

Invloed van voer op vetzuursamenstelling in melk

—

Literatuurstudie

Lander Govaerts & Wim Govaerts – Govaerts & Co bv



BELANGSTELLING	3
ZUIVELINDUSTRIE	3
VETZUREN ACHTERGROND	3
BRONNEN VAN MELKVET	4
METABOLISME VAN VETTEN	4
SAMENSTELLING MELKVET	5
INVLOED DIEET OP VETZUURSAMENSTELLING	5
GEZONDHEIDSASPECTEN	7
OXIDATIEVE RANZIGHEID IN MELKVETTEN	7
BEGRIIP	7
ROL VAN VRIJE RADICALEN	8
IMPACT OP ZUIVELVERWERKING	8
VETZUURSAMENSTELLING VEEVOEDERS	10
KRACHTVOERCOMPONENTEN	10
GRANEN	11
GPS	12
OVERIGE RUWVOEDERS	13
REFERENTIES	14

Belangstelling

Het inzicht in het belang van vetzuren (FA's) in melkvet is de afgelopen jaren aanzienlijk veranderd, met een verschuiving naar het erkennen van hun potentieel positieve of negatieve invloed op de menselijke gezondheid en kwaliteit van het eindproduct (Gómez-Cortés, Juárez & de la Fuente, 2018). Belangrijke verschillen tussen verschillende vetzuren op vlak van hun impact op de gezondheid heeft de interesse aangewakkerd in verder onderzoek naar verschillende patronen in voeding. De vet(zuur)fractie in melk brengt in grote mate de smaak en het aroma van het product over en heeft een belangrijke impact op de verdere verwerkbaarheid van de melk tot zuivelproducten (Markiewicz-Kęszycka Czyżak-Runowska, Lipińska & Wójtowski, 2013). Wat betreft de zuivelindustrie wordt het vetzuurpatroon aanwezig in het eindproduct grotendeels bepaald door het dieet van het vee en de fase van de lactatie waarin de koe zich bevindt (Coppa, Chassaing, Ferlay, Agabriel, Laurent Borreani & Martin, 2015; Hanuš, Samková, Křížová, Hasoňová & Kala, 2018, Butler, Nielsen, Larsen, Rehberger, Stergiadis, Canever & Leifert, 2011).

Zuivelindustrie

De verschillen in smelttemperatuur tussen de verschillende vetzuren (vaak gebonden in triglyceriden) zorgt voor verschillen in hardheid >< smeuïgheid bij bepaalde temperaturen. Zo zorgt een hogere aanwezigheid van kortere of onverzadigde vetten voor een smeuïgere en zachtere textuur. De belangrijkste graadmeter hiervoor is de verhouding C16:0 (palmitinezuur) en C18:1 (oliezuur) als veelvoorkomende vetzuren in melk. Relatief veel C16:0 t.o.v. C18:1 zorgt voor een hard en droog aanvoelend eindproduct, gekoppeld aan de hogere smelttemperatuur van het verzadigde palmitinevetzuur. Een omgekeerde verhouding levert een smeuïg en zacht product (kaas) op. Het smeltpunt van oliezuur is significant lager dan dat van de kortketenige verzadigde vetzuren ($C < 16$), waardoor dit nog sterker bijdraagt tot een smeerbaarder geheel. (Eichler, 2016; Coppa, Ferlay, Monsallier, Verdier-Metz, Pradel, Didienne & Martin, 2011).

Onverzadigde vetzuren zijn gevoelig voor oxidatie (Köckritz & Martin, 2008). Een lage concentratie aan onverzadigde vetzuren zorgt voor een betere houdbaarheid (Tao, 2015). Het onder controle houden van de onverzadigde vetzuren kan helpen voorkomen dat melkproducten ranzig worden. Tegelijk worden onverzadigde vetzuren als C18:1, oliezuur, of C18:2 en C18:3, linolzuur en linoleenzuur gezonder geacht voor menselijke consumptie vanwege hun hypocholesterolisch effect. Aan specifieke onverzadigde vetzuren, zoals C18:2 trans-9 cis-11, beter bekend als rumenzuur, een in melk veelvoorkomende vorm van CLA, worden bijkomende gezondheidsvoordelen toegeschreven als kankerverwekkendheid en ontstekingsremmende werking (Den Hartigh, 2019).

Vetzuren achtergrond

Vetzuren verschillen in ketenlengte en mate van onverzadiging, positie en oriëntatie van dubbele bindingen. Vetzuren zijn cruciale bestanddelen van lipiden, die essentieel zijn voor verschillende biologische functies. 95% van de vetzuren in melk verschijnen in de vorm van triglyceriden, gebonden door een glycerolmolecule (Samková, Špička, Pešek, Pelikánová & Hanuš, 2012). Vetzuren als moleculen worden gekenmerkt door lange koolwaterstofketens met aan het uiteinde een carboxylzuurgroep. Hun structuur varieert in termen van ketenlengte,

verzadigingsgraad en configuratie van dubbele bindingen, wat leidt tot verschillende classificaties van vetzuren.

