

*Marjatta Jokela, Seija Jaakkola,
Pekka Huhtanen, Timo Rokka,
Hannu Korhonen,
Pirjo Salo-Väänänen ja
Vieno Piironen*

**Keskeisten alkutuotanto-
tekijöiden ja prosessoinnin
vaikutus maidon laatuun**

Kirjallisuuskatsaus

*Marjatta Jokela, Seija Jaakkola, Pekka Huhtanen, Timo Rokka,
Hannu Korhonen, Pirjo Salo-Väänänen ja Vieno Piironen*

Keskeisten alkutuotantotekijöiden ja prosessoinnin vaikutus maidon laatuun

Kirjallisuuskatsaus

Effect of production and processing factors on milk quality

Literature review

Maatalouden tutkimuskeskus

Jokela, M.¹, Jaakkola, S.², Huhtanen, P.², Rokka, T.³, Korhonen, H.³, Salo-Väänänen, P.⁴ & Piironen, V.⁴ 1998. Keskeisten alkutuotantotekijöiden ja prosessoinnin vaikutus maidon laatuun. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 41. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 96 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-520-0.

¹ Valio Oy, PL 30, 00039 Valio, marjatta.jokela@valio.fi

² Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, seija.jaakkola@mtt.fi, pekka.huhtanen@mtt.fi

³ Maatalouden tutkimuskeskus, Elintarvikkeiden tutkimus, 31600 Jokioinen, timo.rokka@mtt.fi, hannu.korhonen@mtt.fi

⁴ Helsingin yliopisto, Elintarvikekemian, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, pirjo.salo-vaananen@helsinki.fi, vieno.piironen@helsinki.fi

Jokela, M.¹, Jaakkola, S.², Huhtanen, P.², Rokka, T.³, Korhonen, H.³, Salo-Väänänen, P.⁴ & Piironen, V.⁴ 1998. Effect of production and processing factors on milk quality. Literature review. Publications of Agricultural Research Centre of Finland. Serie A 41. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland. 96 p. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-520-0.

¹ Valio Oy, PL 30, FIN-00039 Valio, Finland, marjatta.jokela@valio.fi

² Agricultural Research Centre of Finland, Animal Production Research, FIN-31600 Jokioinen, Finland, seija.jaakkola@mtt.fi, pekka.huhtanen@mtt.fi

³ Agricultural Research Centre of Finland, Food Research, FIN-31600 Jokioinen, Finland timo.rokka@mtt.fi, hannu.korhonen@mtt.fi

⁴ University of Helsinki, Food Chemistry, PI 27, FIN-00014 University of Helsinki, Finland pirjo.salo-vaananen@helsinki.fi, vieno.piironen@helsinki.fi

ISBN 951-729-520-0

ISSN 1238-9935

Copyright

Maatalouden tutkimuskeskus

Marjatta Jokela, Seija Jaakkola, Pekka Huhtanen, Timo Rokka,
Hannu Korhonen, Pirjo Salo-Väänänen ja Vieno Piironen

Julkaisija

Maatalouden tutkimuskeskus, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen
Puh. (03) 4188 7502, telekopio (03) 418 8339

Painatus

Vammalan Kirjapaino Oy, 1998

Sisäsvujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.
Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

Alkusanat

Tämä julkaisu koostuu kolmesta kirjallisuuskatsauksesta. Ne liittyvät esitutkimukseen, jonka maa- ja metsätalousministeriö teetti maataloudellisten yhteistutkimushankkeiden maito-ohjelmaa varten. Ohjelman valmistelu aloitettiin syksyllä 1994 ja se on jo pääosin käynnistynyt. Maito-ohjelma sisältää yhteensä 12 osahanketta, jotka käsittelevät kotieläintuotannon kehittämistä, maidosta saatavien komponenttien monipuolista hyödyntämistä ja sitä tukevan erikoistuotannon kehittämistä sekä teknologisten prosessien vaikutusta maidon laatuun. Yhtenä osahankkeena on "Keskeisten alkutuotanto-

tekijöiden ja prosessoinnin vaikutus maidon laatuun", mihin tämä kirjallisuusselvitys liittyy. Tämän osahankkeen tavoitteena on selvittää maidon laatuun vaikuttavia tekijöitä eläimen ravitsemuksen, maidon prosessoinnin ja ihmisravitsemuksen kannalta.

Ensimmäisessä kirjallisuusselvityksessä on tarkasteltu lehmien ruokinnan vaikutusta maidon koostumukseen ja laatuun, toisessa prosessoinnin vaikutusta maidon laatuun ja kolmannessa maidon laadun ravitsemuksellista merkitystä ihmiselle. Lisäksi alussa on johdantokappale maidon laatuhinnoittelusta Suomessa ja sen tulevaisuuden haasteista.

Huhtikuussa 1998

*Marjatta Jokela, Seija Jaakkola, Pekka Huhtanen, Timo Rokka,
Hannu Korhonen, Pirjo Salo-Väänänen ja Vieno Piironen*

Sisällys

Alkusanat	3
I Maidon laatuhinnoittelu Suomessa ja tulevaisuuden haasteet, <i>Timo Rokka</i>	9
1 Maidon laatuhinnoittelu Suomessa	9
2 Maidon laatuhinnoittelun uudet kriteerit	12
II Ruokinnan vaikutus maidon koostumukseen ja laatuun, <i>Marjatta Jokela, Seija Jaakkola & Pekka Huhtanen</i>	13
Tiivistelmä	13
Abstract	13
1 Johdanto	14
2 Ravintoaineiden sulatus ja metabolia	14
2.1 Hiilihydraattien sulatus ja metabolia	14
2.2 Raakavalkuaisen sulatus ja metabolia	15
2.3 Rasvojen sulatus ja metabolia	17
2.4 Kivennäis- ja hivenaineet	17
2.5 Vitamiinit	19
3 Maidon koostumus	19
3.1 Valkuainen ja sen synteesi	19
3.2 Ei-proteiiniset typpiyhdisteet (NPN)	20
3.3 Rasva ja sen synteesi	20
3.4 Laktoosi (maitosokeri) ja sen synteesi	22
3.5 Muut maidon hiilihydraatit	22
3.6 Maidon kivennäisaineet	22
3.7 Maidon hivenaineet	23
3.8 Maidon vitamiinit	23
3.9 Maidon muut aineet	24
4 Ruokinnan vaikutus maidon koostumukseen	25
4.1 Pötsifermentaation merkitys maidon koostumuksen säätelyssä	25
4.2 Infuusiokokeiden merkitys tutkimusmenetelmänä	25
4.3 Maidon valkuaispitoisuus	26
4.3.1 Infuusiokokeet	26
4.3.2 Kasvilaji	26
4.3.3 Nurmirehun säilöntätapa	26
4.3.4 Säilörehun esikuivatus	27
4.3.5 Säilörehun käymislaatu	27

4.3.6	Nurmirehun sulavuus	30
4.3.7	Väkirehun määrä	30
4.3.8	Väkirehun koostumus	31
4.3.9	Ruokintastrategiat	33
4.4	Maidon rasvapitoisuus	33
4.4.1	Haihtuvien rasvahappojen infuusio pötsiin	33
4.4.2	Karkearehun koostumus	34
4.4.3	Laidun	34
4.4.4	Kasvilaji	34
4.4.5	Nurmirehun säilöntätapa	34
4.4.6	Säilörehun esikuivatus	34
4.4.7	Säilörehun käymislaatu	35
4.4.8	Nurmirehun sulavuus	35
4.4.9	Väkirehun määrä	35
4.4.10	Väkirehun koostumus	36
4.4.11	Ruokintastrategiat ja lisäaineet	37
4.5	Maidon rasvahappokoostumus	38
4.6	Maidon valkuais/rasva-suhde	39
4.7	Maidon laktoosipitoisuus	39
4.8	Maidon kivennäisainepitoisuus	41
4.9	Maidon hivenainepitoisuus	41
4.10	Maidon vitamiinipitoisuus	42
4.11	Muiden aineiden pitoisuudet maidossa	43
5	Maidon antioksidantit	45
6	Maidon hygieeninen laatu	47
7	Maidon maku	47
7.1	Laiduntamisen vaikutus maidon makuun	48
7.2	Lipolyysi maidon maun heikentäjänä	49
7.2.1	Laiduntamisen ja heinäruokinnan vaikutukset lipolyysiin	49
7.2.2	Erilaisten sisäruokintamenetelmien vaikutukset lipolyysiin	50
8	Luonnonmukaisesti tuotetun maidon laatu	50
9	Yhteenvedo	51
	Kirjallisuus	52
III	Prosessoinnin vaikutus maidon laatuun, <i>Timo Rokka & Hannu Korhonen</i>	63
	Tiivistelmä	63
	Abstract	63
1	Johdanto	64
2	Maidon lypsy ja jäädyttäminen	64
3	Separointi ja vakiointi	66

4 Homogenointi	66
5 Maidon kuumennuskäsittelyt.	68
5.1 Pastörinti	68
5.2 UHT-käsittely ja sterilointi	70
6 Pakkaus ja varastointi	73
7 Yhteenveto	74
Kirjallisuus	74
IV Maidon ravitsemuksellinen laatu, Pirjo Salo-Väänänen & Vieno Piironen.	77
Tiivistelmä	77
Abstract	77
1 Johdanto	78
2 Maidon kalsiumin, vitamiinien ja hivenaineiden ravitsemuksellinen merkitys.	79
2.1 Maidon kalsium ja sen ravitsemuksellinen merkitys	79
2.1.1 Kalsiumin merkitys luustolle	79
2.1.2 Kalsiumin muita profylaktisia ominaisuuksia	80
2.2 Maito vitamiinien, seleenin ja jodin lähteenä	80
3 Maidon laktoosi	81
3.1 Laktoosin ravitsemuksellinen merkitys	81
3.2 Laktoosi-intoleranssi.	81
3.3 Laktoosin isomeroituminen kuumennusprosesseissa	83
4 Maidon proteiinit ja niiden merkitys ravitsemuksessa	83
4.1 Proteiinien ravitsemuksellinen merkitys	83
4.2 Maidon aminohappokoostumus	85
4.3 Aminohappokoostumuksen ravitsemuksellinen merkitys	85
4.4 Maitoallergia	87
4.5 Maidon proteiinien ravintoarvon heikkeneminen prosessoinnin aikana	88
4.5.1 Maillard-reaktiot maidon kuumennuksessa: laktulosyylylisiin synty ja sen määrittäminen furoosiinina	88
4.5.2 Aminohappojen välisten ristosidosten muodostuminen	89
4.5.3 Aminohappojen rasemisoituminen kuumennuskäsittelyissä.	89
5 Maidon rasva ja sen merkitys ravitsemuksessa	90
5.1 Maidon rasvahappokoostumus ja rasvahappojen imeytyminen	90
5.2 Rasvahappokoostumuksen, lipoproteiinien ja kolesterolin merkitys ihmisen terveydelle	90
5.3 Maitorasvan pysyvyys.	92
5.4 Maidon anti- ja pro-oksidantit	92
6 Maitotuotteiden kuumennuskäsittelyjen voimakkuuden osoittaminen	93
Kirjallisuus	94

I Maidon laatuhinnoittelu Suomessa ja tulevaisuuden haasteet

Timo Rokka

1 Maidon laatuhinnoittelu Suomessa

Hinta, jonka meijerit maksavat raakamaidosta tuottajalle, muodostuu nykyään maidon kemiallisen koostumuksen ja mikrobiologisen laadun perusteella. Kemialliseen koostumukseen hinnoitteluperusteena vaikuttavat maidon sisältämä rasva ja proteiini. Mikrobiologiseen laatuun vaikuttavat bakteerien pesäkemäärä ja somaattiset solut. Lisäksi maidon hinnanmuodostukseen vaikuttavat vuodenajan perusteella määräytyvä kausiosa ja meijerin tuloksen perusteella määräytyvä jälkitili. Näiden lisäksi

maidon hinnanmuodostukseen vaikuttaa myös edellisistä hinnanmuodostustekijöistä yhteenlaskettu summa, jonka perusteella määräytyy meijerin tuottajalle tilityshinnan päälle maksama 17 %:n arvonlisävero. Tämän lisäksi meijerit maksavat maidosta tuottajalle Euroopan Unionin määrittelemän siirtymäkauden tuotantotuen, joka riippuu tilan maantieteellisestä sijainnista. Taulukossa 1 on esitetty maidon hinnanmuodostus.

Maito luokitellaan kolmeen eri laatu-luokkaan: E-, I- ja II-luokka. Nämä luokat perustuvat bakteerien pesäkemäärän kahden kuukauden analysointitulosten liukuvaan geometriseen keskiarvoon. Vastaavasti luokitellaan somaattiset solut, mutta kolmen kuukauden geometrisenä keskiarvona.

Taulukko 1. Maidon hinnanmuodostus.

1. Koostumusosa	Valioryhmän suositus
- Rasva	1,25 penniä / rasvakymmenys
- Valkuainen	4 penniä / valkuaiskymmenys
2. Laatuosa	+ 7 penniä / litra ↔ - 120 penniä / litra
- Bakteerien pesäkemäärä	
- Somaattiset solut	
3. Kausiosa	+ 19 penniä / litra ↔ - 21 penniä / litra
4. Jälkitili tuloksen mukaan	
	+ Arvonlisävero 17 % (kohdat 1 - 4 yhteensä)
5. Tuotantotuki	+ 70 penniä / litra → + 60 penniä / litra
- aleneva lisähinta	

Taulukko 2. Tuottajamaidon laatuhinnoittelun luokitus.

Maidon laatuiluokka	Bakteerien pesäkemäärä 2 kk:n geometrinen keskiarvo kpl / ml	Somaattiset solut 3 kk:n geometrinen keskiarvo kpl / ml
E - luokka	alle 50 000	alle 250 000
I - luokka	50 000 - 100 000	250 000 - 400 000
II - luokka	yli 100 000	yli 400 000

Taulukko 3. Valioryhmän suositus tuottajamaidon laatuhinnoitteluksi.

Maidon laatuiluokka	1. Kuukausi	2. Kuukausi penniä / maitolitra	3. Kuukausi
E-luokka	+ 7	+ 7	+ 7
I-luokka	Perushinta		
II-luokka	- 10	- 30	- 120

Hintaluokka määräytyy huonoimman ominaisuuden luokan mukaan. Taulukossa 2 on esitetty tuottajamaidon laatuhinnoittelun luokitus. Lisäksi voidaan laatuhinnoittelussa käyttää muitakin kriteereitä. Esimerkiksi Valioryhmässä on meijereille annettu mahdollisuus käyttää laatuhinnoittelun perustana myös muita laadun mittareita, kuten maidon makua ja lämpötilaa. Laatuiluokat muodostavat maidon laatuhinnoittelun perusteet, jotka vaihtelevat meijeriryhmittäin. Taulukossa 3 on esitetty Valioryhmän suositus tuottajamaidon laatuhinnoitteluksi.

