

ESZTERHÁZY KÁROLY FŐISKOLA
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
ÉLELMISZERTUDOMÁNYI INTÉZET
KÉMIAI, BORÁSZATI KÉMIAI ÉS BORÁSZATI TANSZÉK



ESSZENCIÁLIS ZSÍRSAVAK STABILITÁSÁNAK ÉS LEHETSÉGES
ÁTALAKULÁSI FOLYAMATAINAK VIZSGÁLATA

Szerző: **Nász Boglárka**
Kémia Bsc
III. évfolyam

Témavezetők: **Dr. Forgó Péter**
főiskolai tanár
Molnár Szabolcs
tudományos segédmunkatárs

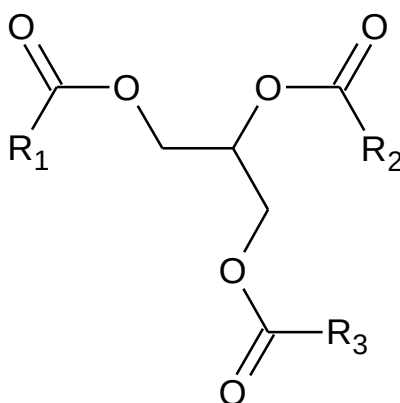
EGER
2014

TARTALOM

1. Bevezetés	3
2. Célkitűzések	5
3. Irodalmi áttekintés	6
3.1. Zsírsavak szerkezete	6
3.2. Nevezéktan	7
3.3. Cisz-transz izoméria	8
3.4. Esszenciális zsírsavak	9
3.5. Tej beltartalmi értéke	10
3.6. Zsírsavak degradációja	15
4. Anyagok és módszerek	17
4.1. Minta előkészítése	17
4.1.1. A minta nedvességtartalmának eltávolítása	17
4.1.2. Hő- és fénykezelés	17
4.1.3. Zsír kinyerése extrakcióval	17
4.1.4. Származékképzés	18
4.2. GC-MS rendszerek	19
4.2.1. Gázkromatográfia	19
4.2.2. Tömegspektrometria	20
4.3. Spektrumfejtés	21
5. Adatok, értékelés	22
5.1. Karakterisztikus zsírsavösszetétel	22
5.2. Bomlástermékek	28
6. Összefoglalás	32
7. Köszönetnyilvánítás	33
8. Melléklet	34
9. Hivatkozásjegyzék	40

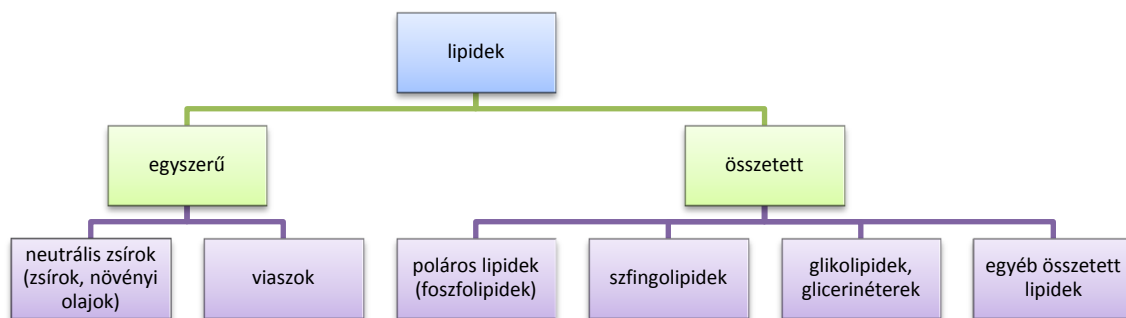
1. BEVEZETÉS

Minden zsír lipid, de nem minden lipid zsír. A hétköznapiokban zsíroknak, olajoknak nevezett vegyületek valójában trigliceridek, vagyis egy háromértékű alkoholnak, a glicerinnel zsírsavakkal alkotott észterei. [1]



1. ábra-Glicerin zsírsavakkal alkotott észtere [2]

Lipideknek pedig az élő szervezetben előforduló biomolekulákat nevezzük, melyeknek szerkezeti felépítésében rendkívüli sokszínűséget fedezhetünk fel. Egyetlen közös vonásuk, hogy vízben rosszul, zsíroldószerekben, azaz apoláros oldószerekben pedig jól oldódnak. Csoportosításuk többféle szempont szerint történhet. Lúggal való reakciójuk szerint beszélhetünk nem elszappanosítható vagy egyszerű, valamint elszappanosítható vagyis összetett lipidekről. Az előbbi osztály tagjai aktív ecetsavból szintetizálódnak. Ezzel magyarázható a természetes zsírokban és olajokban előforduló zsírsavak páros szénatomszáma. Az egyszerű lipidek alcsoportját képezik a neutrális zsírok és növényi olajok. Ezek az élő szervezetek tartalék tápanyagai, melyek a szénhidrátokat követően kerülnek felhasználásra energiaigényes folyamatok során. A trigliceridek azért kiváló energiaforrások, mert a redukált formában jelenlevő szénatom oxidációjakor nagy mennyiségű -több, mint 37 kJ/g- energia szabadul fel, ami több, mint kétszerese az azonos mennyiségű szénhidrátnál, illetve fehérjéből nyerhető energiának. A zsírsavak továbbá felületi lipidek alkotói, anyagcsere köztitermékek, különböző lipidek prekursorai, építőblokkjai, tehát fontos szerepük van az emberi szervezetben is.



2. ábra-Lipidek csoportosítása [3]

Az állati sejtekből nyert zsírok általában egyenes láncú telített vagy telítetlen monokarbonsavakat tartalmaznak. Telített zsírsavak közül legnagyobb arányban palmitinsav (C16:0) és sztearinsav (C18:0) fordul elő az állati eredetű zsírokban, telítetlenek közül pedig az olajsav (C18:1 n-9). Igen gazdagok telítetlen zsírsavakban a halolajok, melyekben nagy mennyiségben található például eikozapentaénsav (C20:5 n-3) is. [4][5]

A növényi sejtekből nyert zsírok, olajok összetételét szén-szén hármass kötések, hidroxil- és oxocsoportok, valamint ciklopropán és ciklopentán gyűrűk teszik változatosabbá. Azokat a triglicerideket, melyek szobahőmérsékleten szilárdak zsíroknak, amelyek pedig folyékonyak, olajoknak nevezzük. Az emberi szervezet számára a születés pillanatától fogva kiemelt jelentőségű a tej fogyasztása. Ennek zsírsavösszetétele az emésztés szempontjából kedvező, mert nagy mennyiségben tartalmaz rövid szénláncú zsírsavakat, melyeket a specifikus enzimek könnyebben le tudnak bontani, mint a hosszú szénláncúakat. Állati eredetűnek köszönhetően tartalmaz arachidonsavat és az emberi szervezet számára szükséges egyéb esszenciális zsírsavakat is. Bizonyított emellett antioxidáns hatása, melynek köszönhetően jelentős szerepet tölt be a daganatos betegségek elleni küzdelemben is. Táplálkozásunkban tehát előkelő helyen kellene szerepelnie a tejtermékek fogyasztásának, ugyanis remek esszenciális zsírsav-, fehérje- és ásványianyag-források. [6][7][8]

Az élelmiszeriparban alkalmazott technológiák és a tárolási körülmények azonban a tejtermékekben jelenlevő, élettani szempontból kiemelt jelentőségű komponensek átalakulását okozhatják, melyek így elveszíthetik jótékony hatásukat. Ezért módfelett fontos ezen folyamatok feltérképezése. Én az esszenciális zsírsavak stabilitásának szempontjából járom körül a témát.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Dolgozatom célja a bevezetőben említett, az emberi szervezet megfelelő működéséhez nélkülözhetetlen esszenciális zsírsavak stabilitásának vizsgálata. Ezeket a vegyületeket nem tudjuk előállítani, így csak külső forrásból, táplálék útján juthatunk hozzájuk és hiányukban súlyos betegségek is kialakulhatnak, viszont más –potenciálisan végzetes– megbetegedések megelőzhetők, illetve kezelhetők megfelelő mennyiségű és arányú esszenciális zsírsav bevitelével. Ezért kiemelt jelentőségű, hogy az elfogyasztott táplálék zsírsavtartalma hogyan változik a gyártástól, tárolástól egészen a fogyasztók asztalára kerülésig.

Az, hogy a vizsgált minták tejtermékek, illetve hogy a vizsgálat első lépése a nedvességtartalom eltüntetése liofilizálással, azzal magyarázható, hogy intézményünk kapcsolatban áll olyan cégekkel, melyek célja különleges tejalapú édesipari termékek és szárazáruk előállítása és a gyártási folyamatba hatékonyabban tudják beépíteni az ilyen módon előkészített alapanyagot. Ez indokoltá teszi ennek a költséges, viszont a zsírsavakkal szemben rendkívül kíméletes eljárásnak az alkalmazását.

Ezen liofilizált termékek a feldolgozás, szállítás és tárolás során ki vannak téve a hő és fény hatására bekövetkező degradációnak. Különösen jelentős lehet ez a telítetlen zsírsavak esetében, aminek következtében veszélybe kerülhet a beltartalmi értéket fokozó hatásuk.

Munkám során GC-MS (gázkromatográf-fal kapcsolt tömegspektrométer) technikával vizsgáltam az egyes komponensek hővel és UV-fénnyel szembeni stabilitását és a keletkező bomlástermékek szerkezetét az élelmiszer tárolására jellemző hőmérsékleti skálán, valamint a különböző technológiákra jellemző magasabb hőmérsékleteken (40°C és 95°C-on), illetve 24 és 48 órás fénykezelést követően.

Az átalakulási folyamatok vizsgálata és a keletkező termékek azonosítása során a kettős kötésre történő savkatalizált vízáddícióval képződő hidrox-származékok meghatározása, illetve az oxigén hatására bekövetkező lánc-töredezés nyomon követése történt a karakterisztikus zsírsavösszetétel feltérképezése mellett.

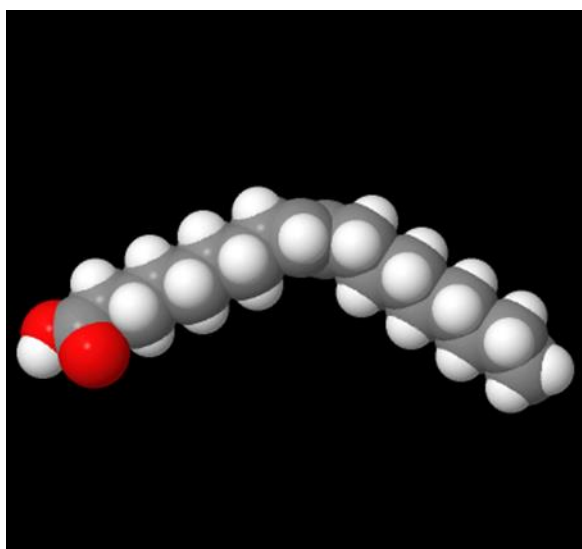
Ezen információk birtokában az élelmiszeripari technológiák úgy módosíthatók, hogy az esszenciális zsírsavak megőrizték épségüket és a lehető legeredményesebben fejtsék ki jótékony hatásukat a fogyasztók szervezetében.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. ZSÍRSAVAK SZERKEZETE

A zsírsavak alifás, legtöbbször elágazást nem tartalmazó monokarbonsavak. Ez a definíció kiterjed a legrövidebbtől a leghosszabb láncú zsírsavig, a természetben azonban a szénatomok száma 4 és 22 közötti, ezek közül is leggyakoribb a 18 szénatomot tartalmazó sztearinsav. A zsírsavakat aszerint, hogy a szénatomok között csupán egyszeres vagy többszörös kötések találhatók, telített vagy telítetlen zsírsavaknak tekinthetjük. A nyílt láncú telített zsírsavak homológ sort alkotnak. Általánosan leírhatók a $C_nH_{2n+1}COOH$ képlettel. [9]

Megfigyelhető, hogy a sorban a forráspont fokozatosan változik és jelentősen magasabb érték, mint a közel megegyező tömegű alkánok esetében. Ez azzal magyarázható, hogy a



karboxilcsoport π -elektronjai delokalizálódnak és a karbonilcsoport oxigénatomján parciális negatív, a hidroxilcsoport oxigénatomján pedig parciális pozitív töltés alakul ki. Ennek köszönhetően erős hidrogénkötés jön létre a karbonsavmolekulák között, dimerek képződnek. Ez a kötés kétszer erősebb, mint például az alkoholmolekulák között kialakuló másodlagos kötőerők. [10]

3. ábra-Olajsav szerkezete [11]

Az egyszeresen telítetlen zsírsavak közül a 18 vagy annál kevesebb szénatomot tartalmazó cisz izomerek szobahőmérsékleten folyékonyak vagy szilárdak, alacsony olvadásponttal. Az azonos szénatomszámú transz izomer olvadáspontja magasabb, közelebb van a hasonló molekulatömegű telített zsírsavéhoz. A kettős kötés helye is befolyásolja ezen karbonsavszármazékok forráspontját. Ha páros helyzetben van, akkor magasabb hőmérsékleten kerül folyékony halmazállapotba, mint páratlan helyzetben. Ez annak köszönhető, hogy a különböző szerkezetű molekulák különböző kristálysírcsot alakíthatnak ki.

