



Tej és tejtermékek konjugált linolsav-tartalma I. A tej konjugált linolsav-tartalmát befolyásoló tényezők (Irodalmi feldolgozás)

¹Csapó J., ¹Vargané Visi É., ²Csaponé Kiss Zs., ³Szakály S.

¹Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar, Kémiai Intézet, Biokémiai és Élelmiszerkémiai Tanszék, Kaposvár, 7400 Guba S. u. 40.

²Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar, Kémiai Intézet, Kémia Tanszék, Kaposvár, 7400 Guba S. u. 40.

³Magyar Tejgazdasági Kísérleti Intézet, Pécs, 7623 Tüzér u. 15.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelenlegi ismereteink alapján élelmiszereink közül a kérődző állatok húsa és teje, valamint az ezekből készített termékek tartalmazzák a legtöbb konjugált linolsavat (0,2-2 g KLS/100 g zsír). A monogasztrikus állatok húzában mindössze tizedannyi KLS-t találtak, mint a kérődzőkében, a halak és egyéb tengeri állatok húzában KLS-tartalmát pedig még ennél is kevesebbnek mérték. A kérődző állatok termékeiben található KLS részben a linolsavból jön létre, a biológiai hidrogénezés folyamán baktériumos közreműködéssel, részben a transz-C18:1 zsírsavakból alakul ki a tejmirigyben zajló $\Delta 9$ -deszaturáz reakcióval. Monogasztrikus állatoknál is a szövetek KLS-szintjének emelkedését tapasztalták a linolsav bevitel növelésének hatására, így nem zárható ki, hogy emésztőrendszerükben - bár kisebb mértékben, mint a kérődzők bendőjében - biológiai hidrogénezés megy végbe. A $\Delta 9$ -deszaturáz reakció révén is termelődhet KLS a patkányok májában, és az endogén KLS-termelődés mellett az abrakfogyasztó állatok termékeinek KLS-tartalmát jelentősen gyarapíthatja az állati eredetű takarmányokkal bevitt KLS is. Kérődzők esetében a tej KLS-szintje jelentősen növelhető azáltal, ha a takarmányozáson keresztül beavatkozunk a biológiai hidrogénezési folyamatokba. Egyik lehetőség erre olyan takarmányok etetése, amelyek sok, többszörösen telítetlen zsírsavat tartalmaznak. Ha a zsíradék szabad formában van jelen a takarmányban, vagy kötött forma esetében az olajhordozó szerkezete törekeny és/vagy a napi takarmányadagot kevés részletben kapják meg az állatok, akkor nagymennyiségű, a baktériumok számára könnyen elérhető, linolsav jut a bendőbe rövid idő alatt. A magas szubsztrátkoncentráció hatására a biológiai hidrogénezés első két gyors reakciójának termékei, a c9,t11-C18:2 és a t11-C18:1 felhalmozódnak a bendőben, majd a tápcsatornában továbbhaladva felszívódásuk után az állat szervezetében mindenhova eljutnak. A másik lehetőség a magasabb keményítő- és alacsonyabb rosttartalmú takarmány etetése, amely a végső hidrogénezési lépés sebességének lelassulását vonja maga után. Nyilvánvaló azonban, hogy a takarmány zsirtartalmának növelése és rosttartalmának csökkentése csak kismértékű lehet a káros élettani hatások kiküszöbölése miatt. Jelenleg a halolaj KLS-szint növelő hatásának mechanizmusa még nem ismert, és megválaszolatlan az a kérdés is, hogy a tej KLS-szintjét milyen mértékben befolyásolja a biológiai hidrogénezés, és milyen mértékben a $\Delta 9$ -deszaturáz reakció. Ezen reakció egyik szubsztrátja, a t11-C18:1, azonos a biológiai hidrogénezés egyik köztes termékével, így a $\Delta 9$ -deszaturáz reakció sebességét elvileg befolyásolhatja a biológiai hidrogénezésből származó és felszívódott t11-C18:1 zsírsavak mennyisége. A tejszír KLS-tartalmának növelése megfelelő takarmányozással megvalósítható, azonban ez rendszerint együtt jár a

tej összetételének jelentős megváltozásával. A tej zsírtartalma és fehérjetartalma csökkenhet, a zsírsavösszetételen belül a hosszú szénláncú zsírsavak szintje emelkedik, miközben a közepes szénláncú zsírsavak aránya csökken párhuzamosan a transz-zsírsavak mennyiségének növekedésével. A tej KLS-szintjének növekedése azonban csak átmeneti jelenség, a tej KLS-tartalma ugyanis az új takarmány bevezetése után néhány hét múlva csökken.

(Kulcsszavak: linolsav, konjugált linolsav, biológiai hidrogénezés, cisz-zsírsavak, transz-zsírsavak)

ABSTRACT

Conjugated linoleic acid content of milk and milk products I. Factors affecting the quantity of conjugated linoleic acid of milk (A review)

J. ¹Csapó, É. ¹Varga-Visi, Zs. ²Csapó-Kiss, S. ³Szakály

¹University of Kaposvár, Faculty of Animal Science, Institute of Chemistry, Department of Biochemistry and Food Chemistry, Kaposvár, H-7400 Guba S. u. 40.

²University of Kaposvár, Faculty of Animal Science, Institute of Chemistry, Department of Chemistry, Kaposvár, H-7400 Guba S. u. 40.

³Hungarian Dairy Research Institute, Pécs, H-7623 Tüzér u. 15.