Maidon koostumushinnoittelu perustuu maidon valkuaiseen ja rasvaan. Niille on määrätty ns. hinnoittelukymmenys, jossa kustakin prosentinkymmenyksestä tilitehtään tuottajalle lisähintaa. Maidon koostu-

muksen perusteella on määritetty myös ns. normimaito, jossa on 3,3 % valkuaista ja 4,3 % rasvaa. Koostumushinnoittelu vaihtelee meijeriryhmittäin. Esimerkiksi Valioryhmän suositus koostumushinnoittelun perusteiksi on valkuaiskymmenyksen osalta 4 penniä ja rasvakymmenyksen osalta 1,25 penniä. Tällöin normimaidon hinnaksi muodostuu 1,86 mk/l. Tässä hinnoittelussa maidon valkuaisen osuus korostuu ja rasvan vähenee. Toisaalta EU:n maatalouspolitiikka on korostanut jonkin verran rasvan asemaa hinnoitteluperusteena maksamalla ylimäärärasvan vientituen, jonka viljelijät maksoivat aikaisemmin itse. EU on kuitenkin muuttamassa hinnoittelua enemmän valkuaista suosivammaksi. Tällä hetkellä maidon hinnasta 70 % on peräisin valkuaisesta ja 30 % rasvasta.

Taulukko 4. Maidon eri komponenttien laatu- ja arvostuskriteerit teknologian, ravitsemuksen ja hinnoittelun kannalta.

Laatutekijät	Teknologinen merkitys	Ravitsemuksellinen merkitys	Hinnoittelu
Kemialliset laatutekijät			
Rasva	++	+	+
Proteiini	+++	+++	+++
Kaseiini	+++	+++	0
Heraproteiinit	++	++	0
Muut	+	+	0
Laktoosi	+	+	0
Kivennäisaineet	++	+++	0
Kalsium	+++	+++	0
Fosfori	+	++	0
Muut	+	++	0
Vitamiinit	0	++	0
B-vitamiinit	0	++	0
C-vitamiini	+	++	0
Muut	0	+	0
Hivenaineet	+	++	0
Sinkki	0	+	0
Rauta	+	+	0
Kupari	-	0	0
Muut	-	+	0
Biologisesti aktiiviset yhdisteet	+	+++	0
Hygieeniset laatutekijät			
Mikrobit			---
Hyötymikrobit	++	++	0
Haittamikrobit	--	--	---
Somaattiset solut	--	-	---
Toksiinit	--	---	0

+ - +++ = positiivinen merkitys
 - - - - = negatiivinen merkitys
 0 = ei merkitystä

Kausiosan perusteella määräytyvän kausihinnan avulla meijerit ovat pyrkineet tasoittamaan vuodenajoista johtuvia maidontuotantovaihteluita. Valion antama suositus on ollut talvikuukausina suurimmillaan 19 penniä lisähintaa ja kesäkuukausina enimmillään 21 penniä halvempi hinta.

2 Maidon laatu hinnoittelun uudet kriteerit

Maidon tuotantoprosessien kehittyessä ja erilaistuessa sekä maidon ravinnollisten osatekijöiden painotusarvojen muuttuessa tar-

vitaan maidon hinnoitteluperusteiksi uudenlaisia hinnoittelukriteereitä ohjaamaan maidon tuotantoa ja jatkojalostusta meijerteollisuuden kaikkia osapuolia, niin tuottaja kuin kuluttajaakin, hyödyttävästi.

Maidon hinnoittelun perusteiksi tulisi luoda uudenlainen hinnoittelujärjestelmä, joka ottaa nykyisten hinnoitteluperusteiden ohella huomioon myös maidon eri kemiallisten ja mikrobiologisten komponenttien ravitsemuksellisen ja teknologisen merkityksen. Taulukkoon 4 on koottu joitakin maidon laatu- ja arvostuskriteereitä teknologian, ravitsemuksen ja tämänhetkisen hinnoittelun kannalta.

Luotaessa uusia maidon hinnoittelukriteereitä olisi otettava huomioon erilaisten maidon komponenttien käyttäytyminen prosesseissa. Komponentteja, joilla on jotakin erityistä merkitystä joissakin prosesseissa, tulisi korostaa hinnoittelussa. Toisaalta tämä vaatisi tuottajien maidontuotannon

ohjaamista ennalta määrättyyn meijeriprosessiin. Nykyisen kokoisilla karjoilla on vaikea tuottaa kyllin suuria keräilyeriä maitoa, jotta tietyn meijeriprosessin raaka-aineen tarve voitaisiin tyydyttää. Raaka-aineen tarpeen tyydyttämiseksi tiettyä maidon komponenttia hyödyntävän prosessin käyttöön vaadittaisiinkin alueellista tuottajien ruokinta- ja tuotusmetodien yhtenäistämistä.

Maidossa ravitsemuksellisesti merkittävien komponenttien käyttäminen hinnoittelun perustana tulee varmaankin jatkuamaan, mutta perinteisten hinnoitteluperusteiden, rasvan ja proteiinien, rinnalle voi nousta uusia maidon osakomponentteja, kuten kivennäisaineet, hivenaineet, vitamiinit, laktoosi ja erilaiset biologisesti aktiiviset yhdisteet.

II Ruokinnan vaikutus maidon koostumukseen ja laatuun

Marjatta Jokela, Seija Jaakkola ja Pekka Huhtanen

Ruokinnalla voidaan vaikuttaa joihinkin maidon laatutekijöihin, kun taas toisiin sillä ei ole vaikutusta. Maidon rasvapitoisuutta on mahdollista vähentää ruokinnallisin keinoin, mutta sen vähentäminen niin, että valkuaispitoisuus pysyy samana tai lisääntyy, on vaikeampaa. Ruokinta ei ole yleensä vaikuttanut maidon laktoosipitoisuuteen,

eikä kalsiumin ja fosforin pitoisuuksiin. Joidenkin hivenaineiden sekä A- ja D-vitamiinin pitoisuuteen ruokinnalla on todettu olevan vaikutusta. Ruokinnan vaikutuksia muiden vitamiinien pitoisuuteen sekä maidon makuun on tutkittu Suomessa vielä vähän.

Avainsanat: lypsylehmä, maito, maidon laatu, ruokinta

Dairy cow feeding and its effects on milk composition and quality

Abstract

Feeding has an effect on some milk quality factors, but not on others. Milk fat can be reduced by feeding, but reducing it so that the protein content remains the same or increases is more difficult. Feeding does not normally affect either milk lactose content or the calcium or phosphorus content of milk. The contents of some trace elements

and vitamin A and D have, however, been changed by feeding. The effects of feeding on the content of other vitamins or on the flavour of milk have as yet been studied rather little in Finland.

Key words: dairy cow, feeding, milk, milk quality

1 Johdanto

Lypsylehmien ruokinta perustuu Suomessa pääasiassa kotoisiin rehuihin, nurmirehuihin ja rehuviljaan. Niiden yhteenlaskettu osuus kokonaisenergiansaannista on yli 80 % (Karjantarkkailu 1993). Suurin muutos lypsylehmien ruokinnassa viimeisen kahden vuosikymmenen aikana on ollut heinän osuuden väheneminen ja säilörehun osuuden lisääntyminen. Säilörehun käyttöä ovat lisänneet heinän käytön vähenemisen lisäksi säilörehun korjuumenetelmien kehittyminen, hyvä tuotantovaikutus ja edullinen tuotantokustannus.

Maidon valkuais- ja rasvapitoisuuteen voidaan vaikuttaa ruokinnalla jonkin verran, mutta suuret muutokset eivät ole mahdollisia, jos maidontuotanto perustuu nurmen maksimaaliseen hyödyntämiseen tilalla. Muutokset maidon koostumuksessa, erityisesti rasvapitoisuudessa, liittyvät ravintoaineiden saantiin ruuansulatuskanavasta. Tämän vuoksi maidon koostumuksen muuttaminen edellyttää entistä tarkempaa rehuannoksen koostumuksen ja ruuansulatuskanavasta imeytyvien ravintoaineiden yhteyden ymmärtämistä (Heikkilä et al. 1995a).

2 Ravintoaineiden sulatus ja metabolia

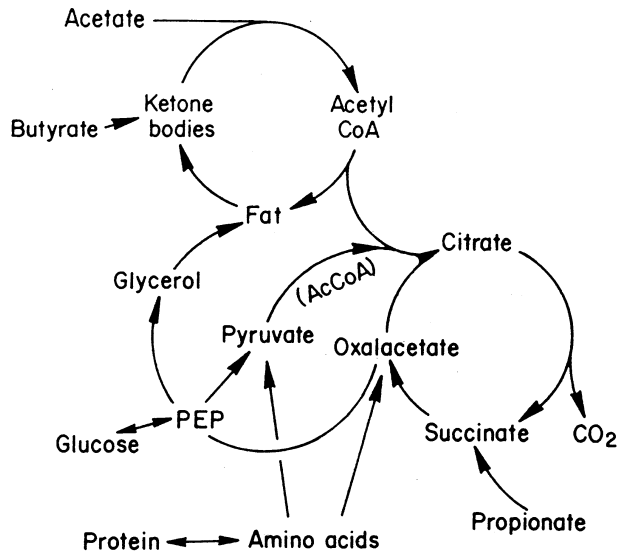
Rehun hiilihydraatit, valkuaisaineet ja rasvat muuttuvat lehmän pötsissä, umpi- ja paksusuolessa haihtuviksi rasvahapoiksi (VFA), pääasiassa etikka-, propioni- ja voihapoksi. Ohutsuolessa ne muuttuvat glukosiksi, aminohapoiksi sekä keskipitkiksi ja pitkiksi rasvahapoiksi.

2.1 Hiilihydraattien sulatus ja metabolia

Rehun hiilihydraateista tärkeimmät ovat

ruohon ja karkearehun selluloosa, hemiseluloosa (ksylaani ym.) ja fruktosaanit (liukoisia sokereita), viljan tärkkelys ja juurikasvien sakkaroosi (Holmes & Wilson 1984). Hiilihydraattien sulatuksen tärkeimmät lopputuotteet ovat etikka-, propioni- ja voihapo. Käymisessä muodostuu myös pieniä määriä muurahais-, isovoi-, valeriana-, isovaleriana- ja kapronihappoa (Bondi 1987). Lisäksi syntyy hiilidioksidia ja metaania. Palorypäle-, meripihka- ja maitohappo ovat tärkeitä sulatuksessa syntyviä välituotteita, ja näistä maitohappoa voi joskus esiintyä pötsinesteessä (McDonald et al. 1988). Normaaliiruokinnalla etikkahapon mooliosuus on 60–70 % pötsin VFA:sta, propionihappoa muodostuu 15–20 % ja voihapo muodostuu vähiten, 10–15 %. Pötsissä tuotetut haihtuvat rasvahapot imeytyvät diffuusion avulla suoraan pötsin, verkkomahan ja satakerran seinämien läpi verenkiertoon (Holmes & Wilson 1984).

Etikkahappo kulkeutuu pötsistä maksaan lähes muuttumattomana. Maksa tuottaa etikkahappoa myös pääasiassa pitkäketjuisia rasvahappoja hajottamalla, mikä lisää etikkahapon kokonaistuotantoa (Thomas & Chamberlain 1984). Normaalioloissa maksasta lähtevästä etikkahaposta 10–20 % on peräisin tästä endogeenisestä (sisäisestä) lähteestä, mutta osuus on paljon suurempi rasvahappojen ollessa peräisin rasvakudoksesta esim. maidontuotantokauden alussa (Costa et al. 1976). Pitkäketjuisten rasvahappojen hajotus maksassa voi tällöin johtaa myös huomattavaan endogeeniseen β -hydroksivoihapon tuotantoon (Baird 1981). Suurin osa voihaposta muuttuu pötsin seinämässä β -hydroksivoihapoksi (Holmes & Wilson 1984). Pääosa propionihaposta imeytyy pötsin seinämän läpi sellaiseenaan pienen osan muuttuessa maitohapoksi (Thomas & Chamberlain 1984). Imeytyneet rasvahapot kulkeutuvat veren mukana maksaan. Maksassa propionihappo muuntuu glukosiksi. Etikka- ja β -hydroksivoihapo kulkeutuvat maksan kautta kudoksiin, jossa ne voidaan käyttää energian ja rasvahappojen lähteenä (McDonald et al.



Kuva 1. Haihtuvien rasvahappojen tärkeimmät metaboliareitit märehitjällä (Van Soest 1994).

1988). Etikka- ja voihapo kulkevat asetyyli-KoA:n kautta sitruunahappokiertoön, jossa ne toimivat energianlähteenä hapeutuksessa (kuva 1). Asetyyli-KoA:n muodostaminen palorypälehaposta mitokondriossa mahdollistaa glukoosin hapettamisen sitruunahappokierrossa (Van Soest 1982).

Vaikka märehitjän ohutsuoesta imeytyy suhteellisen vähän glukoosia, on sen glukoosin tarve perusaineenvaihduntaan sama kuin muillakin eläimillä. Tämän vuoksi maksan kyky tuottaa glukoosia glukoneogeneesin avulla on erittäin tärkeää (Van Soest 1994). Glukoosin hiilen eläin saa propionihaposta, glukogeenisista aminohapoista tai hiiliyhdisteestä, jossa on pariton määrä hiiliatomeja (Bergmann & Pell 1985). Propionihapon lisäksi hiilen lähteenä voivat olla maitohappo, isohapot, valerianahappo, mobilisoidun rasvan glyseroli ja glukogeeniset aminohapot sekä paljon viljaa (täkkelystä) sisältäviä ruokintoja käytettäessä ohutsuoesta imeytynyt glukoosi (Van Soest 1994). Bergmann (1977) on laskenut, että lampaalla glukoneogeneesin lähtöaineista yli 40 % muodostuu propioni-

haposta, 15 % maitohaposta, 35 % glukogeenisista aminohapoista ja yli 10 % glyserolista. Täärke-lyksestä vaihteleva osuus, yleensä selvästi alle 100 %, on "löytynyt" glukoosina porttilaskimosta. Pötsiin infusoitu tärkkelys tuotti jopa enemmän glukoosia kuin juokutusmahaan infusoitu tärkkelys (Taniguchi et al. 1995).