Többszörösen telítetlen zsírsavaknál legtöbbször azt figyelhetjük meg, hogy a cisz kettős kötések egy metilénsoport választja el egymástól. Ez különböző, állatokban és növényekben előforduló enzimek együttműködésének eredménye. Azonban előfordulhat, hogy a telítetlen kötések konjugált helyzetben alakulnak ki a molekulán belül. Konjugált tri- és tetraének leginkább növényekből izolálhatók, míg konjugált diének ezeken kívül a kőrödzők bendőjében is keletkezhetnek enzimatis úton. Ilyenek például a linolsav-izomerek, melyek rendkívül kedvező élettani hatásokkal bírnak. [12]

A zsírsavak definíciója szerint azok legtöbbször nem tartalmaznak elágazást, tehát vannak olyan esetek, amikor igen. Ezek a vegyületek baktériumokban, illetve néhány állatfaj esetén fordulnak elő. Általában telítettek vagy egyszeresen telítetlenek és az elágazást vagy elágazásokat egy vagy több metilsoport alkotja. [13]

Szintén eltér a megszokottól a ciklikus zsírsavak szerkezete. Ezeknél a vegyületeknél egy széngyűrűt találhatunk az alkil lánc mentén vagy annak végén. Jellemzőek baktériumoknál és növénynél, de keletkezhetnek magas hőmérsékleten való hőkezelés során normál láncú megfelelőikből. Az eddig említett zsírsavak csupán a karboxilsoportban tartalmaztak oxigént, viszont vannak olyanok is, melyek egyéb oxigéntartalmú részletet foglalnak magukba. Ilyenek például a hidroxil-származékok, a ketonok vagy az epoxidok is. Ezek keletkezhetnek enzimek közreműködésével vagy autooxidáció során is. Igazi kuriózumnak számítanak azok a zsírsavak, amelyekben allén, illetve acetilén részlet fordul elő. Ezek izomer vegyületek, egyik forma átalakulhat a másikká és vissza. Az allén formában a telítetlen kötés merev, nem szabad a rotáció, az aszimmetrikusan szubsztituált formák optikailag aktívak. [14]

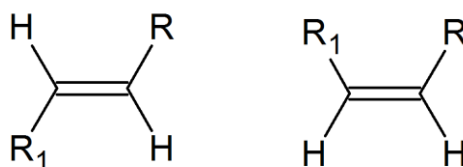
3.2. NEVEZÉKTAN

A zsírsavak szisztematikus elnevezése karbonsav származékokként történik. Az elnevezés során a lánc hosszát megadhatjuk a szén vegyjele mellé alsó indexben írt számmal. Ebben az esetben a karboxil széntől kezdődik a számozás. A telítetlen kötések két kettősponttal elválasztott számmal jelölhetjük, melyek közül az első a lánchosszra vonatkozik, a második a kettős kötések mennyiségére. A kettős kötések helyét több módon is megadhatjuk; a karboxil végtől számítva a görög nagy delta (Δ) betű felső indexeként vagy a metil végtől számítva n-x, illetve ω x jelöléssel, ahol x a metilsoporthoz legközelebbi kettős kötés. Abban az esetben, ha a lánc szubsztituenszt tartalmaz, a kapcsolódó csoport elé

kötőjellel írjuk az azt viselő szénatom számát. Az elnevezést bonyolítja, hogy zsírsavak esetében is széles körben használtak a triviális nevek, melyek sok esetben semmilyen információt nem hordoznak a molekula szerkezetére vonatkozóan, csupán annak forrásával hozhatók kapcsolatba. [15][16]

3.3. CISZ-TRANSZ IZOMÉRIA

A szén-szén kettős kötés helyzetének leírására szolgál a cisz-transz (vagy Z-E) izoméria. Ez valójában a sztereizomériának egy speciális esete, vagyis mindkét molekulában azonos az atomok kapcsolódási sorrendje, viszont különböző a térbeli elrendeződésük. Abban az esetben, ha a két szubsztituens a kettős kötés azonos oldalán helyezkedik el, cisz konfiguráció, ha a lánc átellenes oldalán találhatóak, akkor transz-konfiguráció állapítható meg. [17]



4. ábra-Cisz-transz izoméria [18]

A kettős kötések mentén történő elfordulás nagy energiaigényű folyamat, ugyanis ehhez elengedhetetlen a π -kötés felszakítása. A folyamat első lépéseként megváltozik a torziós szög (90°), ennek következményeként felszakad a kettős kötés és egy nagy energiájú köztitermék keletkezik, melyben a két p-orbitál függőleges helyzetű. További rotációval újra kialakul a π -kötés és az új izomer.[19]

Az izomerek megkülönböztetése fontos, hiszen rendkívül különböző élettani hatással rendelkeznek. W.C.Willet és munkatársai azt állapították meg, hogy a transz-zsírsavak az emberi szervezetben növelik a koszorúér megbetegedések kockázatát. [20]

Ez azzal magyarázható, hogy a transz-zsírsavak, illetve a telített zsírsavak emelik a vér LDL (low-density lipoprotein= kis sűrűségű lipoprotein) koleszterinszintjét, így kedvezőtlen irányban változik a HDL (high-density lipoprotein= nagy sűrűségű lipoprotein) és az LDL koleszterin aránya. Ennek eredményeként nagyobb eséllyel alakul ki érelmeszesedés és más kardiovaszkuláris betegségek, mint ideális koleszterinszint esetén. [21]

3.4. ESSZENCIÁLIS ZSÍRSAVAK

Azon zsírsavakat, amelyekben a kettős kötés a karboxilcsoporttól több, mint kilenc szénatom távolságra található az állati szervezet nem képes előállítani. Ezeket esszenciális zsírsavaknak hívjuk és táplálék útján juttatjuk a szervezetünkbe. Megtalálhatók például növényi magvakban és az ezekből készült olajokban, tojásban, velőben, tejtermékekben, stb. [22]

Nagyon fontos a szervezetbe történő mérsékelt bejuttatásuk, mert kutatások szerint szerepük van olyan betegségek megelőzésében, mint a szívritmuszavar, elhízás, magas vérnyomás, cukorbetegség egyéb szív- és keringésrendszeri rendellenességek és rákos megbetegedések. [23]

Hiányukban pedig kialakulhatnak bőrbetegségek, növekszik a bőr permeabilitása vízzel szemben, növekedési zavarok léphetnek fel, illetve több szerv rendellenes működés figyelhető meg. [24]

A telítetlen zsírsavak esetében rendkívül jelentős az ω -3 és ω -6 zsírsavak egymáshoz viszonyított mennyisége. Ideális esetben ez 3:1 alatti (1:1), de az 5:1 arány még eltűrhető. Ellenkező esetben nem történik meg a szervezetben a szükséges deszaturáció, mert a két zsírsavcsoportnak ehhez azonos enzimekre van szüksége. Ennek következtében ha túlzott mennyiségű ω -6 zsírsavat fogyasztunk, előfordulhat, hogy az ω -3 zsírsavak egyáltalán nem tudják kifejteni jótékony hatásukat. Napjainkban egy átlagos magyar ember táplálkozásában az ajánlottnál közel harmincszorta rosszabb a két zsírsavcsoport egymáshoz viszonyított mennyisége. Ez a világtátlagnál hatszor-hétszer kedvezőtlenebb. [25]

Simopoulos kutatásai során azt tapasztalta, hogy az ω -3 és ω -6 zsírsavak egymáshoz viszonyított mennyisége jelentősen befolyásolja egyes betegségek kockázatát, illetve a halálozási arányt. Tanulmánya szerint az ideális arány eltérő a különböző betegségek esetén, mert míg a 4:1 megoszlás a kardiovaszkuláris problémák esetén 70%-kal csökkentette a halálozást, addig ugyanez a mennyiség a vastagbélrákos pácienseknél nem hozott javulást. [26]

Érdekes az esszenciális zsírsavak tárgyalásánál megemlíteni a zsírok és vitaminok kapcsolatát. Mindkét vegyületcsoport elengedhetetlen az emberi szervezet megfelelő működéséhez, azonban egyiket sem képes szintetizálni. A vitaminok között pedig

találhatunk olyanokat, melyek csak zsírokban oldhatók, ilyenek az A-, D-, E- és K-vitamin. Az A-vitamin a színlátásban játszik fontos szerepet, a D-vitamin a kalcium és foszfor anyagcserét szabályozza, valamint provitamin. E-vitamin hiányában megváltozik a hormontermelő mirigyek működése, izomsorvadás és a reprodukciós képesség romlása jelentkezik, a K-vitamin pedig a véralvadáshoz nélkülözhetetlen. [27]

A zsírban oldódó vitaminok esetén azonban előfordulhat túladagolás, amit hipervitaminózisnak nevezünk. A-vitamin esetén a jellemző tünetek fejfájás, hajhullás, gyomor- és májproblémák, homályos látás, bőrpigmentáció. D-vitaminnál hányinger, hasmenés, fáradékonyság, gyengeség, fejfájás, súlyvesztés, anorexia, vese- és kardiovaszkuláris problémák jelentkezhetnek. A hipervitaminózis E-vitaminnál fejfájást, hányást, a nyelv megduzzadását, izomgyengeséget, fáradékonyságot, gyomorproblémákat, szédülést eredményezhet. [28]

A szintetikus K-vitamin (K₃) túladagolásakor fellépő tünetek a pirulás, fokozott izzadás és mellkasi szorítás.[29]

3.5. TEJ BELTARTALMI ÉRTÉKE

Ahogy a bevezetőben is említettem, az emberi szervezet számára kulcsfontosságú a tej- és tejtermékek fogyasztása. A FAO adatai szerint a világon összesen termelt tejnek több, mint 80 %-a tehéntej. Ezt követi a bivalytej, a kecsketej, a juhtej és a tevetej.

A tej nagy mennyiségű vizet tartalmaz, emellett azonban az emberi szervezet problémamentes működéséhez elengedhetetlen mikro- és makroelemeket is találhatunk benne. Jellemzően az alábbi makroelemek fordulnak elő a tejtermékekben különböző vegyületek formájában: nátrium, kálium, magnézium, kalcium, foszfor, kén, klór. Az esszenciális mikroelemek csoportjába tartoznak a vas, fluor, cink, szilícium, réz, vanádium, szelén, mangán, jód, ón, molibdén, króm és a kobalt. Összesen a tehéntej ásványianyag-tartalma átlagosan 0,7%. [30]

A legfőbb mikro- és makroelemek átlagos tehéntejbeli koncentrációját az alábbi táblázat foglalja össze:

<i>ásványi anyag</i>	<i>koncentráció (mg/100g)</i>
kalcium	104-148
magnézium	9,7-18
foszfor	40-99
citrátok	132-208
nátrium	39-64
kálium	120-160
klór	121-168
cink	0,36
kobalt	0,008
króm	0,013
mangán	0,004
nikkel	0,012
réz	0,017
vas	0,2

1. táblázat- Tehéntej ásványi anyagai

[31][32]

A tehéntejben átlagosan 3,4-3,5 százalék fehérje található. Ez több frakcióra osztható; a tejfehérje 80 százaléka kazein (α -, β -, γ - és κ -kazein), 20 százaléka pedig savófehérje (szérumalbumin, a β -laktoglobulin, az α -laktalbumin és a globulinok)

A szénhidráttartalom elmarad az élelmiszereknél javasolt átlagos értéktől (55-60 százalék) tehéntej esetében (30 százalék). A tejcukor -vagy laktóz- D-galaktózból és D-glükózból felépülő redukáló diszacharid.

A teljes tehéntej zsírtartalma viszonylag tág határok között változhat (2,5 és 8 százalék között), átlagos értéke 3,8 százalékra becsülhető. Ez a zsír golyók formájában van jelen, melyeknek mennyisége $1,5-4,6 \times 10^9$ db milliliterenként, átmérőjük pedig 2000-6000 nm. A tehéntejről általánosságban kijelenthető, hogy körülbelül 400 különböző zsírsavat tartalmaz, melyek 64 millió féle triglicerid kombinációt képezhetnek elméletileg. Gyakorlatilag a tejszírsav 43 zsírsav fordul elő számottevő mennyiségben, a többi csak nyomokban figyelhető meg. Legnagyobb arányban palmitinsavat (27,6 százalék), olajsavat (26 százalék), mirisztinsavat (10,7 százalék) és sztearinsavat (10,1 százalék)

találhatunk benne. A tejzsír zsírsavai egyaránt lehetnek telítettek, telítetlenek, elágazók, hidroxisavak és ciklikus vegyületek. [33]

Az alábbi táblázatban a tehéntejben megtalálható legfontosabb telítetlen zsírsavak százalékos előfordulása látható:

<i>zsírsav</i>	<i>súlyozott átlag</i>	<i>standard deviáció</i>
C10:1	0,3	0,0
C14:1	0,8	0,4
C16:1	1,0	0,0
C17:1	0,1	0,0
C18:1	22,8	1,0
egyszeresen telítetlen cisz zsírsav összesen	25,0	1,0
C18:2	1,6	0,1
C18:3	0,7	0,0
többszörösen telítetlen cisz zsírsav összesen	2,3	0,1
C16:1t	0,4	0,1
C18:1t	2,1	0,7
C18:2t	0,2	0,0
transz zsírsavak összesen	2,7	0,7

2. táblázat-Tehéntej legfontosabb telítetlen zsírsavai

[34]

Az egyéb lipidösszetevők mennyisége az összlipidtartalomnak csupán töredéke; 0,2-1,1 % a foszfolipidek aránya, melyeknek a membránfelépítésben van szerepük, 0,2-0,5 %-ban találunk szteroidokat, ezen kívül megfigyelhetők még többek között koleszterin-észterek és szabad zsírsavak is. [35]

A tehéntej mellett kecske- és juhtejből készült termékeket is vizsgáltam, melyek a korábban említettekhez hasonló tulajdonságokkal bírnak. Szignifikáns különbség fedezhető fel azonban a zsír-, a fehérje- és a vitamintartalomban. Juhtej esetén a bruttó zsírtartalom a felső határértékhez közelít (7,2 százalék), míg a tehén- és kecsketejénél 3,6-3,9 százalék

körüli. Ennek köszönhetően az energiatartalma felülmúlja a másik két fajnál mért értéket, víztartalma pedig elmarad mellettük. Szintén a juhtejnél a legmagasabb a fehérjetartalom. Az energia-összetevők és a szervesetlen komponensek 100 gramm termékre vonatkoztatott értékét táblázatban foglalom össze:

	<i>mennyiség 100 g-ra vonatkoztatva</i>		
	<i>tehéntej</i>	<i>kecsketej</i>	<i>juhtej</i>
fehérje (g)	3,4	3,6	6,1
zsír (g)	3,6	3,9	7,2
szénhidrát (g)	5,3	4,7	5,0
hamu (g)	0,8	0,8	0,7
víz (g)	86,9	87	80,9

3. táblázat-Energia-összetevők és a szervesetlen komponensek tehén-, kecske- és juhtejben

[36]

A juh- és kecsketej legfeltűnőbb zsírtartalombeli különbsége az, hogy utóbbiban magasabb a közepesen hosszú láncú zsírsavak aránya. Ez ízbeli eltérést is eredményez a tejek között. A kecsketejet a tehéntejjel összehasonlítva eltérést tapasztalhatunk a kaprilsav, kapronsav, kaprinsav, laurinsav és mirisztinsav, palmitinsav mennyiségében. A kecsketejben magasabbak ezek az értékek, különösen a kaprinsavat vizsgálva. A kazeintartalom az utóbbi két tejtípusnál 2,4 és 2,6 százalék, a juhtejnél pedig 4,2 százalék. [37] [38]

