítetlen zsírsavat tartalmaznak. Az anyatej és a tehéntej foszfatidjainak zsírsav-összetétele nem különbözik lényegesen egymástól. Az egyes foszfolipidek szignifikáns különbségeket mutatnak zsírsav-összetételükben; a kefalin 50–74%, a lecitin 34–57%, a szfingomielin pedig csak 5–27% telítetlen zsírsavat tartalmaz. A többszörösen telítetlen zsírsavak aránya is nagyobb a kefalinban, mint a lecitinben, a szfingomielin pedig nagy koncentrációban tartalmazza a hosszú láncú, telített zsírsavakat (20.22. táblázat).

20.22. táblázat. *A tej foszfolipidjeinek zsírsav-összetétele*

<i>Zsírsav</i>	<i>A zsírsavak százalékos aránya</i>				
	<i>Összes foszfolipid</i>	<i>Kefalin</i>	<i>Lecitin</i>	<i>Szfingomielin</i>	<i>Foszfolipidek az anyatejben</i>
C10	0,1	–	–	0,5	0,6
C12	1,4	0,8	0,8	1,3	3,1
C14	4,8	1,3	6,4	6,1	4,5
C15	1,4	0,3	1,6	1,3	0,7
C16	22,6	10,5	32,0	31,9	24,6
C16:1	2,2	1,6	2,3	1,0	3,1
C17	0,7	0,6	0,8	0,7	0,9
C18	11,4	13,5	9,6	4,8	10,7
C18:1	34,6	52,8	33,8	10,7	28,2
C18:2	7,7	10,7	8,2	2,0	9,1
C18:3	1,2	2,1	2,0	0,8	1,4
C20	0,7	0,9	–	2,3	1,2
C20:4	1,7	2,4	1,3	2,0	1,4
C22	2,7	1,5	1,1	10,1	2,3
C23	4,1	0,5	–	15,2	4,9
C24	2,6	0,4	–	9,4	3,4

A foszfatidok táplálkozási értékének becslésénél a többszörösen telítetlenzsírsav-tartalom, különösen az esszenciális zsírsavak nagy mennyisége, nem játszik meghatározó szerepet. Emésztési oldalról vizsgálva jelentőségük abban áll, hogy a foszfolipidek hozzájárulnak a zsír gyors emésztéséhez, mivel a zsírgolyó körül képzett membrán segítségével azt finom diszperzióban tartják. A foszfolipidek másik jelentősége az, hogy lipotropikus hatásukkal segítik a zsír elszállítását a májból. A kefalinnal úgy tartják, hogy hozzájárul a véralvadás idejének lerövidítéséhez.

A foszfolipidek fő komponensei az agynak, az idegszövetnek, a szívizomnak, a májnak és a spermának. A foszfatidil-inozitol nagy koncentrációban fordul elő a fehér agyvelőben és a vese foszfatid-peptidjeiben. Ennek ellenére a foszfolipideket nem tekintjük esszenciális tápanyagoknak, mivel a szervezet megfelelő mennyiségben képes őket szintetizálni. Kísérletek kimutatták, hogy nincs szignifikáns különbség a szérum koleszterintartalma és a táplálék lecitintartalma között, bár egy kis, de szignifikáns különbséget megfigyeltek a plazma triglicerid-tartalmának csökkenésében a táplálék növekvő lecitintartalma hatására.

20.3.1.13. A tej cerebrozidtartalma

A cerebrozidok is a lipidek közé tartoznak; szfingozinból, zsírsavból és galaktózból épülnek fel. Nagyobb koncentrációban fordulnak elő az agyvelőben, kisebb mennyiségben pedig a májban, a lépben, a vesében és a vörösvértestekben. A cerebrozidok 40%-a glükozil-ceramid, 60%-a pedig laktozil-ceramid formában fordul elő. A cerebrozidok 70%-a a zsírgolyócskákban fordul elő, a foszfolipidek 2%-át teszik ki. Zsírsav-összetételükre jellemző a 20 szénatomnál nagyobb telített zsírsavak igen magas aránya.

20.3.2. A tej és a tejtermékek konjugáltlinolsav-tartalma

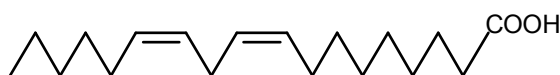
20.3.2.1. A konjugált linolsavak előfordulása és biológiai hatása

A betegségek gyógyításával összefüggő kutatások mellett a betegségek megelőzésével kapcsolatos ismeretek bővítése is fontos, hisz mindenki számára előnyösebb a betegségek kialakulásának megelőzése, mint a betegségek gyógyítása. A megelőzés egyik eszköze az olyan életmód, mely csökkenti a betegségek kialakulásának kockázatát. Az életmód egyik eleme a táplálkozás, hisz az ételek egyaránt lehetnek negatív vagy pozitív hatással egészségünkre. Az ún. gyógyhatású élelmiszerek olyan alkotórészeket tartalmaznak, amelyeknek szerepük van különféle betegségek megelőzésében vagy a már kialakult betegségek gyógyításában.

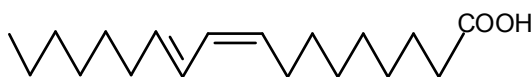
Az élelmiszereink zsírsjai közül a tejsírt gazdag telítettsírsav-tartalma miatt nemrég még egyértelműen károsnak tartották az egészségre. A tejsír a magas telítettsírsav-tartalom mellett azonban az újabb vizsgálatok szerint olyan komponenseket is tartalmaz, amelyek rákellenes és érlelmeszedést megelőző hatását több állatkísérlet során is észlelték. Ezen komponensek közül kiemelkednek a konjugált linolsavak (KLS), amikről többen jelentős pozitív élettani hatást állapítottak meg. Ezt követően kezdték vizsgálni élelmiszereink KLS-tartalmát. Ennek során megállapították, hogy a különböző élelmiszerek KLS-koncentrációját több tényező jelentősen befolyásolhatja. Így pl. megállapították, hogy a nyerstej KLS-tartalmának egy része a tehének bendőjében zajló biokémiai reakciókból származik, de a tejfeldolgozás közben, az egyes technológiai lépések során is keletkezhetnek konjugált linolsavak. Felmerült annak lehetősége is, hogy a technológiai folyamatokat úgy alakítsuk ki, hogy kedvezzenek a KLS képződésének és ezáltal KLS-ben gazdag kedvező élettani hatású terméket kapjunk. E bonyolult beavatkozás során azonban vigyázni kell arra, hogy a KLS-tartalom növekedése ne járjon együtt egyéb nemkívánatos változásokkal.

20.3.2.2. A konjugált linolsav definíciója

A konjugált linolsav megnevezés azon szerkezeti és geometriai linolsav-izomerek gyűjtőneve, amelyek a linolsavval szemben nem izolált, hanem konjugált helyzetben tartalmaznak két kettőskötést (20.6. ábra).



cisz9,cisz12-C18:2 (linolsav)



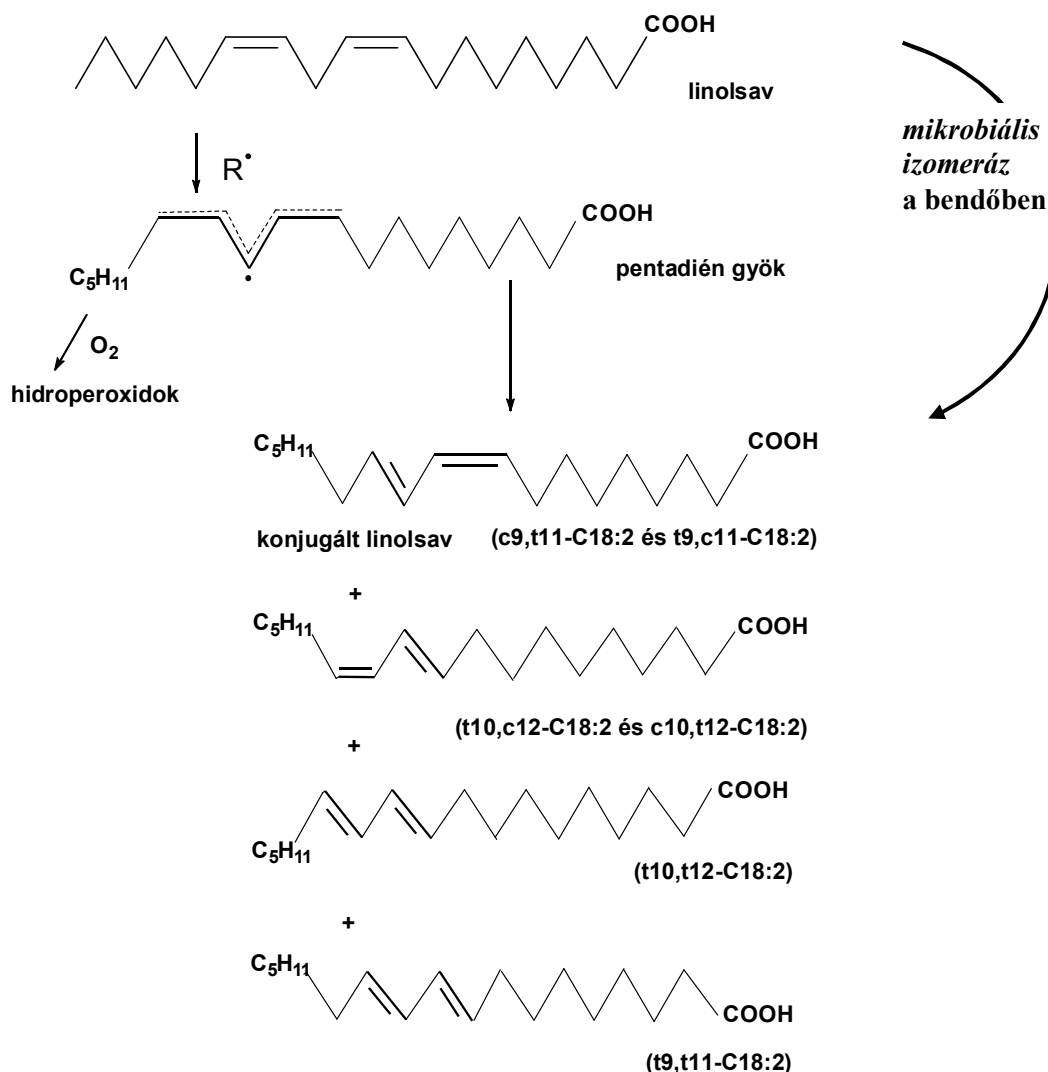
cisz9,transz11-C18:2 (konjugált linolsav, KLS)

20.6. ábra. A linolsav és a konjugált linolsav képlete

A kettős kötések leggyakrabban a 9,11 vagy a 10,12 helyzetben találhatóak, de előfordulhatnak még egyéb pozícióban (8,11 vagy 11,13) is. Mindkét kettős kötés lehet cisz- vagy transz konfigurációjú.

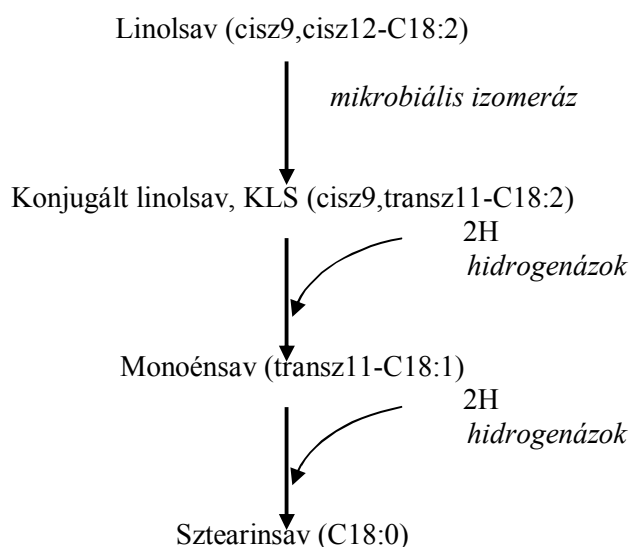
20.3.2.3. A konjugált linolsavak kialakulása és kémiai előállítása

A KLS a természetben főként a többszörösen telítetlen zsírsavak biológiai hidrogénezése során keletkezik. Ez a bakteriális enzimtevékenység főként a kérődző állatok bendőjében zajlik, és feltételezik, hogy a patkányok emésztőrendszerében található mikrobák is képesek a szabad linolsavat cisz-9,transz-11 konjugált linolsavvá alakítani (20.7. ábra). Többen azt tapasztalták ugyanis, hogy a patkányok linolsavfogyasztása befolyásolta szöveteik KLS-tartalmát; magasabb linolsavfogyasztás esetén a patkányszövetekből izolált lipidek KLS-tartalma is jelentősen nagyobb volt, mint a kevesebb linolsavat fogyasztó patkányoké.



20.7. ábra. A konjugált linolsavak kialakulása szabad gyökös reakcióval, ill. biológiai hidrogénezéssel linolsavból

A természetben leggyakrabban előforduló KLS-izomer a cisz-9,transz-11-C18:2 (c9, t11-KLS), amely a linolsav (cisz-9,cisz-12-C18:2) biológiai hidrogénezésének első lépésében keletkezik. Különböző baktériumok mikrobiális enzimjeinek hatására a linolsavból először konjugált linolsav (cisz-9,transz-11-C18:2) képződik, majd a cisz-9 kettős kötés két hidrogénatom felvételével telítődik, amelynek során egy egyszeresen telítetlen zsírsav (transz-11-C18:1) jön létre, ami további hidrogénezéssel sztearinsavvá (C18:0) alakulhat át (20.8. ábra).



20.8. ábra. A linolsav biológiai hidrogéneződése a bendőben

Az újabb vizsgálatok eredményei alapján feltételezhető, hogy a KLS a transz-C18:1 zsírsavakból is kialakulhat a tehének tejmirigyében vagy a patkányok májában a 9-es és a 10-es helyzetben lévő szénatomról való dehidrogénezéssel, a $\Delta 9$ -deszaturáz reakcióval. A konjugált linolsavak kémiai reakciókban enzimek közreműködése nélkül is kialakulhatnak a linolsavban gazdag olajok lúgos izomerizációja vagy a ricinusolaj víztelenítése közben. A linolsav in vivo szabad gyökös autooxidációja során is keletkezhet KLS, nagy kéntartalmú fehérjék jelenlétében. A KLS előállítására kifejlesztettek egy olyan módszert is, amellyel metil-c9,t11-KLS-t lehet előállítani ricinusolajból nyert ricinussav-metilészterből.

20.3.2.4. Élelmiszereink konjugáltlinolsav-tartalma és a mennyiségüket befolyásoló tényezők

A konjugált linolsavak a húsban, a tojásban és kisebb mértékben a növényi olajokban is megtalálhatók, ennek ellenére a tejtermékek a legjelentősebb konjugáltlinolsav-források az emberi táplálkozásban. Általánosságban elmondható, hogy a kérődző állatok termékei több KLS-t tartalmaznak, mint az egygyomrúaké. A bárányhús, a marhahús és a tehéntej kb. tízszer annyi KLS-t tartalmaz (0,5–1 g KLS/100 g zsír), mint a sertéshús, a lazac és a tojássárgája. A biológiai hidrogénezés során képződött KLS egy része a kérődzők bendőjéből továbbjut a vékonybélbe, ahol a többi, táplálékeredetű zsírsavval együtt felszívódik, átésztereződik és végül is az állat egész szervezetébe eljut. Az egygyomrú állatok zsírjának KLS-tartalma származhat a takarmány húsliszt- és faggyútartalmától, másrészt elképzelhető, hogy az egygyomrú állatok egyes bélmikroorganizmusai is képesek (a kérődzők bendőjéhez képest kisebb mértékben) a linolsavat egy hidrogénezési folyamat során konjugált linolsavakká alakítani.

A növényi olajokban és a margarinban egyes kutatók nem találtak KLS-t, mások viszont – igaz, hogy csak kis koncentrációban – de ki tudták mutatni ezeket a zsírsavakat. A hidrogénezett növényi olajok KLS-tartalmában mért különbségeket az eltérő hidrogénezési körülményekkel indokolták. Az élelmiszergyártás egyes lépései, különösen a hőkezelés és a fermentációs eljárások, befolyásolhatják a termék KLS-tartalmát. Főként a sajtgyártás során találtak úgy, hogy a hőkezelés és az érlelés jelentősen növeli a KLS-tartalmat, míg egyéb élelmiszerek esetében nem tapasztaltak jelentős KLS-tartalom-változást a feldolgozás során.

A nyerstej konjugáltlinolsav-tartalma

A tejszírsírban a KLS-izomerek közül a c9,t11-KLS a teljes KLS-tartalom több, mint 85%-át teszi ki. A világ több országában vizsgálva a tejszír KLS-tartalmát, az értékek 0,2–2,0 g KLS/100 g tejszír között változtak. Egy 1996-ban Svédországban végzett vizsgálat szerint a tejszír KLS-tartalma 0,25–1,7 g KLS/100 g zsír között változott. A c9,t11-KLS-izomer átlagos mennyisége 0,45 g volt 100 g tejszírsírban. 14 EU országból származó több mint 2000 tejminta vizsgálata során megállapították, hogy c9,t11-KLS átlagos koncentrációja a tejszírsírban 0,76 g/100 g volt, amely értékek 0,13–1,89 g/100 g között változtak. A minták cisz-C18:2, transz-C18:2 és teljes transz-zsírsav-tartalma átlagosan 3,67 g, 1,12 g és 4,92 g/100 g zsír volt.

A nyerstej konjugáltlinolsav-szintjére ható tényezők

A tej KLS-tartalmát elsősorban a takarmányozás befolyásolja, és a tartási mód, valamint az évszak hatása is takarmányozási okokra vezethető vissza. A nyerstej KLS-szintjét leginkább a takarmány linol- és linolénsav-tartalma, energia- és rosttartalma, a takarmány zsírtartalmának szabad vagy kötött formája, kötött forma esetén a hordozó szerkezete és a napi etetések száma befolyásolja. Már 1935-ben azt tapasztalták, hogy tavasszal a legelőre kihajtáskor a tehéntejben levő zsírsavak fényabszorpciója jelentősen megnőtt az ultraibolya tartományban, amiből a tej KLS-tartalmának növekedésére következtek. A tej konjugáltdiénsav-tartalmának spektrofotometriás meghatározásával megállapították, hogy a nyerstej KLS-tartalma nyáron kétszer olyan nagy (1,46%-a az összes zsírsavnak), mint télen (0,78%). Többen úgy találták, hogy a legelőre kihajtott tehenek tejének szignifikánsan nagyobb volt a KLS-tartalma, mint a szénával és/vagy szilázssal takarmányozott teheneké. Francia kutatók a transz-zsírsavak esetében is szezonális változást tapasztaltak, ugyanis a transz-C18:1-tartalom kétszer nagyobb volt júniusban, mint a januártól márciusig terjedő időszakban.