In de nomenclatuur van vetzuren worden voornamelijk drie systemen gebruikt om de structuur en kenmerken van deze moleculen aan te duiden: het delta (Δ) systeem, het omega (ω) systeem en algemene namen. Vooreerst wordt steeds het aantal aanwezige koolstofatomen weergegeven in het eerste cijfer, gevolgd door het aantal dubbele bindingen tussen koolstofatomen dat voorkomt. Het delta-systeem geeft de locatie aan van dubbele bindingen in de koolstofketen ten opzichte van het carboxyluiteinde, met het symbool Δ gevolgd door de positie nummers van de dubbele bindingen; bijvoorbeeld $\Delta^9,12$ geeft dubbele bindingen aan op de negende en twaalfde koolstof vanaf het carboxyluiteinde. Het omega-systeem identificeert daarentegen de positie van de eerste dubbele binding ten opzichte van het methyluiteinde van het vetzuur; omega-3-vetzuren (ω -3) hebben bijvoorbeeld hun eerste dubbele binding op drie koolstofatomen afstand van het methyluiteinde. Het gebruik van omega-nomenclatuur is wijdverspreid geworden in de discussie over de gezondheidseffecten van vetzuren, vooral met betrekking tot omega-3- en omega-6-vetzuren en hun rol in de menselijke fysiologie. De verhouding tussen omega-3- en omega-6-vetzuren is van belang, omdat een hoge inname van omega-6 leidt tot een grotere beschikbaarheid van arachidonzuur, waaruit via COX- en LOX-enzymen ontstekingsbevorderende prostaglandines en leukotriënen worden gevormd, terwijl omega-3-vetzuren concurreren voor dezelfde enzymen en zo de productie van minder krachtige of zelfs ontstekingsremmende mediators stimuleren. Gangbare namen, zoals oliezuur, linolzuur en α -linoleenzuur, zijn historisch bepaald en worden vaak gebruikt in voedingscontexten. Deze namen geven geen specifieke informatie over de structuur, maar worden algemeen herkend in zowel de wetenschappelijke literatuur als door het publiek. (Davidson & Cantrill, 1985; Lobb & Chow, 2007)

Bronnen van melkvet

Vetzuren aanwezig in melkvet komen in de melk terecht op twee manieren. Ongeveer de helft van de vetzuren zijn kort- en mediumketenige vetzuren ($\leq C16$) en worden gesynthetiseerd in de melkklieren (*de novo*-synthese) uit het in de pens ontstane azijnzuur en in mindere mate boterzuur (β -hydroxybutyrate) (Samková, Špička, Pešek, Pelikánová & Hanuš, 2012). De precursors hiervoor, azijnzuur en boterzuur als vluchtige vetzuren, worden door het microbieel leven in de pens geproduceerd uit cellulose en hemicellulose voor azijnzuur en suikers voor boterzuur. $C16:0$, oftewel palmitine, wordt voor een significante proportie geproduceerd in de melkklieren uit deze precursors. Andere medium- of kortketenige verzadigde vetzuren als $C14:0$, myristinezuur, $C12:0$, Laurinezuur, $C8:0$, Caprylzuur, etc., worden voor het overgrote merendeel in de melkklieren gesynthetiseerd. Langketenige vetzuren, bijna uitsluitend $C18:n$, komen vanuit het dieet van de koe in de melk terecht. (Glasser, Ferlay, Doreau, Schmidely, Sauvant & Chilliard, 2008)

Metabolisme van vetten

Koeien krijgen via hun voeding rechtstreeks vetten binnen, veelal in de vorm van triglyceriden. Deze vetten worden in de pens deels omgevormd om later in de dunne darm opgenomen te worden. In de eerste fase van vetvertering, lipolyse genaamd, worden de individuele vetzuren gescheiden van het glycerolmolecule. In de tweede fase, biohydrogenatie genaamd, worden onverzadigde vetzuren verzadigd met waterstofatomen. Ook creëert het microbieel leven in de pens een bijkomende bron van vetzuren in de vorm van microbiële lipiden, bestaand uit $C18:0$

en C16:0 vetzuren (Jenkins, 1993). Onverzadigde vetzuren in het voer van het dier bereiken slechts in zeer beperkte mate de dunne darm om verder opgenomen te worden (Jenkins, 1993). De grotendeels verzadigde vetzuren die de dunne darm (het duodenum) bereiken, worden via de bloedbaan getransporteerd en kunnen zo door melkklieren in de melk worden uitgescheiden, worden gestockeerd als vetweefsel of verder verwerkt worden door bijvoorbeeld de lever (Murphy, 2000). Het voederen van plantaardige onverzadigde vetzuren in grote hoeveelheden heeft een sterke negatieve invloed op de microbiële vertering van structurele vezelfracties zoals cellulose en hemicellulose in het voer, daar dit toxiciteit meebrengt voor het microbieel leven in de pens (Wanderley, Ítavo, Santos, Dias, Difante & Oliveira, 2022).