A vitamintartalom eltérő a három faj esetében. A kecsketej kimagaslik A- és D-vitamin tartalmával, a juhtej B₂ –vitamin és biotin tartalmával, a tehéntej pedig jelentős B₁₂-, C –vitamin, illetve folsav és karotin tartalommal büszkélkedhet. A vitamintartalmak összehasonlítását az alábbi táblázat tartalmazza:

vitamin	mennyiség (100 g termékben)		
	tehéntejben	kecsketejben	juhtejben
A-vitamin (µg)	30,00	70,00	50,00
B₁-vitamin (µg)	34,00	50,00	50,00
B₂-vitamin (µg)	150,00	150,00	200,00
B₆-vitamin (mg)	0,005	0,003	nem detektálható
B₁₂-vitamin (µg)	5,9	0,07	0,51
C-vitamin (mg)	1,00	nem detektálható	nem detektálható
D-vitamin (µg)	0,06	0,25	nem detektálható
E-vitamin (mg)	0,07	nem detektálható	1,6
niacin (mg)	0,05	0,32	0,40
pantoténsav (mg)	0,15	0,31	0,35
biotin (µg)	1,5	3,9	9
folsav (µg)	5,9	0,8	nem detektálható
karotin (µg)	20	nem detektálható	5

4. táblázat-Vitamintartalom tehén-, kecske- és juhtejben

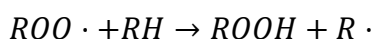
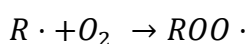
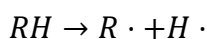
[39]

A sav-bázis sajátosságokat vizsgálva azt tapasztalhatjuk, hogy a tehéntej savas, a kecsketej pedig lúgos jellegű. Ezért gyomorsav túltengéstől szenvedő betegeknél javulást eredményezhet a kecsketej fogyasztása. Továbbá javallott ekcémával, asztmával, migrénnel, vastagbélgyulladással, gyomorfekélélyel, emésztési zavarral, máj- és epehólyag problémákkal, álmatlansággal, székrekedéssel küzdő pácienseknek és olyan gyerekeknek és felnőtteknek, akik allergiásak a tehéntejre. Az allergiától szenvedők 40 százalékának jelenthet alternatív utat a tejfogyasztásra ez a megoldás, ugyanis a kecske és tehén által termelt tejben különböző fajspecifikus immunfehérjék találhatók. Tehát nem biztos, hogy a kecsketej allergiás reakciót vált ki. Mindhárom kérődző által termelt tejben megtalálható a kapronsav, kaprilsav, kaprinsav és egyéb közepesen hosszú láncú zsírsavak, melyek alkalmazhatók felszívódási zavarok, bélrendszeri rendellenességek, koszorúér betegségek, cisztás fibrózis és epekő problémák kezelésére, mert míg energiát szolgáltatnak lebomlásuk révén, addig csökkentik a koleszterinszintet úgy, hogy feloldják a már meglévő lerakódásokat és megakadályozzák újabbak képződését. [40]

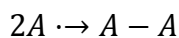
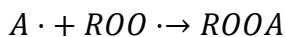
3.6. ZSÍRSAVAK DEGRADÁCIÓJA

A zsírok és olajok hevítése számos konyhai művelet alapja, melynek során új alkotók komplex keveréke keletkezik termikus oxidáció és hidrolízis során. Ezen folyamatok leírása összetett feladat, ugyanis az oxidációs és az egyéb termikus átalakulások párhuzamosan játszódnak le. A peroxidok –mint elsődleges oxidációs termékek– jelenléte korlátozott, ami annak következménye, hogy magas hőmérsékleten csökken a stabilitásuk. Gyors bomlásuk során nagyszámú illó és nem illó másodlagos oxidációs termék keletkezik. [41]

A telítetlen zsírsavak, így az esszenciális zsírsavak oxidációja már a levegő oxigéntartalmának hatására is lejátszódhat. A többszörösen telítetlen zsírsavak a legkevésbé stabilak, de magasabb hőmérsékleten a telített zsírsavak is oxidálódnak. A gyökös láncreakciónak három fő szakasza van: a bevezető szakasz (iniciáció) a tovaterjedés szakasza (propagáció) és a lezárás szakasza (termináció). A **bevezető** periódusban hidrogéngyök vesztés történik, ami bekövetkezhet fény, hő vagy nyomnyi mennyiségben jelenlevő fém hatására. Esszenciális zsírsavakban az oxigén-támadás elsődleges helye a kettős kötések elválasztó metilénsoportnál van. Az egyszeresen telítetlen zsírsavak esetén először egy hidrogén szakad le a kettős kötés egyik oldaláról. Ehhez már nagyobb energia befektetése szükséges, mint a többszörösen telítetlen esszenciális zsírsavaknál. Az így keletkező szabadgyökök oxigént megkötve peroxilgyököket hoznak létre. A **propagáció** során ezen gyökök további telítetlen zsírsavakkal reagálnak, hidroperoxid-, illetve alkil gyököket létrehozva. A hidroperoxidok könnyen hasadnak és ennek eredményeként peroxil és alkoxi gyökök keletkezhetnek. Ez a reakciósorozat többször is megismétlődhet, ezért nevezik láncreakciónak. Az alábbi egyenletek szemléltetik a folyamatot:



A **termináció** fázisában az antioxidánsok képesek megtörni ezt a láncreakciót úgy, hogy a keletkező oxidáló gyököket maguk kötik meg, így nem gyökös termékeket alkotnak. Szintén lezárja a reakciósorozatot két szabadgyök rekombinációja. [42][43]



[44]

A zsírsavak hővel szembeni stabilitását GC-MS és GC-FTIR kapcsolt technikákkal vizsgálták Berdeaux és munkatársai a sütés során alkalmazott hőmérsékleten (180°C). Modelljük két zsírsavat tartalmazott-olajsavat (C 18:1 n-9) és linolénsavat (C18:2 n-6)-melyeket a diétázók leggyakrabban használnak sütéshez. Tapasztalataik szerint az elsődleges bomlástermékek a hidroperoxid-képződéshez köthetők. Ezek aldehidek, alkoholok és egyéb szénhidrogének, melyek másodlagos átalakulások során (autooxidáció, β -oxidáció, aldehidek karbonsavvá történő oxidációja) oxidált termékeket hozhatnak létre. Ezzel magyarázható, hogy 21 észterezett rövid láncú komponenst találtak, melyek közül 8 aldehid, 3 metilketon, 4 primer alkohol, 5 alkán és 1 furán. A 20 nem észterezett komponens között pedig alkoholokat, aldehideket, savakat azonosítottak. [45]

Szintén magasabb hőmérsékleten (80-300°C) vizsgálták az átalakulási folyamatokat Moreno és munkatársai a konyhai műveletek során leggyakrabban alkalmazott olajok (napraforgó, kukorica, olíva, magokból nyert olajok) esetében FTIR technikával. A tanulmány szerint a kettős kötések telítődése csak 150°C-nál indul meg és legerőteljesebb a 250°C körüli tartományban. Ez azt jelenti, hogy ezen a hőmérsékleti értéken a sütés során az esszenciális, többszörösen telítetlen zsírsavakban gazdag olajok jelentősen veszítenek tápértékükből. [46]

Az említett tanulmányhoz hasonlóan vizsgálataink során GC-MS kapcsolt technikát alkalmaztunk a kérődzők tejéből előállított tejtermékek (joghurt, kefir) zsírsavösszetételének meghatározására, különös tekintettel az eikozapentaénsavra, alfa-linolénsavra, linolsavra, gamma-linolénsavra, dokozaheptaénsavra, arachidonsavra és a jelenlevő zsírsavak különböző -az adott technológiára, illetve a tárolásra jellemző hőmérsékleteken való stabilitásának meghatározására.

4. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

4.1. MINTA ELŐKÉSZÍTÉSE

4.1.1. A MINTA NEDVESSÉGTARTALMÁNAK ELTÁVOLÍTÁSA

A minta vizsgálata során az első lépés a nedvességtartalom eltávolítása. Ennek legkíméletesebb módja a liofilezés, ugyanis ennél az eljárásnál nem szükséges olyan magas hőmérsékletet alkalmazni, mint hőközléssel kiváltott párolgás esetén. Fagyasztva szárítás során kihasználjuk azt, hogy az anyagok szublimációs és forráspontja széles határok között változik a nyomással. Tehát az anyag fagyáspontja alatti hőmérsékleten, alacsony nyomáson az oldószer (víz) szublimál. [47]

Ez a módszer magas üzemeltetési és beruházási költségű, azonban az alapanyagok érzékszervi tulajdonságait nem rontja jelentős mértékben, a porózus anyag könnyen rehidratálható és az ilyen módon kezelt élelmiszerek akár 12 hónapig is eltarthatók jól záró csomagolásban, ugyanis a mikroorganizmusok növekedése, szaporodása gátolt vízmentes környezetben. A gyártási folyamatokat is megkönnyítheti a liofilizálás, hiszen tömeg- és térfogatsökkenést eredményez, ami előnyös lehet például a szállítás szempontjából. [48][49]

4.1.2. HŐ- ÉS FÉNYKEZELÉS

A vizsgált liofilizált tejtermék mintákból 0,2-0,5 grammot kimérve 24 órán keresztül szárítószekrényben 40°C-on, illetve 95°C-on kezeltük őket. Referenciaként megvizsgáltuk a zsírsavösszetételt szobahőmérsékleten is.

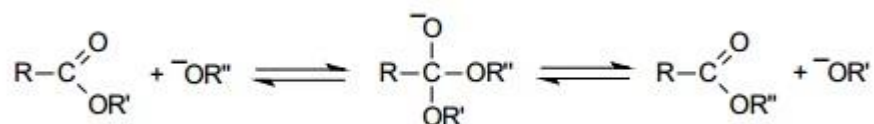
A fénykezelést 24, illetve 48 óráig végeztük kevert hullámhosszú UV-fénnyel.

4.1.3. ZSÍR KINYERÉSE EXTRAKCIÓVAL

Az analízis második lépése a zsírtartalom kinyerése. A zsírsavak apoláris tulajdonságú része nagyobb, ezért kedvezőbb az oldásukhoz apoláris oldószerek használata. Esetünkben hexán:éter:petroléter 1:1:1 arányú elegyből háromszor 5 cm³-t használtunk és ultrahangos fürdővel (5 perc) segítettük elő az oldódást. Az extrakcióval létrehozott egyesített folyadékfázist rotadeszt használatával párologtattuk el, a zsír pedig további vizsgálatokra készen maradt vissza. [50]

4.1.4. SZÁRMAZÉKKÉPZÉS

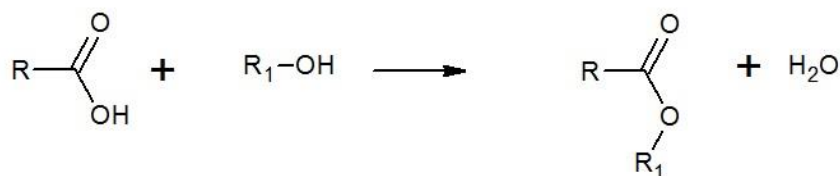
A zsírsavak GC-MS berendezéssel történő vizsgálatához elengedhetetlen ezen komponensek illóvá tétele, amelyet származékképzési folyamat során valósítunk meg. A zsírokban jelen levő trigliceridek alkoholát anionokat tartalmazó közegben olyan negatív töltésű köztiterméket hoznak létre, melyek új észtert képezhetnek vagy visszaalakulhatnak az eredeti állapotba. Az egyensúlyi reakció alkoholfelesleggel eltolható az új termék képződésének irányába. Abban az esetben, ha a reakcióközeg vizet is tartalmaz a köztitermék irreverzibilisen disszociál szabad zsírsavakra.



5. ábra-Lipidek bázis-katalizált átészterezése

[51]

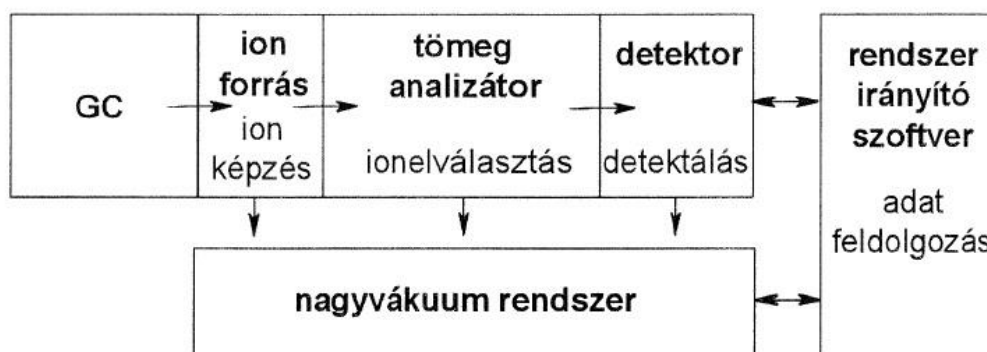
Ezen vegyületekből pedig alkohollal való reakció során észterek képződnek. Ez egy egyensúlyi folyamat, azonban alkoholfelesleggel, savkatalizátorral vagy termékeltávolással eltolható az észterképződés irányába. [52][53]



[54]

Inert oldószerként a vizsgálatok során 2,2,4-trimetilpentánt (4 ml) használtunk és 2 M metanolban oldott kálium-hidroxid (200 µl) segítségével zsírsav-metilésztereket képeztünk.[55]

4.2. GC-MS RENDSZEREK



6. ábra-GC-MS rendszer elvi vázlata [56]

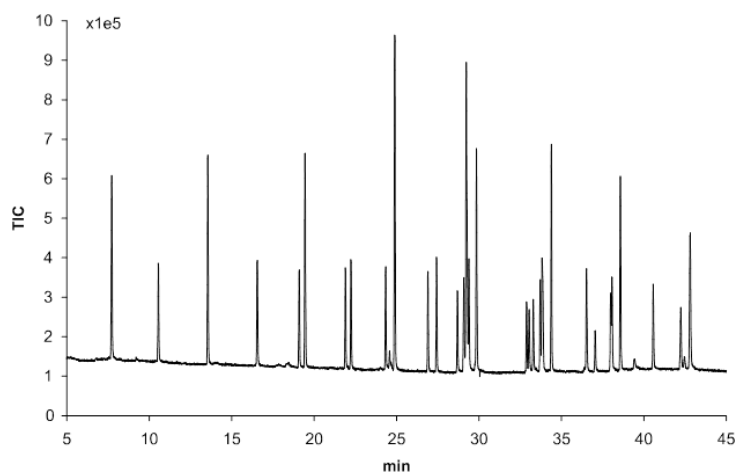
4.2.1. GÁZKROMATOGRÁFIA

A zsírsavak analízisére leginkább a gázkromatográfia (GC) alkalmas. Születését 1952-re datáljuk, szülőatyjai pedig A.T. James és A.J.P. Martin. A gázkromatográfia egy olyan elválasztási módszer, amelynél a mozgófázis gáz halmazállapotú (inert gáz), az állófázis pedig lehet szilárd vagy szilárd felületen elosztatott folyadék. A vizsgálandó mintát ennek értelmében gázfázisba kell juttatni abban az esetben is, ha az eredetileg nem gáz halmazállapotú volt.