2000-ben 12 EU-tagországból származó tejminták c9,t11-KLS és transz zsírsav-tartalmának gyakorisági eloszlását tanulmányozták háromféle tartási és takarmányozási módszer összehasonlításával. Németországban a tejminták c9,t11-C18:2 izomer koncentrációjának eloszlása 0,4 g/100 g zsír és 1,4 g/100 g zsír értékek körül ért el maximumot, azaz ez a két KLS-koncentráció volt a leggyakoribb a vizsgált mintákban. Az első maximum a téli, a második a nyári takarmányozás esetében vett tejmintákhoz tartozott. Hasonló eloszlásokat kaptak a tejminták teljes transz-C18:1- és transz-C18:2-tartalmára, valamint a t11-C18:1 és a t11,c15-C18:2-zsírsav-tartalomra. A teljes transz-zsírsav-tartalom (transz-C16:1, transz-C18:1 és transz-C18:2 összege) eloszlása hasonló volt a KLS-éhez. A francia tejminták c9,t11-C18:2- és transz-C18:1-zsírsav-tartalmának eloszlása is mutatta a téli és a nyári szezonális maximumot. A francia tejszírok átlagos KLS- (0,74%), transz-C18:1- (3,58%) és teljes transz-zsírsav-tartalma majdnem azonos volt a németországi tejszírokra kapott értékekkel. Franciaország és Németország kivételével a tejszírminták KLS-koncentráció-gyakorisága nem mutatott sem nyári sem téli maximumot, ami azzal magyarázható, hogy ezen országok éghajlati adottságai és ezzel összefüggésben a takarmányozási körülmények is eltértek egymástól. Az írországi teheneket pl. egész évben legeltették, ezért a legnagyobb gyakorisággal a legmagasabb koncentrációk fordultak elő náluk.

A legeltetett állatok többszörösen telítetlenzsírsav-fogyasztása nagyobb, mint az istállóban tartott és takarmányozott társaiké, ezért mivel a transz-zsírsavak a linolsav és a linolénsav részleges biológiai hidrogénezésével keletkeznek a szarvasmarhák bendőjében, így nyáron a nagyobb többszörösen telítetlenzsírsav-tartalmú takarmány etetésekor több transz-zsírsav keletkezik, mint télen. A tejszír linolénsav-koncentrációjának gyakorisága szintén két értéknél ér el maximumot, azonban takarmányozásfüggő változás nem volt felismerhető. Szoros volt az összefüggés a tejszír c9,t11-C18:2-szintjének változása és a transz-C18:1-, t-11-C18:1-, transz-

C18:2-, t11,c15-C18:2-, illetve a teljes transz-zsír-sav-tartalom változása között. Mások szintén pozitív korrelációt találtak a tej KLS-tartalma és t11-C18:1 zsír-sav-tartalma között, amire magyarázatul szolgálhat az a tény, hogy in vivo körülmények között a c9,t11-C18:2 KLS-izomer a t11-C18:1 zsír-savak fő prekürzora, másrészt a t11-C18:1 a transz-C18:1 zsír-savak fő izomere a tejsírban és a kérődzők gyomrában.

Svédországban is szoros lineáris kapcsolatot fedeztek fel a tejsír c9,t11-C18:2-KLS-tartalma és t11-C18:1-tartalma között, amiből arra lehet következtetni, hogy a biológiai hidrogénezés reakciójának első két lépése gyorsan megy végbe. Miután a transz-11-kötés izomeráz enzim közreműködésével létrejött, a cisz-9-kötés hidrogéneződik és t11-C18:1 keletkezik. E két reakciót a *B. fibrisolvens* baktérium enzimej katalizálják, de a t11-C18:1 → C18:0 második hidrogénezési lépés független ezen baktériumok tevékenységétől, ami a teljes hidrogénezési folyamat reakciósebességét is meghatározza. Francia kutatók szintén szoros összefüggést találtak a sajtból származó zsírminták c9,t11-C18:2- és t11-C18:1-tartalma között. A linolsav és a c9,t11-C18:2 mennyisége között negatív kapcsolatot, míg a linolénsav és a c9,t11-C18:2 mennyisége között pozitív kapcsolatot véltek felfedezni. A linolénsav és a t11,c15-C18:2 koncentrációjának szoros kapcsolata a linolénsav biológiai hidrogénezésének a következő lehetséges metabolikus útvonalára utalhat: c9,c12,c15 → c9,t11,c15 → t11,c15 → t11. Megállapították azt is, hogy átlagos takarmányozási körülmények között a tejsír KLS-tartalmának táplálkozási szempontból kívánatos növekedése mindig együtt jár a nemkívánatos transz-C18:1 és transz-C18:2 zsír-savak mennyiségének növekedésével.

Nagyobb mennyiségű KLS akkor tud kérődzők bendőjéből felszívódni, ha a táplálék telítetlenzsír-sav-tartalma magas, és/vagy ha a biológiai hidrogénezés folyamata valamilyen okból nem teljes. Zöldtakarmányok zsírja gazdag linolénsavban, a szójaolaj, a gyapotmagolaj és a napraforgóolaj pedig linolsavban. Ezen tényekre figyelemmel azt találták, hogy legeltetett tehének tejeinek nagyobb a KLS-tartalma akkor, ha az állatok kiegészítésként nem kaptak koncentrált takarmányt. Ha azonban teljes zsirtartalmú extrudált szójadarat, teljes zsirtartalmú extrudált gyapotmagot vagy napraforgóolajat kaptak kiegészítésként, a tej KLS-értéke nőtt, és szintén nagyobb KLS-szintről számoltak be teljes zsirtartalmú repcemag etetése esetében. Magától adódik a kérdés, hogy a legeltetett tehének, illetve a telítetlen zsír-savakban gazdag takarmánnyal etetett tehének esetében a tej KLS-szintjének emelkedése összefüggésbe hozható-e az emelt szintű linolsav- illetve linolénsav-bevitellel.

Vizsgálatokat végeztek annak megállapítására, hogy lehetséges-e gazdaságosan növelni a tej KLS-tartalmát a takarmányok eltérő linolsav- és linolénsav-koncentrációjával anélkül, hogy a tej egyéb összetevői jelentős mértékben megváltoznának. Egy kísérletben a tejelő tehének takarmányának egy részét roppantott nyers szójababbal, roppantott és pörkölt szójababbal, szójababolajjal, valamint lenolajjal helyettesítették. A szójabab kiegészítés megnövelte a takarmányok sztearinsav-, linolsav- és linolénsav-tartalmát a kontrolltakarmányéhoz képest, és a lenmagolaj-tartalmú takarmányok linolénsav-tartalma is magasabb volt a többi takarmányénál. A szójaolajat és a nagyobb koncentrációban lenolajat fogyasztó tehének csoportjánál a tejhozam és a tej zsirtartalma alacsonyabb volt, mint a többi csoport esetében.

A megnövekedett linolsav- és linolénsav-bevitel is okozhat tejsirtartalom-csökkenést és emellett megnövelheti a tej C18:1-zsír-sav-tartalmát, mivel a bendőben lezajló hidrogénezés során a linolsav és a linolénsav részben C18:1 zsír-savakká alakul át. Az előzőekkel szemben nyers és pörkölt szójababot fogyasztó csoportok esetében nem észlelték a tejsirtartalom csökkenését a kontrollcsoportéhoz képest, míg a szójaolajat és a lenolajat fogyasztó csoport esetében a tejsirtartalom csökkent. Többen tapasztalták, hogy a többszörösen telítetlen olajok szabad formában való fogyasztása csökkentette a tej zsirtartalmát, olajos magvak fogyasztásakor viszont a tej zsirtartalma nem változott. Ez azzal magyarázható, hogy a bendőbeli emésztés során a magvakból lassabban szabadul fel az olaj, mintha azt szabad formában adták volna a takarmányhoz. Ezért a transz-C18:1 zsír-savak nem halmozódnak fel olyan értékben a bendőben,

mint a szabad olaj etetése esetében. Ennek következtében a bendőből felszívódó transz-C18:1 zsírsavak mennyisége is kevesebb, amelyek így kevésbé csökkentik a tej zsírtartalmát. A takarmány eredetű hosszú szénláncú zsírsavak koncentrációjának növekedése azzal jár, hogy azok fokozottabb mértékben beépülnek a tejzsírba, és ezzel gátolják a tejmirigyben a közepes láncosságú zsírsavak szintézisét.

A tej KLS-tartalma a pörkölt szójababot, a szójaolajat, a kevesebb és több lenolajat fogyasztó csoportok esetében 97, 438, 305 és 315%-kal emelkedett meg a kontrollcsoporthoz képest. Egyedül a nyers szójabab fogyasztása nem növelte meg a tej KLS-szintjét, ami azzal magyarázható, hogy az a nyers szójababból lassabban szabadul fel a bendőben, a hőkezelt szójababnál ugyanis a hőkezelés hatására törekenyebbé válnak a babszemek. A 3,6%-os szójaolaj-tartalmú táp nagyobb mértékben növelte a tej KLS-szintjét, mint a 4,4% lenmagolajat tartalmazó táp, amiből az a következtetés vonható le, hogy szójababolaj etetésével a tej KLS-szintje sokkal hatékonyabban emelhető. A szójababolaj és a lenmagolaj kombinációjával is jelentős KLS-tartalom-növekedést lehet elérni a tej zsírtartalmának számottevő csökkenése nélkül.

Egy másik kísérletben öt kísérleti csoport takarmányát 0,5, 1, 2 és 4% szójaolajjal ill. 1% lenolajjal egészítették ki. A 2 és 4%-os szójaolaj hozzáadás esetében a táplálék magas szabad olajtartalma miatt a tej zsírtartalma szignifikánsan csökkent, KLS-tartalma viszont 237 és 314%-kal nőtt a kontrollcsoporthoz képest. A 0,5 és 1% szójaolajat és az 1% lenolajat tartalmazó takarmányt fogyasztó csoportok tejének KLS-tartalma nem különbözött a kontrollcsoportétól, azaz nem volt olyan csoport, ahol a KLS-szint növekedése mellett a tejzsírtartalom változatlan maradt volna. A tej KLS-tartalma nem nőtt lineárisan a takarmány szójaolaj-tartalmának növekedésével, a közepes láncosságú zsírsavak arányának csökkenése viszont a zsírsav-összetételben belül arányos volt a takarmányhoz adott zsír mennyiségének növelésével.

Egy hasonló kísérletben azt vizsgálták, hogy 1, 2 és 3% halolaj a takarmányban milyen hatással van a tej KLS-koncentrációjára. A kontrolltakarmányban nem volt kimutatható mennyiségű C20:5 eikozapentaénsav és C22:6 dokozahexaénsav, amelyeket a halolaj jelentős mértékben tartalmazott. A halolaj bevitele csökkentette a szárazanyag-bevitelt, és jelentős mértékben csökkentette a tej zsírtartalmát. A halolajbevitel növelésének hatására a hosszú láncú zsírsavak aránya nőtt, a rövid láncúaké csökkent, és a tejzsír gazdagodott telítetlen zsírsavakban. 2%-ra növelve a halolaj mennyiségét, a tejzsír KLS- és transz-C18:1-zsírsav-tartalma szignifikánsan nőtt. A c9,t11-C18:2 mennyisége (a legjelentősebb KLS-izomer) is a 2%-os halolajszintnél érte el maximumát, ami 370%-os növekedést jelent a kontrollcsoporthoz képest, míg a t9,t11-C18:2 izomer mennyisége 270%-kal nőtt. Nincs tudomásunk arról, hogy a halolaj fogyasztása milyen biológiai folyamatokon keresztül növeli a tej KLS-szintjét, mivel a halolaj linolsavtartalma alacsony. Bár a halolaj bendőbeni lebontása nem teljesen tisztázott, vizsgálatok szerint a halolaj lipidjeinek kevesebb, mint 50%-a hidrolizál a bendőben, szemben a növényi olajokkal, amelyeknél ez az arány 90%. Arról sincs tudomásunk, hogy a 20 és 22 szénatomos zsírsavak átalakulhatnak-e oxidációval a bendőben 18 szénatomos zsírsavakká, és arra sincs bizonyíték, hogy ezek a zsírsavak részt vennének a biológiai hidrogénezésben. Így feltételezhető, hogy a halolaj valamely egyéb komponense serkentette a KLS képződését, ami a takarmány más összetevőivel bevitt linolsavból alakult ki.

Egy másik kísérletben tejelő tehenek takarmányát a tej KLS-tartalmának növelése érdekében magas linolsavtartalmú napraforgóolajjal egészítették ki. A kísérlet második hetében több tehen tejének KLS-mennyisége az első hét végén mért 3,7 g/100 g-ról jelentős mértékben 2,3 g/100 g-ra esett vissza. A harmadik héten a csökkenés tovább folytatódott 1,6 g/100 g-ra, ami arra utal, hogy a kísérleti takarmány etetésének első néhány hetében a hidrogénezési folyamatok a bendőben jelentősen megváltozhatnak.

A tej KLS- és t11-C18:1-tartalmát jelentősen befolyásolhatja a takarmány rost- és keményítőtartalma is. Egy báránnyal végzett kísérletben úgy találták, hogy a takarmány

rosttartalmának csökkenésével és keményítőtartalmának növelésével a végső hidrogénezési lépés lelassult és több t11-C18:1 zsírsav keletkezett, amely a sztearinsav helyett a hidrogénezési folyamat fő termékévé lépett elő. Mások is arra a következtetésre jutottak, hogy magas keményítő- és alacsony rosttartalmú tápok etetésekor az utolsó hidrogénezési lépés gátolt, és a tej t11-C18:1-tartalma jelentősen megnő. Mások a t11-C18:1-koncentrációjának emelkedése mellett a c9,t11-C18:2-koncentráció emelkedését is megfigyelték.

Három kísérleti tehéncsoportnál, ahol a kontrollcsoportban a koncentrált és a terimés takarmány aránya szárazanyagra vonatkoztatva 50-50%, a két kísérleti csoportban pedig 65–35% volt, (több keményítő, alacsonyabb rost- és magasabb cisz-9-C18:1 zsírtartalom) vizsgálták a tej KLS-tartalmát. Az etetési technológia hatását vizsgálva a kontrollcsoportban és az egyik kísérleti csoportban a szükségletnek megfelelő takarmányozás folyt, a második kísérleti csoportban pedig az állatok étvágy szerint fogyaszthatták a takarmányt. A három csoport közül az adagolt takarmányozású kísérleti csoport tejének volt a legmagasabb (1,13 g/100 g zsír) a c9,t11-KLS-tartalma, ami szignifikánsan különbözött a szintén adagolt takarmányozású kontrollcsoporttól (0,55 g/100 g zsír). A két kísérleti csoportot összehasonlítva az étvágy szerint takarmányozott csoport tejének c9,t11-KLS-tartalma (0,66 g/100 g zsír) jelentősen kisebb volt, mint az adagolt takarmányú kísérleti csoporté, és ugyanezt a tendenciát figyelték meg a tej t11-C18:1-zsírsav-tartalma esetében is.

Az etetési gyakoriság tejsírtartalomra és zsírsav-összetételre gyakorolt hatását vizsgálva megállapították, hogy a tejsírtartalom az etetések számával nő. A többszörösen telítetlen zsírsavak összegében nem tapasztaltak különbséget, de a t11-C18:1 zsírsav mennyisége a tejben kissé nagyobb volt a naponkénti kétszeri etetésnél a napi egyszeri etetéshez viszonyítva. Egyesek arra a következtetésre jutottak, hogy a t11-C18:1 zsírsav mennyisége csak kismértékben függ az etetés gyakoriságától, mások viszont azt tapasztalták, hogy a c9,t11-C18:2 és a t11-C18:1 zsírsavak mennyisége jelentős mértékben különbözött az adagolt és az ad libitum takarmányozású csoportok között.

Néhányan arra a következtetésre jutottak, hogy az állatok tartási módja is befolyásolhatja a tej KLS-tartalmát. Összegezve tehát, amennyiben a tehéntej KLS-tartalmának növelése a cél, akkor ez megvalósítható különféle takarmányok összeállításával, azonban a takarmányozáson kívül egyéb tényezők is jelentős szerepet játszhatnak a nyerstej KLS-tartalmának alakításában, hisz a legtöbb tanulmányban nagy egyedek közötti eltéréseket figyeltek meg.

Egyéb tejtermékek konjugáltlinolsav-tartalma

A tejtermékek KLS-tartalma egy svédországi felmérés szerint 0,46–0,71 g/100 g zsír, az USA-ban pedig 0,36–0,70 g/100 g zsír között van. Németországban a tejtermékek zsírjában a konjugált linolsav mennyisége 0,40–1,70%. Mindhárom országban a sajt KLS-tartalmát nagyobbak találták a többi tejtermékénél. A pasztörözött tej KLS-tartalmát 0,98, a sűrített tejét 0,63–0,70, a homogénezett tejét 0,55 g/100 g zsírnak mérték. Nagy szórást tapasztaltak a joghurtok (0,69±0,38 g/100 g zsír) KLS-tartalmában. A Svédországban kapható tejtermékeket vizsgálva megállapították, hogy a különféle joghurtok, a vaj, a tejszínhab és a tejföl KLS-tartalma 0,45–0,62 g/100 g zsír értékek között változott. Nem tapasztaltak jelentős eltérést egyik termék esetében sem, és a teljes és csökkentett zsírtartalmú joghurtok zsírjának KLS-tartalma sem különbözött jelentősen egymástól. A négy és tíz hónap közötti érlelésű sajtok 0,50–0,71 g/100 g zsír KLS-t tartalmaztak. A KLS-tartalom szórása a tejtermékek esetében kisebb volt a nyerstej esetében mérténél. Ausztráliában a vaj KLS-tartalmát 0,94–1,19 g/100 g zsír között mérték. A különféle tejtermékek KLS-tartalmát meghatározva legkisebb értéket a nem zsíros, fagyasztott tejdesszertnél (0,06 g/100 g zsír), a legnagyobbat pedig egy sűrített tejnél (0,7 g/100 g zsír) mérték. 13-féle különböző sajtot ellenőrizve a KLS-tartalom 0,29–0,71 g/100 g zsír között változott, az ömlesztett sajtok pedig átlagosan 0,50 g/100 g zsír KLS-t tartalmaztak. Ezen

utóbbi esetben a különböző technológiával készült sajtok közötti eltérés csekély volt. A friss és érett sajtok zsírjában alig volt különbség a KLS-tartalomban (0,51–0,54 g/100 g zsír), ahol a KLS-izomerek 82–88%-át a c9,t11 KLS-izomer tette ki. Azok az ömlesztett sajtok, amelyekhez savófehérje-koncentrátumot is adtak a feldolgozás során, kb. négyszer annyi (0,88 g/100 g zsír) KLS-t tartalmaztak, mint a nem ömlesztett sajtok (0,19 g/100 g zsír). Az ömlesztett sajtokban a hét azonosított KLS-izomer legnagyobb mennyiségét a t9,t11-KLS és a t10,t12-KLS tette ki, míg a c9,t11-KLS csak 17,1%-a volt a teljes KLS-tartalomnak. Az izomerek pontos megállapításához rendkívül precíz laboratóriumi módszerek szükségesek, ugyanis az izomerek aránya a hibás minta-előkészítés hatására is megváltozhat, mivel az egy vagy több cisz-konfigurációjú kettős kötést tartalmazó izomerek sztereoizomerizációval transz-formájúvá alakulhatnak.

A vaj konjugáltlinolsav-szintjének növelése

A tejszír KLS-szintjének növelése során egyrészt a bendőbeli hidrogénezési folyamatokba avatkoznak be a tehenek takarmányozásán keresztül, megnövelve a bendőt elhagyó KLS mennyiségét és ezen keresztül a tejszírba való beépülés mértékét, a másik módszer szerint pedig a vaj összetételét biológiai vagy fizikai-kémiai eljárásokkal módosítják a KLS-tartalom növelése érdekében.