Samenstelling melkvet

Verzadigde vetzuren als C16:0 en C18:0 uit het dieet bereiken veelal ongeschonden via de bloedbaan de melkklieren, terwijl slechts in heel kleine hoeveelheden de onverzadigde vetzuren uit het dieet van het dier de melk bereikt op deze manier (Khiaosa-Ard, Kreuzer & Leiber, 2015). Toch kent melk een complex vetzuurpatroon, met meer dan 400 verschillende vetzuren typisch aanwezig in melk (Djordjevic, Ledina, Baltic, Trbovic, Babic & Bulajic, 2019). Bij de *de novo*-synthese in de melkklieren worden kortketenige vetzuren tot C16 en een proportie van de C16:0 vetzuren gesynthetiseerd.

Het grootste deel van de typisch in melk aanwezige vetzuren zijn verzadigde vetzuren. Hieronder vallen 16:0, palmitinezuur, voor ongeveer 30%, 14:0, oftewel myristinezuur, voor $\pm 12\%$, C18:0, stearine, voor 8-12% en anderen. De onverzadigde vetzuren (totaal ongeveer 25%) bevatten voornamelijk C18:1 cis, oftewel oliezuur (Eichler, 2016; 2011, Halmemies-Beauchet-Filleau, Kokkonen, Lampi, Toivonen, Shingfield & Vanhatalo).

De melkklieren bevatten het enzym Stearoyl-CoA desaturase, hetwelk in staat is om bij C18:0 of C16:0 gesatureerde vetzuren op de 9-positie een dubbele binding in te bouwen en de vetzuren derhalve om te bouwen tot mono-onverzadigde vetzuren. Op deze manier wordt het veelvoorkomende verzadigde vetzuur C18:0 deels omgezet in het onverzadigde vetzuur C18:1, oliezuur. Dit vetzuur wordt zo een omega-6-vetzuur.

Invloed dieet op vetzuursamenstelling

Terwijl bijna uitsluitend verzadigde vetzuren of precursors de melkklieren bereiken, dienen we voornamelijk naar de melkklieren te kijken voor het bijdragen aan de concentratie van onverzadigde vetzuren in de melk. Het is geweten dat genetische factoren de werking en aanwezigheid van Stearoyl-CoA desaturase in belangrijke mate beïnvloeden (Ntambi, Miyazaki & Dobrzyn, 2004; Keating, Kennell & Zhao, 2006).

De impact van vetten als onderdeel van het rantsoen van koeien op de vetzuursamenstelling van koemelk is een complex gegeven. Extra vet aanbrengen via het voer van koeien zorgt voor een verlaging van de *de-novo* productie van vetzuren in de melkklieren, door het onderdrukkend effect op de azijnzuurproductie in de pens. Dit effect valt te verklaren door het feit dat minder structurele carbohydraten (cellulose en hemicellulose) in de pens worden verteerd, dewelke normaal door het microbieel leven worden omgezet tot onder meer acetaat en butyraat, beiden precursors voor *de-novo* gevormde vetzuren, als gevolg van de toxiciteit van vetzuren voor het microbiom in de pens (Gómez-Cortés, Juárez & de la Fuente, 2018).

Verzadigde vetzuren zoals palmitine (C16:0) en stearine (C18:0) doorstaan grotendeels ongeschonden de pens en worden vervolgens in de dunne darm opgenomen in de bloedbaan. Dergelijke vetzuren worden ook wel pensbestendige vetzuren genoemd. Deze voorgevormde vetzuren komen na transport via het bloed in de melk terecht, waar ze de concentratie aan verzadigde en langketenige vetzuren in de melk doen toenemen. (Piantoni, Lock & Allen, 2013). Het supplementeren van het voer met onbeschermd onverzadigde vetzuren (mono- of poly-onverzadigde vetzuren) kan slechts een zeer beperkte invloed uitoefenen op de aanwezigheid van onverzadigde vetzuren in de melk. Een oplossing hier is het voederen van beschermde onverzadigde vetzuren die het hydrogenatieproces in de pens kunnen doorstaan, zodat de in het voer aanwezige vetzuren via de dunne darm ongeschonden de bloedbaan kunnen bereiken (Jenkins & Bridges, 2007). Een teveel aan onverzadigde vetzuren in het voer kan toxisch zijn voor het microbieel leven in de pens en bijgevolg de vertering van structurele koolhydraten stilleggen, wat een negatief effect heeft op onder andere de melkproductie. (Hermansen, 1995)

De weg die structurele koolhydraten, verzadigde vetzuren, pensbestendige onverzadigde vetzuren en pensonbestendige vetzuren doorlopen tot zij als melkvet in de melk terecht komen, verschilt onderling. Structurele koolhydraten worden door het microbiom in de pens omgezet tot vluchtige vetzuren als azijnzuur of boterzuur. Deze vluchtige vetzuren worden, na verschillende nabewerkingen in zowel het pensepiteel als de melkklieren, omgezet tot *de novo*-gesynthetiseerde vetzuren, veelal kort- of mediumketenig en verzadigd: C4:0 – C16:0.

Mono-onverzadigde vetten uit voer, waarvan oliezuur (C18:1) en palmitolzuur (C16:1) de meestvoorkomende zijn, zullen, indien onbeschermd, in de pens grotendeels verzadigd worden door het biohydrogenatieproces. Op die manier komen deze vetzuren als palmitine (C16:0) of stearine (C18:0) terecht in de bloedbaan via de dunne darm, waar ze hetzelfde effect zullen opleveren als de uit dieet afkomstige verzadigde vetzuren.