According to our present knowledge, among the food-products, the meat and milk, and those products of the ruminants contain the most conjugated linoleic acid (0.2-2 g CLA/100 g fat). Only one tenth of the CLA content of ruminants and those products was found in the meat of monogastric animals, according to fishes and other sea animals this CLA content was even lower. The CLA in ruminants-derived products comes into existence partly from the linoleic acid, and partly from trans-C18:1 fatty acids by the $\Delta 9$ -desaturase reaction in the mammary gland. The increase of the CLA content of tissues was also experienced in the case of monogastric animals, so it is possible that in their digestive system, though in a smaller extent than in the rumen of ruminants, biological hydrogenation occurs. CLA can also be produced by the means of $\Delta 9$ -desaturase reaction in the liver of rats, and besides the endogenous CLA production the CLA content of the products of monogastric animals can be substantially improved by taking into animal-origin feedingsuffs with substantial CLA content. In the case of ruminants the CLA content of the milk can be substantially increased by interfering the biological hydrogenation processes through feeds. One opportunity is the to use feeds containing a lot of polyunsaturated fatty acids. When the fat is present at a free form in the feed, or in the case of a stabilised form, the structure of the oil career is fragile and/or the animals receive the daily amount of feed in small portions, than a great amount of linoleic acid arrives at the rumen that is easily reached by bacteria in a short time. Due to the impact of the high substrate concentration, the first two products of the fast reactions of the biological hydrogenation c9,t11-C18:2 and t11-C18:1 accumulate in the rumen then later proceeding on the alimentary after their absorption they spread to all directions in the organism of the animal. The other solution is to use high starch and low fibre content diet which entails the slowing down of the speed of the final hydrogenation step. It is obvious though that the increase of the fat and the decrease of the fibre content of the diet can only be done in a lesser degree owing to eliminate the undesirable physiological effects. For the time being the mechanism of the CLA decreasing effect of fish oil is not known and it is also unanswered to what measure does the biological hydrogenation and the $\Delta 9$ -desaturase reaction influence the CLA level of the milk. One of the substrate of this reaction, the t11-

C18:1, is the same with one of the interim products of the biological hydrogenation so theoretically the speed of the Δ^9 -desaturase reaction can be influenced with the amount of the absorbed t11-C18:1 fatty acids deriving from the biological hydrogenation. The increase of the CLA-content of the milk fat can be carried out by appropriate feeding but it usually entails a considerable change in the composition of milk. The fat and protein content of the milk might decrease, within the fatty acid composition the level of long-chain fatty acids increase, while the ratio of the medium-chain fatty acids decrease parallel with the increase of the quantity of trans-fatty acids. The increase of the CLA content of the milk is only a temporary phenomenon since the CLA content of the milk decreases after the introduction of the new feed in some weeks.

(Keywords: linoleic acid, conjugated linoleic acid, biological hydrogenation, cis-fatty acids, trans-fatty acids)

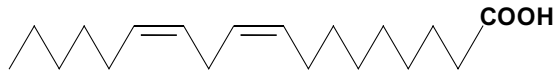
A betegségek gyógyításával kapcsolatos kutatások mellett azok megelőzésével kapcsolatos ismeretek bővítése is fontos. Mind az állampolgárok, mind az állam szempontjából előnyösebb, ha már a betegségek kialakulása megelőzhető, mint ha a már kialakult betegségeket kell gyógyítani. A megelőzés egyik eszköze olyan életmód illetve életvitel kialakítása, amely csökkenti a betegségek kialakulásának kockázatát. Az életmód egyik eleme a táplálkozás. Az ételek, amelyeket fogyasztunk, egyaránt lehetnek pozitív, vagy negatív hatással az egészségünkre. Egyes ételek olyan alkotórészeket tartalmaznak, melyeknek szerepe van különféle betegségek megelőzésében, vagy a már kialakult betegségek gyógyításában. Ezek az ún. gyógyhatású élelmiszerek.

Az emberi táplálkozás zsírforrásai közül a tejszírt nemrég még egyértelműen egészségre károsnak tartották, mivel az telített zsírsavakban gazdag. A tejszír a magas telített zsírsavtartalom mellett azonban az újabb vizsgálatok szerint olyan komponenseket is tartalmaz, melyek pozitív egészségi hatást fejthetnek ki: rákellenes és *atherosclerosis* ellenes hatásukat több állatkísérlet során is észlelték (*Ha és mtsai.*, 1987; *Pariza és Hargraves*, 1985; *Ha és mtsai.*, 1990; *Ip és mtsai.*, 1991; *Lee és mtsai.*, 1994; *Nicolosi és Laitinen*, 1996). Az elmúlt évtizedben végzett állatkísérletek során a tejszírban található több vegyület előnyös hatására derült fény; az ún. konjugált linolsavakat (rövidítve KLS) is beleértve. Miután kiderült, hogy a KLS jelentős élettani hatással bír, vizsgálni kezdték, hogy mely élelmiszerek szolgálhatnak gazdag KLS-forrásként. A KLS-tartalom változásai mögött eltérő mechanizmusok lehetnek, attól függően, hogy az adott élelmiszer KLS-szintjét mely folyamatok befolyásolják jelentősen. A nyerstej KLS-tartalmának egy része például feltehetően a tehének bendőjében zajló biokémiai reakciókból származik. Feldolgozott élelmiszereknél, egyes technológiai lépések során is keletkezhetnek konjugált linolsavak. Felmerül annak lehetősége is, hogy ezen folyamatokba úgy avatkozzunk be, hogy a KLS termelődés irányába tolódjanak el, s ezáltal KLS-ben gazdag, kedvező élettani hatású terméket kapjunk. Ennek megvalósítása bonyolult feladat, melynek során arra is vigyázni kell, hogy a KLS-tartalom növekedése ne járjon együtt egyéb, nem kívánatos változásokkal.

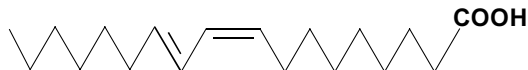
A konjugált linolsav definíciója

A konjugált linolsav megnevezés azon linolsav-izomerek (szerkezeti és geometriai izomerek) gyűjtőneve, melyek a linolsavval szemben nem izolált, hanem konjugált helyzetben tartalmaznak két kettős kötést. A kettős kötések többnyire a 9, 11, vagy a 10, 12 helyzetben találhatóak (*Ha és mtsai.*, 1987), de egyéb pozíciókban (8, 11; vagy 11, 13) is előfordulhatnak (*Christie és mtsai.*, 1997). Mindkét kettős kötés lehet *cisz*, vagy *transz* konfigurációjú.