Egy kísérletben a vajgyártás alapanyagául szolgáló tej KLS-tartalmát napraforgóolaj-tartalmú takarmánnyal növelték meg. Mivel a kísérletben a tej KLS-szintje az egy hétig tartó kísérleti takarmány etetése után volt a legnagyobb, a tejet az első hét végén gyűjtötték a vajgyártáshoz. Ezen túl még az egyedek között is szelektáltak, és a legnagyobb KLS-tartalmú tehenek tejét használták a vaj előállítására. Míg a napraforgóolajat nem fogyasztó kontrollcsoport tejéből készült vaj csupán 0,5 g/100 g zsír KLS-t tartalmazott, a kísérleti csoport tejéből készített vaj KLS-tartalma ennek nyolcszorosa (4,1 g/100 g zsír) volt. Mindkét vajban a c9,t11-C18:2 zsírsav volt a legfőbb KLS-izomer, bár aránya a napraforgóolaj-tartalmú tápot fogyasztó állatok termékében (90,8%) nagyobb volt, mint a kontrollcsoportéban (76,5%). A kísérleti vajban a transz-C18:1 zsírsavak aránya majdnem háromszor annyi volt, mint a kontrollban, és ez különösen vonatkozott a t11-C18:1 izomerre is. A KLS-ben gazdagított vaj több telítetlen zsírsavat és kevesebb rövid és közepes láncosságú zsírsavat tartalmazott.

Egy másik eljárás szerint a már kész vajhoz adtak szintetikus előállított konjugált linolsavat, valamint enzimek készítményt, és a vaj trigliceridjeit enzimes módszerrel részlegesen átészterezték. A leghatékonyabb *lipáz* enzimek készítmény kiválasztását követően az enzim hőmérsékleti optimumán, 50 °C-on, különböző inkubálási időt alkalmazva megállapították, hogy a trigliceridekbe beépült KLS mennyisége az inkubálás kezdetén rohamosan nőtt, majd minden enzimkoncentráció esetén egy telítési görbéhez hasonlóan változott az idő függvényében. Ha a szubsztrát mennyiségéhez képest növelték az enzim koncentrációját, hamarabb érték el a telítési értéket. Ha immobilizált enzimmel csőreaktorokban folyamatos üzemeltetéssel dolgoznának, akkor lehetőség nyílna a konjugált linolsavban dúsított vaj előállítására. Az átészterezés hatékonyságát azonban jelentős mértéken befolyásolja a vaj víztartalma, ugyanis 0,15% víztartalom felett a KLS-bevitel mértéke csökken, a nem kívánt hidrolízis termékek mennyisége pedig nő. Megváltozik az átészterezés során a trigliceridek szénatomszám szerinti megoszlása is, mert a hosszú szénláncú zsírsavak főleg a közepes és rövid szénláncú zsírsavak helyett épülnek be az acil-gliceridekbe.

KLS-ben gazdag tejszír-frakciót elő lehet állítani szuperkritikus folyadékextrakcióval is, hisz a vízmentes tejszír-ból szén-dioxidos szuperkritikus folyadékextrakcióval olyan frakciót lehet kinyerni, amely gazdagabb a hosszabb szénláncú és telítetlen zsírsavakat tartalmazó trigliceridekben, mint az eredeti tejszír.

A sajt konjugáltlinolsav-szintjére ható tényezők

A sajtok KLS-tartalmát többen nagyobbban mérték a többi tejtermék KLS-tartalmánál. Megállapították, hogy a sajtok KLS-szintjét befolyásolhatja a tejalapanyag KLS-tartalma, az érlelési idő és az ömlesztett sajtok esetében a gyártási folyamatok során alkalmazott hőkezelés, és nem zárható ki a starterkultúra mikrobáinak KLS-termelése sem. A különféle sajtok KLS-tartalmát vizsgálva megállapították, hogy azok az ömlesztett sajtok, amelyekhez savófehérjekoncentrátumot is adtak a feldolgozás során, kb. négyszer annyi KLS-t tartalmaztak, mint a fehérjekiegészítés nélküliek. Megállapították, hogy KLS képződhet a feldolgozás során a hőkezelés hatására, az érés során a linolsav szabadgyökös oxidációjával és hatással lehet a KLS mennyiségére a fehérje eltérő minősége is. Ugyanabból a sajtból készített ömlesztett sajt sok esetben több KLS-t tartalmazott, mint a kiindulási anyag, ha az ömlesztést levegőn, normál nyomáson végezték, nitrogén atmoszférában végezve a műveleteket viszont nem tapasztaltak növekedést a KLS-tartalomban. Nőtt a KLS-koncentráció a növekvő részarányú savófehérjekoncentrátum hatására, nem változott viszont a c9,t11-KLS izomer aránya az ömlesztett Cheddar sajtban.

Mivel a KLS-t a bennőbaktériumok is elő tudják állítani a linolsav izomerizációjával, elképzelhető hogy a starterkultúráknak is szerepük van a tejtermékek KLS-tartalmának alakításában. A kísérletek során bebizonyosodott azonban, hogy nem vagy csak jelentéktelen különbségeket találtak a különböző starterkultúrákkal készített Cheddar, Grevé és Herrgardost sajtoknál. Az esetleges különbségekről megállapították, hogy az a sajttej magasabb KLS-tartalmára vezethető vissza. Ezen kísérleti eredmények ellenére megállapítható, hogy az élelmiszer-előállítás során használt starterkultúrák tartalmazhatnak olyan mikroorganizmusokat, amelyek KLS-t állítanak elő. Több szintenyészetben előforduló baktérium KLS-termelő képességét vizsgálva arra a következtetésre jutottak, hogy a vizsgált tizenkét faj illetve fajta közül mindössze három olyan fajta termel KLS-t, amelyeknek fontos szerepük van a svéd típusú sajtok jellegzetes aromájának és lyukazottságának kialakításában.

A baktériumsejtek és a tápközegek analízise során megállapították, hogy a KLS inkább a sejteken kívül fordul elő. Az összes KLS-tartalom 70–90%-át a c9,t11-C18:2 és a t9,c11-C18:2 izomer tette ki, és a c9,t11-C18:2 izomer összes KLS-n belüli aránya hasonló volt a tejtermékekben általában mértéknek. E két izomeren kívül kisebb mennyiségben előfordultak még a t10,c12-C18:2, a t9,t11-C18:2 és a t10,t12-C18:2 konjugált linolsavak is. A KLS-t termelő három fajtára a szabad linolsav antibakteriális, növekedést gátló hatást gyakorol. A KLS-t termelő fajták linolsavtűrése és az általuk termelt KLS mennyisége egyenesen arányos volt egymással, ezért a szabad linolsav KLS-sé alakítása ezen fajták esetében méregtelenítési folyamatnak fogható fel, amelynek során a baktériumok a számukra káros linolsavat úgy próbálják meg hatástalanítani, hogy KLS-sé alakítják. Ez valószínűleg azért történik meg, mert a transz-konfigurációjú kettős kötéseket is tartalmazó zsírsavak antimikrobás hatása kisebb, mint a cisz-konfigurációjú kettős kötéseket tartalmazóké. Az extracelluláris tér analízise azt mutatta, hogy a c9,t11-C18:2 és a t9,c11-C18:2 izomerek egy része tovább hidrogéneződött c9-C18:1 zsírsavvá. Ez a hidrogénezési folyamat eltér a bennőben folyó linolsav-hidrogénezéstől, mert ott a c9,t11-C18:2 KLS-izomer első lépésben t11-C18:1 zsírsavvá alakul. Felületaktív anyagokkal (pl. fehérjék) a szabad linolsav növekedést gátló hatását csökkenteni lehet, így feltételezhető, hogy ezek segítségével több KLS is termelődik. Elképzelhetőnek tartják a jövőben a termelési mechanizmus jobb megismerése után, a KLS-termelő baktériumfajtákkal a KLS-ben gazdag sajtok előállítását.

Az érlelési idő hatásával kapcsolatos eredmények ellentmondásosak. A Parmezán sajt magas KLS-szintje összefügghet a hosszú érlelési idővel, ezzel szemben nem találtak különbséget a friss és az érett Cougar sajtok KLS-tartalma között, és nem volt jelentős változás a Grevé és Herrgardost sajtok KLS-koncentrációjában a kilenc hónapos érlelés során. A sajtok KLS-

tartalma nem különbözik jelentősen a sajttej KLS-tartalmától, tehát sem a gyártás, sem az érlelési idő nem befolyásolta számottevően a két sajt KLS-tartalmát. Fentiekből következik az is, hogy a nyerstej eredeti KLS-tartalma nem vész el a feldolgozása során. Egy másik kísérletben az eltérő starterkultúrák, feldolgozási módok és érlelési időtartamok a KLS-tartalomra és izomeloszlásra gyakorolt hatását vizsgálva megállapították, hogy a Cheddar sajt esetében ezen paraméterek nem gyakorolnak jelentős hatást a teljes KLS-tartalomra, bár kismértékben befolyásolják a KLS-izomerek megoszlását.

Más vizsgálatok szerint úgy tűnik, hogy az indiai Ghee KLS-szintjét jelentősen befolyásolja annak előállítás módja, hisz a KLS mennyisége akár ötszörösére is növelhető az előállítás során. Sikerült a 0,5–0,6 g/100 g zsír KLS-t tartalmazó tehéntej nyersanyagból 2,5–2,8 g/100 g zsír KLS-tartalmú Ghee-t előállítani az alvadékképződés során fellépő mikrobiális fermentáció segítségével. A KLS-tartalmat befolyásolta a szűrési hőmérséklet is, hiszen magasabb hőmérsékleten több KLS keletkezett, mint alacsonyabb hőmérsékleten. Egyöntetű vélemény szerint a Ghee gyártása folyamán alkalmazott, hőközléssel járó folyamatok fehérje jelenlétében kétséget kizáróan felelőssé tehetők a KLS-szint növekedéséért.

A különböző tejtermékek illetve különböző sajtok KLS-tartalmának vizsgálatakor ügyelni kell arra, hogy a tejalapanyag KLS-tartalma döntően megszabja a termék összetételét, és így a KLS-szintben mért különbségek a nyerstej ingadozó KLS-szintjéből is adódhatnak.

A konjugált linolsavak biológiai hatása

Amint az közismert, a rákbetegségek kialakulásának több tényező lehet az oka, így mind genetikai, mind a káros környezeti hatások növelhetik a betegség kialakulásának kockázatát. A rákos halálesetek kb. 35%-a táplálkozási okokra vezethető vissza, ami a különféle rákbetegségek esetében 20 és 60% között alakul. A táplálék tartalmazhat olyan összetevőket, amelyek segítenek megelőzni a rákot, és lehetnek benne olyan alkotórészek is, amiknek szerepük lehet a rák kialakulásában. Manapság a rákmegelőzési stratégia egyik fontos része olyan élelmiszerek felfedezése, amelyeknek rákellenes hatásuk van. A legtöbb ilyen vizsgálat a növényi élelmiszerekre irányult, azonban a kutatások során nyilvánvalóvá vált, hogy az állati eredetű tejszír is több olyan, rákellenes hatású komponenst tartalmaz, mint amilyenek a konjugált linolsavak, a szfingomielinek, a vajsav és az ún. éterikus lipidek. A KLS rákellenes hatását először 1985-ben tapasztalták, amikor arra kerestek választ, hogy milyen mutagén anyagok keletkeznek a hús konyhatechnikai előkészítése során. Ekkor fedezték föl az antimutagén hatással rendelkező konjugált linolsavakat, melyek gátolták a baktériumok mutagenezisét és a 7,12-dimetilbenz(a)antracénnel (DMBA) kiváltott bőrrák kifejlődését egerekben. A hatóanyagként elkülönített frakcióban a következő négy KLS-izomert mutatták ki, amely a teljes KLS-tartalom több mint 90%-át adta: c9,t11; t9,t11; t10,c12; t10,t12. Ez a frakció gátolta a *citokrom P-450* enzim aktivitását, amely felelős a rákkeltő 2-amino-3-metilimidazo(4,5-f)kinolein (IQ) aktivitásáért a májban. Később kiderült, hogy a KLS in vivo körülmények között is gátolja a *P-450* enzim működését, és mivel az IQ aktiválását a májon kívül a *prostaglandin H-szintetáz* végzi, a KLS ezt az enzimet is gátolta. Ezt követően szintetikus KLS-készítmények hatását vizsgálva egereken a bőrrák kialakulására megállapították, hogy a KLS-sel kezelt egerekben a daganatos esetek száma mindössze fele annyi volt, mint a linolsavval kezelt kontrollcsoportokban. Később felfedezték azt is, hogy a szintetikus KLS meggátolta a benz(a)pirén (BP) által indukált káros szövetképződést egerek gyomrában. A kísérlet során azt tapasztalták, hogy a KLS beépült a szöveti sejtek membránjába, azonban a 9 KLS-izomer közül mindössze a c9,t11-C18:2 zsírsavat tudták kimutatni a foszfolipidekből. Ebből arra következtettek, hogy csak ennek az egy izomernek van biológiai aktivitása. A KLS még az α -tokoferolnál is hatékonyabb antioxidánsnak bizonyult a kísérlet során, hatékonysága

megközelítette a butil-hidroxi-toluolét, ezért feltételezhetően a KLS rákellenes hatása azon alapul, hogy a molekula in situ védelmet nyújt a membrántámadó szabad gyökök ellen.

Az *ornitin dekarboxiláz* (ODC) szintje magas a gyorsan osztódó szövetekben, de a magas ODC-érték a daganatképződés jele is lehet. Azt tapasztalták, hogy az egerek gyomrában rákkeltő anyaggal kiváltott ODC-aktivitás-növekedés KLS-adagolás hatására mérséklődött. Egy másik enzim, a *protein kináz-C*, többek között segíti a daganatképződést a szervezetben, mert a daganatkeltő anyagok egy része hatékonyan aktiválja a *protein kináz-C* enzimet. Ha a rákkeltő anyag beadása előtt KLS jut a szervezetbe, az meggátolja, hogy a rákkeltő anyag a *protein kináz-C-t* aktiválja, és ez lehet az egyik oka a KLS rákellenes hatásának a gyomorban és egyéb szövetekben.

A konjugált linolsavak gátolták a grillezett marhahúsban keletkező és több szervben DNS-elváltozást okozó IQ hatását. A KLS jelentős antikarcinogén hatásáról számoltak be emlőrák esetében patkányokon végzett kísérletek eredményei alapján. A takarmány növekvő KLS-tartalmának hatására az emlődaganatok száma 32–60%-kal csökkent, de csökkent az egyes állatokon található átlagos daganatszám és a daganatok tömege is. Ezzel párhuzamosan a fibroadenomák száma is kevesebb lett, ami azt jelzi, hogy a KLS mind a jó-, mind a rosszindulatú daganatok képződését gátolta. Ebből a kísérletsorozatból is kiderült, hogy ugyan a KLS összes izomere megtalálható volt a szövetek trigliceridmolekuláiban, de csak a *cisz-9,transz-11* izomer épül be a foszfolipid membránokba. A KLS antioxidáns tulajdonságai itt is megmutatkoztak, hisz az emlőmirigyekben csökken a lipidperoxidációs folyamatok intenzitása.

Alacsonyabb karcinogén dózis alkalmazása esetén még a 0,1 g/100 g zsír KLS-koncentráció hatására is jelentősen csökkent a kialakult emlődaganatok száma. A KLS hatása arányos volt annak dóziséval 1 g/100 g zsír szintig, viszont ezen érték fölötti bevitel esetében már nem volt tapasztalható további javulás. A KLS emlőrák kialakulását gátló hatása nem függött a táplálékkal bevitt zsíradék mennyiségétől és típusától, azonban a KLS csak akkor nyújtott védelmet a mellrákos daganatképződéssel szemben, ha adagolását már a rákkeltő anyag beadása előtt megkezdték. Mikor olyan patkányoknak adtak be karcinogén anyagot, amelyek emlőmirigyeik kifejlődése előtt nem kaptak KLS-t, akkor a védelem érdekében egész életük folyamán fogyasztaniuk kellett azt.

Sejtkultúrákban a KLS citotoxikus hatást gyakorolt az emberi rákos sejtekre. Ha az inkubálás során a vérben mért fiziológiai koncentrációban adták a sejttenyészetekhez a KLS-t, akkor a rosszindulatú melanoma, a colorektális rákos sejtek és a mell rákos sejtejének proliferációja jelentősen csökkent a kontrollkultúrákhoz képest. A KLS gátló hatása nagyobb volt, mint a β -karotiné, amely csak a mell rákos sejtejének proliferációját csökkentette. KLS hatására a rákos emlősejtek kevesebb leucint, uridint és timidint, a colorektális és a melanomasejtek pedig kevesebb leucint építettek be a kontrollkultúrákhoz viszonyítva. Ebből levonható az a következtetés, hogy a KLS a fehérje- és a nukleotidszintézis gátlásán keresztül gátolja a rákos sejtek növekedését, és ezen kívül elképzelhető az is, hogy a KLS befolyásolja az eikozanoid lebontást és a lipidperoxidációt is.

A KLS antioxidáns tulajdonságait vizsgálva megállapították, hogy a konjugált linolsav-metilészter (KLSM)-oldatok peroxidszáma lényegesen kisebb volt, mint a linolsav-metilészter (LSM)-oldatoké, sőt a zsírsav-metilészterek mennyisége is kisebb mértékben csökkent a megvilágítási idő függvényében, mint az LSM-oldatoknál. A vizsgálat során megállapították, hogy a KLSM-oldatokban a peroxidszám növekedése és a zsírsavészter-veszteség sokkal kisebb volt az LSM-oldatokhoz viszonyítva.

Nagy részben feltáratlanok ugyan még azok a folyamatok, hogy a KLS milyen mechanizmusokon keresztül gátolja a karcinogenezist, de az már úgy tűnik, tisztázott, hogy a kölcsönhatás mechanizmusa a különböző rákfajták esetében eltérő lehet, valamint az életkor és a karcinogén anyaggal való kapcsolat időtartama, a karcinogenezis előrehaladottsága is megváltoztathatja a KLS hatásmechanizmusát. Mai tudásunk szerint a KLS reagálhat

antioxidánsként, lehet prooxidáns citotoxikus hatása, gátolja a nukleotidszintézist, csökkenti a proliferatív aktivitást, gátolja a DNS károsodását és a rákkeltő anyag aktivizálódását. Fentiekén kívül beszámoltak a KLS koleszterinszint csökkentő és antiatherogén hatásáról, és ismertek olyan kísérletek is, amelynek során egerek testének zsírtartalma 60%-kal csökkent annak hatására, hogy tápjukba 0,5% KLS-t keverték be.

20.3.3. A tejsír rákellenes hatása

Számos tanulmány szerint a tejtermékek fogyasztása csökkentheti a rákbetegségek kialakulásának esélyét. A tej komponensei közül rákellenes hatást tulajdonítanak a tejfehérjének, a tejsavbaktériumok által termelt anyagoknak, a kalciumnak, valamint a tejsír alkotói közül a konjugált linolsavaknak, a szfingomielinnek, a vajsavnak, valamint az éterlipideknek.

Állatok takarmányában a tejsírt vagy a vaját izokalorikusan növényi olajokkal vagy margarinnal helyettesítve úgy találták, hogy bármely zsiradék esetében magas a daganatok száma, ha a takarmány zsírtartalma elérte a 20%-ot. A növényi olajban gazdag takarmányt fogyasztó állatok esetében a DMBA-val kiváltott patkányemlő adenokarcinómás esetek száma nagyobb volt, mint a vaját vagy az egyéb telített zsiradékot fogyasztók esetében. Egy másik kísérletben nőstény patkányoknak bél- és emlődaganat kiváltása céljából 1,2-dimetil-hidrazint (DMH) és DMBA-t adtak. A patkányok alaptakarmánya 15% vaját vagy 15% kukoricaolajat tartalmazott, főlözött tejjel vagy kazeinnel és szacharózzal kombinálva. A négy kezelés esetében a vajtartalmú alaptakarmány esetében kapták a legkisebb arányt a béldaganatos állatoknál és a DMBA-indukált emlődaganatos esetek aránya is itt volt a legkisebb.