Typisch komt 40% tot 50% van de in de melk aanwezige vetzuren van via voer opgenomen vetzuren (Murphy, 2000). Dit zijn langketenige vetzuren (> 16C) die via het spijsverteringsstelsel, langs het bloed, door de melkklieren in het melkvet worden ingebouwd. Het hoger beschreven proces van biohydrogenatie zorgt ervoor dat het grootste deel van de onverzadigde vetzuren opgenomen uit voeder worden verzadigd en als langketenige, verzadigde vetzuren de melkklieren bereiken.

Echter, een kleine fractie verlaat de pens zonder dat het (de volledige) biohydrogenatie heeft ondergaan. Bij een dieet dat rijk is aan onverzadigde vetzuren zullen meer onverzadigde vetzuren de pens kunnen verlaten en opgenomen worden langs de dunne darm in het bloed (Collomb, Sieber & Bütikofer, 2004). Vervolgens komen deze vetzuren gedeeltelijk in de melk terecht, waar het de aanwezigheid van onverzadigde vetzuren, en zo ook CLA's, doen toenemen.

Zoals hoger besproken werkt het mechanisme van biohydrogenatie van onverzadigde vetzuren uit voer de opname van deze onverzadigde vetzuren als dusdanig in de dunne darm tegen. Bijgevolg vindt slechts een beperkte proportie van de onverzadigde vetzuren in het voer zijn weg naar vlees of melk van herkauwers. Hydrogenatie gebeurt in verschillende stappen, waarbij vetzuren die beland zijn in de tussenliggende fase ook de pens kunnen verlaten. De veelvuldige

aanwezigheid van het CLA geconjugeerd linolzuur of C18:2 cis-9 trans-11, een isomeer van linolzuur, in melk en vlees valt toe te schrijven aan dit proces. Bij het proces van biohydrogenatie van oliezuur (18:1) linolzuur (18:2) of linoleenzuur (18:3) worden precursors van CLA's of CLA's gevormd, dewelke later door de melkklieren verder kunnen afgewerkt worden tot CLA's en in het melkvet worden ingebouwd (L. Muller en J. Delahoy, 2023).

Gezondheidsaspecten

Verzadigde vetzuren als palmitine (C16:0) en myristinezuur (C14:0) staan bekend om bij mensen de concentratie van LDL in het bloed te verhogen, en worden dus traditioneel aanzien als een gezondheidsrisico. Ook risico's als mitochondriale disfunctie, insulineresistentie en ontstekingsreacties kunnen gelinkt worden met onder meer palmitinezuur. Stearinezuur (C18:0) kent geen duidelijke negatieve impact op LDL-gehalten. Oliezuur (C18:1) en andere onverzadigde vetten kennen dan weer een overwegend positieve gezondheidsimpact met linken naar een verbeterd vettenpatroon in het bloed, behoud van gezond gewicht, voorkomen van insulineresistentie etc. (Shramko, Polonskaya, Kashtanova, Stakhneva & Ragino, 2020; Calder, 2015; Zock, De Vries & Katan, 1994)

Geconjugeerde linolzuren (CLA) zijn een groep van positionele en geometrische isomeren van linolzuur (C18:2), gekenmerkt door geconjugeerde dubbele bindingen waarbij dubbele bindingen worden afgewisseld met enkele bindingen in de koolwaterstofketen. Deze unieke structuur resulteert in specifieke chemische eigenschappen en biologische activiteiten. De gezondheidsvoordelen van CLA's omvatten potentieel anti-carcinogene, anti-inflammatoire, anti-adipogene en immunomodulerende effecten. Studies hebben aangetoond dat CLA's het risico op bepaalde kankers kunnen verminderen, ontstekingen kunnen tegengaan, de vetopslag kunnen beperken en de immuunfunctie kunnen verbeteren. Sluitend wetenschappelijk bewijs voor de effecten van CLA's en de principes die deze effecten ondersteunen is er op heden nog niet (Viladomiu, Hontecillas & Bassaganya-Riera, 2016; Den Hartigh, 2019).

Oxidatieve ranzigheid in melkvetten

Begrip

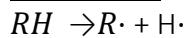
Ranzigheid verwijst naar de onaangename geur en smaak die ontstaat wanneer vetten en oliën chemisch veranderen. Dit proces kan worden onderverdeeld in hydrolytische en oxidatieve ranzigheid. Hydrolytische ranzigheid treedt op wanneer triglyceriden worden afgebroken door water en enzymen, zoals lipasen, tot vrije vetzuren en glycerol. Oxidatieve ranzigheid, de meest voorkomende vorm in voedselproducten, ontstaat door de reactie van vetzuren met zuurstof. Deze reactie wordt gekatalyseerd door licht, warmte en de aanwezigheid van metalen zoals ijzer en koper. Het proces begint met de vorming van hydroperoxiden die verder worden afgebroken tot secundaire producten zoals aldehyden en ketonen, welke verantwoordelijk zijn voor de karakteristieke off-flavors en off-odors. (Velasco, Dobarganes, & Márquez-Ruiz, 2010)