2.2 Raakavalkuaisen sulatus ja metabolia

Kasvien sisältämä typpi voidaan jakaa valkuaisaineisiin (proteiinit) ja ei-proteiinityypeen (NPN), joka koostuu liukoisesta NPN:stä ja liukenemattomasta osasta, johon kuuluvat mm. nukleiinihapot. Kasvien valkuaisaineet voidaan puolestaan jakaa kahteen ryhmään: lehtien ja varsien sisältämät valkuaisaineet ja siemeniin varastoituneet valkuaisaineet (Van Soest 1982).

Pötsin mikro-organismit hajottavat rehun sisältämät valkuaisaineet peptideiksi ja aminohapoiksi, ja osa aminohapoista hajotetaan edelleen orgaanisiksi hapoiksi, ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi (McDonald et al. 1988). Pötsin mikrobit käyttävät ammoniakkia yhdessä joidenkin pepti-

dien ja vapaiden aminohappojen kanssa mikrobivalkuaisen valmistamiseen. Bakteerit pystyvät valmistamaan sekä välttämättömiä että ei-välttämättömiä aminohappoja, joten eläin ei ole riippuvainen rehun sisältämistä aminohapoista (McDonald et al. 1988).

Koska märehittäjä pystyy hyödyntämään myös ei-proteiinityppeä, osa rehun tyypeistä voi olla yksinkertaisia orgaanisina yhdisteinä, kuten aminohappoina, amideina (mm. ureana) ja amiineina sekä epäorgaanisina yhdisteinä, kuten nitraattina. Useimmat näistä hajotetaan pötsissä nopeasti ja niiden tyyppi siirtyy ammoniakkipooliin (McDonald et al. 1988). Rehun virtauksen mukana sekä hajoamaton rehuvalkuainen että pötsissä muodostunut mikrobivalkuainen joutuvat entsyymattisen sulatuksen kohteeksi juokсутusmahassa ja ohutsuolessa.

Urea tulee pötsi-verkkomahaan suoraan verestä (Siddons et al. 1985) ja sitä hajottavan entsyymin, ureaasin, joka oletettavasti on mikrobiperäistä, aktiivisuutta on todettu olevan sekä pötsi-verkkomahan sisällössä että sen seinämässä (Boda et al. 1976). Täten ammoniakkiä voisi tulla pötsi-verkkomahaan sekä endogeenisen urean hajotuksesta että pötsistä tulevan typen mikrobisesta hajotuksesta. Ammoniakki imeytyy saman tien. Ruokasulan kulkiessa satakeran läpi ammoniakkin määrässä voikin tapahtua nettohävikkiä (Engelhardt & Hauffe 1975). Edellä mainittuja prosesseja on tutkittu hyvin vähän, eikä niihin vaikuttavia tekijöitä tunneta (Smith 1989).

Typpiyhdisteiden imeytyminen juokсутusmahasta on todennäköisesti määrällisesti merkityksetöntä. Ammoniakin imeytymistä estää ilmeisesti pääasiallisesti juokсутusmahahan alhainen pH. Sopivassa pitoisuudessa hajoamaton urea voisi imeytyä edellyttäen, että rehussa on annettu ureaa sellaisessa muodossa, että se ei ole hajonnut kokonaan pötsissä, mutta voi hajota juokсутusmahahan olosuhteissa. Tällainen urealisa on esimerkiksi isobutylideeniurea, joka hajoaa suhteellisen hitaasti (Stangassinger & Giesecke 1980). Endogeenistä tyypeä

saapuu huomattavia määriä juokсутusmahaan. Pieni osa siitä on ureaa, mutta suurin osa on kuitenkin vielä valkuaisaineita (Smith 1989). Harropin (1974) arvion mukaan lampaan juokсутusmahaan saapuvasta kokonaistyypeistä 65–90 % oli valkuaisaineita, joista suuri osa oli valkuaisaineita pilkkovien entsyymien muodossa.

Valkuaisaineiden sulatuksessa syntyneet aminohapot ja peptidit imeytyvät ohutsuolessa ja kulkeutuvat veren mukana maksaan. Maksassa niitä voidaan käyttää valkuaisainesynteesiin tai ne voivat siirtyä veren mukana muualle elimistöön käytettäväksi. Aminohapot, joita ei tarvita näihin tarkoituksiin, kuljetetaan maksaan ja hajotetaan ammoniakiksi ja ketohapoiksi. Ketohappoja puolestaan voidaan käyttää aminohapposynteesiin tai glukoosin tuotantoon. Ammoniakki muuttuu ureaksi ja se poistuu joko virtsan mukana tai palautuu syljen mukana takaisin pötsiin (McDonald et al. 1988).

Märehittäjällä voi imeytyä huomattava määrä ammoniakkiä suoraan pötsistä vereen ja sen mukana maksaan ja sitä kautta typen kiertoon (McDonald et al. 1988). Pötsin bakteerit käyttävät ammoniakkin hyvin tehokkaasti, jos sitä on vähän tarjolla ja antavat sen kerääntyä nestefaasiin, silloin kun sitä muodostuu yli niiden tarpeen. Kun eläin saa vähän tyypeä rehussa, suuri osa eläimen metaboloimasta tyypeistä on kierrätetty todennäköisesti pääasiassa pötsin kautta ja hyvin vähän tyypeä poistuu virtsan mukana (Van Soest 1982).

Rehun valkuaisaineet hajoavat pötsissä usein liian nopeasti suhteessa energiapitoisen kasvimateriaalin hajoamiseen. Tämä lisää ammoniakkin muodostumista pötsissä, mikä johtaa rehun valkuaisaineiden biologisen arvon laskuun. Tämän vuoksi mikrobien kyvystä muodostaa ammoniakista valkuaisaineita yritetään hyötyä mahdollisimman paljon syöttämällä eläimelle ei-proteiinityppeä. Toisaalta tavoitteena on valkuaisaineiden pötsihajoavuuden vähentäminen lisäämällä ohutsuolessa saapuvan ohitusvalkuaisen (pötsissä sulamattoman valkuaisen) määrää (Wallace & Cotta 1988).

2.3 Rasvojen sulatus ja metabolia

Kasvien rasvat (lipidit) voidaan ryhmitellä siementen varastorasvoihin (pääasiassa triglyseridejä), lehtien lipideihin (galaktolipidit) ja sekalaiseen ryhmään, johon kuuluvat vahat, karotenoidit, klorofylli, välttämättömät öljyt sekä muut eetteriin liukenevat aineet (Van Soest 1982). Eläinperäiset rasvat ovat glyseroliestereitä ja rasvahappoja, joissa lähes kaikki hiilisidokset ovat vetyatomilla tyydyttyneitä. Öljyt ovat tyydyttymättömiä, mikä tarkoittaa, että yhdestä tai useammasta hiiliatomista puuttuu vetyatomi, ja hiiliatomit ovat yhdistyneet kaksoisidoksin. Rasvat ja öljyt toimivat elimistössä lähinnä energian lähteenä. Tämän lisäksi kaikki nisäkkäät tarvitsevat pieniä määriä monityydyttymättömiä rasvahappoja kuten linoleenihappoa (Webster 1987).

Märehtijän rehuissa olevista triacylglyseroleista suuri osa on C_{18} -monityydyttymättömiä linoli- ja linoleenihappojen osia. Nämä hajotetaan entsyymaattisesti bakteerilipaasien avulla pötsissä. Kun ne ovat vapautuneet esteriyhdisteistä, bakteerit liittävät vetyä (hydrogenoivat) tyydyttymättömiä rasvahappoja, jolloin lopputuotteena syntyy steariinihappoa. Sekä linoli- että linoleenihapolla on *cis*-kaksoisidoksia, mutta ennen vedyn liittämistä yksi kaksoisidos muutetaan *trans*-muotoon. Tämän vuoksi pötsistä voidaan löytää *trans*-happoja (McDonald et al. 1988).

Märehtijän elimistön varastorasva sisältää melko paljon steariinihappoa ($C_{18:0}$), huomattavia määriä *trans*-isomeereja sekä jonkin verran haaraketjuisia rasvahappoja. Erityisesti maidon rasvassa on huomattavasti rasvahappoja, joissa on myös pariton määrä hiiliatomeja. Nämä rasvahapot eivät ole tunnusomaisia kasvien lipideille, joten muutosten pitää tapahtua märehtijän elimistössä. Suuri osa näistä rasvahapoista muodostuu ilmeisesti pötsissä (Church 1983). Pötsissä muodostuu siis myös haaraketjuisia rasvahappoja ja rasvahappoja, joissa on pariton määrä hiiliatomeja (C_{13} , C_{15} ja C_{17}). Näitä rasvahappoja käytetään ilmeisesti pötsissä pitkäketjuisten rasvahap-

pojen valmistamiseen (Church 1983).

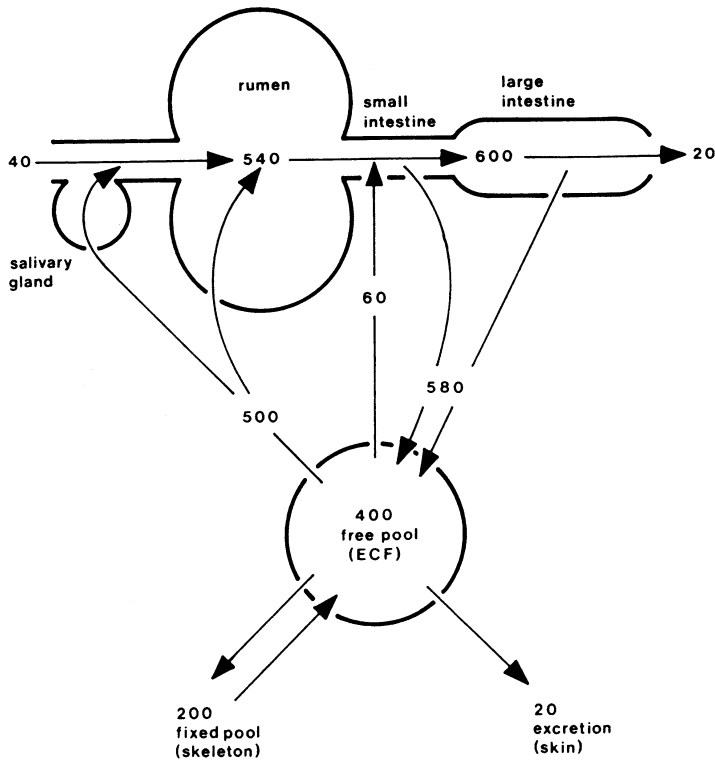
Märehtijän dieetin rasvapitoisuus on tavallisesti pieni (alle 50 g/kg). Rasvan lisääminen rehuun pienentää pötsimikrobien aktiivisuutta, hidastaa hiilihydraattien käymistä ja vähentää rehun syöntiä. Lyhytketjuiset rasvahapot imeytyvät suoraan pötsin seinämän läpi. Pitkäketjuiset rasvahapot kulkeutuvat ohutsuoleen, missä tapahtuu mm. tyydyttymistä. Dieetin lipidejä voidaan suojata pötsin mikrobisulatuksesta. Tällöin ne kulkeutuvat muuttumattomina pötsin läpi ja altistuvat vasta ohutsuolessa entsyymisulatukselle. Jos suojattu rasva sisältää tyydyttymättömiä rasvoja, elimistön ja maidon rasvahappokoostumus muuttuvat (McDonald et al. 1988).

Ohutsuoleen virtaavat rasvahapot ovat yleensä pitkäketjuisia C_{12} - C_{18} rasvahappoja. Rasvahapot, jotka sisältävät 10–12 hiiliatomeja, imeytyvät porttilaskimon kautta verenkiertoon. Tällä imeytymisellä on hyvin pieni määrällinen merkitys. Pääosa rasvahapoista imeytyy lymfajärjestelmään, jolloin ne kulkeutuvat rintatiehyen kautta valtimoverenkiertoon, joten ne "ohittavat" maksan. (Thomas & Chamberlain 1984).

2.4 Kivennäis- ja hivenaineet

Tärkeimmät kivennäisaineet kalsium (Ca), fosfori (P), magnesium (Mg) ja natrium (Na) ja hivenaineet kuten rauta (Fe), kupari (Cu), koboltti (Co) jne. voidaan antaa rehusa epäorgaanisina suoloina tai orgaanisina yhdisteinä. Kivennäisaineiden irtoamiseen orgaanisista yhdisteistä voi liittyä joitakin sulatusprosesseja, mutta tärkein kivennäisaineiden nettomääräiseen imeytymiseen vaikuttava tekijä on tasapaino ruuan sulatuskanavaan virtaavan ja siitä todellisesti imeytyvän määrän välillä (Webster 1987).

Kuvan 2. tärkein viesti on natriumin *suhteellinen* virtaus elimistön osien välillä. Tässä esimerkissä lehmä syö 40 g natriumia päivässä. Pötsiin virtaavan natriumin määrä syljen mukana ja pötsin seinämän läpi on 500 g päivässä, joten vain 8 % (40/500)



Kuva 2. Natriumin erityis ja imeytyminen (g/päivä) ruuansulatuskanavassa ja solun ulkoisessa nesteessä (ECF) lehmällä, joka ei lypsä (Webster 1987).

ruuansulatuskanavaan tulevasta natriumista on peräisin rehusta (Webster 1987).

Hivenaineita on varastoituneena lehmän elimistöön hyvin suuria määriä päivittäiseen tarpeeseen verrattuna. Kivennäis- ja hivenaineiden puute kehittyy yleensä hitaasti, poikkeuksena tästä ovat kuitenkin natrium, kalsium ja magnesium. Myrkyllisyyttä saattaa ilmetä pitkään jatkuneen kivennäis- ja hivenaineiden liiallisen saannin seurauksena (Webster 1987).

Seleenä on kasveissa useassa kemiallisessa muodossa: selenometioniinina, selenokysteiinina, seleniittinä, selenokysteiinihappona, selenokystationina, Se-metyyliselenometioniinina, Se-metyyliselenokysteiinina sekä muina yhdisteinä (Peterson & Butler 1962, ks. Aspila 1991). Osa seleenis-

tä käytetään pötsissä mikrobivalkuaisen muodostumisessa (Paulson et al. 1968, Hudman & Glenn 1984). Pötsistä ei imeydy seleeniä nettomääräisesti (Wright & Bell 1966), vaikkakin pieniä määriä selenometioniinia saattaa imeytyä (Hidiroglou & Jenkins 1973). Osa seleenistä palaa takaisin pötsiin pääasiassa syljen mukana (Dejneka et al. 1979), minkä seurauksena nettomääräisesti imeytyvän seleenin määrä on lähes nolla (Hidiroglou & Jenkins 1974). Seleenin pääasiallinen imeytymispaikka on ohutsuoli (Aspila 1991).