Más kutatások is bizonyították, hogy a vajjal etetett csoportokban az adenokarcinómás spontán emlőrák kialakulásának mértéke kevesebb, mint fele volt a margarinnal és pórsáfrányolajjal táplált csoportokhoz viszonyítva. Egy margarinnal és vajjal végzett kísérletsorozatban, ha a táphoz 20% margarin mellett 20% vaját is adtak, a rákos esetek száma mintegy 10%-kal csökkent, azonban az összes kialakult daganatok száma, az átlagos daganatszám és a daganatok átmérője jelentősen kisebb volt a csak margarint fogyasztókhoz képest. Egy másik kísérletsorozatban szőrtelen egerek hajlamosabbak voltak az ultraibolya fény (UV) és az UV/DMBA kombinált hatásával kiváltott fotokarcinózisra abban az esetben, ha sokszorosán telítetlen zsírsavakat tartalmazó margarinoikat és napraforgóolajat fogyasztottak, mintha tápjuk vaját tartalmazott volna.

Az előzőekben felsorolt állatkísérletek – melyekben a magas zsírbevitel miatt nagy volt a bélrák kialakulásának kockázata – világosan mutatták, hogy a tejalapú étrend esetében a daganat kialakulásának esélye sokkal kisebb, mint a többszörösen telítetlen növényi olajokban gazdag étrendnél. Az előző kísérletekből nem derül azonban ki, hogy a különbségek a tejsír rákellenes hatásának, vagy a linolsav bél-, emlő- és bőrrákot előmozdító hatásának tulajdonítható. Bár az említett állatkísérletek nagymértékben elősegítik a karcinogenezis jobb megértését, a kapott adatokat emberre vonatkoztatni csak nagy óvatossággal s körültekintéssel szabad.

20.4. A szénhidrátok

A szénhidrátok a bioszféra szerves anyagainak főtömegét alkotó vegyületek. Polihidroxi-aldehidek vagy polihidroxi-ke-tonok vagy származékaik, általános képletük $(\text{CH}_2\text{O})_n$, ahol $n \geq 3$.

A monoszacharidok polihidroxi-aldehidek, illetve polihidroxi-ke-tonok. Leggyakoribb monoszacharid a hat szénatomos D-glükóz, ami valószínűleg a legősibb monoszacharid, amelyből talán az összes többi cukor keletkezett. Az oligoszacharidok 2–10 monoszacharid glikozidkötéssel való kapcsolódása útján jönnek létre. Nagyszámú cukoregység egyenes vagy elágazó láncú kapcsolódása révén keletkeznek a poliszacharidok, amelyekre többnyire az egyfajta, néha két, igen ritkán pedig több cukoregység váltakozó kapcsolódása a jellemző.

20.4.1. A tej szénhidrátartalma

A tej nem jelentős szénhidrátartalmú élelmiszer, mert a tej szénhidrátartalma az összes energiának csak mintegy 30%-át teszi ki az élelmiszerekben általánosan javasolt 55–60%-kal szemben. A tej és tejtermékek ezért a felnőttek által elfogyasztott összes szénhidrátartalomtól csak 6–10%-kal, a gyermekeknél pedig 13–20%-kal részesednek. Egy átlagos összetételű élelmiszer-fogyasztásnál azonban nem lép fel szénhidráthiány, mivel a napi szénhidrát-felvétel átlagosan 350–360 g, és ennek mértéke az elmúlt években csak csekély mértékben változott.

A laktóz édesítő képessége viszonylag kicsi. A szacharóz édesítő erejét 100%-nak tekintve a laktózé csak 27–39%, a glükózé 72%, a galaktózé pedig 63%.

20.4.1.1. A tehéntej és az anyatej szénhidrátartalma

A laktóz (amely glükózból és galaktózból álló diszacharid) koncentrációja a tehéntejben 4,6–5,0%. Mivel az ásványi anyagokkal együtt a tehéntej ozmózisnyomásáért a laktóz a felelős, koncentrációja csak minimálisan változik a tejben. A laktóz mennyisége közvetlenül az ellés után alacsonyabb, a továbbiakban azonban alig változik a laktáció folyamán. A laktóz α - és β -alakban fordul elő. A β -laktóz hidrolízise a bélrendszerben kedvezményezettebb, de az egymásba történő átalakulás miatt egyensúly áll fenn a β - és az α -laktóz között.

Az anyatej 7,0–7,3%-os laktóztartalma lényegesen nagyobb, mint a tehéntejé. Az anyatej laktóztartalma a legnagyobb az összes emlős teje között. A humán kolosztrum laktóztartalma ennél lényegesen alacsonyabb, közvetlenül a születés után 3–4%.

A laktóz mellett kis koncentrációban más szénhidrát is előfordul a tejben részben szabadon, részben fehérjéhez, zsírhoz vagy foszfáthoz kötve. A glükóz és a galaktóz egyenként 10 mg/100 cm³ koncentrációban fordul elő a tehéntejben, míg az összes szabad szénhidrátartalom mennyisége 100 mg/100 cm³ körüli. A humán kolosztrum monoszacharid-tartalma 900 mg/100 cm³, ami lényegesen magasabb, mint a tehéntejé.

Az oligoszacharidok viszonylag nagy mennyiségben (8–14 g/dm³) fordulnak elő az anyatejben, és még nagyobb mennyiségben (24 g/dm³) a kolosztrumban. Eddig 30 különböző oligoszacharidot mutattak ki a kolosztrumból és a tejből. A monoszacharidok három és nyolc között lehetnek az oligoszacharidokban, a felépítő monoszacharidok pedig a következők lehetnek: galaktóz, fukóz, N-acetil-glükózamin és N-acetil-neuraminsav, valamint glükóz. Az oligoszacharidok mennyisége a tehéntejben alacsony (100 mg/dm³).

Az anyatej eddig tanulmányozott oligoszacharidjait a következő csoportokba lehet osztani:

- nitrogénmentes oligoszacharidok,
- N-acetil-glükózamin-tartalmú oligoszacharidok,
- N-acetil-neuraminsav-tartalmú oligoszacharidok.

A nitrogént nem tartalmazó oligoszacharidok lehetnek tri- vagy tetraszacharidok, mint amilyenek a fukozido-laktóz vagy a lakto-difukóz, amelyek közül mindegyik egy vagy két fukózt tartalmaz. A humán kolosztrum 15 g/dm³, az anyatej pedig 3 g/dm³ mennyiséget tartalmaz ezekből az anyagokból. A legfontosabb N-acetil-glükózamin oligoszacharidok az anyatejben a következők: lakto-N-tetraóz, lakto-N-neotetraóz, lakto-N-fukopentaóz I. és II., lakto-N-difukohexaóz I. és II. és lakto-N-difukodekaóz. Ezeknek a komponenseknek a felépítése a következő:

lakto-N-tetraóz	Gal-N-AcGl-Gal-Glu
lakto-N-fukopentaóz I.	Fuc-Gal-NAcGl-Gal-Glu

lakto-N-difukohexaóz I. Fuc-Gal-N(Fuc)AcGl-Gal-Glu

A tetraózek és a pentaózek mennyisége 1–2 g/dm³, a hexaózeké 0,7 g/dm³, a dekaózeké pedig 0,2 g/dm³. Kapcsolatot állapítottak meg az anyatej oligoszacharidjai és a vércsoportok között. Az anyatej N-acetil-neuraminsav-tartalmú oligoszacharidjainak mennyisége 200–250 mg/dm³, amely csoportba a következő oligoszacharidok tartoznak: dilaktaminil-lakto-N-tetraóz, laktaminil-lakto-N-fukopentaóz és heptaóz I. és II., és laktaminil-lakto-N-difukodekaóz. Ezen oligoszacharidok koncentrációja 25 és 60 mg/dm³ között változik, és ezekből az oligoszacharidokból néhányat a tehéntejből is azonosítottak. A laktulóz, ami egy galaktózból és fruktózból álló diszacharid, fontos szerepet tulajdonítanak a csecsemők táplálásában annak ellenére, hogy sem a hőkezeletlen tehéntejben, sem az anyatejben nem fordul elő. A laktóz hőkezelés és hosszabb ideig tartó tárolás hatására részben átalakul laktulózzá, amelynek koncentrációja a sterilizett folyékony bébitápszerekben az összes szénhidrát tartalom 2–5%-át is elérheti. Az új technológiai módszerek alkalmazásával megnőtt a laktulózzá átalakult laktóz mennyisége. A laktulóz édesítőképesége nagyobb, mint a laktózé, 48–62%-a a szukrózénak, és oldhatósága is jobb a laktózénál.

20.4.2. A laktóz szerepe az anyagcserében

20.4.2.1. A laktóz hatása a kalcium abszorpciójára

A kalcium abszorpciója számottevően megnő, ha a táplálék laktózt is tartalmaz. Ezt a hatást nem magának a laktóznak, hanem a tejsavnak tulajdonítják, amely mikrobiális hatás következményeként jön létre az emésztő rendszerben, és ezért a savanyú tejtermékeknél nagyobb kalciumabszorpciót figyeltek meg. A megnövekedett kalciumabszorpció egyik magyarázata az, hogy a tejsav által létrehozott savas körülmények között a kalciumsók oldhatósága jobb, aminek hatására megnő a hasznosítható kalcium mennyisége. Hatással lehet a megnövekedett abszorpcióra az is, hogy a laktóz oldható komplexet képez a kalciummal, ráadásul a laktóz még a kalcium transzportját is megkönnyíti. Egy állatkísérletben, amelyben az állatcsoport egyik részének takarmánya laktózt, a másik részéé pedig ugyanannyi glükózt tartalmazott, megállapították, hogy a laktóztartalmú diéta megnövelte a kalcium, a magnézium, a foszfor és más esszenciális nyomelem abszorpcióját, ennek következtében csökkentette a kalciumhiány tüneteit, csökkentette a csontváz kalciumvesztését és növelte a vér kalciumkoncentrációját. A kalcium beépülése a csontokba sokkal gyorsabb volt, amivel nagyobb csonttömeg és jobb minőségű csontállomány volt elérhető. A laktóz fentiek miatt optimális körülményeket biztosít a tej nagy kalciumtartalmának abszorpciójához.

A laktóz, a tejsav és a kalcium közötti kapcsolatra építve javasolják a kalciumot tartalmazó tejsavas preparátumot – amelyet a tejsavóból könnyedén elő lehet állítani – gyerekeknek, várandós anyáknak és idősebb embereknek.

20.4.2.2. A laktóz hatása a bélflórára

A laktóz nem hidrolizálódik a gyomorban, és általánosságban elmondható, hogy kevésbé hidrolizálódik, mint a maltóz vagy a szacharóz. A laktóz egy kis része abszorbeálódik a vékonybél kezdeti szakaszán, de az abszorpció aránya lényegesen kisebb, mint a glükóz és a galaktóz esetében. A laktóz a vékonybél következő szakaszán, az epitel sejtek membránjában képződő *laktáz* enzim hatására galaktózra és glükózra bomlik, és ezek a cukrok a szervezet saját baktériumflórája tápanyagául is szolgálnak. A jelen lévő tejsavbaktériumok savas körülményeket teremtenek, ami megakadályozza a bazoofil, főként fehérjebontó és rothasztó baktériumok szaporodását, acidofil flórával helyettesítve azokat. Egy állatokkal végzett kísérletben a laktóz

10–12 napos adaptáció után csökkentette az uralkodó bélflórát, és megnövelte az anaerob bifidus flóra mennyiségét. Egy másik állatkísérletben összehasonlítva a laktózt, a glükózt és a galaktózt hatását megállapították, hogy a laktózt jelentős mértékben csökkentette a bélsár pH-ját.

Az előzőekben elmondottak különösen vonatkoznak a laktulózra. A laktulózt a *laktáz* nem bontja, ezért egészen addig képes abszorpcióra, míg el nem éri a bél alsó szakaszát, ahol a *Lactobacillus acidophilus* és *Bifidobacterium bifidum* használja fel, mint energiaforrást, az utóbbi pedig mint növekedési faktort is. Savas körülményeket alakít ki, ami megakadályozza a savra érzékeny baktériumok, különösen a rothasztók szaporodását. Embereknél laktulózfogyasztás hatására jelentősen csökken a bélsár pH-értéke.

20.4.2.3. A laktózt dietetikus hatása

Mivel a laktózt viszonylag lassan szívódik fel, enyhe hashajtó hatással is rendelkezik, ami még nyilvánvalóbbá válik nagyobb mennyiségű laktulóz fogyasztása esetén. A hashajtó hatás az alacsonyabb pH-val magyarázható, amelynek hatására nő a bél perisztaltikája. A laktózt fele mennyiségben alkotó galaktózt közvetlenül hozzájárul az érbelhártya mukopoliszacharidjainak kialakításához, és így szövetei regenerálódásához. E tulajdonságánál fogva az érlelmesedés elleni hatással is lehet számolni. Mivel a galaktózt gyorsan képes a vér cukorszintjét jelentős mértékben megemelni, ezért a galaktóztartalmú élelmiszerek, mint amilyenek pl. a tejtermékek, alkalmasak mind a fogyókúra, mind a testtömegnövelő kúránál, mivel ily módon nem zavarjuk meg a vér glükózegeyensúlyát.

A laktózt hidrolízis-termékei, a galaktózt és a glükózt, könnyen felszívódnak a bélből, mert majd az összes hexózt, illetve pentózt diffúzióval kerül az emésztő rendszerből a vérbe. Mivel a laktózt hosszabb időn át abszorbeálódik, mint a szacharózt, tovább szolgáltat energiát a szervezet számára. A laktózt hatása a nitrogén emészthetőségre is jelentős, ugyanis ahogy nő az étel laktóztartalma úgy nő a biológiai értéke is, miközben a valódi emészthetőség csökken. Megállapították azt is, hogy a laktózt lelassítja az aminosavak abszorpcióját, ennek következtében hatékonyabban tudja a szervezet azokat felhasználni.

Akut májgyulladásban szenvedő betegeknél jó eredményt értek el laktózt szájon keresztül adagolásával. Bár a tej és tejtermékek sok laktózt tartalmaznak, nagyon ritka a laktóztfogyasztás következtében kialakult fogszuvasodás. A laktózt sohasem okoz olyan fogbetegséget, mint amelyet az egyéb cukrokból képződő szerves savak, amelyek megtámadva a fogat, dekalifikálják azt. A laktózt szerepe lehet a zsírsanyagcserében is, mert fogyasztása megakadályozza a máj zsíros elfajulását. A laktulózt az állítják, hogy megakadályozza a koleszteroltartalmú epekó kialakulását.

Amikor diabéteszes embereknek 50 g glükózt adtak, a vér cukortartalma 146 mg/100 cm³-re, amikor 50 g laktózt akkor csak 74 mg/100 cm³-re nőtt. A laktózt olyan cukornak tekinthetjük, ami késlelteti a vércukorszint emelkedését és amelynek metabolizmusához nincs szükség nagy mennyiségű inzulinra. Semmi ellenvetés nem lehet a laktózt alkalmazásával szemben cukorbeteg élelmiszereiben, ugyanis 35–50 grammnyi napi laktóztfogyasztás elfogadható cukorbeteg esetében is, ezért a tejfogyasztás hozzájuttatja a cukorbetegeket a biológiailag nagy értékű fehérjéhez és a tejcukorhoz.

Malabszorpció és intolerancia

A tej szénhidrátjainak különböző típusú malabszorpciója és intoleranciája ismeretes. Laktóztmalabszorpció és -intolerancia a felnőtteknél elég gyakori, de a vele született glükózt-galaktózt malabszorpció és galaktóztémiában megnyilvánuló galaktóztintolerancia csak viszonylag ritkán fordul elő. Ezeket a rendellenességeket azonban nem szabad csak a tej szénhidrátjainak tulajdonítani, mert ezeknél az embereknél több más szénhidrát metabolizmusában is

mutatkoznak rendellenességek. Beszámoltak a szacharóz-, az izomaltóz-, a keményítő-, néha a maltóz- és a fruktóztoleranciáról is. Több diszacharid esetében is tudunk emésztési hiányosságról, aminek legfőbb oka a csökkent enzimaktivitás vagy a vékonybél sejtjeinek elégtelen szállítási kapacitása, ami rendszerint genetikai eredetű.

Laktómalabszorpció és laktóztolerancia

A laktómalabszorpciót és a laktóztoleranciát a vékonybél mukóza jelentős mértékben csökkent *laktázaktivitása* okozza. Ennek eredményeként a laktóz nem hasítódik két monomerre, nem szívódik fel, és a laktózkoncentráció növekedése következtében megnő az ozmotikus nyomás, aminek hatására víz lép be a vékonybélbe. Ebből adódóan megnő a hasüregi nyomás, felfúvódás, kólika és hasmenés alakul ki, ezért krónikus hasmenés, valamint nonspecifikus hasúri panaszok esetén laktóz malabszorpcióra lehet gyanakodni. Fiatal emlősökben a *laktázaktivitás* az elválasztás után csökken, ami jelzi a laktózmentes táplálékhoz való alkalmazkodást. A felnőtt emberek legalább 90%-ánál mutattak ki csökkent *laktázaktivitást*, és csak 5–10%-uk örizte meg az eredeti *laktázaktivitási* szintet. Az átlagos enzimaktivitás csecsemőknél 29 egy gramm fehérjére, ami a laktózt tűrő felnőtteknél 17, a *laktázhiányos* embereknél pedig 3. A *laktázaktivitásban* nagy egyedi különbségek vannak, és úgy tűnik, hogy a nem és a kor nem befolyásolja. A laktómalabszorpciót és a laktóztoleranciát a következők szerint lehet definiálni:

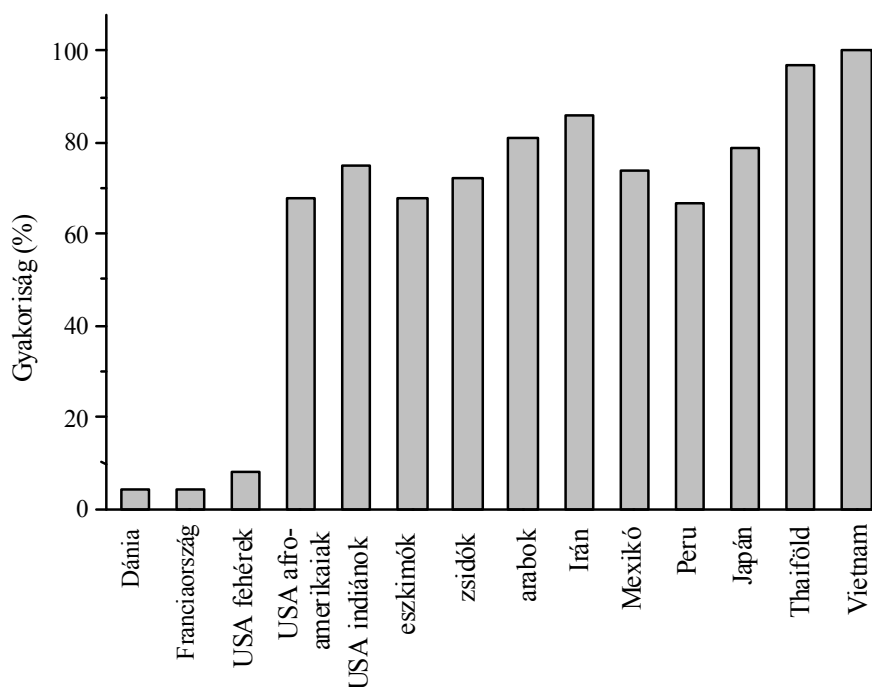
- Alacsony a *laktázaktivitás* akkor, ha testtömeg-kilogrammonként 2 g (maximum 50 g) laktózfelvétel után a vércukorszint csak 25 mg/100 cm³-re vagy ennél kevesebbre nő, vagy ha a *laktáz* enzim aktivitása 2 egységnél kisebb 1 g mukózára számolva.
- A laktómalabszorpció gyenge laktózfelzívódásban nyilvánul meg, ami az alacsony *laktázaktivitás* következménye.
- Laktóztoleranciáról beszélhetünk akkor, ha a laktóz standard (50 g) vagy standardnál kisebb adagja vizes oldatának elfogyasztása után klinikai tünetek jelennek meg az alacsony *laktázaktivitás* következményeként.
- Laktóztoleranciáról beszélünk akkor is, ha az alacsony *laktázaktivitás* következtében klinikai tünetek jelentkeznek szokásos mennyiségű tej vagy tejtermék (1–2 pohár tej) elfogyasztása után.