A linolsav és a konjugált linolsav képlete



cisz-9,cisz-12-C18:2 (linolsav)

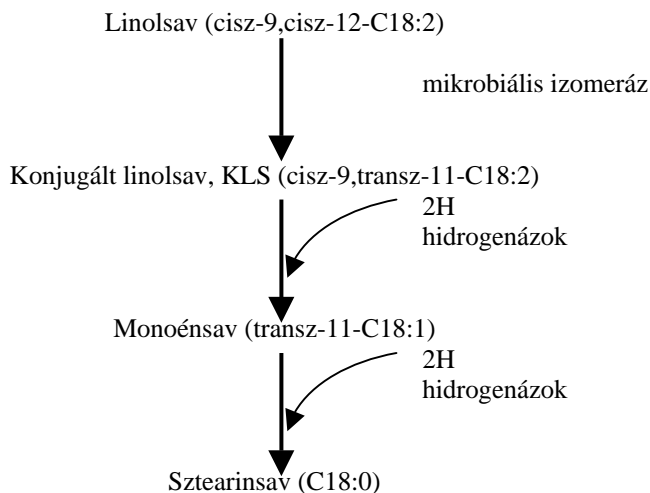


cisz-9,transz-11-C18:2 (konjugált linolsav, KLS)

A konjugált linolsavak kialakulása a természetben és kémiai előállításuk lehetőségei

A KLS a természetben főként a többszörösen telítetlen zsírsavak biológiai hidrogénezése során termelődik. Ez a bakteriális enzimtevékenység főként a kérődző állatok bendőjében zajlik (*Shorland és mtsai., 1955; Chin és mtsai., 1992a*) és feltételezik, hogy a patkányok bélcsatornájában található mikrobák is képesek a szabad linolsavat *cisz-9,transz-11* konjugált linolsavvá alakítani. A fenti szerzők ugyanis azt tapasztalták, hogy a patkányok linolsav fogyasztása befolyásolta szövetek KLS-tartalmát. Magasabb linolsav bevitel esetében a patkány-szövetekből izolált lipidek KLS koncentrációja is jelentősen magasabb volt, mint a kevesebb linolsavat fogyasztó patkányoké.

A linolsav biológiai hidrogéneződése a bendőben



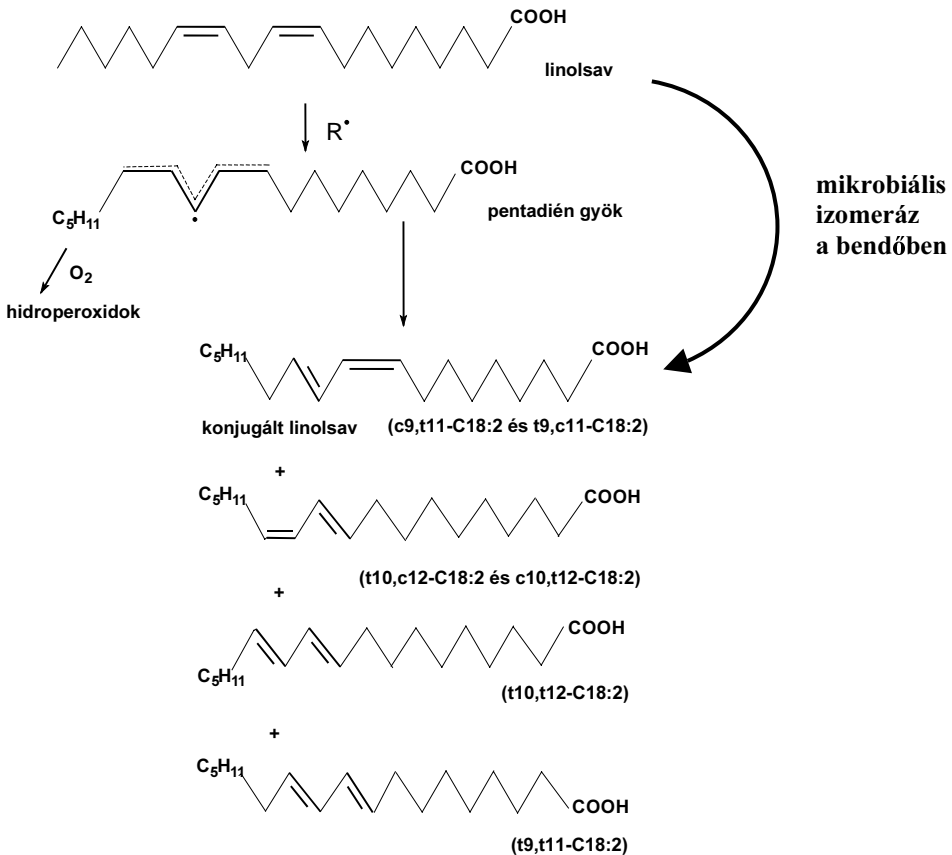
A leggyakrabban előforduló természetes KLS izomer a *cisz-9,transz-11-C18:2* (c9,t11-KLS) (*Kepler és Tove, 1967a*), amely a linolsav (*cisz-9, cisz-12-C18:2*) biológiai hidrogénezésének

első lépésében keletkeznek. A *Butyrivibrio fibrisolvens* baktérium mikrobiális izomeráz enzimének hatására a linolsavból (*cisz*-9,*cisz*-12-C18:2) először konjugált linolsav (*cisz*-9,*transz*-11-C18:2) képződik, majd a *cisz*-9 kettős kötés két hidrogénatom felvételével telítődik, és így egy egyszerűen telítetlen zsírsav (*transz*-11-C18:1) jön létre. Ez további hidrogénezéssel sztearinsavvá (C18:0) alakulhat át (Kepler és mtsai., 1971).

Újabb vizsgálatok eredményei alapján feltételezni lehet, hogy a KLS a *transz*-C18:1 zsírsavakból is kialakulhat a tehének tejmirigyében (Grinari és Bauman, 1999), vagy a patkányok májában (Pollard és mtsai., 1980; Holman és Mahfouz, 1981); a Δ 9-deszaturáz reakcióval (Grinari és mtsai., 2000).