Jodin tehtävä elimistössä on kahden hormonin, trijodityroniinin ja tetrajodityroniinin (tyrokseenin), tuottaminen kilpirauhasessa (McDonald et al. 1988).

2.5 Vitamiinit

Rasvaliukoiset A-, D-, E- ja K-vitamiini imeytyvät ohutsuolesta rasvan mukana sappi- ja haimanesteen läsnäollessa pääasiassa diffuusion avulla (McDonald et al. 1988, McDowell 1989). Huomattavia määriä karoteenia tai A-vitamiinia voi hajota pötsissä. Useissa tutkimuksissa erilaisilla dieeteillä noin 40–70 % vitamiinista on hävinnyt ennen suolistoa (Ullrey 1972). Useimmat tutkijat olettavat tämän viittaavan pötsissä tapahtuvaan hajotukseen. Näiden aineiden imeytymistä pötsistä pidetään epätodennäköisenä, vaikka toisaalta ei ole vielä todistettu, että sitä ei tapahtuisi (McDowell 1989).

Osa A-vitamiinin esiasteesta, β -karoteenista, muuttuu A-vitamiiniksi ohutsuolen seinämässä. Useilla karoteenia saaneilla eläimillä ohutsuolesta imeytyvä vitamiini on pääasiassa A-vitamiinia, mutta naudoilla voi imeytyä myös huomattava määrä karoteenia. Imeytynyt karoteeni voidaan varastoida maksaan tai rasvakudokseen. Nautaeläimen rodulla on suuri vaikutus siihen, imeytyykö karoteeni karoteenin vai A-vitamiinin (McDowell 1989).

On esitetty, että vain noin 50 % rehuanoksesta saadusta D-vitamiinista imeytyy. Auringonvalossa oleskelu tuottaa myös elimistössä D-vitamiinia. Tasekokeiden perusteella näyttää siltä, että E-vitamiinia imeytyy, tai ainakin pidättyy elimistöön, paljon vähemmän kuin A-vitamiinia. Vielä ei tiedetä, miten suuri osa sontaan tulevasta E-vitamiinista on peräisin imeytymättömästä tokoferolista ja miten suuri osa on eritetty sapen kautta. E-vitamiinia varastoidaan kaikkiin elimistön kudoksiin, mutta eniten kuitenkin maksaan (McDowell 1989).

K-vitamiinin imeytymistehokkuus on vaihdellut 10 ja 70 %:n välillä vitamiinili-sän muodosta riippuen (McDowell 1989). K_1 -vitamiinia on useissa kasveissa ja K_2 -vitamiinia valmistetaan ruuansulatuskanavassa bakteerien avulla (McDonald et al. 1988).

Vesiliukoisten vitamiinien uskotaan imeytyvän sekä yksinkertaisen diffuusion avulla että kantaja-aineen välittämässä prosessissa, joka vaatii natriumia. B_{12} -vitamiini tarvitsee kantaja-ainekseen tietyn glykoproteiinin ennen kuin imeytyminen on mahdollista (McDonald et al. 1988). Vaapaata tiamiinia (B_1 -vitamiinia) voi imeytyä suoraan pötsistä, mutta sitoutunut tai mikro-organismeissa oleva tiamiini ei voi imeytyä pötsin seinämän läpi. Pötsistä imeytymisen uskotaan tapahtuvan aktiivisen mekanismin avulla (McDowell 1989).

3 Maidon koostumus

3.1 Valkuainen ja sen synteesi

Maidon valkuainen jaetaan kahteen ryhmään: kaseiinit ja heraproteiinit. Lehmän maidon valkuaisesta yli 75 % on kaseiinia (Davies et al. 1983). Heraproteiineihin kuuluvat β -laktoglobuliini, α -laktalbumiini, proteosipeptonit sekä tavallisesti hyvin pieniä määriä seerumialbumiinia ja immunoglobuliineja (Rook & Thomas 1983).

Koska kaseiinit ovat fosfoproteiineja ja osa glykoproteiineja, niiden synteesi käsittää sekä aminohappojen yhdistämisen että sen, miten erilaiset ei-proteiiniyhdisteet liitetään muodostuvaan molekyyliin. β -laktoglobuliinien ja α -laktalbumiinin synteesit eivät ainakaan teoriassa ole yhtä monimutkaisia kuin edellä mainittujen yhdisteiden, vaikka α -laktalbumiini muodostuukin osittain glykoproteiineista (Mephram 1987). Taulukossa 1 on esitetty maitovalkuaisen koostumus ja pitoisuudet kahden kirjallisuuslähteen mukaan.

Maidon valkuaisaineet muodostuvat aminohapoista valkuaisainesynteesissä. Tu-massa oleva DNA sisältää geneettisen kodin, joka siirtyy lähetti-RNA:n (mRNA) mukana ribosomeihin. Ribosomeissa lähetti-RNA liittyy ribosomi-RNA:han (rRNA).

Taulukko 1. Valkuaisen koostumus ja pitoisuudet (g/l) kuoritusmaiden maidossa (Davies & Law 1981) ja lehmän maidossa (Jenness 1985).

	Kuurittu lehmän maito*		Lehmän maito
	keskimäärin	keskipoikkeama	
Valkuainen yhteensä	32,71	1,80	
Kaseiini yhteensä	26,92	1,54	
Seerumivalkuainen yhteensä	5,79	0,32	
α _{s1} -kaseiini	10,25	0,57	
β-kaseiini	9,60	0,50	9,3
κ-kaseiini	3,45	0,32	3,3
α _{s2} -kaseiini	2,74	0,21	2,6
τ-kaseiini	0,88	0,15	
β-laktoglobuliini	3,14	0,19	3,2
α-laktalbumiini	1,23	0,09	1,2
IPL**	0,97	0,10	
seerumialbumiini	0,45	0,04	0,4
laktoferrini			<0,1
lysotsyymi			hyvin vähän

* Arvot ovat 29 näytteen keskiarvoja viidestä eri meijeristä

** IPL = immunoglobuliinit, proteoosi-peptonikomponentti 3 sekä laktoferrini

Lähetti-RNA:n päässä oleva kolmen emäksen koodi tunnistaa siirtäjä-RNA:ssa (tRNA) olevan kolmen emäksen käänteisen koodin sen aminohappokompleksista. Lähetti-RNA:n läsnäollessa aminohapot järjestäytyvät vierekkäin niin lähelle toisiaan, että ne voivat muodostaa peptidisidoksia (Rook & Thomas 1983, Larson 1985). Kaseiinien hiilihydraattiosat syntetisoidaan ja liitetään aminohappoketjuihin todennäköisesti Golgin laitteessa (Rook & Thomas 1983).

3.2 Ei-proteiiniset typpiyhdisteet (NPN)

Urea diffusioituu nopeasti veriplasman ja maidon välillä. Maidon ureapitoisuus, ja tämän vuoksi ei-proteiinityypen pitoisuus, riippuu plasman ureapitoisuudesta (Rook & Thomas 1983). Myös maidon ammoniakkin pitoisuus on samalla tasolla kuin veressä (Davies et al. 1983). Maidossa on NPN-yhdisteitä noin 1 g/l (250–350 mg N/l), mikä

on noin 6 % maidon kokonaistypestä. Urea muodostaa noin puolet NPN:stä (Jenness 1985) (taulukko 2).

3.3 Rasva ja sen synteesi

Lehmän maidon rasva koostuu pääasiassa triglyserideistä (970–980 g/kg) ja pienistä määristä diglyseridejä (2,5–4,8 g/kg), monoglyserideistä (0,16–0,38 g/kg), kolesteroliestereistä ja kolesterolista (2,2–4,1 g/kg), vapaista rasvahapoista (1,0–4,4 g/kg) sekä fosfolipideistä (2–10 g/kg). Suuri osa maidon rasvan rasvahapoista on pitkäketjuisia, 16–18 hiiliatomisia happoja ja suuri osa näistä on tyydyttymättömiä (Rook & Thomas 1983). Maidossa on yhteensä noin 400 erilaista rasvahappoa.

Maidon rasvan triglyseridit ovat kalvon ympäröiminä pieninä palloina eli globuulimembraaneina (Rook & Thomas 1983). Maidossa olevat rasvahapot voidaan ottaa suoraan verestä tai ne valmistetaan lähtöaineista maitorauhasessa (*de novo*). Lyhytket-

Taulukko 2. Lehmänmaidon pääasiallisten NPN-yhdisteiden pitoisuudet (Wolfschoon-Pombo & Klostermeyer 1981) ja niiden vaihtelu (Jenness 1985).

Yhdiste	Pitoisuus	Pitoisuuden vaihtelu
	mg N/l	
Kokonais-NPN	296,4	229-308
Urea-NPN	142,1	84-134
Kreatiini-N	25,5	6-20
Kreatiniini-N	12,1	2-9
Virtsahappo-N	7,8	5-8
Oroottihappo-N	14,6	12-13
Hippurihappo-N	4,4	4
Peptidi-N	32,0	
Ammoniakki-N	8,8	3-14
α -Aminohappo-N	44,3	29-51

juiset rasvahapot (C_4 – C_{14}) valmistetaan kokonaan maitorauhasessa, kun taas palmitiinihapon (C_{16}) maitorauhanen ottaa suoraan verenkierrosta tai se syntetisoidaan maitorauhasessa. Pitkäketjuiset rasvahapot (C_{18} ja sitä pidemmät) ovat kaikki peräisin verenkierrosta (Mephram 1987, Rook & Thomas 1983).

Maidon rasvahappojen *de novo*-synteesin tärkein reitti on malonyyilitie, jossa tapahtuu kaksi pääreaktiota. Ensimmäisessä vaiheessa asetyylikoentsyymi-A-karboksyylaasi muuttuu malonyylikoentsyymi-A:ksi asetyylikoentsyymi-A:n katalysoimassa reaktiossa. Reaktion toisessa, rasvahapposynteesin katalysoimassa vaiheessa lähtömolekyyliin lisätään kahden hiiliatomin yksiköitä malonyylikoentsyymi-A:n muodossa. Lähtömolekyyli voi olla joko etikka- tai vohappo, ja synteesi päättyy kun rasvahappomolekyyli on enintään 16 hiiliatomia (Rook & Thomas 1983). Rasvahappoketjun pidentämisessä tarvittava pelkistävä aine NADPH saadaan suunnilleen puoliksi gluukoosin hajoittamisesta pentoosifosfaattikierrossa tai etikkahaposta isositraattikierrosta (Bauman & Davis 1975, Larson 1985).

Märehtijällä rasvahappojen valmistamisen lähtömolekyyli on usein butyryylikoentsyymi-A, joka voidaan muodostaa etikkahaposta tai suoraan β -hydroksivoihaposta, joka voi myös olla lähtömolekyyli. Run-

saasti propionihappoa tuottavilla ruokinoilla, jolloin kaikki propionihappo ei täysin metaboloidu maksassa ja osa siitä kulkeutuu veren mukana maitorauhaseen, myös se voi toimia lähtömolekyylinä. Tällöin syntyy rasvahappoja, joissa on pariton määrä hiiliatomeja (Rook & Thomas 1983). Tämä voi tapahtua myös pötsissä, jolloin syntyy C_{15} - ja C_{17} -rasvahappoja. Karkeasti ottaen noin 50 % maidon rasvahapoista valmistetaan etikkahaposta (40 %) ja β -hydroksivoihaposta (10 %) ja 50 % veriplasman triglyserideistä (Kaufmann & Hagemeister 1987).

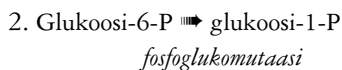
Triglyseridien biosynteesi tapahtuu lehmän maitorauhasessa pääasiassa *sn*-glyseroli-3-fosfaattireittiä pitkin. Glyseroli-3-fosfaatti saadaan joko glyserolin fosforylaatiosta plasman lipidien hydrolyysin aikana tai glykolyysistä trioosifosfaattien kautta. Rasvahapot muutetaan asyyliKo-A:ksi ennen kuin ne kiinnitetään glyserideihin. Kiinnityminen tapahtuu asyyliKo-A-syntetaasin avulla (Rook & Thomas 1983). Maidon fosfolipidit muodostetaan *de novo* fosfatidireittiä myöten. Kolesteroli voi olla peräisin rehusta tai se on syntetisoitu joko muualla elimistössä tai maitorauhasessa. Kolesterolies-terit muodostetaan maitorauhasessa (Thomas & Rook 1983). Märehtijän dieetti sisältää vähän kolesterolia, ja toisaalta osa siitä vielä hydrolysoidaan pötsissä. Tämän vuoksi märehtijän maidon kolesteroli on lähes yksinomaan endogeenistä alkuperää. Kole-

sterolin synteesin esiaineena maitorauhases-
sa on etikkahappo (Hawke & Taylor 1983).

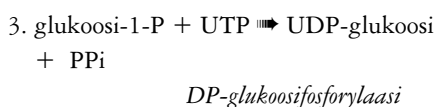
3.4 Laktoosi (maitosokeri) ja sen synteesi

Erittävä maitomäärä riippuu muodostuvan laktoosin ja apikaalimembraanien potenti-
aalisen kyvyn mukaan (Holmes & Wilson
1984). Laktoosi muodostaa heikkoja yhdis-
teitä metalli-ionien, kuten Ca^{2+} ja Fe^{3+}
kanssa, ja sen on arveltu helpottavan kal-
siumin imeytymistä ohutsuolesta. Laktoosin
tärkein biologinen tehtävä on kuitenkin
todennäköisesti maidon vesipitoisuuden
säättely (Davies et al. 1983). Maidon tärkein
hiilihydraatti, laktoosi, on muodostunut
glukoosista ja galaktoosista 1-4-hiilisdok-
sella β -galaktosidiksi (Larson 1985). Noin
80 % laktoosin hiilestä on peräisin veren
glukoosista. Glukoosimolekyylillä muodoste-
taan ilmeisesti lähes kokonaan glukoosista,
mutta galaktoosimolekyylillä muodostetaan
osittain lisäksi etikkahaposta ja glyserolin
hiilestä (Mephram 1987).