Rol van vrije radicalen

Vrije radicalen spelen een cruciale rol in het proces van oxidatieve ranzigheid. Vrije radicalen zijn zeer reactieve moleculen met ongepaarde elektronen die worden gevormd wanneer vetzuren een waterstofatoom verliezen, en vervolgens als radicaal vetzuur reageren met O₂. De energie die nodig is om een waterstofradicaal af te splitsen van het vetzuur is lager bij aanwezigheid van dubbele bindingen in de koolstofketen, waardoor onverzadigde vetzuren meer vatbaar zullen zijn voor auto-oxidatie. (Morris, 1954) Het oxidatieproces begint meestal

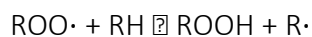
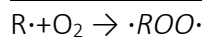
met de vorming van een vetzuurradicaal ($R\cdot$) wanneer een vetzuur (RH) een waterstofatoom verliest:

Initiatiefase



De vetzuurradicalen reageren vervolgens met zuurstofmoleculen om peroxyradicalen ($ROO\cdot$) te vormen, die op hun beurt weer kunnen reageren met andere vetzuren om hydroperoxiden ($ROOH$) te vormen:

Propagatiefase



Vetzuur hydroperoxide is een eerder stabiel primair oxidatieproduct dat ontstaat. Deze moleculen zijn kleurloos, geurloos en smaakloos. Door de kettingreactie hierboven besproken wordt een groot deel van de vetzuren omgezet tot vetzuur hydroperoxide. Vetzuur hydroperoxide splitst na verloop van tijd en onder dezelfde omstandigheden een hydroxylradicaal ($OH\cdot$) af.



Deze hydroperoxiden zijn instabiel en kunnen verder worden afgebroken tot verschillende secundaire oxidatieproducten zoals aldehyden, ketonen en alcoholen, die de ranzigheid van vetten veroorzaken en de karakteristieke geur en smaak met zich meebrengen. Het is een zelfversterkend proces, waarbij de gevormde vrije radicalen steeds nieuwe vetzuren aanvallen en verder omzetten. Doch, vrije radicalen kunnen elkaar vinden en zo terugkeren naar een stabiele vorm, waarbij het verder propageren van de reacties door de vrije radicalen wordt stopgezet.

Impact op zuivelverwerking

In de zuivelsector heeft oxidatieve ranzigheid aanzienlijke gevolgen voor de kwaliteit en houdbaarheid van melk en zuivelproducten. De verhoogde aanwezigheid van onverzadigde vetzuren zoals linolzuur en linoleenzuur in melkvet maakt deze producten bijzonder vatbaar voor oxidatieve processen. Dit wordt verder versterkt door verwerkingsmethoden zoals homogenisatie en pasteurisatie, evenals door opslagomstandigheden waarbij licht, lucht en warmte betrokken zijn (Clarke, McCarthy, O'Sullivan, Kerry & Kilcawley, 2021).

Om deze negatieve effecten op vlak van smaak, geur en gezondheidseffecten te beperken, worden verschillende strategieën toegepast, zoals het gebruik van antioxidanten (bijvoorbeeld vitamine E en ascorbinezuur), verbeterde verpakkingsmaterialen die blootstelling aan licht en zuurstof minimaliseren, en het optimaliseren van opslagomstandigheden door melk koel en donker te bewaren (Galic, 2016).

Vetzuursamenstelling veevoeders

Het sturen op vetzuren in de melk heeft doorgaans twee redenen: zuivelverwerkers verkiezen relatief kortere ketens en onverzadigde vetzuren, omdat deze een lagere smelttemperatuur kennen en zo tot een smeüiger eindproduct leiden. Veehouders, waarvan het vetgehalte sterk doorweegt in de ontvangen vergoeding voor de melk, zoeken naar manieren om het vetgehalte in de melk te ondersteunen. De toxiciteit van onverzadigde vetzuren, of een overdaad hieraan, voor het microbieel leven in de pens dient ook in acht genomen te worden bij het bijsturen van het rantsoen naar vetzuren. Het voederen van veel onverzadigde vetzuren of grote hoeveelheden verzadigde vetzuren kan het melkvetdepressie veroorzaken, een fenomeen waarbij het vetgehalte in de melk daalt. Het mechanisme hierachter blijft tot op heden onverklaard, met verschillende theorieën die worden voorgesteld (Kosch & Lascano, 2018).

Verder bespreken we vier belangrijke groepen van voedermiddelen en hun vetzuursamenstellingen, om zo een idee te vormen van hun bijdragepotentieel aan de melkvetsamenstelling. Gegevens over vetzuursamenstelling zijn afkomstig van CNCPS (Van Amburgh et al., 2015) en Feedtables (INRAE-CIRAD-AFZ., 2025).