Szükséges megjegyezni azt, hogy nincs összefüggés a laktómalabszorpció és a laktóztolerancia között, valamint hogy a tejintolerancia a laktóztolerancia következménye.

A *laktáz* β -galaktozidáz formában fejti ki hatását, ezenkívül savas- β -galaktozidáz és hetero- β -galaktozidáz forma is előfordul, bár ezek kisebb jelentőségűek a laktóz hidrolízisének, és aktivitásuk laktómalabszorpció esetén nem csökken. A laktómalabszorpció fiatal felnőtteknél a növekedési periódus végén figyelhető meg. A laktómalabszorpcióban jelentős különbségek vannak a különböző etnikai csoportok között. Közép- és Észak-Európa, Észak-Amerika és Ausztrália felnőtt lakosainak kevesebb mint 10%-a, a mediterrán országok lakosságának 20–80%-a, Afrika, Ázsia és Dél-Amerika lakói esetében, valamint néhány más etnikai csoportnál a felnőtt lakosság döntő része, hazánk népességének pedig 14%-a szenved laktómalabszorpcióban.

A tiszta vérű észak-amerikai indiánoknak 92%-a laktómalabszorpcióban szenved, míg ez az arány az indián-európai féléveknél kevesebb mint 50%. Finnországban a finnül beszélők 17%-a, a svédül beszélők 8%-a szenved laktómalabszorpcióban. Afrika némely népcsoportjainál (fulani és tutsi) csak 7–22%-ban, míg másoknál (bantu) több mint 95%-ban fordul elő laktómalabszorpció. Dél-India lakosságának 67%-a, míg Észak-India lakosságának csak 27%-a szenved laktómalabszorpcióban, ami az emberfajta közti különbségekkel, az európid származásúak jobb laktóztűrő képességével magyarázható. Ausztrália kínai lakosságának csak

56%-a, Kína lakosságának pedig 95%-a rendelkezik laktóz malabszorpcióval. A laktózmalabszorpció előfordulási gyakoriságát a különböző országokban és a különböző népcsoportokban a 20.9. ábra mutatja.



20.9. ábra. A laktózmalabszorpció előfordulási gyakorisága különböző országokban és különböző népcsoportokban

Említésre méltó, hogy a felnőttek egy része minden népcsoport esetében megtartja laktóztűrő képességét, aminek oka ma még ismeretlen. A magas *laktázaktivitás* megtartásának képessége felnőtt korra egy olyan mutációra vezethető vissza, ami több ezer évvel ezelőtt mehetett végbe. A laktóztoleranciában megmutatkozó azonosság különböző népcsoportok rokonságának megállapítására is szolgál. Így pl. kapcsolatot mutattak ki a fuláni népcsoport, a hamita és a nomád arab törzsek között Afrikában, valamint az oroszok és az észak-európaiak között. A magasfokú laktóztoleranciát nagyfokú szelektációs nyomással magyarázzák, ami a tejcukornak a kalciumfelszívódást segítő tulajdonságára vezethető vissza. Ez különösen hasznos alacsony UV-sugárzású környezetben, valamint alacsony D-vitamin-fogyasztás esetén.

Azokban a csoportokban, ahol a laktózfelszívódási zavarok nagymértékben előfordulnak, a *laktáz* aktivitása már három éves korban nagymértékben csökken, így az 5–7 éves gyerekek 50%-a, a 10–12 éves gyerekeknek pedig 85–100%-a mutat felszívódási zavart a laktóztolerancia-teszt elvégzése esetén. A gyerekeknél a *laktázaktivitás* azonban nem ugyanolyan mértékben csökken, mint a felnőtteknél, és majdnem az összes gyerek tünetmentes, ha normál összetételű tejet fogyasztanak vagy a tejadagot sok kis részre osztva kapják meg. A tejet nem kell ezért számítani a gyermek étrendjéből, különösen, ha az étel fehérjehiányos. Ezért a tejfogyasztás mennyiségében nem figyelhető meg különbség a laktózfelszívódási rendellenességben szenvedő, illetve nem szenvedő gyermekek között. Bár a színes bőrű iskolások közül az Egyesült Államokban többen utasítják vissza az iskolatejet fehér társaiknál, 75%-uk mégis minden gond nélkül fogyasztja. Egy kísérletben a laktózfelszívódási rendellenességben szenvedő gyermekek 1,7 g laktózt toleráltak testtömeg-kilogrammonként. A laktózfelszívódási zavar független az azt megelőző tejfogyasztástól, tehát attól hogy a gyereket szoptatták vagy tehéntejen alapuló tápszereket fogyasztott. A *laktázt* még a gyermekkorban sem

tartják adaptálható enzimnek annak ellenére, hogy különböző vércukorszinteket figyeltek meg a tejivó (laktózt fogyasztó) és tejet nem fogyasztó emberek között. Gyermeknél másodlagos laktózfelszívódási zavar is kialakulhat betegség következtében, és az alultápláltság is elősegíti a *laktáz* aktivitásának csökkenését.

Ausztráliai őslakos gyermekek, akiknél a nagymértékben előforduló laktózfelszívódási zavart tekintették a fejlődésben való visszamaradás fő okának, jelentős testtömeg-növekedést értek el, ha a tejben, illetve tejtermékben a laktózt hidrolizálták. A laktózfelszívódási zavar sok esetben együtt jár a tejfehérje-allergiával.

A laktózfelszívódási-zavar kimutatására a következő tesztek alkalmazhatók:

- A laktóztolerancia-teszt méri a vér glükóztartalmának növekedését standard (50 g) mennyiségű laktóz elfogyasztása után. Mivel a felszívódásbeli hiányosság a laktóz hasítására vezethető vissza, felszívódási zavar esetén a szérum glükózszintje kisebb lesz, mint a normális esetben.
- A vékonybél-nyálkahártya *laktázaktivitásának* meghatározása.
- A kilégzett hidrogén mérése 50 g laktóz elfogyasztása után. Normál pácienseknél a hidrogén koncentrációjának növekedése kevesebb mint 4 mg/kg, míg a csökkent laktózabszorpciónál több mint 20 mg/kg. E teszt eredménye nincs igazán jó összhangban a vér glükóztartalmával, de az eredmények pontosabbak és jobban alkalmazhatók sorozatvizsgálatra egy populáció laktózemésztési hiányosságainak feltárására.
- A *laktáz* enzim hiányának kimutatására igen pontos és érzékeny teszt a ^{14}C laktózrespirációs teszt, amelynek során a kilégzett $^{14}\text{CO}_2$ -t mérik. E vizsgálathoz azonban nagyfokú műszerezettség szükséges.
- A ^{14}C glükóz mennyiségének mérése a vérszérumban adja a legjobb eredményt, ezt a módszert azonban nem lehet rutinszerűen alkalmazni.
- A vér galaktózsztintje is szoros kapcsolatban van a vér *laktázaktivitásával*.

Ezek a módszerek kétségtelenül kimutatták, hogy a *laktázhiány* több esetben fordul elő, mint ahogy várnánk. Ennek az az oka, hogy a laktóz 50 g-os standard dózisa túl nagy koncentrációt jelent, ami nem megfelelő a laktóztolerancia jelzésére. Ezért ezt az adagot nemfiziológiai vagy farmakológiai dózisnak is hívják. A laktóz vizes oldatban való felvétele sem tekinthető fiziológiásnak, mert a hatás egészen más akkor, ha ugyanolyan mennyiségű laktózt tej formájában vesz fel a vizsgált személy. Ezért azt javasolják, hogy a laktóztolerancia vizsgálatánál a laktózból 12 g-ot tejben vegyen fel a vizsgált személy, ami egy pohár tejnek felel meg.

A laktóztolerancia-teszt sok esetben hibás eredményekre vezet, ami abban nyilvánul meg, hogy sok olyan egyén, akiről a teszt hiányos laktózfelszívódást állapított meg anélkül, hogy ennek tudatában lettek volna, folyamatosan fogyasztottak tejet. Beszámoltak egy vizsgálat eredményéről, ahol majdnem minden vizsgált személynél laktóztoleranciát állapítottak meg, holott ez egyetlen esetben sem nyilvánult meg tünetekben. A maszájak Afrikában rendszeresen isznak tejet annak ellenére, hogy az intoleranciatesztben 62%-uk pozitív eredményt mutatott. Az Egyesült Államokban jelentős különbségeket kaptak a fehérek, a színesek és a mexikóiak között a teszt elvégzése után annak ellenére, hogy a vizsgált személyek 90%-a rendszeresen fogyasztott tejet minden hátrányos következmény nélkül. Egy másik kísérletben a laktózfelszívódási hiányosságúnak tesztelt emberek 25%-a fogyasztott 1 liter tejet minden káros következmény nélkül. Leszögezhető az is, hogy a tejfogyasztás utáni tünetek nem feltétlenül a felszívódási hiány következményei, hanem lehetnek esetleg pszichoszomatikus eredetűek is. A laktózfelszívódási hiányosságtól eltekintve ezen rendellenességnek minimálisak az emésztési következményei; sem a nitrogén-, sem a zsíremésztést nem befolyásolja.

Felmerülhet a kérdés, hogy a laktóztoleráns embereknél a csökkent tej- és kalciumfelvétel nem vezet-e csonttrikuláshoz. Náluk a csonttal kapcsolatos betegségek gyakoribbak, mint a

normális *laktázaktivitással* rendelkezőknél. Úgy tűnik, hogy kapcsolat van a *laktáz* enzim hiánya és a csontritkulás között, amelyet nemcsak a csökkent kalciumfelvétellel, hanem a kalcium csökkent abszorpciójával is magyarázni lehet.

Hosszú idő óta vitatott, hogy milyen kapcsolat van a tejfogyasztás és a *laktázaktivitás* között. Állatokkal végzett kísérletekből úgy tűnik, hogy van ilyen kapcsolat, mert pl. patkányokkal, majmokkal és sertésekkel végzett etetési kísérlet bizonyította, hogy laktózetetés hatására szignifikánsan nagyobb volt a *laktázaktivitás*. Amikor fiatal patkányok magas tejtartalmú tápot kaptak vagy hosszú ideig szopták anyjukat, a *laktázaktivitás* csökkenése későbbi időszakra tolódott ki. A szoptatás utáni laktózfogyasztás a *laktázaktivitás* szintjét 5–10 héttel is meghosszabbította.

Néhány vizsgálat kimutatta, hogy laktóz hatására a vékonybélflóra jelentős enzimaktivitással rendelkezik. Ami az embereket illeti, kimutatták, hogy ott, ahol a tejfogyasztásnak hagyományai vannak, a laktóz csökkent abszorpciója ritkán fordul elő. Szintén különbség van a *laktázaktivitás*ban a tejivők és a tejet nem fogyasztók között. Általánosságban azonban nincs kapcsolat a tejfogyasztás és a hiányos abszorpció között. Amikor csökkent laktózfogyasztással rendelkező pácienseknek 6–14 hónapon keresztül növekvő mennyiségű tejet adtak, a *laktázaktivitás* változatlan maradt. Gyermeknél lehetséges a *laktázaktivitás* csökkenésének elodázása nagy tejtartalmú táplálékkal vagy a szoptatás hosszának megnövelésével.

Az érintett családokkal végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy a *laktázhiány* öröklődik. Amennyiben mindkét szülő csökkent laktózfogyasztással rendelkezik, akkor majdnem az összes gyerek is *laktázhiányos* lesz. Az öröklődést valószínűleg egy autoszomális gén irányítja, és a mai álláspont szerint az ember fejlődése során a laktóztoleranciáért felelős gén azokon a területeken fejlődött ki, ahol a tejtermelés és -fogyasztás gyakorlattá vált, míg a tejtermelő állatokkal nem rendelkező vidékeken a laktózfogyasztást okozó gén vált általánossá.

Mivel a *laktázhiány* csak relatív méretekben nyilvánul meg, a laktózfelszívódási hiányossággal rendelkező emberek étrendjéből sem kell teljes mértékben számítani a tejet. Nagyon rossz hatása lenne annak, ha a laktózfogyasztással kapcsolatos programok a tej teljes mennyiségét kiiktatnák az ilyen emberek táplálkozásából, mert a tejmentes táplálkozás (különösen a fejlődő országokban) az esszenciális tápanyagok hiányához vezetne.

Laktózfelszívódási zavarok esetében a következő módon lehet eljárni:

- Amennyiben a napi elfogyasztott tejmennyiség nem haladja meg a 250 ml-t, akkor semmiféle káros emésztési tünettől sem kell számolni. Amennyiben szükséges, a tejet több, kisebb részletben kell elfogyasztani a nap folyamán. Azoknál a személyeknél, akiknél laktózfelszívódási hiányosságot állapítottak meg, mert 50 g laktóz elfogyasztása után kevesebb mint 20 mg/100 cm³-re nőtt a vér cukortartalma, 30 g laktózt tejben fogyasztva semmilyen tünetet nem tapasztaltak. Ez is azt bizonyítja, hogy nincs lényeges különbség azon emberek között a tejcukor abszorpciójában, akiknél kimutatható, illetve akiknél nem mutatható ki laktózfelszívódási rendellenesség.
- A laktóz tejsavvá fermentálódik olyan tejtermékekben mint a joghurt, a túró, az író, a tejföl és a sajt, és a sajtnak különösen alacsony a laktóztartalma. A laktózfelszívódási hiányosságban szenvedőknek ezért különösen ajánlott a savanyú tejkészítmények kipróbálása. A mikroorganizmusok, különösen a *Streptococcus thermophilus* működésének következtében jelentős mennyiségű *laktáz* enzim van a joghurtban, amely csökkenti a laktóz kedvezőtlen hatását. Azért is kedvező a savanyú tejtermékek fogyasztása, mert a laktóz lassabban haladva keresztül az emésztőrendszeren, nem terheli túl az amúgy is csökkent fokú *laktáztermelést*.
- Manapság azt javasolják, hogy a mikroorganizmusok által termelt *β-galaktózidázt* adjanak a laktóz hidrolízisére a tej és tejtermékekhez. Ez jelentős mennyiségben csökkentené az

elfogyasztott tej laktóztartalmát, bár a laktóz hasítása glükózzá és galaktózzá, a tejet kissé édesebbé változtatja. Amikor *laktázhiányos* emberek olyan tejet fogyasztottak, amelyben a laktózt hidrolizálták, vérük tejcukortartalma jobban nőtt, a kilégzett levegő hidrogéntartalma kisebb volt, a kalcium abszorpciója pedig javult. A *laktázzal* kezelt tej fogyasztása hasznos lehet a csökkent enzimaktivitással rendelkező populációkban, mert ilyen tejből lényegesen nagyobb mennyiséget lehet elfogyasztani, és így nagyon sok ember 10–30 év tejfogyasztási szünet után ismét képes lehet tej és tejtermékek fogyasztására. Természetesen ily módon alacsony laktóztartalmú tejet is lehet gyártani.

- Lehetséges egyéb, laktózmentes tejpreparátumokat is gyártani, mint amilyen pl. az ausztráliai tejkeksz, amelyben laktóz helyett mintegy 20%-nyi szénhidrátot adnak, ami szacharózból és keményítőből áll. Ezeket a készítményeket iskolás etnikai csoportoknál használják, ahol a *laktázhiány* számottevő. Laktózmentes vagy csökkentett laktóztartalmú tejporokat ultraszűréssel is elő lehet állítani.

A laktóz hiányos felszívódása másodlagos tünetként jelentkezik a bélnyálkahártya zavart működése esetén, amelynek során nemcsak a *laktáz*, hanem az egyéb *diszacharidázok*, pl. a *szacharáz* és a *maltáz* is csökkent mértékben termelődik. A zavar megszűnésével a normális működés is visszaáll. Emésztő rendszeri operációk, különösen a bélrendszert is érintők, gyakran együtt járnak csökkent mértékű *laktáztermeléssel*. Csecsemőknél a nyálkahártya megbetegedésével jár gyakran együtt a csökkent *laktáztermelés*. A hidrolizált laktózt tartalmazó tej és tejtermékek szintén használhatók a másodlagos laktózfelszívódási hiányban szenvedőknél.

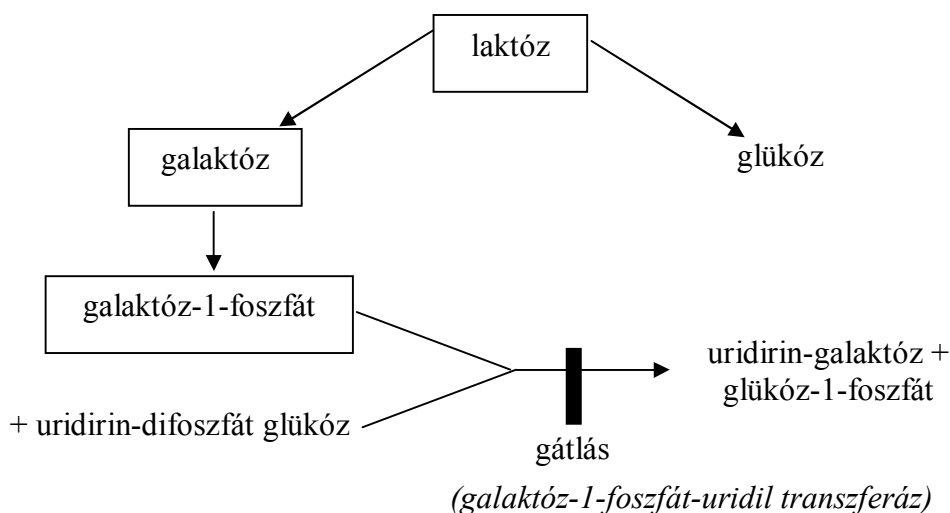
A veleszületett *laktázhiány* tünetei (a felfűvódás, a hasmenés, a testtömeg-gyarapodás elmaradása) a tejtáplálás legelején megjelennek. A laktózabszorpciós zavar ezen formája csak igen ritka, és genetikai enzimhiánynak tekinthető, ami egyes családokban elég gyakran előfordul. Ez a veleszületett rendellenesség csak átmeneti, mert a legtöbb esetben növekvő korról, néha már a második hónap végére, jobb laktóztolerancia és normál *laktázaktivitás* alakul ki. Kezdetben azonban ezen csecsemőknek laktózmentes táplálkozás szükséges. A veleszületett *laktázhiány* a teljes hiányt vagy csak igen kis aktivitást is jelenthet.

Veleszületett glükóz-galaktóz felszívódási hiányosságok

Az olyan enzimhiány, amely csökkent glükóz- és galaktózfelszívódáshoz vezet, csak igen ritkán fordul elő, és összesen csak 20 esetet írtak le tudományosan. Ez a típusú betegség ozmotikus hasmenésben, magas cukortartalmú vizes bélsárban és igen alacsony vérszérum glükóz- és galaktózsintekben nyilvánul meg. Ez a betegség szintén egy genetikailag meghatározott enzimhiány következménye.

Galaktózintolerancia

Három öröklődő rendellenesség ismert a galaktóz-anyagcserében, amelyek közül kettő okoz betegséget. Az első a *galaktokináz* hiánya, ami minden ötvenezredik vagy még annál is kevesebb újszülöttnél fordul elő. Ennek hatására az újszülött szürke hályogban a születés után néhány héttel megvakul. Amennyiben a galaktózt eltávolítják az ételből, a szürke hályog kialakulását meg lehet előzni.