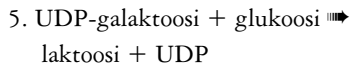
Laktoosin valmistus alkaa Golgin lait-
teessa ja jatkuu rakkuloissa, joihin virtaa
vettä ja ioneja (Thomas & Chamberlain
1984). Yksinkertaisimmassa kaaviossa,
missä glukoosi on molempien laktoosimole-
kyyliä esiaine, glukoosi-1-fosfaatti muo-
dostuu glykolyyttireitin välituotteista
(Mephram 1987):



Glukoosi-1-P voi muodostua vaihtoeh-
toisesti esim. etikkahapon hiilestä. Glukoo-
si-1-P muutetaan UDP-galaktoosiksi kah-
den entsyymin katalysoimassa reaktiossa:



Laktoosisynteesin viimeisessä vaiheessa
UDP-galaktoosi ja glukoosi yhdistyvät lak-
toosisyntetaasin katalysoimassa reaktiossa:



Reaktiossa UDP = uridiinidifosfaatti,
UTP = uridiinitrifosfaatti ja PPI = pyrofos-
faatti (Larson 1985).

3.5 Muut maidon hiilihydraatit

Maito sisältää myös lukuisan määrän muita
hiilihydraatteja, mutta yleensä selvästi lak-
toosia pienempinä pitoisuuksina. Näihin
kuuluvat monosakkaridit glukoosi ja galak-
toosi sekä oligosakkarideihin kuuluvat fu-
koosi, N-acetylglukosamiini ja N-acetyln-
uramiinihappo (Mephram 1987). Sitruuna-
happoa eli sitraattia syntyy sitruunahappo-
kierrossa mitokondrioissa, mistä se kulkeu-
tuu solunesteeseen. Märehtijät eivät pysty
hajottamaan sitruunahappoa, ja siksi sitä
onkin niiden maidossa melko suurina pitoi-
suuksina (ks. taulukko 3). Maidossa se muo-
dostaa pysyviä liukoisia ioneja kalsiumin
kanssa. Tämä pienentää Ca^{2+} :n aktiivisuut-
ta, mikä auttaa lisäämään maidon kalsium-
pitoisuutta. Sitraatin siirtymismekanismia
maitoon ei tunneta, mutta todennäköisesti
se tapahtuu Golgin laitteen läheisyydessä
(Larson 1985).

3.6 Maidon kivennäisaineet

Maidossa kivennäisaineet ovat ioneina, liu-
oksessa olevina ioniyhdisteinä ja valkuaisai-
neisiin sitoutuneina ioniyhdisteinä sekä kal-
siumfosfaattina kaseiinimiselleissä. Ylei-
simmät positiivisesti varautuneet ionit, ka-
tionit, ovat natrium, kalium, kalsium ja
magnesium sekä negatiivisesti varautuneet
ionit, anionit, kloridit, epäorgaaninen fos-

Taulukko 3. Lehmän maidon kivennäisainepitoisuudet (Jenness 1985).

Kivennäiaine	Kokonaispitoisuus	Diffundoituvaa
		mmol / l
Natrium	25,2	25,2
Kalium	35,3	35,3
Kalsium	30,1	10,4
Magnesium	5,1	3,3
Epäorgaaninen fosfaatti	22,3	12,4
Fosfaattiesterit	3,4	2,6
Kloori	28,0	28,0
Sitraatti	10,6	9,3
Muut orgaaniset hapot	2	
Karbonaatti	2	
Sulfaatti	1	

faatti (P_i), sitraatti, sokeri- ja nukleotidifosfaatit, karbonaatit, sialyloligosakkaridit ja valkuaisaineet (Davies et al. 1983). Maidon kivennäissuolat voidaan jakaa diffundoituvaan ja ei-diffundoituvaan (kolloidiseen) osaan. Diffundoituvaan osaan kuuluvat ionit ja yhdisteet, joilla on pieni molekyyliaino ja ei-diffundoituvaan osaan valkuaisaineisiin sitoutuneet aineet (Davies et al. 1983).

Jotkut aineet, kuten Na^+ , K^+ ja Cl^- , ovat lähes kokonaan diffundoituvia, kun taas toiset, kuten Ca^{2+} , Mg^{2+} , P_i , ja sitraatti kuuluvat molempiin. Yksiarvoiset ionit muodostavat heikkoja ja moniarvoiset ionit vahvoja yhdisteitä (Davies et al. 1983).

Lehmän maidon kivennäisainepitoisuudet on esitetty taulukossa 3. Lehmän maidon kalsiumin ja fosforin kokonaismäärien suhde on yleensä melko vakio (Ca:P = 1,25). Näiden määrä on lisäksi vakiosuhteessa kaseiinin määrään. Yksi gramma ka-eiiniä sisältää noin 0,9 mmol kalsiumia ja 0,8 mmol fosforia (Jenness 1985).

Maidon kivennäisainepitoisuudet vaihtelevat merkittävästi maidontuotantovaiheen mukaan. Kalsium- ja fosforipitoisuudet ovat korkeimmillaan maidontuotantokauden alussa ja lopussa (Kaufmann & Hagemester 1987). Epäorgaanisen fosforin pi-

toisuus riippuu Forarin et al. (1982) mukaan myös lehmien poikimakuukaudesta.

3.7 Maidon hivenaineet

Maidon hivenaineiden pitoisuuksista ja olo muodosta löytyy hyvin vähän tietoa. Molybdeenia on ilmeisesti pelkästään ksantiinioksidaasissa ja kobolttia ainoastaan B_{12} -vitamiinissa. Rauta on välttämätön aineosa ksantiinioksidaasi-, laktoperoksidaasi- ja katalaasientsyymeissä. Maidon hivenaineista sinkin pitoisuus on suurin (taulukko 4). Kupari ja rauta ovat jossakin määrin sitoutuneet rasvapallosen solukalvoon (Jenness 1985).

Seleniitti siirtyy ilmeisesti lähinnä passiivisen diffuusion avulla maitoon. Toisaalta on myös esitetty oletus, että osa siirtyisi maitorauhaseen epiteelisolujen avulla aktiivisen kuljetuksen kautta (Allen & Miller 1981).

3.8 Maidon vitamiinit

Vitamiineja ei syntetisoida maitorauhasessa, joten maidossa olevat vitamiinit ovat peräisin verestä. Maidossa on huomattava

Taulukko 4. Lehmän maidon hivenainepitoisuudet (Jenness 1985).

Hivenaine	Pitoisuus (µg/l)	Hivenaine	Pitoisuus (µg/l)
Alumiini	100-2100	Mangaani	3-370
Arseeni	30-100	Elohopea	<0,1
Barium	<110	Molybdeeni	5-150
Boori	30-800	Nikkeli	0-130
Bromi	60-25000	Rubidium	100-3400
Kadmium	<0,5	Seleeni	4-1200
Kromi	5-82	Pii	1300-7000
Koboltti	0-20	Hopea	<54
Kupari	10-1200	Strontium	40-2000
Fluori	<50	Tina	0-1000
Jodi	5-400	Titanium	20-500
Rauta	100-2400	Vanadium	<311
Lyijy	<5	Sinkki	n. 4000
Litium	<29		

Taulukko 5. Lehmän maidon keskimääräiset vitamiinipitoisuudet.

Vitamiini	Jenness (1985)	Hartman & Dryden (1974)
A-vitamiini	0,5	0,410
D-vitamiini (kolekalsiferoli)	0,0004	25 (ky/l)
E-vitamiini (α-tokoferoli)	0,98	1
Tiamiini (B ₁)	0,44	0,430
Riboflaviini (B ₂)	1,75	1,450
Niasiini/nikotiinihappo	0,94	0,82
Pyridoksiini (B ₆)	0,64	0,640
Pantoteenihappo	3,46	3,400
Biotiini	0,031	0,028
Foolihappo	0,050	0,050
Kobalamiini (B ₁₂)	0,0043	0,006
Askorbiinihappo (C-vitamiini)	21	21
Koliini	121	121
Myo-inositoli/inositoli	50	110

määrä A-vitamiinia ja sen esiastetta β-karoteenia. C- ja D-vitamiinin pitoisuudet ovat pieniä, ja E- sekä K-vitamiineja on vain hyvin pieniä määriä. Maidossa on useita B-ryhmän vitamiineja, kuten tiamiinia, riboflaviinia, nikotiinihappoa, B₆-vitamiinia, pantoteenihappoa, biotiinia, foolihappoa, koliinia, B₁₂-vitamiinia ja inositolia (McDonald et al. 1988). Taulukossa 5 on esitetty lehmän maidon keskimääräiset vitamiinipitoisuudet kahden kirjallisuuslähteen mukaan.

3.9 Maidon muut aineet

Maidossa on myös hyvin pieninä pitoisuuksina useita aineita, kuten solun aineenvaihdunnan tuotteita (esim. UDP-glukoosia), hormoneja (esim. prolaktiinia, kasvuhormonia) sekä kasvutekijöitä (jotka stimuloivat DNA-synteesiä ja solunjakautumista) (Mephram 1987). Hiilidioksidin pitoisuus on samalla tasolla kuin veressä (Davies et al. 1983).

Maidossa on myös soluja (valkosolut, makrofaagit, lymfosyytit) ja maitorauhasen haavoja epiteelisoluja. Niiden pitoisuus on suurin ternimaidossa sekä poikimisen jälkeen juuri ennen kohdun palautumista (Mepham 1987).

Lehmän maidosta on löydetty noin 50 entsyymien aktiivisuutta. Jotkut näistä ovat leukosyyttien osia ja osa voi tulla maitoon suoraan verestä. Suurin osa on kuitenkin jonkin muun maidon aineosan osana, joten ne tulevat maitoon näiden aineosien mukana. Joillakin harvoilla entsyymeillä (esim. galaktosyyliitransferaasilla) tiedetään olevan tehtävä solujen biosynteesissä. Jotkut entsyymit (esim. plasmiiini, lipaasi) toimivat substraatteina, joita on yleensä maidossa. Näillä voi olla joko hyödyllisiä tai haitallisia vaikutuksia maidon prosessoinnissa ja maitotuotteissa. Ei ole kuitenkaan olemassa hyvin dokumentoitua tapausta, jossa maidon entsyymillä olisi ollut suoraan ravitsemuksellista arvoa maidon kuluttajalle (Jeness 1985).

Maidossa olevien entsyymien pitoisuudet ja aktiivisuudet vaihtelevat suuresti laji- ja yksilökohtaisesti. Yleisesti ottaen aktiivisuus on suurempi ternimaidossa kuin tuotantokauden keskivaiheilla. Mikä tahansa sairaustila, joka sallii suurempien määrien leukosyyttejä tai joidenkin veren aineosien siirtymisen maitoon, lisää tiettyjen entsyymien aktiivisuutta (Jeness 1985).

4 Ruokinnan vaikutus maidon koostumukseen

4.1 Pötsifermentaation merkitys maidon koostumuksen säätelyssä

Pötsin haihtuvista rasvahapoista (VFA) etikkahappo ja etenkin voihiappo lisäävät maidon rasvapitoisuutta, ja propionihappo ja glukoosi vähentävät sitä (Thomas &

Chamberlain 1984, Thomas & Martin 1988). Tyypillisellä suomalaisella rehuannoksella, joka perustuu rajoittuneesti käyneeseen säilörehuun ja viljaväkirehuun, erityisesti ohraan, näitä yleistyksiä ei voida soveltaa. Ruokintatyypillemme on ominaista suuri voihiapon ja pieni propionihapon osuus pötsin VFA:sta (Huhtanen 1995).

Pötsikäymiseen (fermentaatioon) vaikuttavien tekijöiden ymmärtäminen on edellytyksenä sille, että on ylipäätään mahdollista ennustaa ruokinnan vaikutuksia maidon koostumukseen. On ymmärrettävä, mitä rehulle tapahtuu pötsissä ja mikä vaikuttaa lopputuotteiden syntymiseen ja niiden suhteisiin sekä miten lopputuotteet käytetään maidon muodostukseen.

4.2 Infuusiokokeiden merkitys tutkimusmenetelmänä

Yksittäisten ravintoaineiden vaikutusta maidontuotantoon ja maidon koostumukseen on tutkittu infusoimalla ravintoaineita suoraan ruuansulatuskanavaan tai verisuonistoon. Infusoidut ravintoaineet on annettu yleensä perusrehun lisänä tietyllä ruokintatasolla. Ravintoaineita on infusoitu kunkin ravintoaineen sulatus- ja imeytymispaikkoihin. Kokeissa on infusoitu mm. haihtuvia rasvahappoja pötsiin, glukoosia juoksumahaan tai verisuonistoon, keski- ja pitkäketjuisia rasvahappoja ja triglyseridejä verisuonistoon, valkuaisaineita juoksumahaan ja aminohappoja sekä juoksumahaan että verenkiertoon (Thomas & Chamberlain 1984).

Tyypillinen esiaine-tuote -tyyppinen yhteys on etikkahapon, voihiapon ja pitkäketjuisten rasvahappojen positiivinen vaikutus maidon rasvatuotukseen ja aminohappojen maidon valkuaisuudesta lisäävä vaikutus. Glukoosin saannin vaikutus maidon laktoosituotukseen on erilainen, sillä insuliinia saaneiden eläinten laktoosin erityis ei vähene ennen kuin maitorauhasen glukoosin saanti vähenee huomattavasti (ks. Thomas & Chamberlain 1984). Esiaine-tuote -mekanismi voi olla myös negatiivi-

nen, kuten propionihapon ja glukoosin negatiivinen vaikutus maidon rasvatuotokseen, sillä se lisää rasvan pidättymistä elimistöön (Ørskov et al. 1969).

Edellistä monimutkaisempia vaikutusmekanismeja ovat etikkahapon vaikutus laktoosi- ja valkuaisuotokseen, propionihapon ja glukoosin vaikutukset valkuaisuotokseen ja aminohappojen vaikutukset rasva- ja valkuaisuutoksiin. Etikkahapolla on tärkeä merkitys maitorauhasen tarvitseman energian, ATP:n, tuotannossa, kun taas propionihappo ja glukoosi voivat vaikuttaa valkuaisuotokseen "säästämällä" aminohappoja hapetukselta tai lisäämällä aminohapposynteesiä maksassa (ks. Rook 1976).

Aminohappoinfuusiot, esim. kaseiini-infuusiot juokutusmahaan (ks. Gow et al. 1979) ovat joskus lisänneet kasvuhormonin erittymistä, mikä saattaa selittää havaitut vaikutukset. Kasvuhormoni itsessään ei kuitenkaan ole lisännyt maidon valkuaispitoisuutta (Bines et al. 1980, Peel et al. 1981). Tämän lisäksi voidaan Schwabin et al. (1976) tulosten perusteella todeta, että aminohapposeos- ja kaseiini-infuusioilla ei ole samanlaista vaikutusta maidon rasva- ja valkuaisuutoksiin (Thomas & Chamberlain 1984).