Az elválasztás alapját a dinamikus szorpciós és deszorpciós folyamatok adják, melyek rövid idő alatt lejátszódnak a nagy lineáris gázdiffúziós állandóknak köszönhetően. Napjainkban egy gázkromatográf kiváló minőségű kolonnával nagyon érzékeny és reprodukálható méréseket tesz lehetővé. Az analitikai kémiával szemben felállított követelmények szinte mindegyikének képes megfelelni, hiszen minőségi és mennyiségi információt szolgáltat a vizsgálandó mintáról rövid idő alatt. Egyik legnagyobb előnye, hogy alkalmas minimális szerkezeti eltérést mutató szerves vegyületek elkülönítésére is, így vizsgálhatók ezzel a módszerrel azok a homológ tagok, izomerek, optikai izomerek, amelyek kémiai módszerekkel sokszor meg sem különböztethetők egymástól. Az általa nyújtott minőségi információ viszont nem minden esetben kielégítő, ezért szükséges a tömegspektrométerrel (MS) való kiegészítés. Ezen műszer minőségi információt biztosít a mintáról abban az esetben, ha az kémiailag homogén összetételű. Tehát a gázkromatográffal elválasztott komponenseket egyesével (időben elkülönülve) a tömegspektrométerbe juttatva azok egyértelműen jellemezhetők tömegspektrumuk segítségével. [57]

Vizsgálataink során a gázkromatográfiás méréseket Shimadzu GCMS-QP2010S készülékkel végeztük, az elválasztások pedig HP-5MS (30m, $\varnothing$ 0.25mm, 0.25 μ m) kapilláris kolonnán történtek 0.62 ml/perc mozgó fázis (He) áramlási sebesség mellett. Az injektálás (1/10 split arány), detektálás, valamint az interface hőmérsékletét 260°C-ra állítottuk. A vizsgálatokat hőmérsékleti gradiens segítségével valósítottuk meg. A kolonna hőmérséklet a kísérlet kezdetekor 120°C volt, amit öt percig állandó értéken tartottunk, majd a kolonnát 4°C/perc sebességgel 260°C-ra melegítettük és ezen a hőmérsékleten tartottuk 10 percig, a hőmérséklet program 50 perces kísérleti időt eredményezett.

A mérések során zsírsav metilésztereket tartalmazó standard oldatot alkalmaztunk referenciaként.



7. ábra-Zsírsav metilésztereket tartalmazó standard oldat kromatogramja

4.2.2. TÖMEGSPEKTROMETRIA

A tömegspektrométerek ionizált részecskéket választanak el töltéssűrűségeire eső tömegük alapján. A folyamat csökkentett nyomáson mágneses vagy elektromos mezők segítségével valósul meg. Az elválasztott ionok intenzitásának folyamatos mérésével egy fajlagos tömeg függvénykapcsolathoz jutunk, amit tömegspektrumnak nevezünk. Ez a minőségi információ alapja -a karakterisztikus tömegspektrum- ami leginkább az emberi ujjlenyomathoz hasonlítható. Egyediségének következménye az azonosításra való alkalmassága. [58][59]

A tömegspektrometriás detektálást a 30-500 m/z tartományban végeztük úgy, hogy a detektálást az injektálás utáni negyedik percben kezdtük.

4.3. SPEKTRUMFEJTÉS

A tömegspektrumok egyértelműen meghatározzák a szerves molekulákat, mert hordozzák a minőségi és szerkezeti információt. Az adott csúcs által reprezentált vegyületet meghatározhatjuk úgy, hogy a mérés során kapott tömegspektrumot összehasonlítjuk az adatbankban szereplő ismert vegyületek spektrumaival, illetve ismert szabályok alapján megfejthetjük azt.

Az elemzés során figyelembe kell venni az ionforrásban lejátszódó ionkémiai folyamatokat, mint a molekulaion képződés, majd ennek fragmentációja, amely történhet hasadás vagy átrendeződés révén. Ezen kívül megfigyelhetők még legtöbbször nem meghatározó reakciók. Ilyenek például az elektronbefogás és a termikus ionizáció.

A tömegspektrumok értelmezését segítő szabályok közül érdemes megemlítenünk néhányat. A nyílt láncú vegyületek esetében a molekulaion relatív csúcsmagassága egyenes láncú molekulák esetében a legnagyobb, az elágazások számának növekedésével arányosan csökken és a lánchossz növekedésével csökken a molekulaion intenzitása homológ sorokon belül. Telítetlen zsírsavak esetén fontos, hogy a kettős kötések stabilizálják a molekulacsúcsot. Akkor, ha a molekula heteroatomot is tartalmaz, a C-C szigma-kötések a heteroatom mellett hasadnak ónium-ion képződése közben, melynek a mezoméria biztosít stabilitást.

Abban az esetben, ha ismert a molekula elemösszetétele, akkor a telítetlenség (US) kiszámítása hasznos lehet. Ez a molekulán belüli π -kötések és gyűrűk számának összege. Az alábbi képlet szerint számolható:

$$US = n_C - \frac{n_H}{2} + 1$$

n_C : szénatomok száma

n_H : hidrogénatomok száma

A heteroatomokat a vegyértékszabályok szerint a megfelelő CH-val lehet helyettesíteni.[60]

5. ADATOK, ÉRTÉKELES

5.1. KARAKTERISZTIKUS ZSÍRSAVÖSSZETÉTEL

Vizsgálataink során 19 liofilizált tej, illetve alvadék mintát vizsgáltunk, melyek közül 8 kecsketej alapú 1 juhtejből készült, a továbbiak pedig tehéntejet tartalmaznak.

Az összes vizsgált minta esetében megállapítható, hogy a telített zsírsavak aránya csak a fő komponenseket tekintve 58-60%, a telítetleneké 28-30%, a transz zsírsavak mennyisége pedig 1-2%-os érték. A hő- és fénykezelések hatására a telített zsírsavak mennyisége növekedett, a telítetleneké pedig csökkent, míg az összes detektált fő alkotó mennyisége fogyatkozott. A telített, telítetlen és transz zsírsavak arányának megváltozása az I. számú mellékletben található diagramokon megvizsgálható.

A tejek karakterisztikus zsírsavösszetételének vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a három kérődző (szarvasmarha, kecske és juh) esetén nincs számottevő különbség a tejben lévő hosszúlán-cú zsírsavak mennyiségét tekintve. A fő komponensek arányát vizsgálva a **palmitinsav** aránya 27,7-28,9 %, **sztearinsav** 12,7-13,6%, **linolsav** mennyisége 2,4-2,7%, **olajsav** cisz és transz izomere pedig 22,2-22,6 ,illetve 1,7-1,8 %-ban van jelen.

Eltérést tapasztaltunk azonban a rövidlancú zsírsavak arányában. A kecske- és juhtejnél ezek a zsírsavak nagyobb mennyiségben vannak jelen, mint tehéntej esetén. Az **kaprinsav** (C10:0) átlagosan 4,4-6,4 % körüli érték kecske- és juhtejnél, tehéntejben pedig 3,9%. A **laurinsavat** (C12:0) és **mirisztinsavat** (14:0) vizsgálva azt láthatjuk, hogy a kecske- és juhtej előbbi 2,4-2,9%-ban, utóbbit 10,4 %-ban tartalmazza, a tehéntejnél a laurinsav 2,6 %-os, mirisztinsav 9,8%-os érték körül mozog.

Nagyon hangsúlyos a laurinsav és kaprinsav hányadosa a tejtermékekben, ugyanis ezen két zsírsav arányából megállapítható a kecsketej eredetisége. Amennyiben az érték 0,5 körül mozog, a tej kecskétől származik, tehéntejnél pedig az érték meghaladja az 1 egészet.[61]

Esetünkben a két zsírsav hányadosa kecsketejnél átlagosan 0,6-nek adódott, tehéntejnél 1,3-nek, a juhtejből készült mintánál azonban az arány a kecsketejnél tapasztalt 0,6-hez közeli érték (0,76), mennyiségük viszont a tehéntejnél megfigyelthez hasonló.

Az alábbi táblázat a vizsgált mintákban legnagyobb mennyiségben előforduló zsírsavak összegképletét, szisztematikus nevét, illetve az alapvegyület triviális elnevezését tartalmazza:

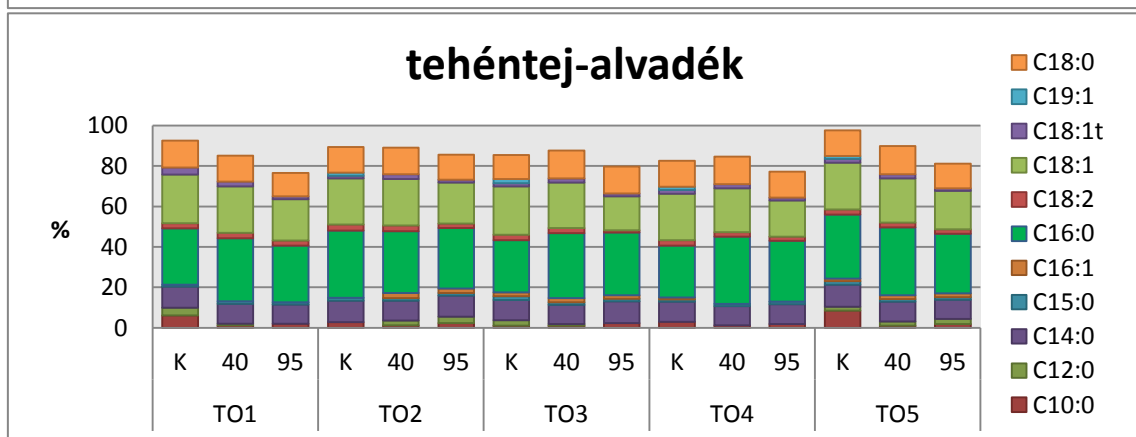
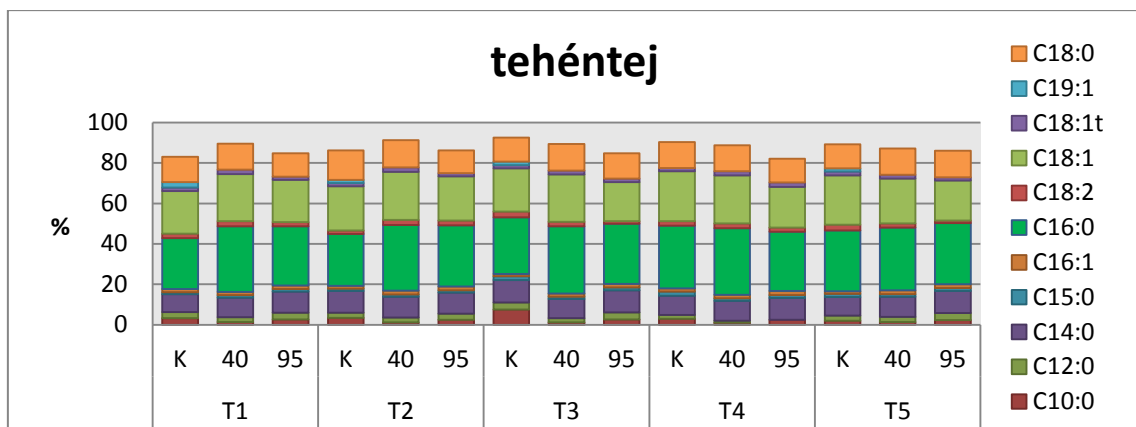
<i>Összegképlet</i>	<i>Szisztematikus név</i>	<i>Triviális név</i>
$C_{10}H_{20}O_2$	dekánsav	kaprinsav
$C_{12}H_{24}O_2$	dodekánsav	laurinsav
$C_{14}H_{28}O_2$	tetradekánsav	mirisztinsav
$C_{15}H_{30}O_2$	pentadekánsav	-
$C_{16}H_{30}O_2$	cisz-9-hexadekánsav	palmitolajsav
$C_{16}H_{32}O_2$	hexadekánsav	palmitinsav
$C_{18}H_{32}O_2$	cisz-9,12-oktadekánsav	linolsav
$C_{18}H_{34}O_2$	cisz-9-oktadekánsav	olajsav
$C_{18}H_{36}O_2$	oktadekánsav	sztearinsav