20.10. ábra. A galaktóz intolerancia kialakulása a galaktóz-1-foszfát-uridil transferáz enzim hiánya következtében

A másik forma a klasszikus galaktozémia, amely szintén nagyon ritkán (25.000–70.000 újszülöttről egynél) fordul elő. Ebben az anyagcsere-betegségben a hiba a laktóz hasítása után következik be, amikor a galaktóz-1-foszfát az uridin-difoszfát glükózzal nem alakul át glükóz-1-foszfáttá és uridin-galaktózzá, mert hiányzik az átalakulásért felelős enzim, a *galaktóz-1-foszfát-uridil transferáz*. A galaktóz-1-foszfát ezért akkumulálódik a sejtekben, mely nemcsak inhibálja a szénhidrát-anyagcsere enzimeit, hanem károsodást idéz elő a májban és a központi idegrendszerben is (20.10. ábra). Az ilyen betegségben szenvedő csecsemő hamarosan visszautasítja az ételt és beteg lesz. Ezt rövidesen követi a sárgaság, a májcirrózis, a fejlődésben való visszamaradottság és a visszafordíthatatlan mentális leépülés. Mindezekért a *galaktóz-1-foszfát-uridil transferáz* a felelős, amely ahhoz szükséges, hogy a galaktóz be tudjon lépni a szénhidrátok lebontási folyamatába. Ez az enzimhiány öröklődik, és ezért ugyanabban a családban ismételtelen többször előfordul.

Galaktozémia esetében a galaktózt teljesen ki kell küszöbölni a táplálkozásból. Manapság már előállítanak olyan, laktózmentes tejtermékeket, amelyekben a laktózt szacharózzal, keményítővel, dextrinnel vagy egyéb oligo- és poliszacharidokkal helyettesítették. Ilyen tápok időbeni fogyasztása esetén a felsorolt tünetek részben megszüntethetők.

A galaktóztoleranciát a galaktóz-1-foszfát aktivitásának mérésével lehet diagnosztizálni. A galaktozémiát a vizelet galaktóztartalmának mérésével is lehet ellenőrizni 3–4 napos korban. Egy másik lehetőség a vér galaktózsztídjének mérése, amely e betegeknél a 100 mg/100 cm³ koncentrációt is meghaladja. Lehetőség van ennek a veleszületett rendellenességnek a szülés előtti diagnosztizálására is, mivel a galaktozémia esetén a sejtek kevesebb galaktózt vesznek fel. Javasolják az újszülöttek rendszeres vizsgálatát a galaktózmétabolizmus hiányosságainak kiszűrésére.

Amikor patkányoknak a táp összes energiája 22%-át kitevő mennyiségű galaktózt adtak, mesterségesen tudtak hályogot előállítani. A nagymennyiségű sovány tejből készült joghurttal csak 2–6 hónap után lehetett ugyanezt a hatást elérni. Amikor tejsírt és kazeint is adtak a táphoz, a hályog megszűnt, ezért valószínű, hogy a hályog előfordulásának nagyobb gyakorisága a humán tejet fogyasztó patkányoknál a tehéntejet fogyasztókhoz viszonyítva a két tej különböző fehérje-összetételétől is függ. Ezeket a kísérleti eredményeket azonban az emberi gyakorlatba nehéz átültetni, mivel a galaktóz részesedése az összes energiából teljes tej vagy teljes tejből

készült joghurt esetében csak 14%, és hosszú időn keresztül nincs is lehetőség nagymennyiségű, főzött tejből készült joghurt fogyasztására.

20.5. Vitaminok

Az emberi lét fenntartásához kis mennyiségben olyan természetes szerves vegyületek is kellenek, amelyek szabályozzák az anyagcserét, az energiaforgalmat és a szervezet megújítását. Ezeket a nélkülözhetetlen anyagokat vitaminoknak hívjuk.

20.5.1. A tej vitamintartalma

20.5.1.1. A tehéntej vitamintartalma

A tej minden ismert vitamint tartalmaz különböző koncentrációban. Nagyszámú publikáció alapján kapott átlagos tejevitamin-tartalom értékeket mutat a 20.23. táblázat, melyben az átlag mellett a szélsőértékek is fel vannak tüntetve.

20.23. táblázat. A tej vitamintartalma

Vitamin	Mennyiség (mg/dm ³)	
	átlagérték	szélsőértékek
A	0,37	0,10–0,90
Karotin	0,21	0,05–0,40
B ₁ (tiamin)	0,42	0,20–0,80
B ₂ (riboflavin)	1,72	0,8–2,6
B ₆ (piridoxin)	0,48	0,17–1,9
B ₁₂ (kobalamin)	0,0045	0,002–0,007
Nikotinsav	0,92	0,3–2,0
Folsav	0,053	0,01–0,10
Pantoténsav	3,6	2,6–4,9
Inozitol	160	30–400
C (aszorbinsav)	18	5–30
D (kolekalciferol)	0,0008	0,0001–0,0020
E (tokoferol)	1,1	0,2–2,0
K	0,03	ny–0,17
Biotin	0,036	0,01–0,07
Kolin	170	50–450

Az értékek általában a feldolgozatlan tej vitamintartalmát mutatják. Figyelembe kell venni, hogy a tej feldolgozása módosíthatja néhány vitamin koncentrációját, bár a vitaminok vesztesége, a C-vitamin kivételével viszonylag alacsony. Az A- és D-vitamin koncentrációját a különböző szerzők időnként nemzetközi egységben adják meg, amit az összehasonlításnál át kell számolni mg/dm³ vagy µg/dm³-re. (Az átszámításhoz szükséges adatok a 20.24. táblázatban találhatóak). A tehéntej átlagos A-vitamin-tartalma 369 µg/dm³, és a D-vitamin-tartalma 0,80 µg/dm³. A vitaminkoncentrációk a különböző szerzőknél igen nagy variabilitást mutatnak. Néhány kutató közöl pl. olyan folsavértékeket, amelyek tízszer alacsonyabbak, mint a legtöbb szerző által mért átlag.

20.24. táblázat. *A zsírolható vitaminok gyakorlatban használatos egységei és azok egymásba történő átszámolása*

<i>Vitamin</i>	<i>Egység</i>
A-vitamin	1NE = 0,3 µg
E-vitamin	1NE = 1 mg
D-vitamin	1NE = 0,025 µg
K-vitamin	mg/kg; µg/kg
Karotin	mg/kg

Mind az A-vitamin, mind a karotin hozzájárul a tej teljes vitaminaktivitásához. A tej csak β -karotint tartalmaz, amelynek hozzájárulása a tej vitaminaktivitásához kb. 30%. A bivaly teje csak nyomokban tartalmaz karotint, ami azok számára lehet fontos, akik olyan vidékeken élnek, ahol a bivalytej részaránya magas a tejtermelésen belül. A D-vitamin a tejben D₃-vitaminként (kolekalciferol) fordul elő, aminek döntő része D₃-vitamin-szulfát, emellett még a 25-hidroxi-kolekalciferol található. Újabb vizsgálatok szerint a D-vitamin nemcsak zsírban oldódó formában, hanem vízben oldódó formában is előfordul, aminek a koncentrációja sok esetben nagyobb, mint a zsírban oldódó formáé. A D-vitamin-szulfát koncentrációja a vizes fázisban 3,4 µg/dm³-re tehető. Feltételezések szerint a vízben oldódó D-vitamin-komponensek kezdetben csak a savóban fordulnak elő, és az idő előrehaladtával kerülnek a zsírfázisba.

A tejszírban lévő E-vitaminnak kb. 95%-a α -tokoferol formában fordul elő, ami a legmagasabb E-vitamin-aktivitású, míg a maradék 5% γ -tokoferol. Nem mutattak semmi egyéb tokoferolt ki a tejből. A zsírgolyómembrán lipidjei tokoferolban gazdagok.

A zsírban oldódó vitaminok koncentrációja a tej zsírtartalmától függ. Így pl. a különböző zsírtartalmú tejek A-vitamin-tartalmát a következőnek találták: 3,25% zsír: 0,33 mg/dm³, 2% zsír: 0,23 mg/dm³, és főlözött tejben: 0,04 mg/dm³. A riboflavin, amit néha laktoflavinnak is hívnak, a tejben főleg szabad formában fordul elő, míg más táplálékokban kötött állapotban található. A riboflavin 20%-a a tejben flavin-mononukleotidként, vagy flavin-adenin-dinukleotidként fordul elő fehérjéhez kötve. A B₁₂-vitamin a tejben öt különböző kobalamin formában fordul elő, de az adenosil- és hidroxikobalamin forma a legnagyobb jelentőségű. A 95%-a fehérjéhez, főleg a savófehérjéhez kötött, míg szabad formában csak nyomokban mutatható ki a kezeletlen tejben.

A B₆-vitamin a tejben főleg piridoxál formában található, de sok tejtermék több piridoxamint is tartalmaz. A folsav főleg szabad formában található; az inozit részben a lipidekhez kötött. A tejben lévő C-vitamin 75%-a aszkorbinsav formában van jelen, a maradék, dehidroaszkorbinsav, ami szintén rendelkezik C-vitamin-aktivitással.

Némely vitamin koncentrációja a kolosztrumban nagyobb, mint a normális tejben. Főleg az A-, D-vitamin, a karotin és a tokoferol van jelen lényegesen nagyobb koncentrációban a kolosztrumban. A kolosztrum B-vitamin- (tiamin-, riboflavin-, piridoxin-, kobalamin-, nikotinsav-, folsav- és inozit-) tartalma is nagyobb, mint a normális tejé. Az első fejés kivételével a kolosztrum kb. azonos mennyiségű C-vitamint tartalmaz, mint az érett tej, míg a pantoténsav és a biotin koncentrációja alacsonyabb a kolosztrumban. Az érett tej A-, D-, E- és B₁₂-vitamin-tartalma nem változik szignifikánsan a laktáció folyamán.

A tej A-vitamin- és karotintartalmát befolyásolhatja a takarmány, mivel szoros összefüggés van a takarmány és a tej karotintartalma között. A tej teljes A-vitamin aktivitása nő a legeltetés alatt, a szilázsetetéssel télen, a karotinban gazdag takarmány adásával vagy a takarmányhoz való közvetlen karotinadagolással. Ugyanez vonatkozik az E-vitaminra is. Egy α -tokoferol-acetáttal dúsított kapszulázott olaj etetésekor 50-ről 156 µg/g-ra nőtt a tejszír tokoferol-tartalma. A tej aszkorbinsav-tartalmát viszont nem befolyásolja a takarmány összetétele. Hasonlóképpen a B-vitamin-tartalmat is csak nagyon kis mértékben lehet a takarmányozással befolyásolni. Kivétel

ez alól a B₁₂-vitamin, amelynek a koncentrációját a tejben a takarmányhoz való kobaltadagolással növelni lehet. Mindezek ellenére a tejben magasabb biotin-, pantoténsav- és B₁₂-vitamin-tartalmat találtak istállózott tartásnál, és magasabb volt a folsav koncentrációja, amikor az állatok a legelőn voltak.

A tej D-vitamin-tartalmát nem lehet befolyásolni szájon át való felvétellel, mivel ezt a vitamint a szervezet ultraibolya fény hatására a dehidrokoleszterinből kellő mennyiségben szintetizálja. Ez az oka annak, hogy a D-vitamin koncentrációja megnő (maximum 2,8 µg/dm³-re) a nyári legelőn tartott tehén tejében, különösen hegyes vidékeken, ahol a napfény UV-sugarainak energiája nagyobb. Az évszak befolyását mutatja, hogy a tej több karotint, A-, D- és E-vitamint tartalmaz nyáron (vagy legeltetéskor), mint télen. Másrészt viszont kis különbségeket figyeltek meg a tej B-vitamin-, és aszkorbinsav-koncentrációjában télen és nyáron.

20.5.2. A tej vitaminjainak szerepe a táplálkozásban

Étrendi szükséglet. A 20.25. táblázat a felnőtt javasolt napi vitaminfelvételét tartalmazza. Az adatok átlagok, amelyeket néha igen nagy különbségek alapján állítottunk össze.

20.25. táblázat. A javasolt napi vitaminfelvétel férfiaknak és nőknek, és az 1 liter tejjel kielégíthető szükséglet

Vitamin	A javasolt napi felvétel, mg		Az 1 liter tejjel kielégíthető mennyiség, %
	férfi	nő	
A	1,3	1,2	46
B ₁ (tiamin)	1,4	1,2	32
B ₂ (riboflavin)	1,7	1,6	104
B ₆ (piridoxin)	2,0	1,9	25
B ₁₂ (kobalamin)	0,0004	0,0004	113
Nikotinsav	16	14	6
Folsav	0,35	0,35	15
Pantoténsav	8	8	45
C (aszorbinsav)	60	60	30
D (kolekalciferol)	0,0025	0,0025	32
E (tokoferol)	10	10	11
K	2	2	2
Biotin	(0,2)	(0,2)	(18)

Így pl. E-vitaminból maximum 30 mg/nap, D-vitaminból 10 µg/nap és B₂-vitaminból pedig 3,4 mg/nap a javasolt felvétel. Néhányan az „ideális” A-vitamin-mennyiséget 10 mg/nap, a nikotinsavét pedig 150 mg/nap körülre teszik. A napi E-vitamin-szükséglet 6 mg/nap körüli érték, de ezt növelni kell, ha több többszörösen telítetlen zsírsavat is fogyasztanak. Más vitaminok szükséglete is függ az étrendtől. Így 1 mg nikotinsavat 60 mg triptofánnal tekintenek ekvivalensnek. Az aszkorbinsav minimális mennyiségét 5–10 mg/nap-ra teszik, de az optimális ennek a tízszerese. Ráadásul a napi vitaminszükséglet függ a testi aktivitástól és a nemtől is. Feltételezik, hogy bizonyos vitaminok szükséglete függ a kortól. Terhes és szoptató anyáknak növelni kell az A-, B₁-, B₂-, B₆-, B₁₂-, C-vitamin, a nikotinsav és folsav felvételét. Az A-vitamin mennyiségét gyakran retinol ekvivalensben fejezik ki, ahol 1 µg retinol 0,6 µg β-karotinnak felel meg. Nagy-Britanniában a D-vitaminra nem szabnak meg határértékeket, mert feltételezik, hogy a szükséges mennyiséget a szervezet előállítja a napfény hatására. A felnőttnek, úgy tűnik, nincs

szüksége biotinra. A K-vitamin-szükséglet valószínűleg 0,01–0,03 mg/testtömeg kg. Néhányan a vitaminfelvételt a táplálék energiataralmára vagy a testtömegre vonatkoztatják.

A javasolt napi vitaminfelvételt összevetve 1 liter tej vitamintartalmával bizonyítható, hogy a tej az egyik legfontosabb vitaminforrás. Egyes vitaminok szükséglete (pl. a B-vitamincsoport némelyike; a B₂, és B₁₂), teljesen fedezhető 1 liter tej elfogyasztásával, míg a tej és tejtermékek lényegesen hozzájárulhatnak az A-, B₁-, B₆-, D-vitamin és a pantoténsav pótláshoz. A fejlett ipari országokban élő emberek étrendjét vizsgálva kimutatták, hogy a tej és tejtermékek hozzájárulása a teljes vitaminfelvételhez a következő (20.26. táblázat):

20.26. táblázat. *A tej és tejtermékek hozzájárulása a teljes vitaminfelvételhez a fejlett ipari országokban*

<i>Vitamin</i>	
A-vitamin	12–45%
tiamin	6–20%
riboflavin	35–70%
piridoxin	10–20%
nikotinsav	2–5%
pantoténsav	20–30%
aszorbinsav	4–13%
D-vitamin	5–20%
E-vitamin	kb. 10%

A tejből és tejtermékekből származó A-vitamin mennyiségében lévő tág határ a különböző országokban az elfogyasztott vajmennyiség eltérő voltának köszönhető. A vizsgálatok szerint a különböző életkorú emberek riboflavinszükséglete eltérő, amit könnyen lehet orvosolni több tejfogyasztással. Ugyancsak megállapították, hogy a B₆-vitamin, a folsav és pantoténsav is az ajánlott szint alatt található a táplálékban. Az étrend is jelentősen befolyásolja a vitaminfelvételt, mivel a táplálék jelentősen eltérő mennyiségű nikotinsavat, B₁₂-vitamint és aszorbinsavat tartalmaz. A vegetáriánusok B₁-, B₂- és B₁₂-vitamin-felvétele lényegesen alacsonyabb, mint a nem vegetáriánusoké, vagy a lacto-ovo és laktovegetáriánusoké.

A tej egyes vitaminjai. Az A-vitamin a tejben emulzióként van jelen, és a szervezetbe a tejszírhoz hasonlóan, vagyis a nyirokcsatornákon át, zsírgömböcskék formájában megy át. Csak az A-vitamint lehet kimutatni a nyirokban, amiből arra lehet következtetni, hogy a karotin A-vitaminná való alakulása befejeződik, mielőtt áthalad a bél falon. A karotin hasznosulásának foka függ az elfogyasztott mennyiségtől, a hordozó természetétől, a hordozó zsír telítettségének fokától, valamint a táplálék zsír- és fehérjetartalmától. Az A-vitamin hasznosulása jobb a szervezetben, ha az fehérjéhez kötött, mint olajban oldott állapotban. A vaj A-vitamin-tartalma a magas zsírtartalom miatt nagy.

Úgy vélik, hogy a tej véd a környezeti egészségkárosító hatásokkal szemben, mivel magas a B-csoportba tartozó vitamintartalma. Mivel a növények nem tartalmazzak B₁₂-vitamint, ezért állati termékeket nem tartalmazó étrenddel hosszú távon ennek a vitaminnak a szükségletét nem lehet kielégíteni, ezért a szérumban B₁₂-vitamin-tartalma alacsony a vegetáriánusoknál.

20.6. Enzimek, hormonok, szerves savak

Az enzimek az élő sejtekben keletkeznek, és meghatározott kémiai reakciókat katalizálnak. Minden növényi és állati szervben megtalálhatók, ahol az anyagcsere-folyamatokat irányítják; a szervezet biokatalizátorai. Nagymolekulájú, szerves vegyületek, amelyek az élő szervezeten kívül is megtartják katalizáló hatásukat. A tej és a tejtermékek előállításánál fontos szerepet töltenek be, mert egyrészt felhasználhatjuk őket sok élelmiszer előállításához, másrészt meg kell

akadályoznunk a működésük következtében fellépő romlási folyamatokat. Az alapanyagok nagy részének jelentős az enzimtartalma, amelyek feldolgozásához további enzimdús segéd- és járulékos anyagot használnak. Napjainkban még csak a tudásunk kezdetén tartunk e területen, hisz az élővilágban fontos szerepet játszó több tízezer enzim közül csak mintegy kétezret ismerünk. Az enzimek nemcsak gyorsítják a szubsztrátok átalakulását, amelyre hatnak, hanem meghatározzák a folyamat jellegét is.

20.6.1. Enzimek a tejben

20.6.1.1. A tehéntej enzimeit

A tehéntejben több mint 40 enzimet mutattak ki. A legtöbbjük az emlőmirigyben szintetizálódik, de néhány a vérből kerül a tejbe. A zsírfázisban az enzimek koncentrációja különbözik a fölözött tejétől. Az *észteráz* három alakban fordul elő a tejben, amelyek közül a *B*-formának a legnagyobb az aktivitása az érett tejben, míg az *A* és *C* *észterázok* a kolosztrumban vannak túlsúlyban. A tejelválasztás zavarát a tejben lévő *A* *észteráz* aktivitásának jelentős emelkedése kíséri.