Ruokinnan vaikutusta maidon koostumukseen on käsitelty useassa kotimaisessa artikkelissa. Huhtasen (1993a) ja (1995) sekä Heikkilän et al. (1995a) artikkelit käsittelevät ruokinnan vaikutusta maidon rasva- ja valkuaispitoisuuksiin. Seuraava tarkastelu perustuu paljolti näihin kirjoituksiin.

4.3 Maidon valkuaispitoisuus

4.3.1 Infuusiokokeet

Käytettäessä ruokintoja, jotka tuottavat paljon voihippaa pötsissä, glukoosista voitulla maidontuotantoa rajoittava tekijä. Huhtasen et al. (1993a) ja Miettisen ja Huhtasen (1996) kokeissa tähän viittasi plasman pienentynyt glukoosipitoisuus voi-

happoinfuusion jälkeen. Tällaisessa tilanteessa aminohappojen käyttö maksan glukoneogeneesiin lisääntyy (Heikkilä et al. 1995a).

Pienempi valkuaisuutos voihippoinfuusioilla (Blauwiel et al. 1992, Miettinen & Huhtanen 1996) tukee ajatusta, että imeytyneiden aminohappojen hyväksikäyttö maidon valkuaisen synteesiin on heikentynyt paljon voihippaa tuottavilla ruokinoilla. Blauwielin et al. (1992) kokeessa ero valkuaisuutoksessa oli suurempi propioni- ja voihipon välillä kuin valkuaispitoisuuksien välillä. Propionihappoinfuusion vaikutus maitovalkuaisen tuotokseen verrattuna voihippoinfuusioon oli lähes samanlainen kuin Tuorin (1992) tutkimuksessa rypsirohelin vaikutus valkuaisuutokseen (Heikkilä et al. 1995a).

4.3.2 Kasvilaji

Puna-apila-ruohosäilörehulla ei ole ollut merkittävää vaikutusta maidon valkuaispitoisuuteen ruohosäilörehuun verrattuna (Heikkilä et al. 1991, 1992). Myöskään pötsifermentaatioissa ei havaittu eroa näiden säilörehujen välillä (Vanhatalo et al. 1995).

Ruohosäilörehuilla fermentaation väheneminen siilossa on lisännyt maidon rasvapitoisuutta. Tätä ei havaittu puna-apilaruohosäilörehulla huolimatta vähäisemmästä proteolyysistä ja pienemmästä NPN-pitoisuudesta ruohosäilörehuun verrattuna (414 vs. 591 g liukoista N/kg kokonais-N) (Huhtanen 1993a).

4.3.3 Nurmirehun säilöntätapa

Nurmirehun säilöntätavalla (säilörehu vs. heinä) ei ole ollut selvää yhtenäistä vaikutusta maidon valkuaispitoisuuteen, eli se on ollut toisissa kokeissa suurempi ja toisissa pienempi säilörehuruokinnalla heinään verrattuna. Tämä on voinut osittain johtua säilönnän onnistumisesta (Heikkilä et al. 1995a).

Säilörehuun perustuvan ruokinnan on

usein väitetty olevan syynä maidon pieneen valkuaispitoisuuteen. Tämä väite voi perustua vähäisempään mikrobivalkuaisyynteesiin säilörehuruokinnolla heinäruokintaan verrattuna (Heikkilä et al. 1995a). Agricultural Research Council (1984) otti säilörehuruokinnalla käyttöön pienemmän mikrobityypin synteessin tehokkuusarvon pötsissä verrattuna heinään ja ruuhon perustuvaan ruokintaan. Sekä maidon pienempi valkuaispitoisuus että mikrobivalkuaisyynteesin tehokkuus voivat pitää paikkansa, jos säilörehu on huonolaatuista. Hyvälaatuisen säilörehun ei kuitenkaan ole todettu pienentävän maidon valkuaispitoisuutta (ks. Heikkilä et al. 1990 ja 1993, Tuori 1992) eikä mikrobivalkuaisyynteesin tehokkuus ole huonontunut heinäruokintaan verrattuna vaan pikemminkin päinvastoin. Tuotantokokeiden tulokset vastaavat pötsin typpi-metabolialla lehmillä, jotka ovat saaneet samalla kasvuasteella korjattua säilörehua ja heinää, joita on täydennetty kolmella eri väkirehutasolla (Jaakkola & Huhtanen 1993).

4.3.4 Säilörehun esikuivatus

Esikuivattua säilörehua saaneiden lehmien kuiva-aineen syönti on yleensä lisääntynyt, mutta tuotos on pysynyt samana tai pienentynyt tavallista säilörehua saaneisiin verrattuna. Tulokset ovat vaihdelleet paljon riippuen esikuivatuksen vaikutuksista säilörehun käymiseen sekä korjuuajan säistä (Heikkilä et al. 1995a). Esikuivatuksen vaikutukset maidon koostumukseen ovat olleet vaihtelevia (kuva 3). Esikuivatus lisäsi maidon valkuaispitoisuutta keskimäärin hieman (0,3 g/kg), mutta vaihtelu oli suurta (-1,5–2,9 g/kg). Näissä kokeissa maidon valkuaispitoisuuden muutos ja säilörehun kuiva-aineen syönti muuttuivat samansuuntaisesti (korrelaatiokerroin 0,74) (Huhtanen 1993a). Maidon valkuaispitoisuus on lisääntynyt eniten, kun säilörehun kuiva-aineen syönti on lisääntynyt huomattavasti, mutta maitotuotos on pysynyt samana (Bertilsson 1983, 1987). Edellä mainituissa kokeissa maidon valkuaispitoisuuden

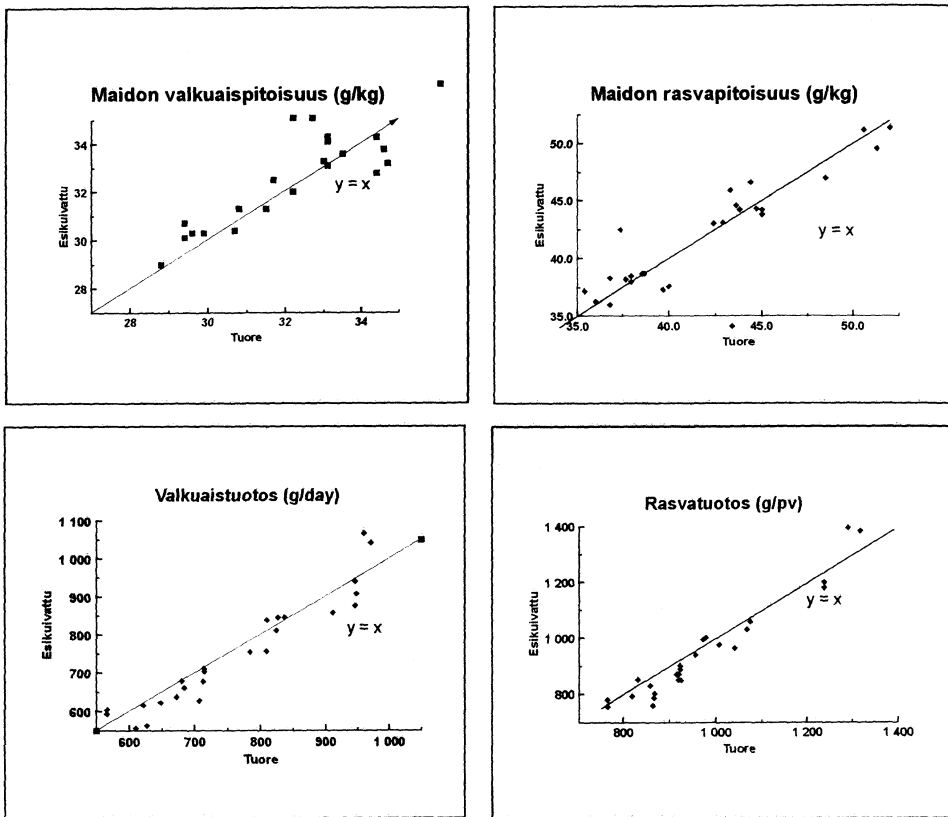
lisääntyminen liittyi lähes yksinomaan esikuivatulla säilörehulla tuotetun maidon suurempaan valkuaispitoisuuteen (Huhtanen 1993a).

4.3.5 Säilörehun käymislaatu

Nurmirehujen säilöminen säilörehuksi perustuu happamuuden lisäämiseen sekä ilman poistamiseen rehumassasta. Rehumassan pH:ta voidaan alentaa lisäämällä rehuun happoa, maitohappobakteereita tai entsyymejä. Hapot ovat voimakkaasti käymistä rajoittavia, kun taas biologiset säilöntämenetelmät voimistavat rehussa tapahtuvaa luonnollista maitohappokäymistä. Muurahaishappo on tällä hetkellä eniten käytetty haposäilöntäaine. Säilörehun käymisen aikana muodostuu vaihteleva määrä erilaisia käymistuotteita, kuten maitohappoa, haihtuvia rasvahappoja ja etanolia. Näiden määrä rehussa riippuu säilöttävän materiaalin kemiallisesta koostumuksesta, kuiva-ainepitoisuudesta, käytetystä säilöntäaineesta ja säilöntäaineen annostelutasosta. Käymisasteella on suuri vaikutus maidon koostumukseen, sillä rehun käymistuotteet vaikuttavat pötsissä muodostuvien lipogeenisten ja glukogeenisten rasvahappojen suhteeseen (Huhtanen 1995).

Kun ruoho säilötään säilörehuksi, sen vesiliukoiset hiilihydraatit käyvät maitohappoksi ja VFA:ksi. Säilörehun fermentaatiotuotteiden metabolia pötsissä tuottaa hyvin vähän tai ei lainkaan ATP:tä mikrobien käyttöön (Chamberlain 1987). Tämän vuoksi käymisen rajoittaminen silloin voisi tuoda enemmän energiaa pötsimikrobien käyttöön ja lisätä mikrobivalkuaisyynteesiä (Huhtanen 1993a).

Maidon valkuaispitoisuus on ollut suurempi lehmillä, jotka ovat saaneet rajoituneesti käyntyä säilörehua verrattuna runsaasti käyntyä rehua saaneisiin lemiin (Huhtanen 1993b, Heikkilä et al. 1989d, 1991)(kuva 4). Tämä ero voi johtua rajoituneesti käyntyä rehua saaneiden eläinten parantuneesta mikrobivalkuaisyynteesistä (Jaakkola et al. 1991, 1993a, Huhtanen et

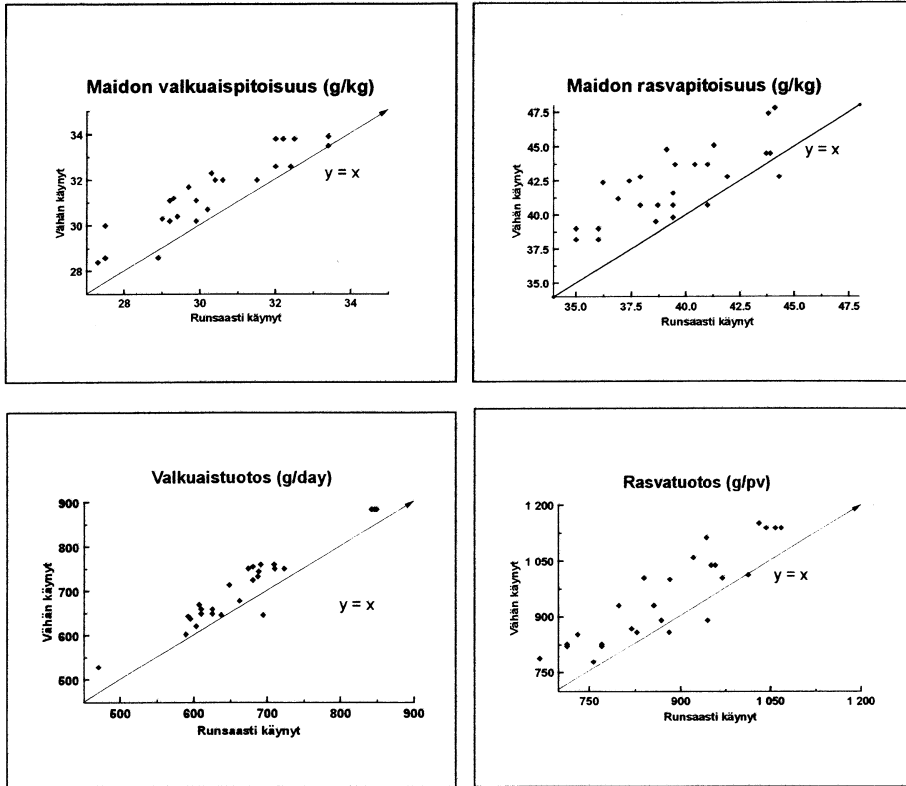


Kuva 3. Säilörehun esikylvätyksen vaikutus maidon koostumukseen sekä valkuais- ja rasvatuotokseen (Huhtanen 1993a) (Aineisto: Bertilsson 1983, 1987, Castle & Watson 1984, Ettala et al. 1982, Gordon 1980a, 1980b, 1981, 1986, 1987, Gordon & Peoples 1986, Tuori et al. 1994).

al. 1996). Jaakkolan et al. (1993a) tulosten perusteella voidaan olettaa, että vaikka muurahaishapon lisääminen rehuun vähentää proteolyysyä siilossa, sillä on vain hyvin vähän vaikutusta säilörehun valkuaisen hajoamiseen pötsissä. Lisääntyneen mikrobityypen synteesin pötsissä täytyy heijastaa osittain runsaampaa ATP:n saantia vesiliukoisista hiilihydraateista kuin säilörehun fermentaatiotuotteista. Mikrobivalkuaisen synteesi oli kuitenkin runsaampaa silloinkin, kun se laskettiin fermentoituvaa orgaanista ainetta kohti. Tämä viittaa siihen, että säilörehussa olevien tyypellisten aineiden muodolla on vaikutusta mikrobivalkuaisynteesiin. Kun proteolyysissä ei ollut eroa, mikrobivalkuaisynteesi fermentoitunutta orgaanista ainetta kohti pysyi samana, mut-

ta pitkälle käyneellä rehulla synteesin tehokkuus sulavaa orgaanista ainetta kohti oli pienempi (Huhtanen et al. 1996).