Krachtvoercomponenten

% vetzuur in totaal vetzuren	Palmpit-schilfer	Koolzaad-schilfer	Lijnzaad-schilfer	Zonnebloem-pit	Erwt	Bietenpulp droog	Volvette soja
Totaal vetten in droge stof (%)	8,49	12,8	10,7	37,2	1,4	0,8	20,5
C12:0	47,5	0,02	0	0	0	0	0
C14:0	15,7	0,03	0,03	0,1	0,4	0	0,2
C16:0	9	4,7	5,6	5,2	14,3	26,66	11,2
C18:0	2,9	1,6	4,4	4,1	3,8	0,89	3,8
C16:1	0	0,2	0,08	0,1	0,2	0,39	0,1
C18:1	15,4	60	20,2	39,4	24,8	11,55	23,1
C18:2	2,6	20	14,7	47,9	47,3	49,83	54
C18:3	0,4	9,2	53,8	0,4	8,8	6,35	7,2

Typische vetrijke voedermiddelen als koolzaadschilfer, lijnzaadschilfer en zonnebloemschilfer zijn erg rijk aan onverzadigde vetten. Oliezuur (C18:1) en Linolzuur (C18:2) zijn, samen met linoleenzuur (C18:3) de meestvoorkomenden hiervan. Elk van deze onverzadigde vetzuren zal grotendeels in de pens omgezet worden tot stearinezuur (C18:0). Slechts een kleine fractie hiervan zal in onverzadigde vorm in de melk, het vlees of elders in het lichaam terecht komen.

Palmpitschilfers bevat veel verzadigde vetten. Vooral laurinezuur (C12:0) en myristinezuur (C14:0) komen veel voor. Palmitine, een vetzuur dat zorgen baart omtrent de kwaliteit van zuivelproductie i.v.m. van een verminderde smeüigheid, komt slechts beperkt voor in deze

voedermiddelen. Doch, palmpitschilfers vertonen een licht hogere aanwezigheid van dit vetzuur in vergelijking met andere beschouwde vetrijke voedermiddelen. Opvallend is dat bietenpulp 26,66% palmitine in de vetzuursamenstelling toont. Bij melkproducerende koeien met verzuivering als finaliteit dient hiermee rekening gehouden te worden.

Terwijl de eerste drie genoemde voedermiddelen niet overvloedig kunnen gevoederd worden om het negatieve effect van onveradigde vetzuren op de pens te beperken, speelt dit bij palmpitschilfers minder. Palmpitschilfers zijn dan ook een veelgebruikt voedermiddel dat het melkvetgehalte kan verhogen. Wel is bekend dat een vetrijk rantsoen de de novo-synthese van melkvet in de melkklieren remt, wat het evenwicht kan verschuiven van kortketenige vetten uit de novo-synthese naar langketenige verzadigde vetzuren uit voer. Ook dit komt de smeugheid en zuivelkwaliteit niet ten goede.

Granen

% vetzuur in totaal vetzuren	Maiskorrel	Gerst (korrel)	Tarwebloem	Haver korrel	Triticale korrel gemalen
Totaal vetzuren in droge stof (%)	3,8	2,01	1,23	4,8	2,55
C12:0	0	0	0	0	1,12
C14:0	2,33	0,32	0,32	0,87	0,42
C16:0	13,21	22,97	23,01	17,65	11,42
C18:0	1,99	1,53	1,18	1,32	0,92
C16:1	0,12	0,05	0	0,16	2,23
C18:1	24,09	13,54	11,06	34,78	1,49
C18:1 trans	0	0	0	0	0
C18:2	55,7	55,93	61,13	42,01	14,53
C18:3	1,62	4,34	3,31	1,85	62,82
Andere vetzuren	0,94	1,32	0	1,38	5,06

Granen kennen over het algemeen een relatief laag vetgehalte. Langketenige, onverzadigde vetzuren als Linolzuur (C18:2) en oliezuur (C18:1) is het meest voorkomende vetzuur in de meeste granen. Opvallend is de hoge concentratie aan dubbel-onverzadigd linolzuur. Als precursor voor de productie van CLA's is het denkbaar dat het voeren van deze voeders de CLA productie kan stimuleren. Bij de meer vetrijke granen zoals haver en mais moet er aandacht worden besteed aan het niet over-voederen van onveradigde vetzuren om het pensleven te vrijwaren.

Opvallend is ook hier de aanwezigheid van een niet insignificante hoeveelheid palmitinezuur, waarvoor de hogervermelde overwegingen rond kwaliteit van de melkvetten relevant zijn. Tegelijk kan verwacht worden dat dit voer tot een verhoging van het melkvetgehalte kan leiden.

GPS

% vetzuur in totaal vetzuren	Mais gps (onbewerkt)	Gerst gps	Tarwe gps	Triticale gps
Totaal vetzuren in droge stof (%)	2,21	1,75	1,54	1,55
C12:0	0,31	0,8	6,56	0
C14:0	0,46	5,5	0,54	0,23
C16:0	17,83	43,4	16,76	19,5
C18:0	2,42	4,1	1,94	1,08
C16:1	0,36	0	1,67	0
C18:1	19,24	7,3	3,8	14,66
C18:1 trans	0	0	0	0
C18:2	47,74	12,3	19,96	60,2
C18:3	8,25	2,4	44,3	4,32
Andere vetzuren	3,4	24,2	4,46	0,76

Granen in gps-vorm bevatten over het algemeen minder vetten dan de korrels zelf. Het kenmerkende patroon van een significante proportie aan palmitinezuur (C16:0) komt ook hier weer terug. Voor gerst is de aanwezigheid van palmitinezuur erg uitgesproken. GPS van tarwe valt op door de aanwezigheid van linoleenzuur (C18:3). Het belangrijkste isomeer van linoleenzuur is het zogenaamde alfa-linoleenzuur, een ω -3 vetzuur.