A tejben öt *lipáz* jelenlétét mutatták ki. A legtöbbjük a kazeinhez kapcsolódik. Az egyik *lipáz* a *lipoprotein lipáz*sal azonos. Az enzimaktivitás mértéke a tehén vemhességi állapotától függ. A lipolitikus aktivitás masztitisz esetében megnő, a laktációs periódus végére viszont lecsökken. Úgy tűnik, hogy a *lipázok* aktivitása a tejben vagy nagyon alacsony, vagy a zsírgolyócskák túl jól védettek a gyors lipolízissel szemben.

A tej tartalmaz egy endogén (azaz nem bakteriális eredetű) *proteázt*, amely a kazeinhez kötődik. A kolosztrumban az aktivitása észrevehetően magasabb, mint a tejben. Mind a *savas*-, mind az *alkalikus proteáz* megtalálható a tejben. Ezek az endogén enzimeken túl a tej tartalmaz még pszichotróf baktériumok által termelt *proteázokat* és *lipázokat* is.

Az *alkalikus foszfatáz* a zsírgolyó-membránban, a *savas foszfatáz* pedig a tejszérumban található. A laktáció alatt, és amikor a tejelválasztásban zavar lép fel, az *alkalikus foszfatáz* koncentrációja megnő, a *savas foszfatázé* pedig lecsökken. A *peroxidázaktivitás* nagysága a takarmány típusától, az évszaktól, a tehén vemhességi állapotától függ. A tejelválasztás zavara esetén szintén nagyobb az aktivitása a kolosztrumban és a tejben. A *peroxidáz* az emlőmirigyben szintetizálódik, a legnagyobb koncentrációban előforduló tejenzim; koncentrációja a savófehérje 1%-a. A mikroorganizmusok is termelnek egy szerkezetében és hatásában a *tejperoxidázhoz* hasonló enzimet.

A *xantin oxidáz* két genetikai variánsként, dimer és tetramer formában fordul elő a tejben. Az *oltóenzim* ezeket a polimereket kisebb egységeikre bontja. A *xantin oxidáz* aktivitása a laktációs periódus alatt nő, és akkor is magasabb, amikor a tej növekvő mennyiségű szomatikus sejteket tartalmaz. Mivel mindegyik variáns enzim molibdénatomot tartalmaz, a tej enzimaktivitása kapcsolatban van a molibdéntartalommal. A *xantin oxidáz* a zsírgolyócskamembránhoz kapcsolódik. Azt gondolják, hogy ez az enzim felelős a tej oxidált ízének kialakulásáért.

Az *amiláz* főleg a savófehérje laktoglobulin frakciójában helyezkedik el; a tejben mind α , mind β formában előfordul. *Ribonukleáz*ból négy variánst (*A–D*) mutattak ki a tejben. A *ribonukleáz-A*-ról feltételezik, hogy az azonos a hasnyálmirigy-*ribonukleáz A*-val. A *katalázaktivitás* a kolosztrumban és a tejelválasztás zavara esetén magasabb, ezért a *katalázteszt* használatát javasolják a tőgybetegség kimutatására.

A tehéntej *lizozim*tartalma nagyon kicsi (kb. 13 $\mu\text{g}/100 \text{ cm}^3$). Ennek az enzimnek az aminosav-szerkezete lényegesen különbözik az anyatej és a tojásfehérje *lizozimjától*. A tejben lévő *lizozim* koncentrációja nagyobb a kolosztrumperiódus alatt, és csökken a laktáció végére. A tejelválasztás rendellenességét a *lizozimaktivitás* lényeges növekedése kíséri. Ha a tőgy

*Staphylococcus aureus*szal fertőzött, a mikroorganizmusok száma gyorsabban csökken a tej magas lizozimkoncentrációja esetén.

A következő enzimek koncentrációja jelentős még a tejben: *N-acetil-glükózamináz*, *aldoláz*, *β-glükuronidáz*, *laktát dehidrogenáz*, *laktóz szintetáz*, *szulfhidril oxidáz*. A tehéntej tripszinhinhibitor is tartalmaz, amelynek koncentrációja megnő a masztitisz alatt.

20.6.1.2. A tej enzimeinek táplálkozási szerepe

A táplálékkal felvett enzimek szerepét a felnőttek anyagcseréjében nem ismerjük. Csak a laktózmalabszorpció esetében gondolják, hogy a kezelt tejben lévő *laktáz* felvétele hatással lehet az anyagcserére. Másrészt a táplálékban lévő enzimek jelentősek lehetnek a kisgyerekek számára. Az újszülött csecsemő emésztő rendszerének endogén lipolitikus aktivitása alacsony, ezért az anyatejjel történő *lipázfelvétel* szignifikáns hatással van az emésztő rendszerben folyó lipolízisre. A hasnyálmirigy-*lipáz* önállóan csak nagyon lassan hidrolizálja a tejben lévő zsírgolyócskák trigliceridjeit. Az anyatej *lipoprotein lipáza* 5 alatti pH-n, éppúgy mint a bélben, nem stabil, de az epesók által aktivált *lipáz* nagymértékben megtartja az aktivitását még savas pH-n is, és ezért nagy részt vállal a tejsír emésztésében és felszívódásában. A hasnyálmirigy által termelt *lipáz* ettől eltérő mechanizmussal működik; ez hidrolizálja a triglicerid mindhárom észterkötését. A zsír által képviselt energia nagy része csak akkor hasznosul, ha eredményes a lipolízis, és ehhez kell a magas *lipázaktivitás*.

A *laktoperoxidáz*, a *xantin oxidáz* és a *lizozim* baktericid tulajdonságokkal is rendelkezik, és a laktoferinnel együtt része az immunrendszernek. Ebből adódóan az anyatej jobb tápláléka a csecsemőnek, mint a tehéntej készítmények, és ezért merül fel a tehéntej készítményeknél a megfelelő enzimadagolás, mert így hasonló hatást remélnék a csecsemőtápszer esetében is.

A *lizozim* ellenálló az emésztő enzimekkel szemben, ezért aktivitását az egész emésztőtraktuson keresztül megőrzi. Ezt megerősíti az a tény, hogy *lizozimot* találtak a szoptatott csecsemők székletében, de nem találtak ilyet a mesterségesen táplált csecsemőknél. Mind az anyatejből, mind a tojásfehérjéből (ha adtak a tejhez) származó *lizozim* bejutott a székletbe. A *lizozim* közvetlen hatással van a baktériumra, mivel főleg a Gram-pozitív mikroorganizmusoknál, de az *E. colinál* is szétrombolja a sejtfalat. Ezenkívül közvetett baktericid hatása is van, mivel megnöveli az antitestek aktivitását. A *lizozim* ezért egyike azon anyatejkomponenseknek, amelyek megvédik a csecsemőt a különböző fertőző betegségekkel szemben. Az anyatejben lévő *lizozim* specifikus aktivitása háromszor akkora, mint a tojásfehérjéé, a tehéntej *lizozimaktivitása* pedig csak harmada a tojásfehérje-*lizoziménak*. Néhány kísérletben 130 mg/100 g tej koncentrációban *lizozimot* adtak csecsemő ételéhez, aminek eredményeként a bélflóra *Bifidobacterium bifidum*-aránya megnőtt, míg a kóli organizmusok száma csökkent, azaz a széklet összetétele megváltozott a szoptatott csecsemők székletéhez képest. Azonban a bélben lévő bifidusflóra és a székletben lévő *lizozim* között meglévő kétségtelenül szoros kapcsolat ellenére nem következtethetünk arra, hogy a csecsemő étrendjéhez adott *lizozim* közvetlen hatással lenne a bélflórára. A fenti megfigyelést vélhetően a hasonló diétás faktorok jelenlétével lehet magyarázni, és hogy *lizozim* hozzáadása az ételhez nem biztos, hogy valóban bifidus segítő hatással is bír. A *lizozimról* még azt is feltételezik, hogy segíti a fehérje abszorpcióját és emésztését, ugyanis egy kísérletben *lizozim* ételhez keverése után nagyobb mennyiségű oldható nitrogént találtak a kontrollcsoporthoz képest.

A *laktoperoxidáz*-tiocianát- H_2O_2 rendszer egy olyan másik antimikrobás faktor, amely megvédi a csecsemőt a betegségekkel szemben. A *laktoperoxidáz* és a tiocianát minden szövetben és váladékban megtalálható, a H_2O_2 -ot pedig a bél tejsavbaktériumai termelik, vagy a *xantin oxidáz* segíti elő képződését. Ez a rendszer a bélben antibiotikus hatást fejt ki. A tiocianátot fiziológiai koncentrációban a *laktoperoxidáz* és a H_2O_2 oxidálja közbülső terméké, ami a baktérium sejtmembránján tevékenykedik és elpusztítja a mikroorganizmust vagy gátolja a

növekedését. A *laktoperoxidáz* ellenáll a gyomorsavnak, amely hatást *in vitro* kísérletekben megerősítették, de az *in vivo* bizonyítás még várat magára.

A tehéntej *peroxidázaktivitása* magas, a tehéntej *laktoperoxidáz-tiocianát-H₂O₂* rendszere ezért szintén fontos lehet táplálkozási szempontból. A májban és a vesében lejátszódó anyagcsere-folyamatok megnövelik a tej tiocianáttartalmát, a H₂O₂-ot pedig a mikrobiológiai működés eredményezi. Ezért feltételezhető egy rendszer, ami felelős lehet a tehéntej baktericid tulajdonságaiért, mely különösen hatékony a pszichotrof organizmusokkal szemben. A legelőn tartott tehen teje elegendő tiocianátot tartalmaz, de ha mégsem, akkor tiocianát kiegészítést javasolnak a rendszer aktiválására. A reakció végterméke ártalmatlannak tekinthető, ezért a *laktoperoxidáz-tiocianát-H₂O₂* rendszert trópusi országokban a tejromlás késleltetésére is használhatják.

20.6.2. Hormonok a tejben

Magasabb rendű szervezetek belső elválasztási mirigyei olyan szabályozó hatású anyagokat, úgynevezett hormonokat termelnek, amelyek a véráram útján a célsejtekbe jutva megváltoztatják azok anyagcseréjét. Ezek az anyagok a testtömeghez képest igen kis mennyiségben szintetizálódnak, de termelésük zavara a szervezet jelentékeny működésbeni eltérést okozhatja, így pl. közvetlen hatással lehetnek a növekedésre, a szaporodásra, az anyagcserére és a viselkedésre. A hormonális szabályzó rendszer rendkívül bonyolult és mivel az idegrendszerrel is mélyreható kölcsönhatásban áll, ezért a rendszert neurohormonális szabályozásnak hívjuk.

Hormonok az állat és a növényvilágban mindenütt előfordulnak, ezért kis mennyiségben a tehéntejben és az anyatejben is megtalálhatóak. A tehéntej ösztrogéntartalma 60–200 pg/cm³, a kolosztrumé 1 ng/cm³. A laktációs periódus alatt, vagy a terhesség előrehaladtával a tej ösztrogéntartalma megnő, amíg el nem éri a kolosztrumban található szintet. Nem tudjuk, hogy a kolosztrumban található nagymennyiségű ösztrogén jótékony hatású e az újszülött számára.

A tehéntej átlagos természetes progeszteronkoncentrációja 13 ng/cm³, amelyből a kolosztrum nagyon keveset tartalmaz, a vemhes állatok tejében viszont több progeszteron lehet. Egy kísérletben intravénásan adagolt progeszteronnak csak 0,1–0,2%-a ment át a tejbe. Szoros kapcsolat áll fenn a tejtermékek zsír- és a hormontartalma között, ezért a fölözött tej csak 2 ng hormont tartalmaz milliliterenként, míg a vaj hormontartalma 300 ng/cm³.

A kolosztrum és a tej 0,2–0,7 ng/cm³ glikokortikoid hormont tartalmaz, amelynek szintje tovább csökken a laktáció folyamán, és koncentrációját nem befolyásolja a vemhességi állapot. A glikokortikoid elsősorban a tej fehérjével kapcsolódik, a petefészek szteroidok pedig a lipidfrakciókhoz kötődnek. A masztitisz kezelésére ezeket a hormonokat használva soha nem nő a tej hormontartalma, a glikokortikoid kortizolkoncentrációja viszont megnő a tejben, amikor az állatot stressz éri. Az összes kortikoid koncentrációja átlagosan 3–4 ng/cm³ a tejben.

A prolaktin a tejben átlagosan kb. 50 ng/cm³ koncentrációban van jelen. A kolosztrum prolaktintartalma magasabb, majd csökken a laktáció folyamán. A tej 50–150 pg tesztoszteront tartalmaz milliliterenként, amely hormonszint az állat szexuális ciklusától függ. A prosztaglandin-F_{2α} hormon csekély és változó mennyiségben (0,1–0,4 ng/cm³) található a tejben. A prosztaglandin koncentrációja egy intramuszkuláris injekció után csak a kezelést követő első tejben nőtt meg. Amikor tejelő állatokat hormontartalmú gyógyszerekkel kezelnek vagy ha hormonokat használnak a tehének ivarzásának szinkronizálására, esetleg a tejelválasztás növelésére, fennáll a veszélye annak, hogy a hormonok bekerülnek a tejbe. Ez függ a dózistól, a hormon kémiai szerkezetétől, a vivőanyagtól, és a kezelés módjától. A hormonok tejbe kerülését meg kell előzni a fogyasztóra ható egészségkárosító hatása miatt. Ösztrogénnel, gesztagénnel és kortikoidokkal végzett kísérletek azt mutatják, hogy ezek a hormonok a tejben csak akkor fordulnak elő, ha igen nagy dózisban vagy nem szájon át adják azokat. A takarmány gesztagén hormonokkal történő kezelése vagy a hormonok intramuszkuláris injekciója nem okozott

hormonmaradványt a tejben. Intravénás injekcióval való kezelés után 10 ng hormonszintet csak a kezelést követő második fejésig tudtak kimutatni a tejből.

A tejben a hormonegyensúly megzavarása miatt megnövekedett hormonszint, az állat szexuális ciklusa vagy a hormonkezelés megrontja a tej zamatát, és elősegíti az oxidált íz kialakulását. Az élelmiszerekben természetesen előforduló hormonok koncentrációja olyan alacsony, hogy a mai napig semmilyen biológiai jelentőséget nem tulajdonítottak neki. A tejben természetesen előforduló hormonoknak gyakorlatilag semmilyen hatása sincs a fogyasztóra, és a tej viszonylag biztonságosnak tekinthető az exogén hormonok tekintetében is, amelyek szájon át történő felvételkor is hatásosak. A tej és tejtermékek ösztrogénszintje túl alacsony a biológiai aktivitás kialakításához.

Az anyatej ösztrogéntartalma öt nappal a szülés után a legmagasabb (kb. 600 ng/cm³), majd 10 ng/cm³-re csökken. A pregnandiol a tehéntejben nem fordul elő, az anyatejben viszont 150–450 ng/cm³ koncentrációban található. A tehéntejben is megtalálható 17-ketoszteroid koncentrációja 36 µg/cm³ a szülés után négy nappal, és 400 ng/cm³-re csökken a laktáció 20. napjára. A szoptatott csecsemők több ösztrogént választanak ki a vizeletben, mint a tehéntej készítményekkel tápláltak. Azt gondolják, hogy az anyatej magasabb szteroidtartalma a laktáció korai szakaszában kedvezőtlen hatással van a csecsemő bilirubinmetabolizmusára. Az anyatejben található egyéb hormon még a tiroxin és trijód-tironin.

Az anyák a szervezetükbe jutott ösztrogénnek kevesebb, mint 0,4%-át választják ki a tejben 24 órán belül. A fogamzásgátló tablettákban lévő kis mennyiségű szteroid bekerül az ezeket a készítményeket szedő anyák tejébe, ezért kapcsolat lehet ezen hormonok és a hormonkészítményeket szedő anyák tejét fogyasztó csecsemők növekvő sárgasága között.

20.7. A tej egyéb szerves vegyületei

A tej és a tejtermékek kismennyiségben olyan vegyületeket is tartalmaznak, amelyek részt vesznek ízének és illatának kialakításában, befolyásolják eltarthatóságukat, és köztük speciális élettani hatású komponensek is találhatóak.

Elsősorban az erjesztéssel készült tejtermékek (kefir, joghurt, kumis) tartalmazhatnak kisebb-nagyobb koncentrációban **alkoholokat**. Az alkoholokat a szénhidrogénből úgy vezetjük le, hogy bennük egy vagy több hidrogénatomot hidroxilcsoporttal helyettesítünk. A hidroxilcsoportot tartalmazó szénhidrogén váz szerkezetétől függően az alkohol lehet alifás vagy ciklikus szerkezetű, telített vagy telítetlen, ha a szénhidrogéncsoport aromás gyűrűhöz kapcsolódik, akkor a vegyület aromás alkohol.

Az egyértékű alifás alkoholok között vannak az élelmiszer-ipari szempontból legfontosabb alkoholok, amelyek homológ sort alkotnak. Közülük tejtermékekben leginkább az **etil-alkohol** (CH₃CH₂OH) fordul elő, ami színtelen, víztiszta, kellemes szagú és égető ízű folyadék. Hidegen vagy melegen számos illóanyagot jól old, minden élő szervezet számára erős mérgező. A 70%-os alkohol elpusztítja, vagy fejlődésükben gátolja a mikroorganizmusokat. Az etil-alkohol-képződés legrégebben ismert módja a szeszes erjedés, amelynek során glükózból alkohol és szén-dioxid képződik.

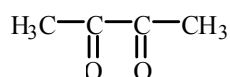


Élelmiszer-ipari szempontból jelentősek az alkoholtartalmú italok. Közülük kiemelés érdemel a kumis, mely 1,5–2,5% alkoholtartalmával kellemes és tápláló élvezeti cikk. Az emberi szervezet számára a kis mennyiségben fogyasztott alkoholtartalmú ital előnyös hatású, étvágygerjesztő, emésztést elősegítő és szorongást oldó lehet, nagy mennyiségben azonban rendkívül káros.

Az **oxovegyületek** jellemzője a =C=O karbonilcsoport, amely attól függően, hogy az oxocsoport láncvégi vagy láncközi C-atomhoz kapcsolódik, lehet aldehid vagy keton. Az aldehidek általános szerkezete R-CHO. A legreakcióképesebb vegyületek közé tartoznak, amelyek primer alkoholokból keletkeznek enyhe oxidációval; továbboxidálva őket karbonsavakat kapunk. Az aldehidek jellemző reakciói az addíció, a polimerizáció és a kondenzáció. Az élelmiszerekben az aldehidek az aminosavak bioszintézise során, az aminosavak enzimes dezaminálásánál vagy transzaminálásánál, az aminosavak és a karbonilszármazékok közti reakció során, a telítetlen zsírsavak autooxidációjánál, a linol- és linolénsav enzimes lebontásánál továbbá a karotinoidok átalakulása során képződhetnek. Jellemző illatuk révén a különböző élelmiszerek aromaanyagainak összetevői, és részt vesznek az élelmiszerek nem enzimes barnulási folyamataiban is.

Az **acetaldehid** (etanal) kis koncentrációban gyümölcsillatú, az alkoholos erjedés és az ecetsavgyártás fontos köztterméke. Az etil-alkohol *alkohol dehidrogenáz* enzim hatására acetaldehiddé alakul. Képződhet ezenkívül a szervezet szénhidrát-anyagcseréjében és az alanin lebomlása során is.