Rajoittuneesti käyneessä säilörehussa suurempi osa NPN:stä on peptideissä verrattuna runsaasti käyneeseen rehuun (Nserke & Rooke 1993). Peptidien ja aminohappojen välitön saanti lisää mikrobien kasvua verrattuna ammoniakkin hyväksikäyttöön typen lähteenä. Säilörehun käymisaste ei vaikuttanut pötsin ammoniumtypen pitoisuuteen, vaikka rajoittuneesti käynyt säilörehu lisäsi mikrobien kasvua runsaasti käyneeseen säilörehuun verrattuna (Jaakkola et al. 1991, 1993a). Tämä voi johtua siitä, että pötsimikrobit saavat enemmän peptidejä ja aminohappoja suoraan rajoittuneesti käyneestä säilörehusta (Heikkilä et



Kuva 4. Säilörehun käymisasteen vaikutus maidon koostumukseen sekä maidon valkuais- ja rasvatuotokseen (Huhtanen 1993a). Yksi piste edustaa maidon koostumusta runsaasti ja vähän käynytää rehua saaneilla lehmillä samassa tutkimuksessa.

al. 1995a). Toisaalta voidaan todeta, että pötsiin infusoitu maitohappo ei lisännyt mikrobitypen synteisiä (Jaakkola & Huhtanen 1992a), mikä tukee käsitystä, että maitohapolla ei ole merkitystä pötsimikrobien energian lähteenä (Huhtanen 1993a).

Useissa kokeissa maidon valkuaispitoisuus on ollut pienempi paljon maitohappoa sisältävää rehua saaneilla lehmillä verrattuna rajoittuneesti käynytää rehua saaneisiin. Rajoittuneesti käynytää rehua saaneiden lehmien suurempi maidon valkuaispitoisuus voi johtua lisääntyneestä mikrobivalkuaisynteesistä, kun lehmällä on enemmän vesiliukoisia hiilihydraatteja käytettävissä. Monissa kokeissa rajoittuneesti käyneen rehun suurempi syöntimäärä vaikeut-

taa maidon valkuaispitoisuudessa olevien erojen tulkintaa. Yleisesti ottaen maidon valkuaispitoisuus lisääntyy, kun rehun syönti lisääntyy ja eläimen energiatase paranee. Maatalouden tutkimuskeskuksessa 14 kokeesta (49 säilörehusta) tehty regressioanalyysi osoitti, että kokeen sisällä maidon valkuaispitoisuus korreloi positiivisesti säilörehun vesiliukoisten hiilihydraattien (WSC) kanssa, mutta negatiivisesti käymishappojen kokonaismäärän ja ammoniumtyypen kanssa. Ero valkuaispitoisuudessa säilyi myös, kun erot säilörehun syönnissä otettiin huomioon (Huhtanen 1993a). Myös Rook et al. (1992) totesivat, että sekä maidon valkuaispitoisuus että -tuotos korreloivat negatiivisesti säilörehun ammoni-

umptyen kanssa.

4.3.6 Nurmirehun sulavuus

Eräs tärkeimmistä karkearehun ruokinnalliseen arvoon vaikuttavista tekijöistä on sulavuus. Nurmirehun laadun parantaminen korjaamalla se aiemmassa kasvuvaiheessa on useista kokeista tehdyn yhteenvedon mukaan parantanut maitotuotosta ja valkuaispitoisuutta (Huhtanen 1993a). Yhteenvedon mukaan säilörehun D-arvon (g sulavaa orgaanista ainetta/kg kuiva-ainetta) paraneminen lisäsi maitotuotosta keskimäärin 0,26 (0,08–0,49) kg, valkuaispitoisuutta 0,16 (0,04–0,47) g/kg ja valkuais- tuotosta 12,1 (4,9–23,8) g per 10 g D-arvon paranemista kohti. Suluissa olevista luvuista voi nähdä, että hajonta oli kuitenkin melko suurta, mikä saattoi johtua väkirehumäärien eroista ja säilörehun laadun ja syöntimäärien eroista kokeiden välillä (Heikkilä et al. 1995a). Säilörehun syöntimäärä saattaa jäädä odotettua pienemmäksi, jos aiemmin korjatun säilörehun käymislaatu on huonompi kuin myöhemmin korjatun (Huhtanen 1993a).

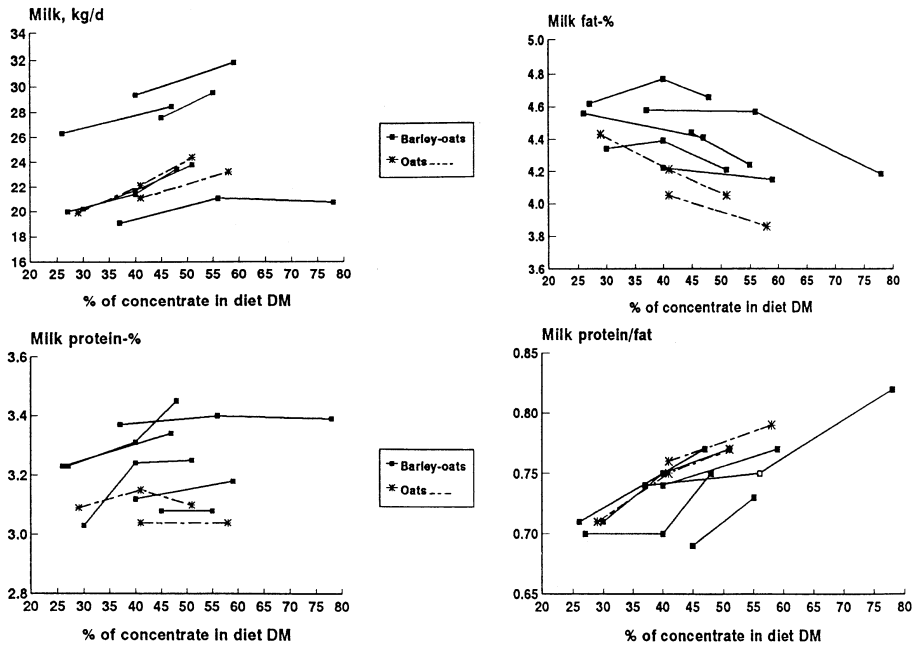
Säilörehun sulavuuden paranemisesta johtuva valkuaispitoisuuden lisääntyminen saattaa liittyä lisääntyneeseen säilörehun kuiva-aineen syöntiin, joka yhdessä paremman orgaanisen aineen sulavuuden kanssa lisää mikrobivalkuaisynteesiä pötsissä. Suurin osa julkaistusta aineistosta viittaa siihen, että valkuaisen pötsihajoavuus vähenee, jos säilörehu tehdään myöhemmällä kasvuvasteella (Huhtanen 1993a). Koska raakavalkuaispitoisuus ja todennäköisesti myös pötsissä sulamattoman rehuvalkuaisen ohutsuoლისulavuus heikkenevät samanaikaisesti on epätodennäköistä, että ohutsuo-lesta imeytyvän sulavan rehuvalkuaisen saanti lisääntyisi kasvuvasteen myötä (Jaakkola & Huhtanen 1992b).

Valkuaispitoisuuden ja -tuotoksen lisääntyminen eivät voi yksin johtua hyvin sulavan säilörehun runsaammasta kuiva-

aineen syönnistä. Thomasin et al. (1981) ja Heikkilän et al. (1989d) kokeissa maidon valkuaispitoisuus ja -tuotos paranivat aikaisin korjatulla säilörehulla myöhään korjattuun verrattuna, vaikka säilörehun kuiva-aineen syönnissä ei ollut mitään eroa. Tässä tapauksessa positiivinen vaikutus voi liittyä lisääntyneeseen mikrobivalkuaisynteesiin, mikä puolestaan voi johtua lisääntyneestä sulavan orgaanisen aineen saannista sekä säilörehun suuremmasta energiapitoisuudesta (Huhtanen 1993a). Vaikka tyypitappiot pötsistä pienivät säilörehun sulavuuden huonontuessa, ei-ammoniumtypen (NAN) virtaus ohutsuoleen lisääntyi hieman säilörehun sulavuuden parantuessa (Jaakkola & Huhtanen 1992b).

4.3.7 Väki-rehun määrä

Säilörehuun perustuvassa ruokinnassa rehuannoksen väki-rehun määrän lisääminen on lisännyt maito-, rasva- ja valkuais- tuotosta, mutta sillä on ollut vain hyvin vähän vaikutusta rasva- ja valkuaispitoisuuteen (0–2 g/kg) suomalaisissa kokeissa väki-rehumäärän ollessa kohtuullinen (25–60 % kuiva-aineesta) (kuva 5). Rehuannoksen väki-rehun määrän lisääminen on johdonmukaisesti lisännyt maidon valkuais/rasva- suhdetta, mutta vaikutus maidon valkuaispitoisuuteen on ollut melko pieni. Vaikutus valkuaispitoisuuteen näyttää olevan suurempi väki-rehun osuuden ollessa pieni verrattuna suurempaan väki-rehun osuuteen (Heikkilä et al. 1995a). Heikkilän (1994) kokeessa vaikutus oli vain 0,1 g/kg väki-rehukiloa kohti, kun väki-rehun (vilja + sivutuotteet) määrä lisääntyi 9:stä 15 kiloon päivässä. Aiemmassa kokeessa vaikutus maidon valkuaispitoisuuteen oli noin 0,3 g/kg väki-rehukiloa kohti väki-rehumäärän vaihdelta 5 ja 10 kilon välillä (Heikkilä et al. 1989b). Tämän perusteella näyttää siltä, että jos maidon keskimääräistä valkuaispitoisuutta halutaan nostaa Suomessa 1 g/kg, tarvitaan noin 1000 kiloa enemmän väki-rehua lehmää kohti vuodessa (Heikkilä et al. 1995a).



Kuva 5. Dieetin väkirehun osuuden vaikutus maitotuotokseen ja maidon koostumukseen (Heikkilä et al. 1995a).

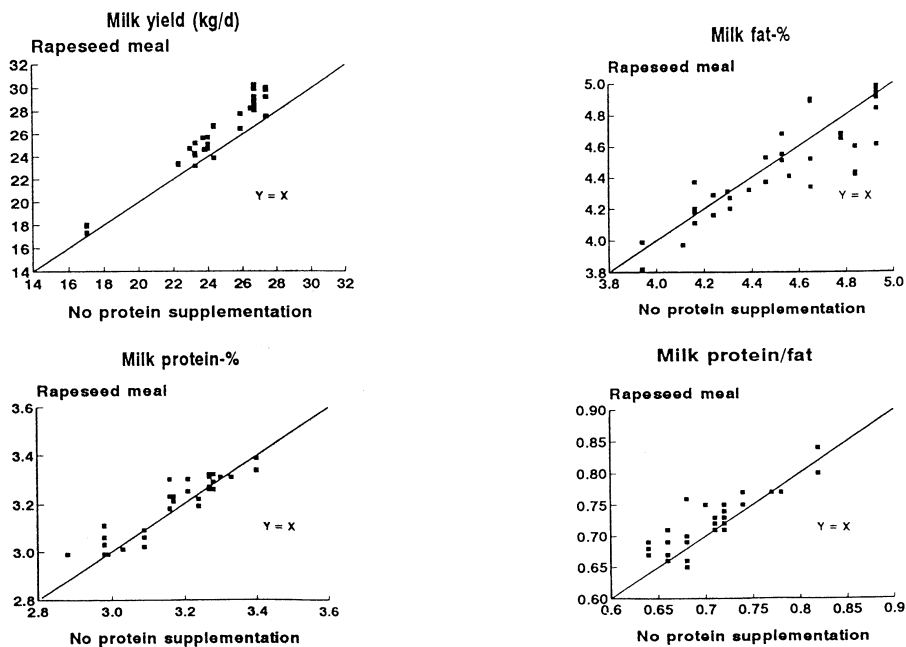
4.3.8 Väkirehun koostumus

Hiilihydraatit

Ohran korvaaminen kauralla on lisännyt maitotuotosta, ja alentanut rasva- ja valkuaispitoisuutta niin, että rasvan ja valkuaisen tuotost määrät ovat olleet yhtä suuria molemmilla viljoilla (Heikkilä et al. 1988, 1991). Ohran fyysikaalinen käsittely pienensi maidon rasvapitoisuutta merkittävästi (44,1 vs. 41,1 g/kg) ja samalla maidon valkuaispitoisuus lisääntyi hieman (Huhtanen & Heikkilä 1995). Edellä mainitun kokeen vaikutusmekanismeja ei vielä tunneta, mutta todennäköisesti ne liittyvät ainakin osittain muutoksiin pötsikäymisissä. Käsitelty ohra vähensi hieman palmitiinihapon osuutta ja lisäsi öljyhapon ja etenkin linolihapon osuutta maidon rasvahapoissa käsittelemättömään ohraan verrattuna (Heikkilä et al. 1995a).

Ohran korvaaminen sokerijuurikasleikkeellä (Huhtanen 1987) tai vehnänleseellä

(Huhtanen 1991) tai ohra-kauraseoksen osittainen korvaaminen kuitupitoisilla sivutuotteilla (Huhtanen et al. 1995, Heikkilä et al. 1990) eivät vaikuttaneet maidon valkuaispitoisuuteen. Toisaalta ohrarehun syöttäminen (Ala-Seppälä et al. 1988) ja ohran korvaaminen kuitupitoisilla sivutuotteilla (Huhtanen 1993b) vähensivät maidon valkuaispitoisuutta, mutta lisäsivät valkuaispitoisuutta. Näissä kokeissa valkuaispitoisuuden väheneminen kuitupitoisilla rehuilla saattaa johtua yksinkertaisesti laimennusvaikutuksesta ja/tai hyvin tunnetusta lisääntyneen rasvapitoisuuden aiheuttamasta valkuaispitoisuuden pienemisestä. Maidon suurempi valkuaispitoisuus sokerijuurikasleikkeellä (Huhtanen 1987) ja ohrarehulla ruokittaessa (Ala-Seppälä et al. 1988) voi liittyä lisääntyneeseen ei-ammoniumtyypin (NAN) virtaukseen ohutsuolessa, mikä johtuu näiden lisärehujen pienemmästä hajavuudesta pötsissä sekä propionihapon osuuden kasvusta pötsin VFA:ssa, jolloin aminohappojen hyväksikäyttö maidon val-



Kuva 6. Rypsirohelin vaikutus maitotuotokseen ja maidon koostumukseen (Heikkilä et al. 1995a). (Aineisto: Heikkilä et al. 1986, 1989a, 1992 ja julkaisematon, Huhtanen et al. 1991, Huhtanen & Heikkilä 1995, Tuori 1992, Tuori & Syrjälä-Qvist 1995, Jaakkola et al., julkaisematon, Varvikko et al. 1995).

kuaisen synteessin paranee (Heikkilä et al. 1995a).