5. táblázat-Fő komponensek elnevezése

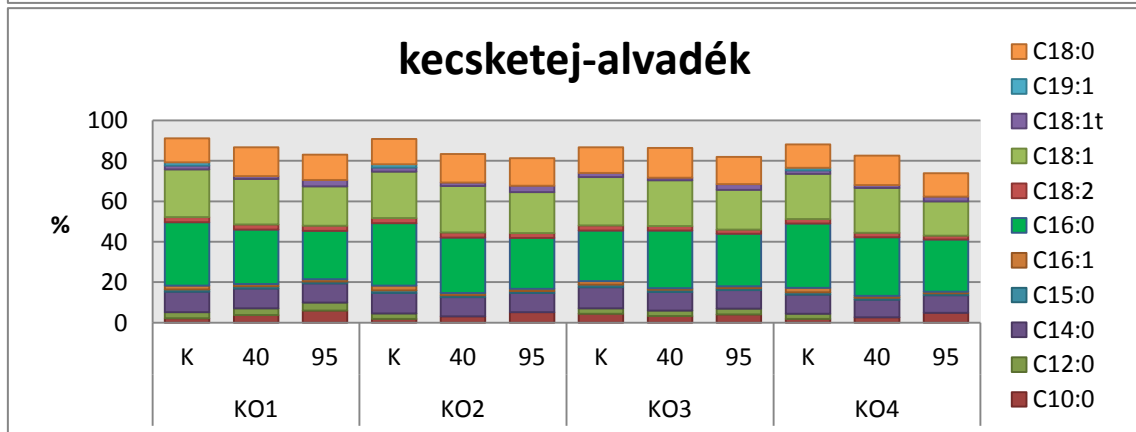
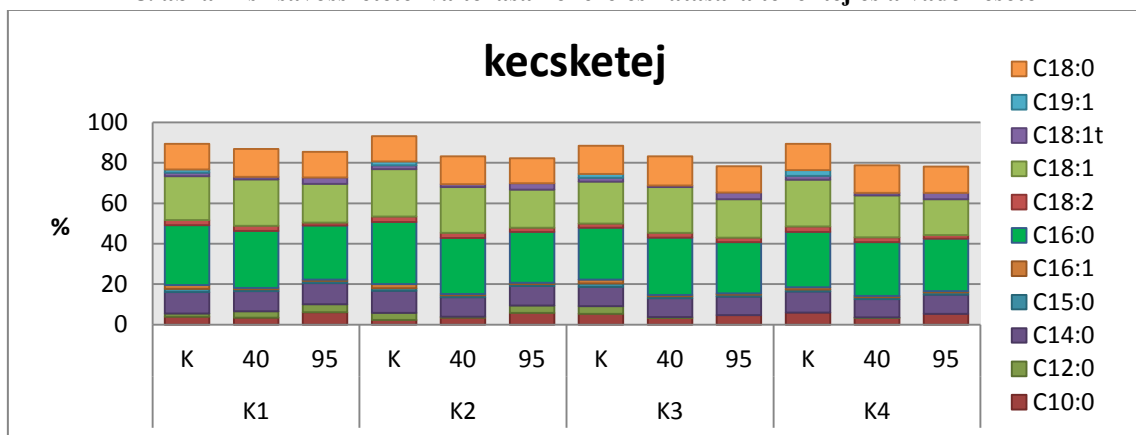
Az alábbi diagramokat megvizsgálva látható, hogy az összes komponens mennyisége nem éri el a 100%-ot. Ennek oka az, hogy az ábrákon csupán a fő komponensek vannak feltüntetve, a minor alkotók tárgyalására később kerül sor. Az is észrevehető, hogy hőkezelés során a legnagyobb arányban jelenlevő zsírsavak összes mennyisége csökkenő tendenciát mutat, ami annak köszönhető, hogy oxidációs folyamatok eredményeként bomlástermékek keletkeznek. [62]

A vizsgált tejtermékek zsírsavösszetételét tekintve azt tapasztaltuk, hogy hőkezelés során nem változik jelentős mértékben a mirisztinsav aránya (9-10%) sem a tehéntejéknél, sem a kecsketejéknél. Szintén stagnál a sztearinsav százalékos aránya (12-13%). 95°C-os hőkezelés során azonban csökkenő tendenciát mutat az olajsav (2-4%-os csökkenés) mennyisége, míg a laurinsav növekvőt. (1-2%-os növekedés)

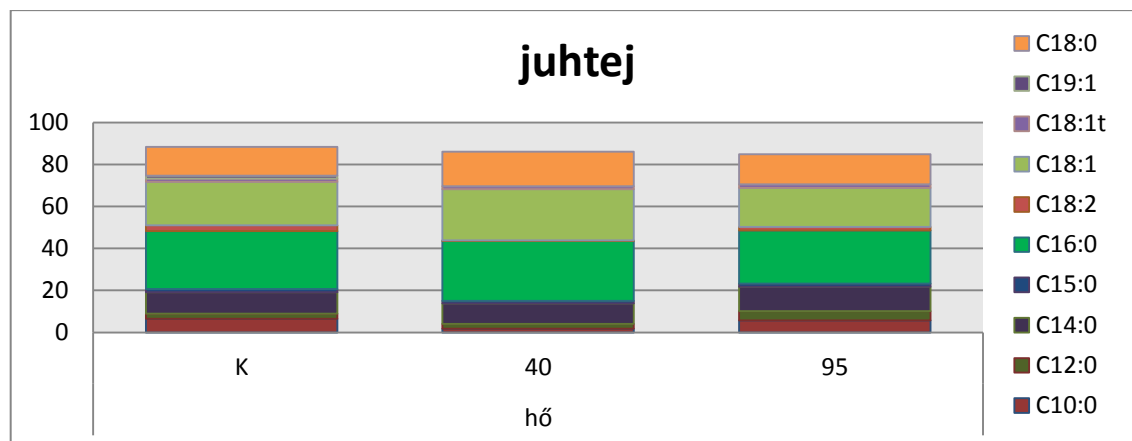
A II./a mellékletben található táblázatokban a változások összefoglalva áttekinthetők.



8. ábra- Zsírösszetétel változása hőkezelés hatására tehéntej és alvadék esetén



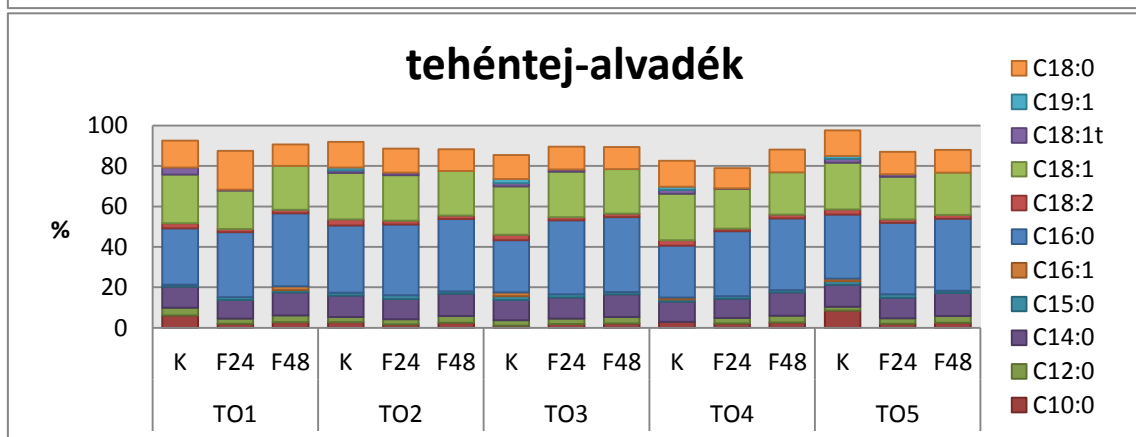
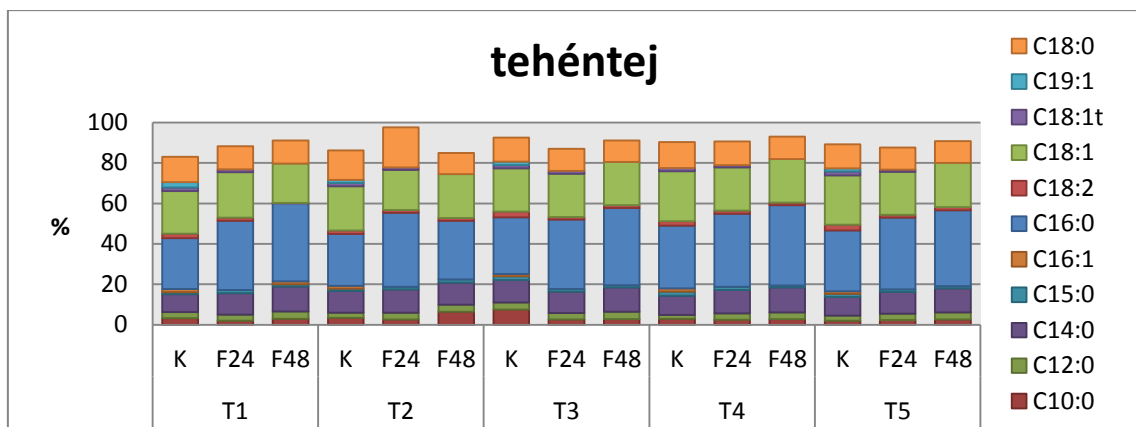
9. ábra-Zsírösszetétel változása hőkezelés hatására kecsketej és alvadékesetén



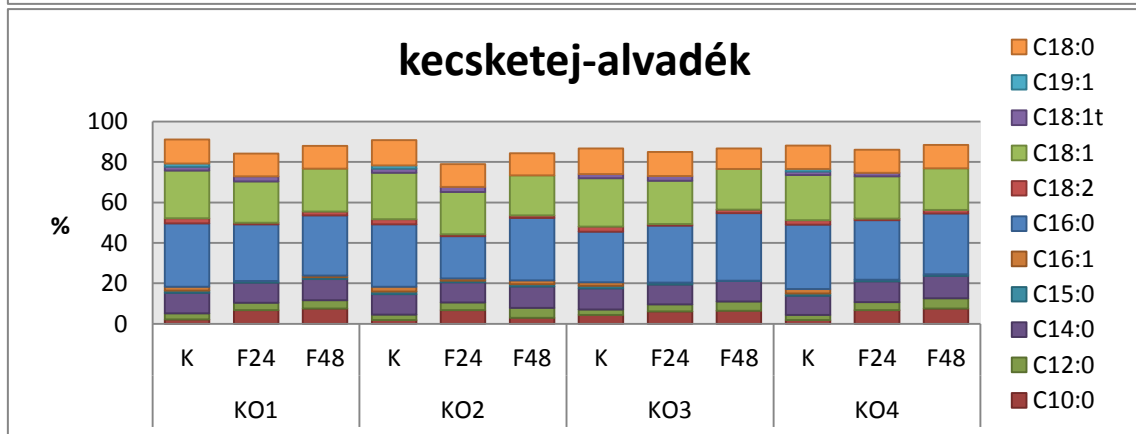
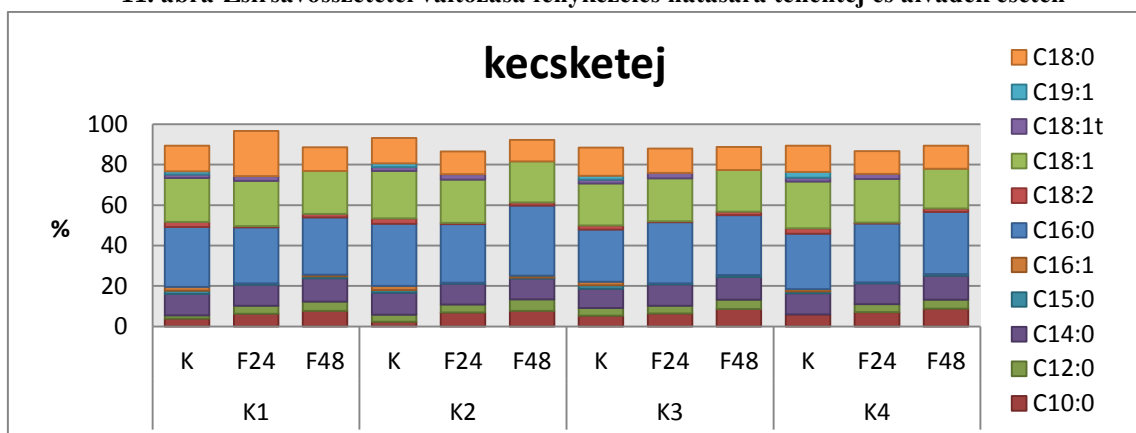
10. ábra- Zsírsavösszetétel változása hőkezelés hatására juhtej esetén

A következő diagramokon a zsírsavösszetétel változását ábrázoltam fénykezelés hatására. Ezen diagramokon sem éri el az ábrázolt alkotók összes mennyisége a 100%-ot a korábban tárgyalt oknál fogva. A hőkezeléssel szemben itt az vehető észre, hogy a fő komponensek arányának csökkenő tendenciája kevésbé meredek fénykezelést követően, mint hőkezelés hatására. Ez azzal magyarázható, hogy a minor alkotók keletkezése helyett kevert hullámhosszú UV-fény alkalmazása esetén a lánctöredezési folyamatok a dominánsak.

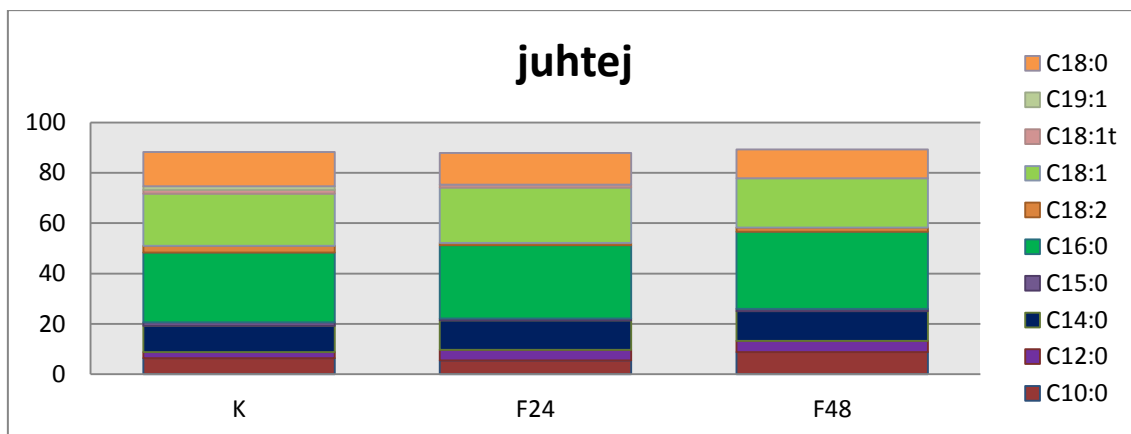
A hőkezeléshez hasonlóan 24 és 48 órás fénykezelés esetén is stagnál a mirisztinsav aránya (9-10%), növekszik a laurinsavé (1-2 %-os növekedés), csökken az olajsav mennyisége (2-4%-os csökkenés) és a hőkezeléssel ellentétben a sztearinsav aránya sem maradt állandó, 1-2 %-os fogyatkozást tapasztaltunk a 48 órás fénykezelést követően.