A konjugált linolsavak kémiai reakciókban, enzimek közreműködése nélkül is, kialakulhatnak a linolsavban gazdag olajok lúgos izomerizációja, vagy a ricinusolaj víztelenítése közben (Padley és mtsai., 1994). Dormandy és Wickens (1987) kutatásai szerint a linolsav *in vivo* szabadgyökös autooxidációja során is keletkezhet KLS, nagy kéntartalmú fehérjék jelenlétében. Berdeaux és munkatársai (1997) egy olyan szintézismódszert fejlesztettek ki, mellyel metil-c9,t11-KLS-t lehet előállítani ricinusolajból nyert ricinussav-metil észterből.

A konjugált linolsavak kialakulása szabad gyökös reakcióval, ill. biológiai hidrogéneződéssel linolsavból



A konjugált linolsavak előfordulása az élelmiszerekben és a mennyiségüket befolyásoló tényezők

A tejtermékek a legjelentősebb konjugált linolsav források az emberi táplálkozásban, azonban ezek a zsírsavak az állatok húsában, a tojásban, és - kisebb mértékben - a növényi olajokban is megtalálhatók.

Általában a kérődző állatok termékei több KLS-t tartalmaznak, mint a monogasztrikusoké. A bárányhús, a marhahús, és a tehéntej körülbelül tízszer annyi KLS-t tartalmaz (0,5-1 g KLS/100 g zsír), mint a sertéshús, a lazac húsa, vagy a tojássárgája (Jiang, 1998). A biológiai hidrogénezés során képződött KLS egy része a kérődzők bendőjéből továbbjut a vékonybélbe, ahol a többi takarmány eredetű zsírsavval együtt felszívódik, átésztereződik, és végül is az állat szervezetének minden részébe eljut (Christie, 1979). Az abrakfogyasztó állatok zsírjának KLS-tartalma származhat egyrészt a takarmányból; a hús alapú takarmányok és a faggyú fogyasztásával hozzájuthatnak ezekhez a zsírsavakhoz, másrészt elképzelhető, hogy a patkányok és az egyéb monogasztrikus állatok egyes bélrezidens mikroorganizmusai is képesek a linolsavat konjugált linolsavakká alakítani; bár ez a hidrogénezési folyamat, ha végbe is megy bélszatornájukban, kisebb mértékű, mint a kérődzők bendőjében (Parodi, 1994).

A növényi olajokban, és az azok parciális hidrogénezésével előállított margarinban egyes kutatók (Parodi, 1994; Kepler és mtsai., 1966; Fritsche és Steinhart, 1998) nem találtak KLS-t. Mások ki tudták ugyan mutatni ezeket a zsírsavakat (Ackmann és mtsai., 1981; Chin és mtsai., 1992b; Kayahan és Tekin, 1994; Mossoba és mtsai., 1991; Spitzer és mtsai., 1991a; Spitzer és mtsai., 1991b), de az esetek többségében az olajok és margarink csupán kevés KLS-t tartalmaztak. A hidrogénezett növényi olajok KLS-tartalmában mért különbségeket az eltérő hidrogénezési körülményekkel indokolták (Fritsche és Steinhart, 1998).

Az élelmiszergyártás egyes lépései, a hőkezelés és a fermentációs eljárások is befolyásolhatják a termék KLS-tartalmát. Sajtgyártásnál több szerző jelentősnek találta a hőkezelés (Ha és mtsai., 1989; Shanta és mtsai., 1992b), és az érlelés (Ha és mtsai., 1989) KLS-szint növelő hatását, míg egyéb élelmiszerek esetében nem tapasztaltak jelentős KLS-tartalom változást a feldolgozás során (Chin és mtsai., 1992b; Fritsche és Steinhart, 1998; Shanta és mtsai., 1994).

A nyerstej konjugált linolsav-tartalma

A tejszírban a KLS izomerek közül a c9,t11-KLS a teljes KLS-tartalom több mint 80%-át teszi ki (Chin és mtsai., 1992; Parodi, 1994; Fritsche és Steinhart, 1998). A nyerstej KLS-szintje ugyanakkor nagy szórást mutat. A tejszír KLS-tartalmát több országban vizsgálták, és az értékek a 0,2-2 g KLS/100 g tejszír tartományba estek (Jiang, 1998). Ezekkel az eredményekkel Jiang és munkatársainak (1996) Svédországban végzett mérési eredményei is összhangban vannak (0,25-1,77 g KLS/100 g tejszír). Lin és munkatársai (1995) a c9,t11-KLS izomer minimum szintjét nyerstejben 0,45 g/100 g zsír értékben határozták meg. Precht és Molquentin (2000) 14 EU országból származó 2110 darab tejmintát vizsgáltak. A c9,t11-KLS mennyiségének átlaga a tejszírban 0,76 g/100 g volt, és a mért értékek a 0,13-1,89 g/100 g szélső értékek között váltakoztak. A minták *transz*-C18:1, *transz*-C18:2, és teljes *transz*-zsírsav tartalma átlagosan 3,67 g (1,29-7,17 g/100 g zsír); 1,12 g (0,30-2,04 g/100 g zsír); és 4,92 g (1,71-8,70 g/100 g zsír) volt.

A nyerstej konjugált linolsav-tartalmára ható tényezők

A tej KLS-tartalmát befolyásoló tényezők közül a tartásmód, és az évszak hatása is takarmányozási okokra vezethető vissza. A takarmányozással összefüggő

leglényegesebb tényezők a következők: a takarmány telítetlen zsírsav (főként linolsav és linolénsav) tartalma, a takarmány energia- és rosttartalma, a zsiradék kötött vagy szabad formában való bevitele, kötött forma esetén az olaj-hordozó szerkezete, a takarmányfelvétel ütemezése (a napi etetések száma).

Booth és Kon (1935) azt tapasztalták, hogy mikor tavasszal a teheneket kihajtották a legelőre, a tejükben lévő zsírsavak fényabszorpciója jelentősen megnőtt az ultraviola tartományban (230nm-en). Ezzel a méréssel tulajdonképpen a tej KLS-tartalmát mérték. A tejszír konjugált dién-sav tartalmának spektrofotometriás meghatározásával foglalkozó módszereket *Riel* (1963) foglalta össze, aki hasonló évszakonkénti ingadozásról számolt be. A nyerstej KLS-tartalma nyáron kétszer olyan magas volt (1,46%-a az összes zsírsavnak), mint télen (0,78%). *Dhiman és munkatársai* (1996) úgy találták, hogy a legelőre kihajtott tehenek tejének szignifikánsan magasabb volt a KLS-tartalma, mint a szénával és/vagy szilázssal takarmányozott teheneké. *Wolff és munkatársai* (1995) a transz-zsírsavak (TZSS) esetében is szezonális változást tapasztaltak francia tehenek tejének zsírjában; a *transz*-C18:1 tartalom kétszer magasabb volt júniusban, mint a januártól márciusig tartó időszakban.