Overige ruwvoeders

	Grashooi	Grassilage (raaigras)	Klaver 19 CP silage	Voederbiet	Luzerne hooi	Luzerne silage
Totaal vetzuren in droge stof (%)	1,82	1,18	2,78	0,5	1,38	1,69
C12:0	1,19	0,66	1,43	0	1,36	11,98
C14:0	0,43	1,87	0,33	0	0,85	0,66
C16:0	16,44	20,4	15,22	20,6	25,01	18,81
C18:0	1,33	2,25	2,38	1,4	4,01	3,35
C16:1	0,48	1,19	1,52	0	2,23	1,91
C18:1	2,53	5,14	2,62	9,7	2,43	2,05
C18:2	23,38	19,12	18,19	57,8	18,49	15,91
C18:3	49,9	39,07	53,84	10,5	36,79	38,71

Net als GPS vertonen de overige beschouwde ruwvoeders lage vetgehaltes. Analoog aan de granen bevatten deze gewassen een significante hoeveelheid palmitinezuur rond 20%. Verder zijn de aanwezige vetzuren bijna uitsluitend meervoudig onverzadigde vetzuren. Zeker alfa-linoleenzuur als ω -3 vetzuur komt erg veel voor. Een rantsoen met veel verse grasklaver (bijvoorbeeld in het weideseizoen) leidt tot een hogere opname van onverzadigde vetzuren. Dit ligt in lijn met de geobserveerde hogere aanwezigheid van onverzadigde vetzuren bij melk van grazende melkkoeien (Elgersma, 2015).

Referenties

- Butler, G., Nielsen, J. H., Larsen, M. K., Rehberger, B., Stergiadis, S., Canever, A., & Leifert, C. (2011). The effects of dairy management and processing on quality characteristics of milk and dairy products. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 58(3-4), 97-102.
- Calder, P. C. (2015). Functional roles of fatty acids and their effects on human health. *Journal of parenteral and enteral nutrition*, 39, 18S-32S.
- Clarke, H. J., McCarthy, W. P., O'Sullivan, M. G., Kerry, J. P., & Kilcawley, K. N. (2021). Oxidative quality of dairy powders: Influencing factors and analysis. *Foods*, 10(10), 2315.
- Collomb, M., Sieber, R., & Bütikofer, U. (2004). CLA isomers in milk fat from cows fed diets with high levels of unsaturated fatty acids. *Lipids*, 39(4), 355-364.
- Coppa, M., Chassaing, C., Ferlay, A., Agabriel, C., Laurent, C., Borreani, G., ... & Martin, B. (2015). Potential of milk fatty acid composition to predict diet composition and authenticate feeding systems and altitude origin of European bulk milk. *Journal of Dairy Science*, 98(3), 1539-1551.
- Coppa, M., Ferlay, A., Monsallier, F., Verdier-Metz, I., Pradel, P., Didienne, R., ... & Martin, B. (2011). Milk fatty acid composition and cheese texture and appearance from cows fed hay or different grazing systems on upland pastures. *Journal of dairy science*, 94(3), 1132-1145.
- Davidson, B., & Cantrill, R. (1985). Fatty acid nomenclature. *Samj*, 67, 20.
- Den Hartigh, L. J. (2019). Conjugated linoleic acid effects on cancer, obesity, and atherosclerosis: A review of pre-clinical and human trials with current perspectives. *Nutrients*, 11(2), 370.
- Djordjevic, J., Ledina, T., Baltic, M. Z., Trbovic, D., Babic, M., & Bulajic, S. (2019, October). Fatty acid profile of milk. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 333, p. 012057). IOP Publishing.
- Eichler, N. (2016). De invloed van voeder op de vetsamenstelling van melk, Universiteit Gent Faculteit Diergeneeskunde [online], https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/274/284/RUG01-002274284_2016_0001_AC.pdf
- Elgersma, A. (2015). Grazing increases the unsaturated fatty acid concentration of milk from grass-fed cows: A review of the contributing factors, challenges and future perspectives. *European journal of lipid science and technology*, 117(9), 1345-1369.
- Galić, K. (2016). Packaging materials and methods for dairy applications [online]. *New Food Magazine*. <https://www.newfoodmagazine.com/article/26394/packaging-materials-dairy/>
- Gómez-Cortés, P., Juárez, M., & de la Fuente, M. A. (2018). Milk fatty acids and potential health benefits: An updated vision. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 1-9.

Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Kokkonen, T., Lampi, A. M., Toivonen, V., Shingfield, K. J., & Vanhatalo, A. (2011). Effect of plant oils and camelina expeller on milk fatty acid composition in lactating cows fed diets based on red clover silage. *Journal of Dairy Science*, 94(9), 4413-4430.

Hanuš, O., Samková, E., Křížová, L., Hasoňová, L., & Kala, R. (2018). Role of fatty acids in milk fat and the influence of selected factors on their variability—a review. *Molecules*, 23(7), 1636.