11. ábra-Zsírsavösszetétel változása fénykezelés hatására tehéntej és alvadék esetén



12. ábra-Zsírsavösszetétel változása fénykezelés hatására kecsketej és alvadék esetén

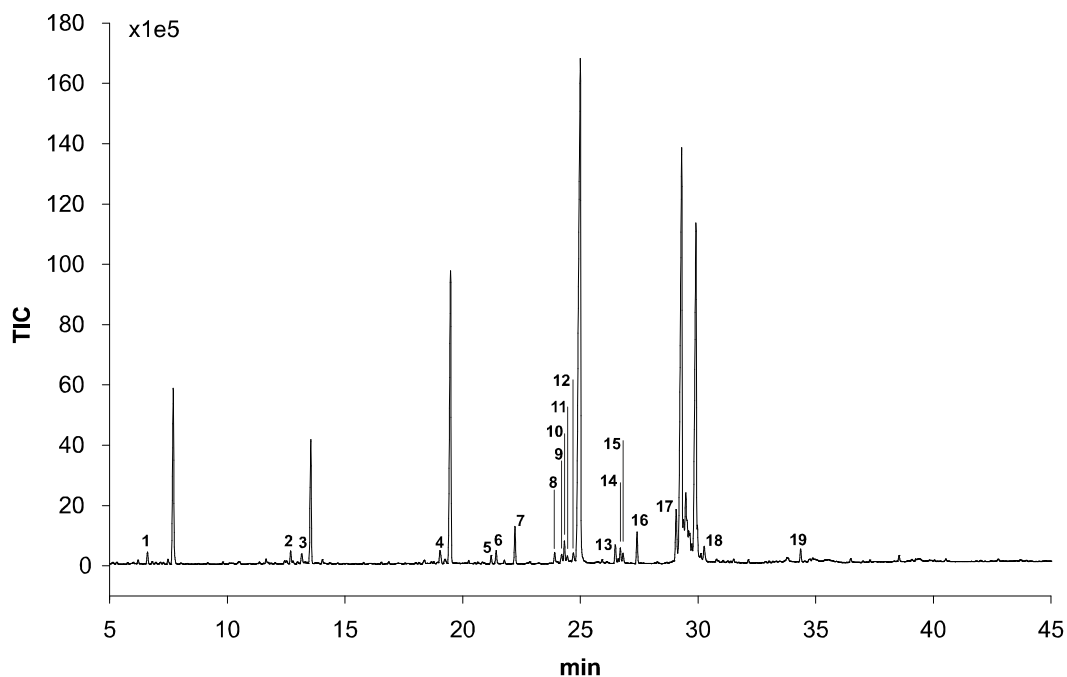


13. ábra-Zsírsavösszetétel változása fénykezelés hatására juhtej esetén

Összegzésképp elmondható, hogy mindhárom tejben kiemelkedő a mirisztinsav, palmitinsav, olajsav és sztearinsav része az összes zsírtartalomból, ami állati eredetüknek köszönhető. A három kérődző teje közül a kecsketej és a juhtej tartalmaz a legnagyobb mennyiségben könnyebben emészthető, rövidebb láncú zsírsavakat. A tehéntej pedig bővelkedik egyszerűen telítetlen, valamint hosszúláncú telített zsírsavakban. Számottevő a kecsketejével közel azonos arányú linolsavtartalma is, amely a többszörösen telítetlen zsírsavak csoportjába tartozik. Hő- és fény kezelés hatására a telítetlen zsírsavak aránya csökken, ami magyarázható lánctöredézési reakciókkal és minor komponensek keletkezésével.

5.2. BOMLÁSTERMÉKEK

A 24 órán keresztül 95°C-on tartott valós minta esetén a hidrolitikus átészterezés után a referencia oldatban található hét fő zsírsav komponens (7.00, 13.54, 19.48, 25.01, 29.30 és 29.91 perc retenciós időikkel) metilészter származéka mellett 19 minor komponens megjelenése látható a kromatogramban.



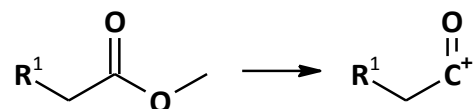
11. ábra-Minor komponensek megjelenése a kromatogramban

A kromatogramban megjelenő minor csúcsokhoz rendelhető molekulatömeg és fragmens tömeg értékeit a következő táblázat tartalmazza:

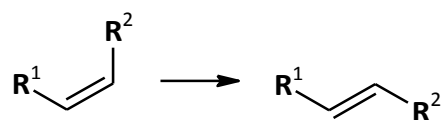
#	Retenciós idő [min]	M _w	Összegképlet	Fragmens ionok
1	6.61	238	C ₁₅ H ₂₆ O ₂	207, 169, 155, 127, 113, 99, 85, 71, 57,
2	12.68	312	C ₁₉ H ₃₆ O ₃	281, 207, 169, 155, 141, 127, 113, 99,
3	13.16	312	C ₁₉ H ₃₆ O ₃	281, 207, 191, 175, 163, 57
4	19.04	328	C ₁₉ H ₃₆ O ₄	281, 207
5	21.21	286	C ₁₇ H ₃₄ O ₃	256, 227, 213, 157, 143
6	21.43	286	C ₁₇ H ₃₂ O ₃	256, 227, 213, 199, 143
7	22.22	286	C ₁₇ H ₃₂ O ₃	256, 225, 213, 199, 185, 171, 157, 143
8	23.91	312	C ₁₉ H ₃₆ O ₃	281, 270, 227, 199, 185, 171
9	24.20	268	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	236, 207, 194
10	24.33	268	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	236, 207, 194
11	24.45	268	C ₁₇ H ₃₂ O ₂	236, 207, 194
12	24.70	312	C ₁₉ H ₃₆ O ₃	281, 236, 207, 194
13	26.48	284	C ₁₇ H ₃₂ O ₃	255, 241, 199, 185, 143, 129
14	26.70	284	C ₁₇ H ₃₂ O ₃	255, 241, 199, 185, 143
15	26.82	282	C ₁₇ H ₃₀ O ₃	250, 208, 166
16	27.41	284	C ₁₇ H ₃₂ O ₃	253, 241, 199, 185, 143
17	29.08	294	C ₁₇ H ₂₆ O ₄	262, 220, 178
18	30.26	294	C ₁₇ H ₂₆ O ₄	262, 220, 207, 178
19	34.36	326	C ₁₉ H ₃₄ O ₄	297, 283, 269, 255, 241, 227, 213, 207

6. táblázat-Minor csúcsokhoz rendelhető molekulatömeg és fragmens tömeg értékek

A vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy a tömegspektrumokban a molekulacsúcs sok esetben nem detektálható az ionizáció során bekövetkező metoxi veszteség ($M^+ - 31$) miatt.



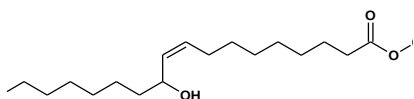
A zsírsav átalakulások a kettős kötések reakcióira vezethetők vissza, melyek közül a két legfontosabb az Z-E átizomerizálás és az oxidáció. Az izomerizáció a π -kötés felszakadásával jár, amihez magasabb hőmérséklet szükséges. [63]



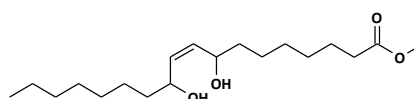
E-Z izomerizáció

A kettős kötést tartalmazó származékok másik fontos átalakulási lehetősége az oxidáció, amit a bevezetésben már tárgyaltunk.

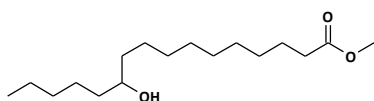
A korábban már említett reakcióséma alapján a kromatográfiás csúcsok és a hozzájuk tartozó tömegspektrumok alapján a következő szerkezetek rendelhetők a bomlástermékekhez:



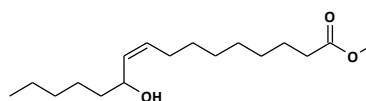
2,3,8,12



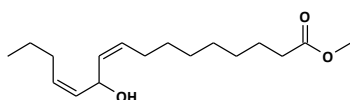
4



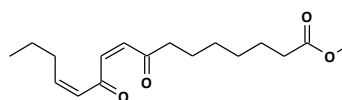
5, 6, 7



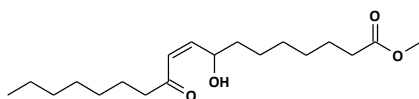
13, 14, 16



15

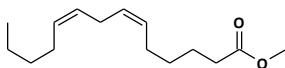


17, 18

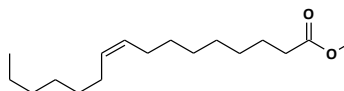


19

Minor komponensként az alábbi két származék azonosítható a kromatográfiás vizsgálat során:



1



9,10,11

Az, hogy egy összegképlethez több retenciós idő és egy szerkezeti képlethez több szám is tartozik, azzal indokolható, hogy ezek a szerkezetek a lehetséges izomereknek csak egyikét ábrázolják.

A mérési eredményekből arra következtethetünk, hogy a telített zsírsavak jobban ellenállnak a magas hőmérsékletnek, mint a telítetlen zsírsavak. Ez azzal magyarázható, hogy a telítetlen zsírsavak kettős kötéseik révén érzékenyebben a reaktív oxigénmolekulák által kiváltott oxidációra. Tehát könnyebben lejátszódik a lipidperoxidáció.

A vizsgálati eredmények tükrében megállapítható, hogy a hőmérséklet emelkedésével fokozódik a telített és telítetlen zsírsavak bomlási készsége. Az általunk mért adatok szerint a legjelentősebb mértékű az oxo- és hidroxi-származékok képződése, ahogyan az irodalmi áttekintésben említett Bordeaux és kollégái is megállapították tanulmányuk készítése során.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az élelmiszerekben jelentős mennyiségben előforduló zsírokat alkotó zsírsavak stabilitására figyelemre méltó hatást gyakorolnak a különböző környezeti tényezők, mint például a hőmérséklet megváltozása, illetve az UV-fény. Az élelmiszeriparban alkalmazott technológiák közül az alacsonyabb hőmérsékleti tartományban végzett műveletek, valamint az UV-fény által eredményezett bomlási folyamatokat eddig kevés kutatás vette górcső alá.

Az általunk végzett mérések során kérődzők (szarvasmarha, kecske, juh) tejéből előállított tejtermékek (joghurt, kefir) zsírsavösszetételének változását vizsgáltuk megfelelő előkészítés után (lío-filizálás, zsírok extrahálása, származékképzés) 24 óráig tartó 45°C-os és 95°C-os hőkezelés után, továbbá 24 és 48 órás fénykezelést követően. A kapott eredményeket összehasonlítottuk a referenciaadatokkal, melyeket szobahőmérsékleten, elsötétítve tárolt mintákkal vettünk fel. A jellemző zsírsavösszetételt, valamint a bomlástermékeket GC-MS kapcsolt technika segítségével detektáltuk. A komponensek azonosítása a retenció idő és a molekulatömeg alapján történt standard oldatok alkalmazásával.

Adataink szerint a hőmérséklet emelkedése és az UV-fény hatása kardinális a zsírsavak – különösen a telítetlen zsírsavak – stabilitásának és átalakulási folyamatainak szempontjából.

Ezen eredmények birtokában az élelmiszeripari műveletek paraméterei, továbbá a szállítási és tárolási körülmények úgy módosíthatók, hogy az emberi szervezet számára esszenciális telítetlen zsírsavak degradációja az emésztőrendszerbe kerülés előtt elkerülhető legyen és ennek eredményeként számottevő mértékben hozzájáruljon az egészségmegőrzéshez.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni *Dr. Forgó Péternek* a tömegspektrumok megfejtésében nyújtott segítségét.

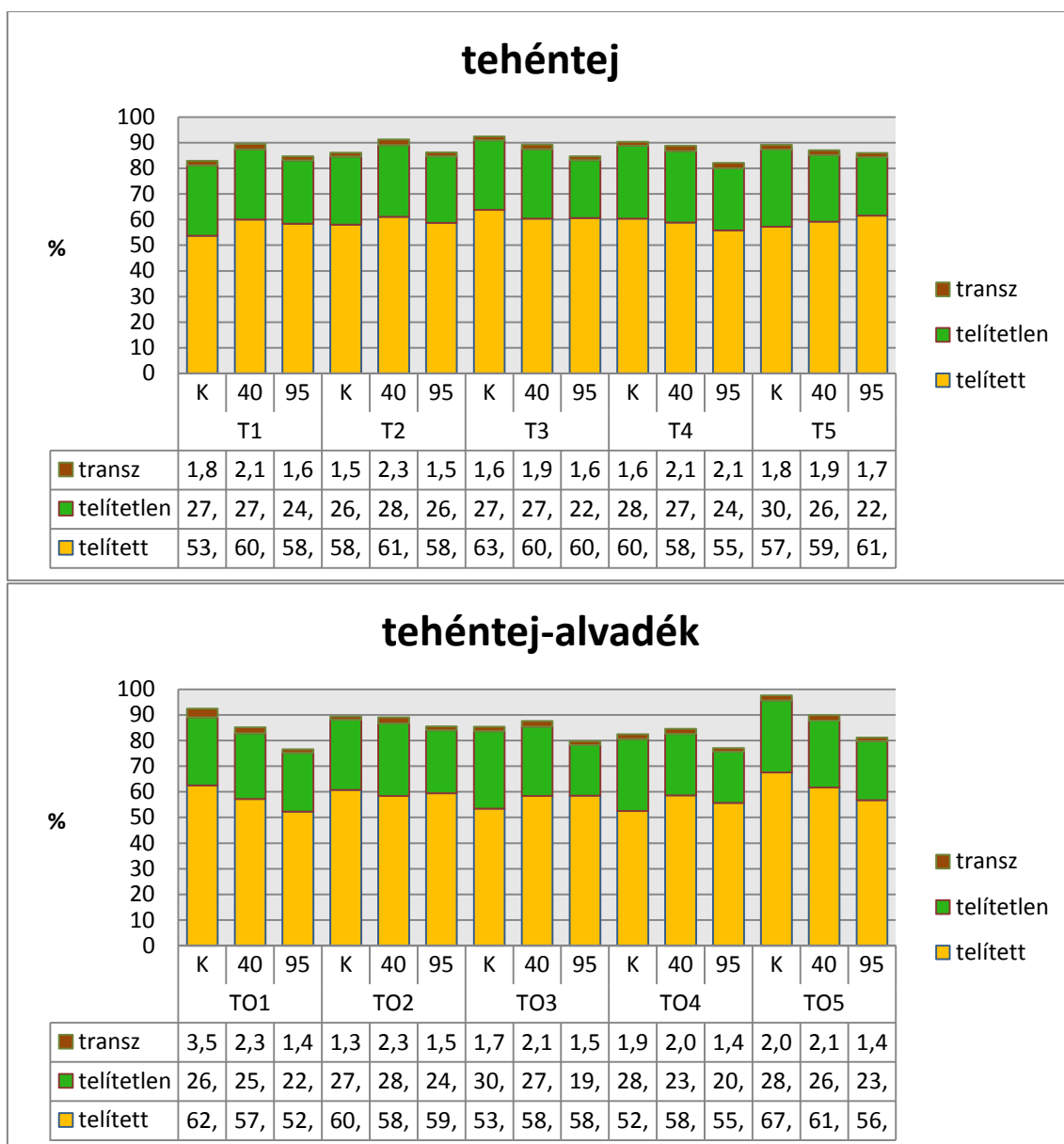
Külön köszönet illeti *Dr. Murányi Zoltánt* a szakmai vezetésért, tanácsokért és a lektorálásban való közreműködésért.