Precht és Molckentin (2000) 12 EU tagországból származó tejminták c9,t11-KLS, és transz-zsírsav (TZSS) tartalmának gyakorisági eloszlását tanulmányozták. Három eltérő szezonális tartási és takarmányozási módszer KLS és TZSS koncentrációra gyakorolt hatását vizsgálták: legeltetés (nyár), istállózott tartás és etetés (tél), átmeneti időszakok (tavasszal és ősszel). A **német** tejmintákkal végzett felmérésben a c9,t11-C18:2 izomer koncentrációjának eloszlása 0,4 és 1,4 g/100 g zsír értékek körül ért el maximumot, azaz ez a két KLS koncentráció érték volt a leggyakoribb a vizsgált mintákban. Az első maximum a téli, a második a nyári takarmányozás esetében vett tejmintákhoz tartozott. A nyáron és a télen mért KLS koncentrációk átfedése kicsi volt; az átmeneti időszakban mért értékek a télen és a nyáron mért értékek között helyezkedtek el. Hasonló eloszlásokat kaptak a tejminták teljes *transz*-C18:1 és *transz*-C18:2 tartalmára, a t11-C18:1, és a t11,c15-C18:2 zsírsavtartalomra is. 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 zsírsavtartalmának eloszlása is mutatta a téli és a nyári szezonális maximumot. A francia tehenek zsírjának átlagos KLS (0,74%), *transz*-C18:1 (3,58%) és a teljes TZSS tartalma (4,78%) majdnem azonos volt a németországi tejszírokban kapott értékekkel (0,75; 3,62; és 4,86%). A harmadik mintacsoportba 12 EU országból származó tejszír minták tartoztak Németország és Franciaország kivételével. Ezeknél a mintáknál, a KLS koncentrációk gyakorisága nem mutatott nyári és a téli maximumot. Ennek oka az, hogy az adott országok éghajlati adottságai, és ezzel összefüggésben a takarmányozási körülmények is eltértek egymástól. Az írországi teheneket például egész évben legeltették, ezért az írországi adatok esetében a legnagyobb gyakorisággal előforduló koncentrációk szinte kivétel nélkül a legmagasabb értékek közül kerültek ki (*Precht és Molckentin*, 2000). A legeltetett állatok többszörösen telítetlen zsírsav (PUFA) bevitele magasabb, mint az istállóban tartott és részben tartósított tömegtakarmányokkal takarmányozott állatoké. A transz-zsírsavak a linolsav és a linolénsav részleges biológiai hidrogénezésével keletkeznek a szarvasmarhák bendőjében, így nyáron, a magasabb PUFA tartalmú takarmány etetésekor több TZSS keletkezik, mint télen. A tejszír linolénsav koncentrációjának gyakorisága szintén két értéknél ért el maximumot, azonban a linolsav esetében ez a takarmányozás-függő, tipikus mintázat nem volt felismerhető. A statisztikai vizsgálatok szerint szoros volt az összefüggés a tejszír c9,t11-C18:2 szintjének változása, és a *transz*-C18:1; t11-C18:1; *transz*-C18:2; t11,c15-C18:2; illetve

a teljes TZSS tartalom változása között ($r < 0,9$) (Precht és Molkentin, 2000). Jahreis és munkatársai (1997) szintén pozitív korrelációt találtak a tej KLS-tartalma és t11-C18:1 zsírsavtartalma között. Erre magyarázatul szolgálhat az a tény, hogy *in vivo* körülmények között a c9,t11-C18:2 KLS izomer a t11-C18:1 zsírsav fő prekursora, másrészt a t11-C18:1 a *transz*-C18:1 zsírsavak fő izomere a tejszírsavban és a kérődzők előgyomrában (Precht és Molkentin 2000; Bayard és Wolff, 1996).

Jiang és munkatársai (1996) is szoros lineáris kapcsolatot fedeztek fel a tejszír c9,t11-C18:2 KLS és t11-C18:1 tartalma között. Véleményük szerint ebből arra lehet következtetni, hogy a biológiai hidrogénezés reakciójának első két lépése nem sebességkorlátozott. Míután a *transz*-11 kötés az izomeráz enzim közreműködésével létrejött, a *cisz*-9 kötés hidrogéneződik, és t11-C18:1 keletkezik (Kepler és mtsai., 1971). Ezt a két reakciót, a szarvasmarha bendőjében is előforduló, *B. fibrisolvens* baktérium enzimjei katalizálják (Kepler és Tove, 1967b), de a t11-C18:1 → C18:0 második hidrogénezési lépés független ezen baktériumok tevékenységétől, és a teljes biológiai hidrogénezési folyamat (linolsavtól sztearinsavig) reakciósebességét is meghatározza (Kemp és mtsai., 1975; Polan és mtsai., 1964). Lavillonnière és munkatársai (1998) szintén szoros összefüggést találtak sajtból származó tejszír minták 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 egy lehetséges metabolikus útvonalára utalhat, amelyet már Harfoot (1981) a következők szerint javasolt: c9,c12,c15 → c9,t11,c15 → t11,c15 → t11.

Precht és Molkentin (2000) szerint az általánosan elfogadott takarmányozási körülmények között, a tejszír KLS-tartalmának növekedése (mely táplálkozástani szempontból kívánatos) mindig összefügg a nem kívánatos *transz*-C18:1 és *transz*-C18:2 zsírsavak mennyiségének növekedésével.