A **ketonokban** a karbonilcsoport mindkét vegyértékével szénatomhoz kapcsolódik. Reakcióik hasonlítanak az aldehidekéhez, de azoknál nehezebben oxidálhatók, aminek során láncszakadás következik be. Többségük jellegzetes, de nem kellemetlen illatú vegyület. Az **alifás ketonok** főként zsirtartalmú élelmiszerekben fordulnak elő; zsírsavakból képződnek oxidációval. A folyamat egyik útja a mikroorganizmusok által katalizált oxidáció, amelynek végterméke az R-metil-keton. Ezen az úton 5–9 szénatomos ketonok képződnek, amik fontos aromaanyagok. Az **aceton** (2-propanon) az élő szervezetben az acetecetsav dekarboxileződésével képződik. Hidroxi-keton az **acetoin** (3-hidroxi-2-butanon), amely kellemes illatú, az állati és az emberi szervezet természetes alkotója. Számos mikroorganizmus is termel acetoint, ami a vajgyártás fő aromaanyaga. A vajon kívül előfordul a kenyérben, a sörben, a narancsban, a csirkehúsban és a friss zöldborsóban is. A melasz erjesztésének egyik mellékterméke. A **diacetil** (2,3-butándion) az acetoin vagy a 2-butanon oxidációjával képződik. A folyamat enzimikus hatásra is végbemegy, amelynek a vajgyártásban van jelentősége. A diacetil a vaj legjellegzetesebb aromaanyaga. A vajon kívül előfordul még a sajtban, a babérolajban, több illóolajban, alkoholtartalmú italokban és a kávéaromában.



diacetil (2,3-butándion)

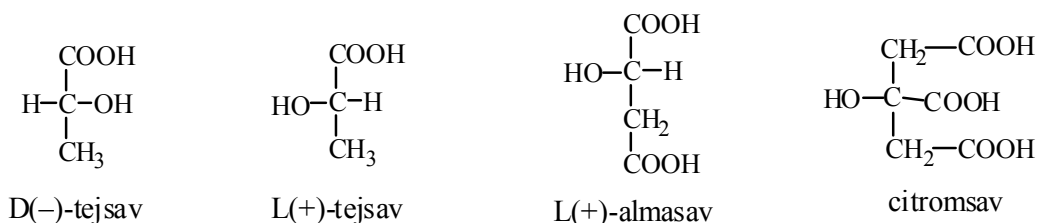
A tej és tejtermékeknek fontos összetevői a **szerves savak és származékaik**, amelyek közül legjelentősebbek az észterek és a laktonok. A szerves savak karboxilcsoportot (-COOH) tartalmazó szerves szénvegyületek. Az ásványi savaknál gyengébbek, a dikarbonsavak a monokarbonsavaknál erősebbek. Legjellemzőbb tulajdonságuk, hogy az alkoholokkal észtert képeznek, fontos átalakulásuk a dekarboxileződés, és megfelelő körülmények között alkohollá redukálhatók. A tej és tejtermékekben a szerves savak részt vesznek az íz- és illatanyagok kialakításában. A pH változtatásával szabályozzák egyes technológiai szempontból fontos reakciók sebességét, és védelmet nyújtanak a mikrobiológiai romlás ellen.

A **telített monokarbonsavak** közül legjelentősebb az **ecetsav** (CH₃COOH), amely áthatóan savanyú ízű és szagú, vízgőzzel desztillálható illósav, disszociációs állandója 25 °C-on 1,85 · 10⁻⁵. Előfordul minden olyan élelmiszerben, amely alkoholos vagy savas erjesztéssel készül (savanyú tejkészítmények, kenyér, alkoholtartalmú italok). A **propionsav** (CH₃CH₂COOH) gyenge sav, amit a propionsav-termelő baktériumok hexózokból állítanak elő. A propionsav ezért előfordul minden olyan élelmiszerben, ahol megvannak a propionsavas erjedés feltételei. Fontos szerepe van a sajt érésében, mert részt vesz az aromaanyagok kialakításában. Az **n-**

vajsav [CH₃(CH₂)₂COOH] kellemetlen, átható szagú, az ecetsavnál gyengébb sav. A vajsavtermelő baktériumok szénhidrátokból és tejsavból állítják elő anaerob körülmények mellett. Azokban az élelmiszerekben fordul elő, amelyek gyártása során erjedési folyamatok mennek végbe, így megtalálható a rokfort és parmezán sajtban is.

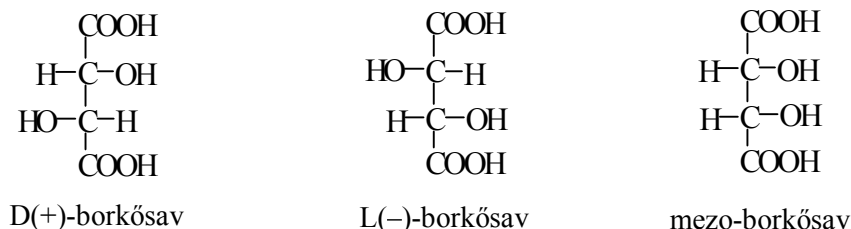
A **2-metil-butánsav** (α-metil-vajsav) egyes sajtfeleségeken, a **kapronsav** (hexánsav) a tejben, a sajtban, a sörben, a teában és a málnában, az **önantsav** (n-heptánsav) a sörben, az almahéjban, a sajtban, a savanyú káposztában, a teában és a kávéban fordul elő.

A **telítetlen dikarbonsavak** közül az etiléndikarbonsav transz-izomere, a **fumársav** részt vesz a citrátkörben, gyakorlatilag minden olyan sejtben megtalálható, ahol a citrátkör lejátszódik. A **telítetlen trikarbonsavak** közül az **akonitsav cisz-izomere** a citromsavciklus közbülső terméke, ezért szinte mindenütt megtalálható élelmiszereinkben. A **tejsav** (2-hidroxi-propionsav) víztiszta, "tiszta" savanyú ízű vegyület. Három izomer módosulata létezik, amelyek közül a D(-) tejsav a szénhidrátok tejsavas erjedése során képződik, az L(+) tejsav pedig az állati szervezetben a glikogén lebontásának terméke. A tejsav kellemes savanyú íze miatt különböző élelmiszerek ízesítésére alkalmas. Fontos szerepe van számos élelmiszer gyártásánál, pl. a savanyú tejkészítmények, a mikrobiológiai úton savanyított zöldségfélék, a kenyér gyártásánál, a friss húsok érésénél.



Az **almasav** három módosulatából a természetben csak az L-módosulat található meg, amely köztes termék a citrátciklusban. Különösen sok található belőle az éretlen almában, az egresben és a szőlőben, és előfordul még a vérben, a mézben és a borban is. A **borkósav** a természetben csaknem kizárólag a D(+)-borkósav formában fordul elő. A természetben széles körben megtalálható a különféle növényekben: a szőlőben, a galagonyában, a meggyben és a berkenyében. Az újborból jelentős mennyiségben válik ki savanyú káliumsója, a borkő. A borkósavat sütőporokba, gyümölcszselék, cukorkák, fagylalt ízesítésére és a limonádék savanyítására használják.

A borkósav izomerjei



A **citromsav** (2-hidroxi-propán-trikarbonsav-(1,2,3)) kellemesen savanykás ízű, nagyon reakcióképes vegyület, amely minden élőlényben megtalálható, hisz a sejtlégzésben a citrátciklus előtagja. A citrom különösen sok citromsavat tartalmaz, amiből az iparban előállítják. Kellemes savanykás íze miatt cukorkák, fagylaltok, üdítőitalok, likőrök, italporok készítésére, fűszerek, mártások ízesítésére az élelmiszer-ipar széles körben alkalmazza. A citromsavból kitűnő puffer állítható elő, ezért különböző élelmiszerek, elsősorban tejtermékek gyártásakor előszeretettel

használják. Komplexképző hatása miatt alkalmas a kalciumion lekötése révén véralvadásgátlására. A réz- és a vasionok komplex alakban történő megkötése miatt a zsírokhoz adagolt antioxidánsok mellett szinergetikus hatása van.

Az **aromás karbonsavak** közül a **benzoesav** és származékai, a **p-hidroxi-benzoesav** és a **p-hidroxi-benzoesav-észterek**, valamint a **szalicilsav** baktericid és fungicid hatásúak, ezeket bizonyos élelmiszereknél tartósítószerként is használják. Néhány aromás karbonsav a különböző élelmiszerekből is kimutatható; az íz- és aromaanyagok részei.

A szerves savak észterei rendkívül fontos aromaképző vegyületek, ugyanis a **szerves savak alifás alkohollal képzett észterekre** jellemző, hogy kis szénatomszámú képviselőik gyümölcsillatúak. A **vajsav alkil-észterei** kellemes gyümölcsillatú vegyületek, az n- és izovajsavészterek egy-egy gyümölcsre emlékeztető illataroma hordozói. A vajsavészterek előfordulnak többek között a különféle sajtokban, felhasználják azokat aromák, eszenciák készítéséhez.

A **laktonok** a hidroxikarbonsavak belső észterei, amelyek γ - és δ -hidroxisavakból spontán képződnek. A γ -lakton ötagú, a δ -lakton hattagú gyűrűs vegyület. A laktonok élelmiszerekben is előfordulnak, és mivel néhányuknak kicsi az ízküszöbértéke, ezért jelentős élelmiszeraromakomponensek. A γ -laktonok inkább a növényi, a δ -laktonok pedig főként az állati eredetű élelmiszerekben fordulnak elő. A γ - és δ -laktonokon kívül az élelmiszerekben még makro- és biciklusos laktonok is előfordulnak.

20.7.1. Szerves savak a tejben

Citromsav. A tejben a citromsav átlagos koncentrációja $1,7 \text{ g/dm}^3$, a szélsőértékek pedig $0,9\text{--}2,3 \text{ g/dm}^3$, amelynél a kolosztrum lényegesen több citromsavat tartalmaz ($3\text{--}5 \text{ g/dm}^3$). A tejben lévő szerves savaknak kb. 90%-át a citromsav teszi ki. Úgy tűnik, hogy a takarmány összetétele nem befolyásolja a tejben lévő citromsav mennyiségét, de összefüggést figyeltek meg a κ -kazein genetikai variánsainak típusaival, ugyanis szignifikánsan nagyobb a citromsav koncentrációja A-variáns esetében. A tej citromsavtartalma csökken a tejelválasztás zavara esetén. A tejben lévő citromsav több, mint 90%-a oldatban van, 6–7%-a kolloidális állapotú, valószínűleg kalcium-kazeinát komplexhez kapcsolódva. Az anyatej kevesebb citromsavat tartalmaz, mint a tehéntej ($0,2\text{--}1,5 \text{ g/dm}^3$), a csecsemőtápszer készítmények pedig $0,8\text{--}2,9 \text{ g}$ citromsavat tartalmaznak literenként.

A citromsav az emlőmirigyekben a piruvátból képződik. Az ásványi anyagokkal együtt a tej pufferrendszerének a része, hozzájárul a kalcium-kazeinát komplex stabilitásához, és a tejtermék kultúrák ízanyagához. A citromsav gyorsan metabolizálódik, ezért valószínűtlen, hogy valaha is elérhesse a toxikus koncentrációt. Élettani szerepe az, hogy csökkenti az ionos állapotú szérumkalcium vizeletben történő kiválasztását, és így megelőzi a csontok túlzott demineralizálódását. A citromsav elősegíti a mineralizációt, ezért a csecsemő táplálkozásában fontosnak tartják az exogén pótlást, bár a citromsavpótlás a szervezet által szintetizált mennyiségének csak egy töredékét jelentheti.

Neuraminsav. A neuraminsav a tejben acetilezett formában van jelen, azaz N-acetilneuraminsav, amit laktamin- vagy szialinsavnak is hívnak. A tejben nitrogéntartalmú oligoszacharid csoport is tartalmaz laktaminsavat. A szialinsavnak kb. 80%-a kazeinhez, főleg a κ -kazein glikomakropeptidjéhez kapcsolódik, tehát pozitív összefüggés van a tej szialinsav- és fehérjetartalma között. A tej átlagos szialinsav-koncentrációja 15 mg/100 cm^3 körül van, a szélsőértékek $8\text{--}100 \text{ mg/100 cm}^3$. A kolosztrum és a laktáció végén fejt tej több szialinsavat tartalmaz, és több szialinsav található a beteg állat tejében, különösen azoknál, melyeknél rendellenes a tejelválasztás. A különböző fajták tejének szialinsav-tartalmában különbségek lehetnek. A κ -kazein 2,3%, az összes kazein pedig kb. 0,35% szialinsavat tartalmaz. A szialinsav részt vesz a kazein-komplex stabilitásában.

Az anyatej kb. 50 mg szialinsavat tartalmaz 100 cm³-enként, ami több, mint a tehéntejé, és a kolosztrumban még ennél is nagyobb a koncentrációja. A szoptatott és mesterségesen táplált csecsemők szérumban közel azonos volt a neuraminsav-koncentráció. Mivel a neuraminsav és annak acetilezett származéka a glikolipidek és glikoproteinek szintézisének építőköve, ezért lehetséges, hogy a csecsemő táplálékában az agy idegszövege kialakulásához fontos a jelenléte. Az anyatejben lévő bőséges mennyiségű neuraminsav szintén közreműködik a kóli baktériumok és sztafilokokkuszok növekedésének gátlásában.

Nukleinsavak. A nukleinsavak minden sejtnek alkotórészei, a tejben ribonukleinsavként (RNS), dezoxiribonukleinsavként (DNS) és nukleotidokként fordulnak elő. A tehéntejben lévő DNS hasonló koncentrációban van jelen, mint az anyatejben (1,2 és 1,5 mg/100 cm³), de az anyatej több RNS-t tartalmaz (11,5 mg/100 cm³ a tehéntej 5,4 mg/100 cm³-ével szemben). A tehéntejben lévő nukleotidok 80%-a orotsav formában van jelen, ami teljesen hiányzik az anyatejből. A nukleinsavak túlnyomórészt a savóhoz és a kazeinhez kötődnek, és csak kis mennyiségben találhatóak a zsírfázisban. Az orotsav mellett a tehéntej kis mennyiségben tartalmaz uridin, guanozin, adenozin és citidin nukleotidokat is. A tehén kolosztruma magasabb koncentrációban tartalmaz néhány nukleotidot, főleg UDP-glukózt, UDP-galaktózt és más uridinszármazékokat. A tehén kolosztruma viszonylag nagy koncentrációban tartalmaz pirimidin nukleotidokat is, de koncentrációjuk az érett tejben alacsony.

20.27. táblázat. *Az anyatej és a tehéntej nukleotidtartalma*

Nukleotid	Mennyiség (mg/dm ³)	
	Anyatej	Tehéntej
Citidin-5-monofoszfát (CMP)	10,8–18,0	2,97
Adenozin-5-monofoszfát (AMP)	0,9	
Ciklusos-3,5-adenozin-5-monofoszfát (3,5-AMP)	0,22	1,38
Guanozin-5-monofoszfát (GMP)	0,27–0,53	
Uridin-5-monofoszfát (UMP)	1,14–1,33	
Uridin-5-difoszfát-N-acetil-glükózamin + fukóz (UDP-X3)	1,60	
Uridin-5-difoszfát-N-acetil-glükózamin + uridin-5-difoszfát-N-acetil-galaktózamin (UDP-AG + UDP-AGal)	2,60–3,61	
Uridin-5-difoszfát-glükuronsav + uridin-5-difoszfát (UDP-GS + UDP)	1,27–2,18	
Orotsav		61,9

A 20.27. táblázat az anyatej és a tehéntej fontos nukleotidjait tartalmazza, amelyeknek tejben található mennyiségét illetően lényeges eltérés van az egyes szerzők között. Az anyatej nukleotidjai, amelyek UDP-ből és cukrokból állnak, különös figyelmet érdemelnek, mivel ezek, éppúgy, mint más oligoszacharidok, bifidusfaktornak tekinthetők. A táblázatban közölt nukleotid oligoszacharidok mellett az anyatej még az uridin-5-difoszfát-N-acetil-laktózamint (UDP-X1), az uridin-5-difoszfát-glükózt (UDPG), és az uridin-5-difoszfát-galaktózt (UDP-Gal) is tartalmazza. Az anya kolosztruma nagyobb koncentrációban tartalmaz nukleotidokat, főleg guanozin- és adenzinszármazékokat, mint az anyatej. Közlemények szerint a kecske teje lényegesen több adenzin-trifoszfátot (ATP) tartalmaz, mint akár az anyatej, akár a tehéntej.

Megoszlanak a vélemények arról, hogy az étrendben szereplő nukleotidoknak van-e élettani hatása. Egyrészt azt gondolják, hogy az RNS szerepet játszik a zsíremésztésnél, mivel meggyorsítja a tejszír enzimatis hidrolízisét, másrészt a tej alacsony nukleinsav-tartalma előnyt jelent a hússal szemben, mert a nagy nukleinsav-tartalmú, nagy mennyiségű hús elfogyasztása a szervezetben nagymennyiségű húgysav képződéséhez vezet, ami felelős lehet a húgykő és a köszvény kialakulásáért. Az átlagos napi nukleinsav-felvételt közlemények 1,1 g-ra teszik. A ciklusos nukleotidok, a ciklikus AMP és a ciklikus GMP változatlanul érik el az emésztőrendszert és abszorbeálódnak. Lehetséges, hogy szerepet játszanak az újszülött növekedésének szabályozásában. A táplálékban lévő nukleotidokat a növényben lévő szervezet a nukleinsav-szintézis prekursoraiként használja, ezért Japánban nukleotidokat adnak a csecsemőtápszerekhez. Azt állítják, hogy ez a kiegészítés előnyt jelent az anyatejhez jobban hasonló tehéntej íz produkálásában, és hogy segíti a kazein koagulációját a gyomorban, javítva az emészthetőséget.

Az orotsav a tehéntej egyedüli nukleotidja. Az átlagos orotsav-koncentráció 75 mg/dm^3 , $20\text{--}180 \text{ mg/dm}^3$ szélsőértékekkel. A savó több, a kolosztrum kevesebb orotsavat tartalmaz. Az orotsav koncentrációja emelkedik a laktáció alatt, és értéke az évszaktól is függ. A tőgybetegségek csökkentik a tej orotsavtartalmát.

Az orotsav befolyásolja a zsíryanycserét, ugyanis mérsékelt mennyiségben hypolipemiához vezet, de több mint 0,1%-nyi felvétele a máj zsíros elfajulását okozza. A tejben lévő orotsav az emberre nem ártalmas, mert a tej magas kalcium- és laktóztartalma miatt megvédheti a májat az elzsírosodással szemben. Azt találták, hogy az orotsav növekedési faktor a *Lactobacillus bulgaricus* számára, és néhány szerző azt gondolja, hogy vitaminszerű tulajdonságokkal is bír, mivel részt vesz a nukleinsavak szintézisében, és kimutatták, hogy a laboratóriumi állatokra is kedvező hatással van. Az orotsavat koleszterincsökkentő faktornak is tekintik, mert csökkenti a májban lévő koleszterin bioszintézisét. Az orotsav részt vehet a májban lejátszódó detoxikációs folyamatokban is.

Más szerves savak. A tej kis mennyiségben tartalmaz vajsavat, propionsavat, piroszőlősavat, hangyasavat és tejsavat, és nyomnyi mennyiségben még más szerves savakat is. A hippursav a növényevők anyagcseréjének mellékterméke, és kb. $30\text{--}60 \text{ mg/dm}^3$ koncentrációban fordul elő a tejben. Legeltetéskor koncentrációja magasabb, mint nagyobb mennyiségű abrakfogyasztáskor. A benzoésav szintén természetes alkotórésze a tejnek, a nyers tejben $3\text{--}6 \text{ mg/dm}^3$ koncentrációban van jelen. A tejtermékek 50 mg benzoésavat is tartalmazhatnak literenként, mivel ez a sav a starterkultúrák anyagcseréjének mellékterméke. A tejben jelenlévő egyéb savak: a húgysav, az oxálsav, a szalicilsav, és az α -liponsav, amit növekedési faktornak gondolnak, mely a zsírgolyómembránban foglal helyet.