Molnár Szabolcsnak pedig hálás vagyok a segítségért és támogatásért a dolgozat elkészítésének minden fázisában.

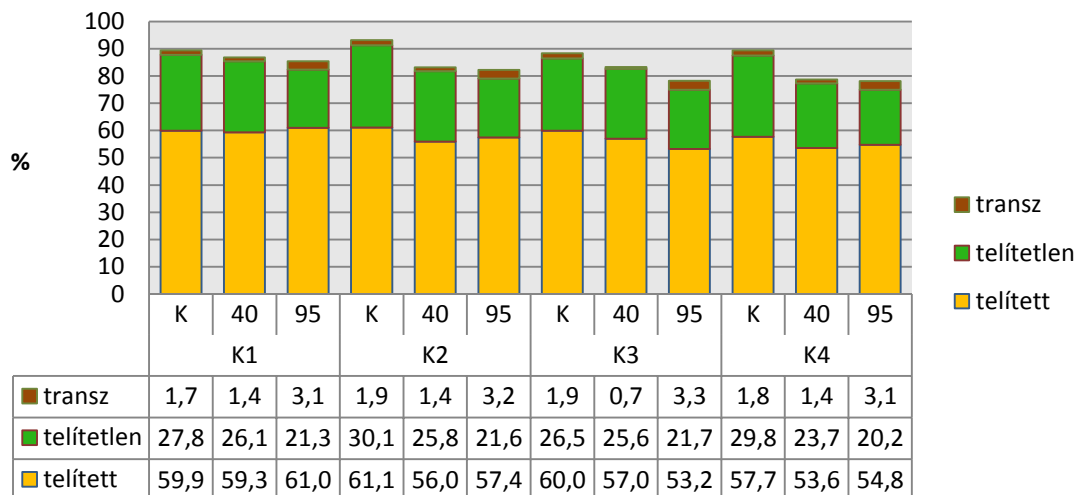
8. MELLÉKLET

I./a számú melléklet

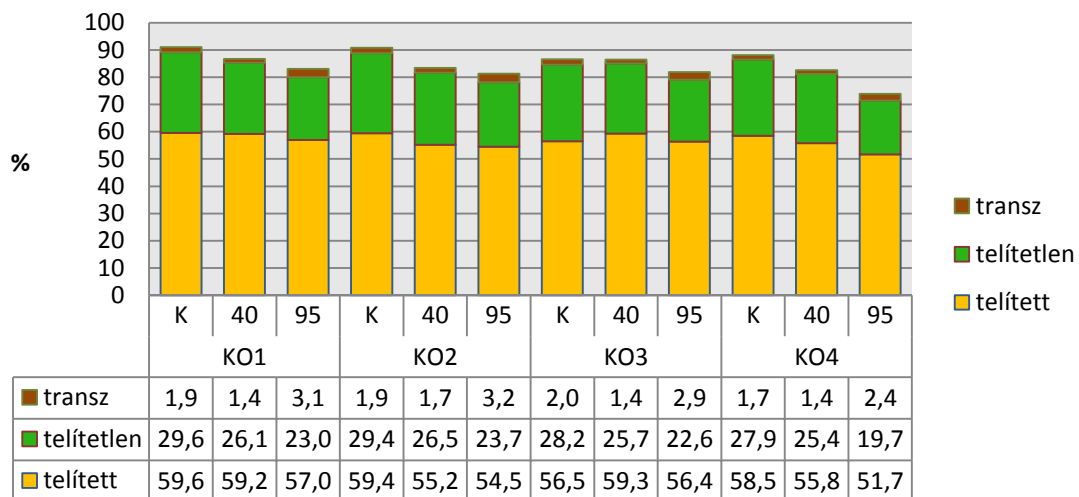
A következő diagramok a telített, telítetlen és transz zsírsavak arányának változását szemléltetik hőkezelés során.



kecsketej

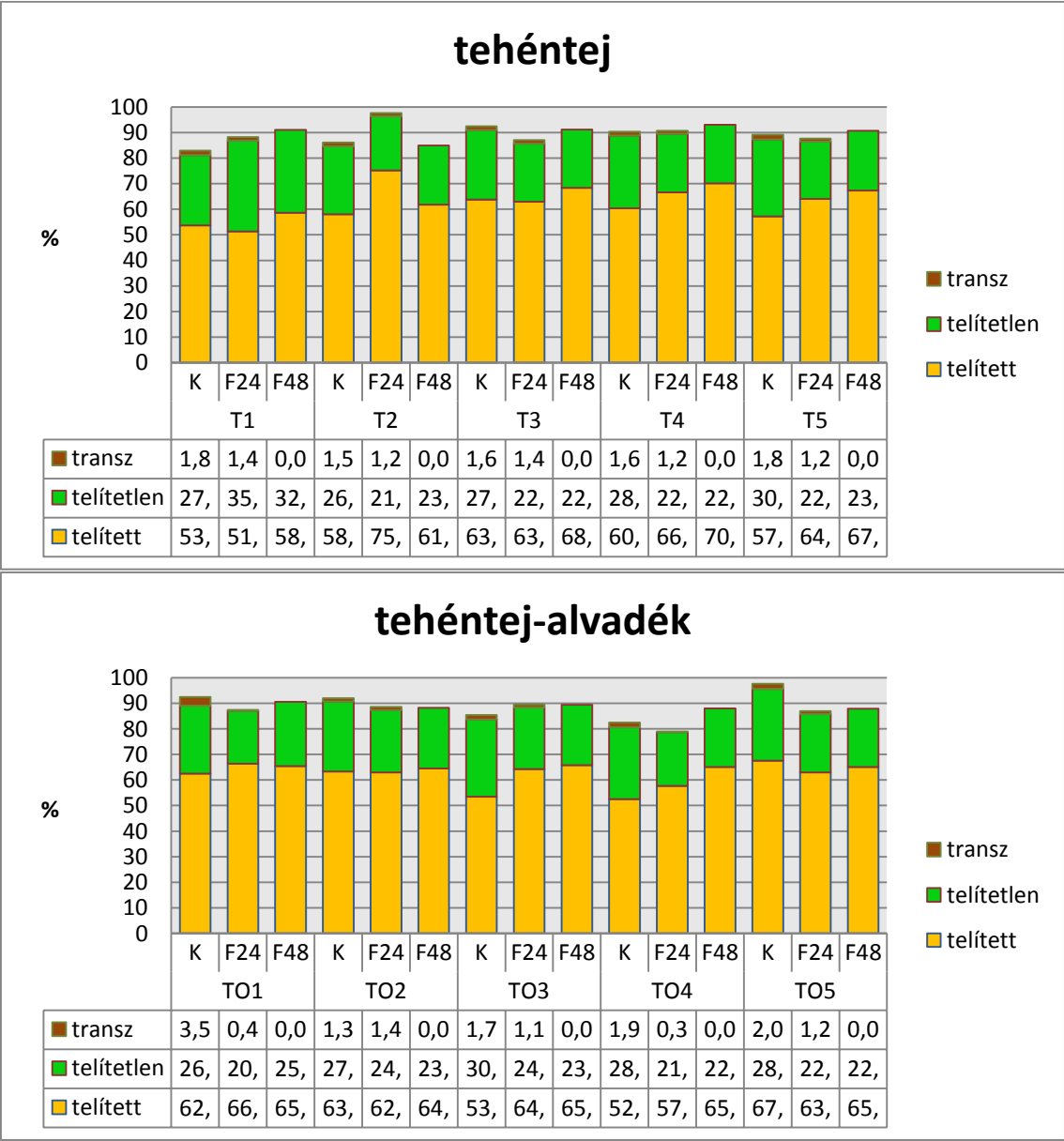


kecsketej-alvadék

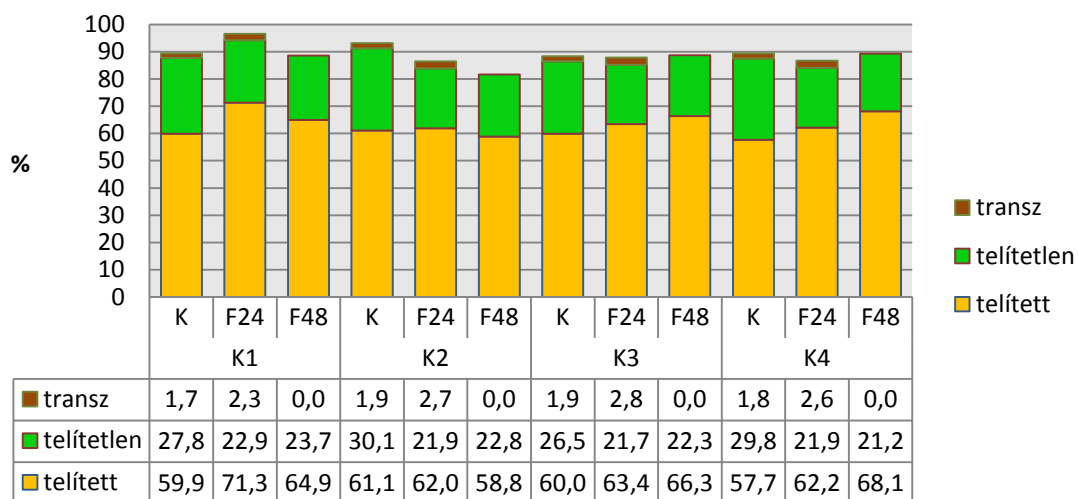


I/b számú melléklet

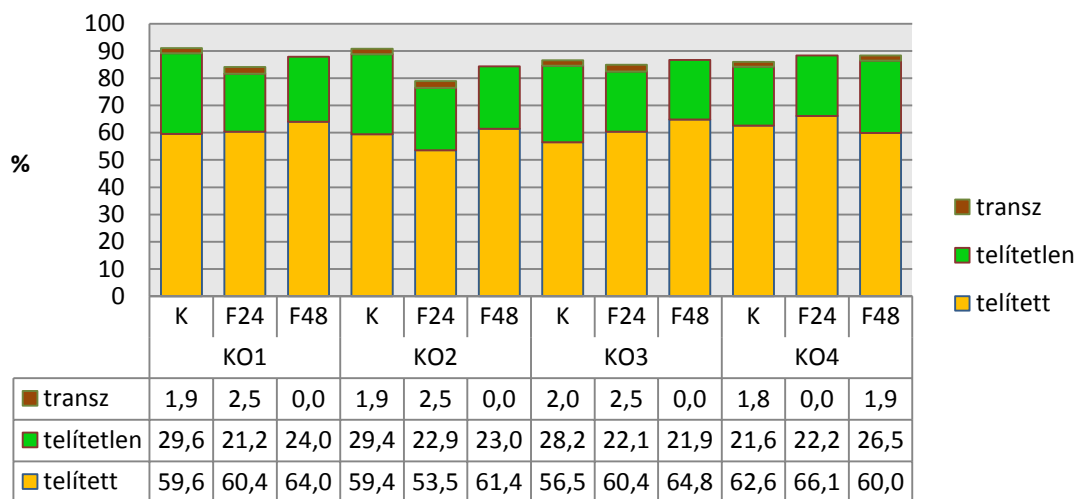
A következő diagramok a telített, telítetlen és transz zsírsavak arányának változását szemléltetik fénykezelés során.



kecsketej



kecsketej-alvadék



II./a számú melléklet

#	tehéntej						tehéntej alvadék					
	K		40		95		K		40		95	
	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás
C10:0	3,9	2,1	1,3	0,1	2,6	0,2	4,3	3,0	1,2	0,1	2,1	0,3
C12:0	2,7	0,6	2,1	0,7	3,4	0,2	2,8	1,0	1,5	0,8	2,9	0,4
C14:0	9,9	1,0	9,9	0,3	10,7	0,3	10,3	0,4	9,7	0,1	10,0	0,5
C15:0	1,5	0,4	1,2	0,1	1,3	0,1	1,5	0,5	1,2	0,1	1,2	0,1
C16:1	1,4	0,2	1,7	0,1	1,9	0,2	1,3	0,4	2,2	0,3	2,0	0,2
C16:0	28,0	2,6	32,4	0,8	29,8	0,5	28,9	3,5	32,1	1,3	29,7	1,1
C18:2	2,4	0,5	2,3	0,2	1,8	0,5	2,7	0,2	2,5	0,2	2,0	0,5
C18:1	22,6	1,8	23,2	0,7	20,4	1,0	23,3	0,5	22,4	0,6	18,8	1,6
C18:1 t	1,7	0,1	2,1	0,1	1,7	0,2	2,1	0,8	2,2	0,1	1,4	n.d.
C19:1	1,9	0,5	n.d.		n.d.		1,6	0,2	n.d.		n.d.	
C18:0	12,7	1,2	13,1	0,3	12,0	0,7	12,6	0,5	13,4	0,4	12,4	0,6

7. táblázat- Zsírösszetétel változása hőkezelés hatására tehéntejnek és alvadékoknál