Nagyobb mennyiségű KLS akkor szívódik fel a bélcsatornából, ha a táplálék telítetlen zsírsavtartalma magas és/vagy ha a biológiai hidrogénezés folyamata valamely okból nem teljes. A zöldtakarmányok zsírja gazdag a linolénsavban; a szójaolaj, a gyapotmagolaj és a napraforgóolaj pedig linolsavban (Dhiman és mtsai., 2000). Dhiman és munkatársai (1999a) úgy találták, hogy a legeltetett tehének tejének magasabb volt a KLS-tartalma, ha kiegészítésként nem kaptak koncentrált (abrak) takarmányt. Azonban, ha teljes zsírtartalmú extrudált szójadarát, teljes zsírtartalmú extrudált gyapotmagot, vagy napraforgó olajat kaptak kiegészítésként, a tej KLS-tartalma nőtt (Dhiman és mtsai., 1999b; Kelly és mtsai., 1998). Stanton és munkatársai (1997) teljes zsírtartalmú repcemag etetése esetében szintén magasabb KLS-szintről számoltak be. A kérdés az, hogy a legeltetett tehének, illetve a telítetlen zsírsavakban gazdag takarmánnyal etetett tehének esetében a tej KLS-szintjének emelkedése összefüggésbe hozható-e az emelt szintű linolénsav, illetve linolsav bevitellel?

Dhiman és munkatársai (2000) megvizsgálták, hogy hogyan hat a takarmányok eltérő linolsav és linolénsav szintje a tej KLS-tartalmának alakulására. Céljuk az volt, hogy gazdaságosan növeljék a tej KLS-tartalmát a tej egyéb összetevőinek (zsírtartalom, fehérjetartalom, zsírsavösszetétel) jelentős megváltoztatása nélkül. Első kísérletükben tejelő tehének koncentrált takarmányának egy részét roppantott nyers szójababbal, roppantott és pörkölt szójababbal, szójabab olajjal, vagy lenolajjal helyettesítették. Utóbbi esetben az adag szárazanyag tartalmának 2,2%, illetve 4,4%-a volt lenolaj. Azt tapasztalták, hogy a 3,6% szójaolaj és a 4,4% lenolaj tartalmú táp még nem csökkentette a takarmányfelvételt. Más szerzők viszont (Mohamed és mtsai., 1988) már 4% olajat tartalmazó táp esetében negatív hatásról számoltak be, a szárazanyag emészhetőségének

csökkenése miatt. A szójabab adagolás megnövelte a takarmányok sztearinsav-, linolsav- és linolénsav-tartalmát a kontroll takarmányéhoz képest; a lenmagolaj tartalmú takarmányoknak a linolénsav-tartalma volt magasabb, mint a többi takarmánynak. A szójaolajat és a nagyobb koncentrációban lenolajat fogyasztó tehenek csoportjánál az FCM (FCM=fat corrected milk) tejhozam és a tej zsírtartalma alacsonyabb volt, mint a többi csoport esetében. Ezt a jelenséget – a *tejsír depressziót* – általában a takarmány magas szabad olajtartalma okozza (Banks és mtsai., 1980).

A megnövekedett linolsav és linolénsav bevitel is okozhat tejszírtartalom csökkenést. Ezen többszörösen telítetlen zsírsavak nagyobb arányú bevitel megnövelheti a tej C18:1 zsírsav-tartalmát, mivel a bendőben lezajló hidrogénezés során a linolsav és a linolénsav részben C18:1 zsírsavakká alakul át (Dhiman és mtsai., 1995). Mohamed és munkatársai (1988) szerint szójaolaj kiegészítést tartalmazó takarmány fogyasztása a bendőfolyadék C18:1 zsírsav mennyiségének növekedését okozta. A *transz*-C18:1 izomer szintjének növekedésével csökken a tej zsírtartalma (Romo és mtsai., 1996), de ezen folyamat pontos mechanizmusa még nem ismert (Dhiman és mtsai., 2000). Dhiman és munkatársai (2000) a nyers és a pörkölt szójababot fogyasztó csoportok esetében nem észlelték a tejszírtartalom csökkenését a kontroll csoporthoz képest, a szójaolajat és az emelt szinten lenolajat fogyasztó csoportok esetében viszont csökkent a tej zsírtartalma. Más szerzők is tapasztalták, hogy a többszörösen telítetlen olajok *szabad formában* történő fogyasztása csökkentette a tej zsírtartalmát (Jenkins, 1993), továbbá azt is, hogyha a tehenek olajos *magvakat* fogyasztottak, akkor a tej zsírtartalma nem változott (DePeters és mtsai., 1985; Mohamed és mtsai., 1988). Ezt a tényt Dhiman és munkatársai (2000) azzal magyarázták, hogy a bendőbeli lebomlás során a magvakból lassabban szabadult fel az olaj, mintha azt szabad formában adták volna a takarmányhoz. Így a *transz*-C18:1 zsírsavak nem halmozódtak fel olyan mértékben a bendőben, mint a szabad olaj bevitel esetében. Ezáltal a bendőt elhagyó *transz*-C18:1 zsírsavak mennyisége is kevesebb volt, melyek így kevésbé csökkentették a tej zsírtartalmát (Banks és mtsai., 1980; Grummer, 1991; Mohamed és mtsai., 1988).

A tehenek zsírfogyasztásának növelése - a tejsír depresszió kivül - a tej fehérjetartalmának csökkenésével is járhat (Grummer, 1988). A zsiradék ugyanis gátolja a bendőbeli mikrobiális fermentációt, ezáltal kevesebb mikroba eredetű fehérje keletkezik, így a bélben zajló emésztéshez rendelkezésre álló fehérjemennyiség is csökken (Jenkins, 1993). Dhiman és munkatársai (2000) azonban nem tapasztaltak jelentős fehérjetartalom csökkenést egyik kezelés esetében sem. Ennek oka szerintük az volt, hogy a kísérletük során alkalmazott takarmányok a tehenek termelési szintjéhez már önmagukban is elegendő fehérjeellátást biztosítottak.

A takarmány eredetű hosszú szénláncú zsírsavak szintjének emelkedése azzal jár, hogy a tejsírban fokozottabb mértékben választódnak ki, és egyúttal gátolják a tejmirigyben a közepes lánchosszúságú zsírsavak *de novo* szintézisét is (Grummer, 1991). Dhiman és munkatársai (2000) is a közepes lánchosszúságú zsírsavak arányának csökkenését tapasztalták a tejsírban hasonló takarmányozás mellett.