Hermansen, J. E. (1995). Prediction of milk fatty acid profile in dairy cows fed dietary fat differing in fatty acid composition. *Journal of Dairy Science*, 78(4), 872-879.

INRAE-CIRAD-AFZ. (z.d.). *Tables of composition and nutritional values of feed materials* [online]. Feedtables.com. <https://feedtables.com/content/tables>

Jenkins, T. C. (1993). Lipid metabolism in the rumen. *Journal of dairy science*, 76(12), 3851-3863.

Keating, A. F., Kennelly, J. J., & Zhao, F. Q. (2006). Characterization and regulation of the bovine stearoyl-CoA desaturase gene promoter. *Biochemical and biophysical research communications*, 344(1), 233-240.

Khiaosa-Ard, R., Kreuzer, M., & Leiber, F. (2015). Apparent recovery of C18 polyunsaturated fatty acids from feed in cow milk: a meta-analysis of the importance of dietary fatty acids and feeding regimens in diets without fat supplementation. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6399-6414.

Koch, L. E., & Lascano, G. J. (2018). Milk fat depression: etiology, theories, and soluble carbohydrate interactions. *J Anim Res Nutr*, 3(2), 2.

Köckritz, A., & Martin, A. (2008). Oxidation of unsaturated fatty acid derivatives and vegetable oils. *European journal of lipid science and technology*, 110(9), 812-824.

Lobb, K., & Chow, C. K. (2007). Fatty acid classification and nomenclature. *Fatty Acids in Foods and Their Health Implications*; Chow, CK, Ed, 1-15.

Markiewicz-Kęszycka, M., Czyżak-Runowska, G., Lipińska, P., & Wójtowski, J. (2013). Fatty acid profile of milk—a review. *Journal of Veterinary Research*, 57(2), 135-139.

Morris, S. G. (1954). Fat rancidity, recent studies on mechanism of fat oxidation in its relation to rancidity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2(3), 126-132.

Muller, L. & J. Delahoy (2023), Conjugated Linoleic Acid (CLA) in Animal Production and Human Health [Online], *Penn State extension*, <https://extension.psu.edu/conjugated-linoleic-acid-cla-in-animal-production-and-human-health>.

Murphy, J. J. (2000). Synthesis of milk fat and opportunities for nutritional manipulation. *BSAP Occasional Publication*, 25, 201-223.

Natura Foundation. (z.d.). *Omega-3 en omega-6 vetzuren (EPA, DHA, GLA)*. Geraadpleegd op 9 september 2025, van Natura Foundation website: <https://www.naturafoundation.nl/kennisbank/nutrienten/overige-categorieen/omega-3-en-omega-6-vetzuren-epa-dha-gla>

Ntambi, J. M., Miyazaki, M., & Dobrzyn, A. (2004). Regulation of stearyl-CoA desaturase expression. *Lipids*, 39(11), 1061-1065.

Piantoni, P., Lock, A. L., & Allen, M. S. (2013). Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. *Journal of dairy science*, 96(11), 7143-7154.

Samková, E., Špička, J., Pešek, M., Pelikánová, T., & Hanuš, O. (2012). Animal factors affecting fatty acid composition of cow milk fat: A review. *South African Journal of Animal Science*, 42(2), 83-100.

Shramko, V. S., Polonskaya, Y. V., Kashtanova, E. V., Stakhneva, E. M., & Ragino, Y. I. (2020). The short overview on the relevance of fatty acids for human cardiovascular disorders. *Biomolecules*, 10(8), 1127.

Tao, L. (2015). Oxidation of polyunsaturated fatty acids and its impact on food quality and human health. *Adv. Food Technol. Nutr. Sci*, 1(6), 135-142.

Van Amburgh, M. E., Collao-Saenz, E. A., Higgs, R. J., Ross, D. A., Recktenwald, E. B., Raffrenato, E., ... & Foskolos, A. (2015). The Cornell Net Carbohydrate and Protein System: Updates to the model and evaluation of version 6.5. *Journal of Dairy Science*, 98(9), 6361-6380.

Velasco, J., Dobarganes, C., & Márquez-Ruiz, G. (2010). Oxidative rancidity in foods and food quality. In *Chemical deterioration and physical instability of food and beverages* (pp. 3-32). Woodhead Publishing.

Viladomiu, M., Hontecillas, R., & Bassaganya-Riera, J. (2016). Modulation of inflammation and immunity by dietary conjugated linoleic acid. *European Journal of Pharmacology*, 785, 87-95.

Wanderley, A. M., Ítavo, L. C. V., SANTOS, G. T. D., Ítavo, C. C. B. F., Dias, A. M., Difante, G. D. S., ... & OLIVEIRA, M. V. M. D. (2022). Sources of polyunsaturated fatty acids from oilseeds in dairy cows diets can alter yield of and fatty acid profile in milk. *Food Science and Technology*, 42, e119021.

Zock, P. L., De Vries, J. H., & Katan, M. B. (1994). Impact of myristic acid versus palmitic acid on serum lipid and lipoprotein levels in healthy women and men. *Arteriosclerosis and thrombosis: a journal of vascular biology*, 14(4), 567-575.