#	kecsketej						kecsketej alvadék					
	K		40		95		K		40		95	
	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás
C10:0	4,4	1,6	3,4	0,1	5,5	0,6	2,6	1,2	3,3	0,5	5,1	0,8
C12:0	2,9	1,2	1,1	1,3	3,8	0,3	2,7	0,2	3,0	0,4	3,4	0,7
C14:0	10,4	0,6	9,5	0,4	9,7	0,5	10,1	0,4	9,3	0,4	9,2	0,3
C15:0	1,4	0,3	0,9	n.d.	1,0	0,0	1,2	0,1	1,0	0,1	1,0	0,1
C16:1	1,7	0,4	0,7	n.d.	0,6	0,0	2,0	0,3	1,0	0,1	1,0	0,1
C16:0	28,3	2,2	27,7	0,8	25,8	0,7	29,8	3,2	27,9	0,9	25,2	0,9
C18:2	2,6	0,3	2,4	0,1	1,9	0,3	2,5	0,2	2,4	0,2	2,2	0,3
C18:1	22,2	1,2	22,3	1,0	18,7	0,7	23,2	0,7	22,5	0,3	19,1	1,4
C18:1 t	1,8	0,1	1,2	0,3	3,2	0,1	1,9	0,1	1,5	0,2	2,9	0,3
C19:1	2,1	0,6	n.d.		n.d.		1,5	0,2	n.d.		n.d.	
C18:0	13,0	0,6	13,9	0,5	12,7	0,3	12,2	0,5	14,4	0,3	12,8	1,0

8. táblázat- Zsírösszetétel változása hőkezelés hatására kecsketejnek és alvadékoknál

II./b számú melléklet

#	tehéntej						tehéntej alvadék					
	K		F24		F48		K		F24		F48	
	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás
C10:0	3,9	2,1	2,0	0,3	3,0	1,6	4,3	3,0	1,9	0,2	2,6	0,3
C12:0	2,7	0,6	2,6	0,2	2,9	0,2	2,8	0,8	2,6	0,1	3,3	0,1
C14:0	9,9	1,0	9,2	0,4	9,9	0,6	10,3	0,4	9,9	0,5	11,4	0,2
C15:0	1,5	0,4	1,2	0,1	1,0	0,2	1,5	0,5	1,6	0,2	1,1	n.d.
C16:1	1,4	0,2	n.d.		0,7		1,3	0,4	n.d.		1,8	
C16:0	28,0	2,6	29,4	1,1	30,4	4,3	28,9	3,5	34,2	2,0	36,0	0,7
C18:2	2,4	0,5	1,2	0,1	1,0	0,5	2,7	0,2	1,6	0,2	1,8	0,1
C18:1	22,6	1,8	17,7	1,0	17,6	1,0	23,3	0,5	21,0	1,5	21,5	0,5
C18:1t	1,7	0,1	1,1	0,1	n.d.		2,1	0,8	0,9	0,5	n.d.	
C19:1	1,9	0,5	n.d.		n.d.		1,6	0,2	n.d.		n.d.	
C18:0	12,7	1,2	13,0	3,8	10,9	0,4	12,6	0,5	12,6	3,7	10,9	0,2

9. táblázat- Zsírösszetétel változása fénykezelés hatására tehéntejeknél és alvadékoknál

#	kecsketej						kecsketej alvadék					
	K		F24		F48		K		F24		F48	
	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás	átlag (%)	szórás
C10:0	4,4	1,6	6,7	0,4	8,2	0,6	2,6	1,1	6,6	0,3	6,1	2,2
C12:0	2,9	1,2	3,9	0,1	4,8	0,5	2,7	0,2	3,7	0,1	4,7	0,5
C14:0	10,4	0,6	10,3	0,1	11,3	0,7	10,1	0,3	10,0	0,3	10,6	0,3
C15:0	1,4	0,3	0,6	n.d.	0,8	0,2	1,2	0,1	0,8	0,1	0,8	0,4
C16:1	1,7	0,4	n.d.		0,8	0,2	2,0	0,3	1,1		1,4	0,7
C16:0	28,3	2,2	29,0	1,0	30,9	2,7	29,8	2,9	26,7	3,8	31,0	1,7
C18:2	2,6	0,3	0,6	n.d.	1,6	0,1	2,5	0,2	0,8	0,1	1,7	0,2
C18:1	22,2	1,2	21,5	0,5	20,5	0,7	23,2	0,6	20,9	0,4	20,4	0,6
C18:1t	1,8	0,1	2,6	0,2	n.d.		1,9	0,1	2,3	0,3	n.d.	
C19:1	2,1	0,6	n.d.		n.d.		1,5	0,2	n.d.		n.d.	
C18:0	13,0	0,6	14,2	5,4	11,3	0,4	12,2	0,5	11,4	0,3	11,0	0,6

10. táblázat - Zsírösszetétel változása fénykezelés hatására kecsketejeknél és alvadékoknál

9. HIVATKOZÁSJEGYZÉK

1. Zdzislaw Z. E. Sikorski, Anna Kolakowska (2011) *Chemical, Biological, and Functional Aspects of Food Lipids*, Taylor&Francis Group, Boca Raton, 10.
2. saját ábra, Chem Sketch, Version 11.0
3. Novák Lajos, Nyitrai József, Hazai László (2001) *Biomolekulák kémiája*, Magyar Kémikusok Egyesülete, Budapest, 9.
4. Novák Lajos, Nyitrai József, Hazai László (2001) *Biomolekulák kémiája*, Magyar Kémikusok Egyesülete, Budapest, 9-16.
5. Boross László-Sajgó Mihály (2003) *A biokémia alapjai*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 108-110.
6. Asztalnok Tamás Antal, Dr. Csapó János, Salamon Rozália Veronika (2006) *Tej zsírsavösszetételének és konjugált linolsavtartalmának változása évszakok szerint*, EMTE
7. Salamon R.V és mtsi. (2007) *Tej és tejtermékek zsírsav-összetételének és KLS-tartalmának változása színtenyészetek hatására, valamint a mikrohullámú hőkezelés során*, Acta Agraria Kaposváriensis, Vol 11 No 3, pg. 23-36.
8. Csapó János, Csapóné Kiss Zsuzsanna (2002) *Tej és tejtermékek szerepe a táplálkozásban*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2.fejezet
9. Frank D. Gunstone, John L. Harwood, Albert J. Dijkstra (2007) *The Lipid handbook*, Taylor&Francis Group, Boca Raton, pg 1-3.
10. Gergely P., Penke B., Tóth Gy. (2006) *Szerves és bioorganikus kémia*, Alliter Kiadói és Oktatásfejlesztő Alapítvány, Budapest, 166-167.
11. saját ábra, Corina, online demo version
12. Casimir C. Akoh, David B. Min (2002) *Food lipids*, Marcel Dekker, Inc., New York, pg. 26-40.
13. J.M. Chesworth, T. Stuchbury, J.R. Scaife (1998) *An introduction to agricultural biochemistry*, Chapman & Hall, London, pg. 259-260.
14. Frank D. Gunstone, John L. Harwood, Albert J. Dijkstra (2007) *The Lipid handbook*, Taylor&Francis Group, Boca Raton, pg 8-12.
15. Frank D. Gunstone, John L. Harwood, Albert J. Dijkstra (2007) *The Lipid handbook*, Taylor&Francis Group, Boca Raton, pg 1-8.
16. Boross László-Sajgó Mihály (2003) *A biokémia alapjai*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 110.
17. Christophe Dugave (2006) *Cis-trans isomerisation in biochemistry*, John Wiley & Sons, Weinheim, Germany, pg. 2-4.
18. saját ábra, Chem Sketch, Version 11.0
19. D. Nasipuri (1994) *Stereochemistry of organic compounds*, New Age International, New Delhi, pg.9-11.
20. W.C. Willet et al. (1993) *Intake of trans fatty acids and risk of coronary heart disease among women*, The Lancet, vol.341, pg. 581-585.

-
21. Brown, Foote, Iverson, Anslyn (2011) *Organic chemistry*, Brooks/Cole Cengage Learning, Belmon, USA
22. K. Srinath Reddy, Martijn B. Katan (2004) *Diet, nutrition and the prevention of hypertension and cardiovascular diseases*, Public Health Nutrition, pg. 167-186.
23. Novák Lajos, Nyitrai József, Hazai László (2001) *Biomolekulák kémiája*, Magyar Kémikusok Egyesülete, Budapest, 9-16.
24. M. I. Gurr, J. L. Harwood, K. N. Frayn (2002) *Lipid biochemistry*, Blackwell Science, Berlin, pg. 140-142.
25. Szakály Sándor (2004) *Táplálkozási dilemmák és az élelmiszerek fejlesztésének világstratégiai irányai*, Élelmiszer, Táplálkozás és Marketing, Évf. 1., Szám 1-2.
26. Artemis P. Simopoulos (2004) *Omega-6/Omega-3 Essential Fatty Acid Ratio and Chronic Diseases*, Food Reviews International, Vol. 20, No. 1, pp. 77–90.
27. Novák Lajos, Nyitrai József, Hazai László (2001) *Biomolekulák kémiája*, Magyar Kémikusok Egyesülete, Budapest, 30., 35., 139-143.
28. C. Turkington, D. Mitchell (2010) *The encyclopedia of poisons and antidotes, Facts on File*, New York, 267-268.
29. M. Bebel Stargrove, J. Treasure, D. L. McKee (2008) *Herb, nutrient and drug interactions*, Mosby Elsevier, St. Louis, Missouri, 449.
30. Young W. Park (2009) *Bioactive components of milk and dairy products*, Wiley-Blackwell, Iowa, USA pg. 97.
31. Frédéric Gaucheron (2005) *The minerals of milk*, Reproduction Nutrition Development, 45., pg. 473-483.
32. Rodler Imre (2005) *Új tápanyagtáblázat*, Medicina Könyvkiadó, Budapest, 372-373.
33. Csapó János, Csapóné Kiss Zsuzsanna (2002) *Tej és tejtermékek szerepe a táplálkozásban*, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 3. fejezet
34. Helena Lindmark Månsson (2008) *Fatty acids in bovine milk fat*, Food and Nutrition Research, vol. 52
35. Alejandro G. Marangoni, Suresh S. Narine (2002) *Physical properties of lipids*, Marcel Dekker, Inc., New York, pg. 127.
36. Rodler Imre (2005) *Új tápanyagtáblázat*, Medicina Könyvkiadó, Budapest, 372-373.
37. Pajor F. és mtsi. (2009) *Hazánkban elterjedt kecske és szarvasmarha fajták tejének ásványi anyag és zsírsav-összetétele*, Acta Agraria Kaposváriensis, Vol. 13 No 1, pg. 57-66.
38. Y.W. Park et al. (2007) *Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk*, Small Ruminant Research, vol. 68, pg. 88-113.
39. Rodler Imre (2005) *Új tápanyagtáblázat*, Medicina Könyvkiadó, Budapest, 372-373.
40. J.M. Jandal (1996) *Comparative aspects of goat and sheep milk*, Small Ruminant Research 22, pg. 177-185.
41. Olivier Berdeaux et al. (2002) *A detailed identification study on high-temperature degradation products of oleic and linoleic acid methyl esters by GC–MS and GC–FTIR*, Chemistry and Physics of Lipids, vol. 165., pg. 338-347.
42. M. Shafiur Rahman (2007) *Handbook of food preservation*, Taylor&Francis Group, Boca Raton

-
43. Andreas M. Papas (2000) *Antioxidant status, diet, nutrition and health*, CRC Press, Boca Raton, pg. 8-13.
44. E.N. Frankel (1984) *Lipid Oxidation: Mechanisms, Products and Biological Significance*, JAOCS, Vol. 61, no. 12 ,pg.1908-1917.
45. Olivier Berdeaux, Stéphanie Fontagné, Etienne Sémon, Joaquin Velasco, Jean Louis Sébédio, Carmen Dobarganes (2002) *A detailed identification study on high-temperature degradation products of oleic and linoleic acid methyl esters by GC–MS and GC–FTIR*, Chemistry and Physics of Lipids, vol.165., pg. 338-347.
46. MCM. Moreno et al. (1999) *Analytical evaluation of polyunsaturated fatty acids degradation during thermal oxidation of edible oils by Fourier transform infrared spectroscopy*, Talanta, pg. 269-275.
47. Gergely Pál, Erdődi Ferenc, Vereb György (2005) *Általános és bioszervetlen kémia*, Semmelweis Kiadó, Budapest, 85.
48. P.J. Fellows (2000) *Food processing technology*, CRC Press, Boca Raton, pg. 448.
49. Geeta Sumbali, R.S. Mehrotra (2009) *Principles of microbiology*, Tata McGraw Hill, New Delhi, 114.
50. Balázs Gábor és mtsi. (2011) *Élelmiszeranalitika gyors és automatizált módszerei*, Nemzeti Tankönyvkiadó
51. W.W. Christie (1993) *Advances in Lipid Methodology – Two*, pg. 69-111.
52. H. Stephen Stoker (2013) *Organic and biological chemistry*, Brooks/Cole, Belmont, USA, pg.187.
53. Furka Árpád (1998) *Szerves kémia*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 618-619.
54. saját ábra, Chem Sketch, Version 11.0
55. Enrique Longueira, Jose Pineda, Rebecca Veeneman (2012) *Determination of Fatty Acid Methyl Esters (FAMES) in Olive Oil using Automated sample Preparing* Agilent Technologies
56. Dr. Fekete Jenő (2003) *Környezetvédelmi analitika*, Jáva-98 Kft., Budapest, 216.
57. Dr. Balla József (2006) *A gázkromatográfia analitikai alkalmazásai*, Edison House Kft., Budapest, 1.11, 9-3_9-13
58. T. Seppänen-Laakso, I. Laakso, R. Hiltunen (2002) *Analysis of fatty acids by gas chromatography, and its relevance to research on health and nutrition*, Analytica Chimica Acta, vol.465,pg. 39–62.
59. Dr. Balla József (2006) *A gázkromatográfia analitikai alkalmazásai*, Edison House Kft., Budapest, 1.11, 9-3_9-13
60. Dr. Balla József (2006) *A gázkromatográfia analitikai alkalmazásai*, Edison House Kft., Budapest, 9.1.3. fejezet, 9-13_9-26
61. Pajor F. és mtsi. (2009) *Hazánkban elterjedt kecske és szarvasmarha fajták tejének ásványi anyag és zsírsav-összetétele*, Acta Agraria Kaposváriensis, Vol. 13 No 1, pg. 57-66.
62. M. Shafiur Rahman (2007) *Handbook of food preservation*, Taylor&Francis Group, Boca Raton, pg. 260-263
63. Gergely Pál, Erdődi Ferenc, Vereb György (2006) *Szerves és bioorganikus kémia*, Alliter Kiadói és Oktatásfejlesztő Alapítvány, Budapest, 56.