A tej KLS-tartalma a pörkölt szójababot, szójaolajat, a kevesebb, és a több lenolajat fogyasztó csoport esetében is megemelkedett a kontroll csoporthoz képest 97, 438, 305 és 318%-kal (Dhiman és mtsai., 2000). Egyedül a nyers szójabab fogyasztása nem növelte meg a tej KLS-szintjét. Ezt a tényt a szerzők azzal magyarázták, hogy a nyers szójababból lassabban szabadult fel az olaj a bendőben, mint a hőkezelt szójababból, a hőkezelés hatására ugyanis törekenyebbé váltak a babszemek. A 3,6%-os szójababolaj-tartalmú táp nagyobb mértékben növelte a tej KLS-szintjét, mint a 4,4% lenmagolajat tartalmazó táp. A szerzők ebből azt a következtetést vonták le, hogy szójababolaj

etetésével a tej KLS-szintje sokkal hatékonyabban emelhető, mint lenolaj adagolásával. Kelly és munkatársai (1998) a tej KLS-szintjét mintegy 500%-kal növelték meg 5,3% olajat tartalmazó táp etetésével, de eközben a tej összes zsírtartalma 3,38%-ról 2,25%-ra csökkent. Dhiman és munkatársai (2000) kísérletében a hőkezelt szójababot és a 2,2% lenmagolajat tartalmazó táp fogyasztása okozott jelentős KLS-tartalom növekedést, de a tej zsírtartalmának jelentős csökkenése nélkül.

Dhiman és munkatársai (2000) öt kísérleti csoport koncentrált takarmányát részben 0,5; 1,0; 2,0; és 4,0% szójaolajjal, illetve 1,0% lenolajjal egészítették ki. A 2,0 és 4,0%-os szójaolaj hozzáadás esetében szignifikánsan csökkent a tej zsírtartalma a takarmány magas szabad olajtartalma miatt. A KLS-tartalom 237 és 314%-kal nőtt a kontroll csoporthoz képest; míg a 0,5 és 1,0% szójaolajat és az 1% lenolajat tartalmazó takarmányt fogyasztó csoportok tejének KLS-tartalma nem különbözött a kontroll csoporttól, azaz nem volt olyan csoport, ahol a KLS-szint növekedése mellett a tejszírtartalom változatlan maradt volna. A tej KLS-tartalma nem nőtt lineárisan a takarmány szójaolaj tartalmának növelésével. A tej fehérjetartalma ugyanakkor egyik kezelés esetében sem csökkent jelentősen. A közepes láncosságú zsírsavak arányának csökkenése a zsírsavösszetételen belül arányos volt a takarmányhoz adott zsír mennyiségének növelésével (Dhiman és mtsai., 2000).

Donovan és munkatársai (2000) egy hasonló kísérletben 1, 2, és 3% halolajat adtak a takarmányhoz, hogy annak a tej KLS-szintjére gyakorolt hatását vizsgálják. A kontroll (halolajat nem tartalmazó) takarmányban nem volt kimutatható mennyiségű C20:5 (EPA=eikozapentaénsav) és C22:6 (DHA=dokozahexaénsav) zsírsav, melyek viszont a halolajban jelentős mennyiségben voltak jelen. A szárazanyag felvétel 1% halolaj-tartalom felett már csökkent. A szerzők véleménye szerint ennek két oka lehetett: a takarmány megváltozott íze és a bendőbeli rostbontás csökkenése. A bevitt olajtartalom növelésével a tej zsírtartalma jelentősen ($P < 0,01$) csökkent. Mások is megfigyeltek hasonló tejszír depressziót halolaj etetése esetében (Cant és mtsai., 1997). Donovan és munkatársai (2000) nem tapasztalták a tej fehérjetartalmának csökkenését egyik kezelés esetében sem. Magyarázatak szerint ez a csökkenés az alkalmazott kísérleti szakaszok rövid időtartama miatt nem következett be. Schingothe és Casper (1991) több hétig tartó kísérleteik során, az emelt zsírtartalmú takarmány fogyasztása esetében, a tej fehérjetartalmának jelentős csökkenéséről számoltak be. Donovan és munkatársai (2000) jelentős tejszírösszetétel változást tapasztaltak a kezelésekre hatására. A hosszú láncú zsírsavak aránya nőtt, a rövid láncúak aránya csökkent, és a tejszír gazdagabb lett telítetlen zsírsavakban.

A tejszír KLS és transz-C18:1 zsírsavtartalma szignifikánsan nőtt ($P < 0,01$) a takarmány halolaj-tartalmának 2%-ra növelésével. A legjelentősebb KLS izomer, a c9,t11-C18:2 mennyisége is a 2%-os halolaj szintnél ért el maximumot, és a kontroll csoporthoz képest 370%-kal nőtt annak koncentrációja a tejben. Ez az izomer a teljes KLS-tartalom 84-92%-t tette ki. A t9,t11-C18:2 izomer mennyisége 270%-kal nőtt (Donovan és mtsai., 2000). Az idézett szerzők szerint még nincs arról tudomásunk, hogy milyen biológiai folyamatokon keresztül növeli a halolaj fogyasztása a tej KLS-szintjét, mivel a halolaj linolsav-tartalma egyébként alacsony (Harfoot és Hazelwood, 1988). Bár a halolaj bendőbeli lebontása még nem teljesen tisztázott, Byers és Schnellig (1988) vizsgálatai szerint a halolaj lipidjeinek kevesebb, mint 50%-a hidrolizál a bendőben, szemben a növényi olajokkal, amelyek mintegy 90%-ban hidrolizálnak. Arról sem tudunk, hogy a 20 és 22 szénatomot tartalmazó zsírsavak átalakulhatnak-e oxidációval a bendőben 18 szénatomszámú zsírsavakká, és arra sincs bizonyítékunk, hogy ezek a zsírsavak részt vennének a biológiai hidrogénezésben. Így a szerzők feltételezik, hogy a

halolaj valamely egyéb alkotója serkentette a KLS képződését a bendőben. A KLS pedig - elképzelésük szerint - a takarmány más összetevőivel (pl. kukorica szilázs) bevitt linolsavból alakult ki (Donovan és mtsai., 2000).

Bauman és munkatársai (2000) tejelő tehenek takarmányát magas linolsav-tartalmú napraforgóolajjal egészítették ki, hogy növeljék a tej KLS-tartalmát. Egy hetes etetési idő után kiválasztották a legmagasabb KLS-tartalmú tejet termelő teheneket, és azok továbbra is kísérleti takarmányt kaptak. A második hét végén azt tapasztalták, hogy több tehen tejének KLS-szintje jelentősen visszaesett. A tejszír KLS-tartalmának átlaga 3,7 g/100 g volt az első, de mindössze 2,3 g/100 g a második hét végén. A harmadik héten tovább folytatódott a hanyatlás, a harmadik hét végén a tejszír átlagos KLS-szintje már csak 1,6 g/100 g volt. A szerzők felhívták a figyelmet arra is, hogy a kísérleti takarmány etetésének első néhány hetében a bendőbeli hidrogénezési folyamatok jelentősen megváltozhatnak.

A tej KLS- és t11-C18:1 tartalmát befolyásolhatja a tápok rost- és keményítőtartalma is (Kelly és Bauman, 1996; Jiang és mtsai., 1998). Egy *in vitro* kísérletsorozatban Gerson és munkatársai (1985) bárányok bendőtartalmában a táplálék keményítőtartalmának és rosttartalmának a lipolízis és a hidrogénezés sebességére gyakorolt hatását vizsgálták. Úgy találták, hogy a takarmány rosttartalmának csökkentésével, és keményítőtartalmának növelésével a végső hidrogénezési lépés lelassult, és több t11-C18:1 zsírsav keletkezett, amely a sztearinsav (C18:0) helyett a hidrogénezési folyamat fő termékévé lépett elő. Palmquist és Schanbacher (1991) is arra a következtetésre jutottak, hogy magas keményítő és alacsony rosttartalmú tápok etetésekor a terminális hidrogénezési lépés gátolt, és a tej t11-C18:1 tartalma jelentősen emelkedik. A Jiang és munkatársai (1996) által kapott eredmények is összhangban voltak a fenti szerzők megfigyelésével, de ők a tej t11-C18:1 szintjének emelkedése mellett a c9,t11-C18:2 koncentráció emelkedését is megfigyelték. Jiang és munkatársai (1998) három különböző takarmányozási csoportot alakítottak ki: a kontroll csoportban a koncentrált és a terimés takarmány aránya szárazanyagra vonatkoztatva 50:50% volt, a két kísérleti csoportban ez az arány 65:35% volt (több keményítő, alacsonyabb rost és magasabb *cisz*-9-C18:1 zsírsavtartalom). A kontroll csoporttal és a kísérleti csoportokkal etetett kétféle takarmány zsírsavtartalma mindössze a *cisz*-9-C18:1 zsírsav esetében különbözött. A kontroll csoportban, és az egyik kísérleti csoportban az aktuális táplálóanyag szükségleteknek megfelelő adagolt takarmányozás folyt, a második kísérleti csoportban pedig az állatok étvágy szerint fogyaszthatták a takarmányt. A három csoport közül az adagolt takarmányozású kísérleti csoport tejének átlagos c9,t11-KLS-tartalma volt a legmagasabb (1,13 g/100 g zsír), és szignifikánsan különbözött a szintén adagolt takarmányozású kontroll csoporttól (0,55 g/100 g zsír). A két kísérleti csoport esetében az *ad libitum* takarmányozott csoport tejének c9,t11-KLS-tartalma (0,66 g/100 g zsír) jelentősen kevesebb volt, mint az adagolt takarmányozású kísérleti csoporté (1,13 g/100 g zsír). Ugyanezt a tendenciát figyelték meg a tej t11-C18:1 zsírsavtartalma esetében is.

Banks és munkatársai (1980) az etetési gyakoriság tejszírtartalomra és zsírsavösszetételre gyakorolt hatását vizsgálták meg. Úgy találták, hogy a tejszírtartalom magasabb volt, ha az etetések száma is több volt. A többszörösen telítetlen zsírsavak összes mennyiségében nem tapasztaltak különbséget, de a t11-C18:1 zsírsav mennyisége a tejben kissé magasabb volt a naponként kétszeri etetésnél, mint a napi 24-szeri etetésnél. Azt a következtetést vonták le, hogy a t11-C18:1 zsírsav mennyisége csak kis mértékben függ az etetés gyakoriságától. Ezek az eredmények részben ellentmondanak Jiang és munkatársai (1998) tapasztalatainak, akik a tejszírtartalomban ugyan nem

találtak különbséget, de a c9,t11-C18:2 és a t11-C18:1 zsírsavak mennyisége jelentősen ($P < 0,001$) különbözött az adagolt takarmányozású, és az *ad libitum* takarmányozású kísérleti csoportok között.

Jahreis és munkatársai (1997) arra a következtetésre jutottak, hogy az állatok tartási módja (hagyományos vagy ökológiai) is befolyásolhatja a tej KLS-tartalmát. Az általuk vizsgált elegej minták KLS-tartalma széles tartományok között változott: 0,34 g/100 g zsír értéktől (istállózott állatok) 0,80 g/100 g zsír értékig (ökológiai farmokon tartott állatok).

Jiang és munkatársai (1998) szerint amennyiben a tehéntej KLS-tartalmának emelése előnyös, ez megvalósítható megfelelő takarmányozási receptúrák összeállításával. A takarmányozáson kívül azonban egyéb tényezők is jelentős szerepet játszhatnak a nyerstej KLS-tartalmának alakításában, mivel a legtöbb tanulmányban nagy egyedek közti eltérést figyeltek meg. Ezen tényezők felderítése még a jövő feladata.

IRODALOM

A vonatkozó irodalom a rewiev cikk harmadik részének végén található.

Levelezési cím (*corresponding author*):

Csapó János

Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar

7401 Kaposvár, Pf. 16.

University of Kaposvár, Faculty of Animal Sciences

H-7401 Kaposvár, P.O.Box 16.

Tel.:36-314-155, Fax:36-82-320-175

e-mail:csapo@mail.atk.u-kaposvar.hu