Valkuaisrehut

Rypsirouhe on märehitjiden tärkein valkuaisen lähde Suomessa. Huolimatta riittävästä sulavan raakavalkuaisen saannista, ruohosäilörehuun perustuvilla ruokinnoilla hyvälaatuinen valkuaislisärehu on lisännyt maitotuotosta ja rasva- ja valkuaisuutosta. Rypsirouheen vaikutus maidon rasva- ja valkuaispitoisuuksiin on ollut vaihteleva, mutta useimmissa tapauksissa rasvapitoisuus on pienentynyt hieman ja valkuaispitoisuus ja valkuais/rasva -suhe lisääntynyt verrattuna lehmiin, jotka eivät ole saaneet valkuaislisärehua (kuva 6) (Heikkilä et al. 1995a).

Valkuaislisärehun vaikutukset voivat johtua lisääntyneestä pötsissä hajoamatto-

man valkuaisen määrästä ja lisääntyneestä pötsin mikrobivalkuaisisynteestistä, mikä taas johtuu lisääntyneestä syönnistä ja mahdollisesti parantuneesta synteositehokkudesta. Vaikka valkuaislisän vaikutukset ovat olleet positiivisia, mitään lisähyötyä ei ole saatu rypsirouheen pötsihajoavuuden pienentämisestä kuumennuskäsittelyn avulla (steam-heat processes) (Huhtanen 1991, Tuori 1992, Huhtanen & Heikkilä 1995, Varvikko et al. 1995). Myöskään kalajauholla ei ole saatu parempia tuloksia kuin rypsirouheella, kun tarkastellaan valkuaisuutosta lisättyä valkuaisyksikköä tai lisättyä hajoamatonta valkuaisyksikköä kohti. Tämä viittaa siihen, että arvioitujen hajoamattoman rehuvalkuaisen saannin ja maidon valkuaispitoisuuden välinen yhteys ei ole kovin yksinkertainen, ilmeisesti sen takia, että valkuaisen hajoavuuden muuttaminen voi vaikuttaa pötsin mikrobi-

valkuaisyynteesin tehokkuuteen (Heikkilä et al. 1995a).

Valkuaisrehun vaikutukset maidon valkuaispitoisuuteen voivat riippua perusrehun koostumuksesta (Heikkilä et al. 1995a). Huhtasen (1993b) ja Huhtasen et al. (1995) kokeissa kuitupitoinen rehu lisäsi valkuaispitoisuutta hieman enemmän kuin tärkkelyspitoinen lisärehu. Kuitupitoisen väkirehun kanssa valkuaisrehu lisäsi maidon valkuaispitoisuutta enemmän kuin viljan kanssa. Vastaavasti valkuaisrehu lisäsi maidon valkuaispitoisuutta käytettäessä muurahaihapposäilörehua, mutta ei käytettäessä entsyymisäilörehua (Jaakkola et al. 1995). Heikkilän et al. (1995c) tutkimuksessa valkuaispitoisuus lisääntyi enemmän täydennettäessä runsaammin käynyttä rehua, joskaan ero ei ollut merkitsevä. Huhtasen et al. (1996) tutkimuksessa kaseiini lisäsi valkuaispitoisuutta hieman enemmän pitkälle käyneen säilörehun kanssa. Tulos on samansuuntainen aiempien tulosten kanssa.

Rasva

Väkirehuihin on lisätty rasvaa niiden energiapitoisuuden lisäämiseksi sekä maitorasvan pehmentämiseksi. Rehuun lisätty rasva kuitenkin heikentää kuidun sulavuutta, mikä vähentää syöntiä ja maidon valkuaispitoisuutta. Rasvahappojen haitallisia vaikutuksia pötsin toimintaan on voitu osittain poistaa välttämällä liian suuria rasvannoksia sekä antamalla rasva kalsiumsuoloina (Huhtanen 1995).

Rehuannokseen lisätyn rasvan on todettu joissakin kokeissa vähentävän maitovalkuaisen kaseiinin osuutta ja maidon ei-proteiinityyppiyhdisteiden osuuden samalla kasvavan huomattavasti (Steele 1985, DePeters et al. 1987).

4.3.9 Ruokintastrategiat

Maatalouden tutkimuskeskuksessa sekä ulkomaisista että kotimaisista kokeista tehdyssä analyysissä selvitettiin väkirehutasojen vaikutusta mm. maitotuotokseen ja maidon koostumukseen (Ryhänen et al. 1996). Rehuannoksen väkirehun osuuden lisääntyminen pienensi maidon valkuaispitoisuutta ja -tuotosta (119 havaintoa). Valkuaispitoisuuden muuttumista selitti parhaiten väkirehutason muutos, ja valkuais- tuotokseen vaikuttivat eniten väkirehun raakavalkuaispitoisuuden sekä väkirehutason muutos. Edellä mainittujen tekijöiden vaikutukset valkuaispitoisuuteen ovat vastakkaisia, sillä väkirehun raakavalkuaispitoisuuden lisääntyminen vaikutti positiivisesti ja väkirehun määrän lisääntyminen negatiivisesti maidon valkuaispitoisuuteen.

4.4 Maidon rasvapitoisuus

4.4.1 Haihtuvien rasvahappojen infuusio pötsiin

Niiden suomalaisten kokeiden perusteella (Blauwiekel et al. 1992, Huhtanen et al. 1993a, Miettinen & Huhtanen 1996), joissa haihtuvia rasvahappoja on infusoitu pötsiin, voidaan olettaa, että kasvattamalla propioni/voihappo -suhdetta pötsissä on mahdollista alentaa maidon rasvapitoisuutta merkittävästi. Maidon rasvapitoisuus aleni 0,9 g/kg voi-hapon osuuden vähentyessä 10 mmol/mol. Tyypillisillä amerikkalaisilla ruokinnoilla propionihapon mooliosuus on 200–220 mmol/mol ja voi-hapon 100–120 mmol/mol, kun suomalaisella ruokinnalla vastaavat luvut ovat 160–180 ja 140–160 mmol/l. Edellä mainittuja pötsin VFA-suhteiden ja maidon rasvapitoisuuden välillä olevia riippuvuussuhteita sekä tyypillisiä pötsin VFA-suhteita suomalaisia ja amerikkalaisia dieettejä käyttämällä voidaan laskea, että suomalainen ruokintatyyppi aiheuttaa noin 4–5 g/kg suuremman maidon rasvapitoisuuden (Huhtanen 1995, Heikkilä et al. 1995a).

4.4.2 Karkearehun koostumus

Maidon koostumuksen muuttamisessa on aiemmin korostettu rehuannoksen väkirehun osuutta, ja vähemmän huomiota on kiinnitetty karkearehun koostumukseen. Karkearehun koostumuksella voi kuitenkin ainakin Suomen olosuhteissa olla suurempi vaikutus maidon koostumukseen (rasvapitoisuuteen) kuin väkirehun määrällä ja koostumuksella (Huhtanen 1995, Heikkilä et al. 1995a).

4.4.3 Laidun

Siirtyminen sisäruokinnasta laidunruokintaan vähentää maidon rasvapitoisuutta selvästi, vaikka väkirehun käyttö samalla usein vähenee. Syksyllä muutokset ovat päinvastaisia siirryttäessä sisäruokintaan. Laidunruohon sokereiden vaikutus pötsikäymiseen näyttää olevan erilainen kuin säilörehun, sillä runsaasti sokereita sisältävä laidunrehu tuottaa propionihappovaltaisen pötsikäymisen, kun taas säilörehun suuri sokeripitoisuus lisää voi- ja/tai etikkahapon osuutta. Säilö- ja laidunrehulla on siis erilainen vaikutus pötsikäymiseen, mutta syyt tähän ei kuitenkaan tunneta. Eräs syy voi olla nuoren ruohon suuri rasvapitoisuus ja erityisesti sen monitydyttymättömät rasvahapot. Näiden epätäydellinen biohydrogenaatio johtaa maidon rasvapitoisuutta vähentävien *trans*-rasvahappojen (Selner & Schultz 1980) muodostumiseen pötsissä.

4.4.4 Kasvilaji

Puna-apila- tai puna-apila-ruohosäilörehu vaikuttavat paremmilta rehuilta maidontuotannossa ruohosäilörehuun verrattuna silloin, kun rehujen sulavuudet ovat yhtä hyviä (Heikkilä et al. 1992). Kun vertailurehujen sulavuus oli sama, puna-apilaa sisältäneillä rehuilla maitotuotos lisääntyi samalla, kun rasvapitoisuus pieneni. Maidon valkuaispitoisuus ei muuttunut. Lisääntyi

nyt tuotanto johtui puna-apilapitoisilla säilörehuilla suuremmasta laktoosin ja valkuaisen tuotannosta (Huhtanen 1993a).

Heikkilän et al. (1989c) tutkimuksessa italian- ja westerwoldin raiheinästä tehty säilörehu vähensi maidon rasvapitoisuutta selvästi (41,9 vs. 44,3 g/kg) monivuotisista nurmikasveista tehtyyn säilörehuun verrattuna huolimatta siitä, että raiheinästä tehty rehu oli huomattavasti vähemmän käynyt. Tämän kokeen tulokset viittaavat siihen, että pötsikäymisen lopputuotteiden suhteita ei aina voida ennustaa säilörehun käymistuotteiden pitoisuuksista (Huhtanen 1995).

4.4.5 Nurmirehun säilöntätapa

Samalla kasvuasteella korjattu heinä ja säilörehu eivät ole järjestelmällisesti vaikuttaneet maidon rasvapitoisuuteen (Bertilson 1983, Heikkilä 1993, Tuori 1992). Erilaiset tulokset voivat johtua paitsi säilöntätavasta myös säilörehun käymisasteen vaihteluista (Huhtanen 1995). Samalla kasvuasteella korjatun heinän ja säilörehun erilainen vaikutus saattaa olla enemmän yhteydessä säilörehun käymisasteeseen kuin säilöntätapaan. Erot pötsikäymisessä heinää saaneilla ja rajoittuneesti käynyttä säilörehua saaneilla naudoilla olivat Jaakkolan ja Huhtasen (1993) kokeessa hyvin pieniä verrattuna toisinaan havaittuihin suuriin eroihin kahden eri tavalla käyneen säilörehun välillä. Säilörehuruokinnolla pötsikäyminen näyttää muuttuvan vähemmän kuin heinäruokinnalla dieetin väkirehun osuuden kasvessa (Thomas & Chamberlain 1982, Jaakkola & Huhtanen 1993). Tämä voi selittää melko pienet maidon rasvapitoisuuden muutokset väkirehutason noustessa säilörehuruokinnalla (Huhtanen 1993a).

4.4.6 Säilörehun esikuivatus

Säilörehun esikuivatuksen vaikutukset maidon koostumukseen ovat olleet pieniä ja

vaihtelevia. Useista kokeista tehdyn analyysin mukaan esikuivatuksella ei ole ollut keskimäärin mitään vaikutusta maidon rasvapitoisuuteen (kuva 3). Esikuivatuksen vaikutus rasvapitoisuuden vaihteluun oli kuitenkin melko suuri (-2,4–2,3 g/kg). Esikuivatuksesta johtuva maidon rasvapitoisuuden vaihtelu saattaa ehkä ennemmin johtua käymisasteen eroista kuin säilörehun kuiva-ainepitoisuudesta (Huhtanen 1993a, Heikkilä et al. 1995a).

4.4.7 Säilörehun käymislaatu

Useissa kokeissa paljon maitohappoa sisältänyt rehu on pienentänyt maidon rasvapitoisuutta. Rajoittuneesti käynnyttä säilörehua saaneiden lehmien maidon suurempi rasvapitoisuus saattaa johtua pötsin alentuneesta propioni/voihappo -suhteesta tai etikka- ja voihappo/propionihappo -suhteesta. Joskus runsas vesiliukoisten hiilihydraattien määrä lisää pötsin etikkahapon tuotantoa voihapon sijasta (Huhtanen 1993a). Pötsin lisääntynyt maitohapon saanti ja propionihapon tuotanto eivät kuitenkaan aina ole pienentäneet rasvapitoisuutta (Huhtanen & Miettinen 1992, Choung & Chamberlain 1993). Tämä saattaa liittyä siihen, että jo pelkkä perusrehu tuottaa paljon voihappoa tai voihappoa syntyy lisääntyneen maitohapon saannin seurauksena (Huhtanen 1993a).

Maidon rasvapitoisuus on ollut jopa 3–4 g/kg pienempi pitkälle käynnyttä säilörehua saaneilla lehmillä kuin rajoittuneesti käynnyttä rehua saaneilla eläimillä (Heikkilä et al. 1989d, 1991). Ero rasvapitoisuudessa on melko suuri verrattuna väkirehumäärän lisäämisellä saavutettuun rasvapitoisuuden vähenemiseen. Pitkälle käyneen säilörehun syöttäminen on kuitenkin usein vähentänyt säilörehun kuiva-aineen syöntiä ja maitotuotosta etenkin silloin, kun säilörehun valkuaisen hajoaminen on lisääntynyt (Heikkilä et al. 1995a).

Rehun säilöntä biologisilla säilöntäaineilla näyttäisi hyvin lupaavalta menetelmältä vähentää maidon rasvapitoisuutta.

Ongelmana on kuitenkin menetelmän riskialttius erityisesti tuoreen rehun säilönnässä ja epäonnistuneiden säilörehujen aiheuttamat maidon laatuongelmat. Lisääntynyt rehun käyminen vähentää rehun syöntiä ja usein myös maitotuotosta (Huhtanen 1993a).

4.4.8 Nurmirehun sulavuus

Säilörehun sulavuuden vaikutukset maidon rasvapitoisuuteen ovat olleet vaihtelevia. Voisi olettaa, että myöhään korjatun säilörehun suurempi kuitupitoisuus lisäisi maidon rasvapitoisuutta, mutta säilörehun myöhempi korjuu on jopa hieman vähentänyt rasvapitoisuutta (Heikkilä et al. 1993, Rinne et al. 1995). Etikkahapon mooliosuus VFA:sta on lisääntynyt odotusten mukaisesti säilörehun kuitupitoisuuden lisääntyessä, mutta maidon rasvapitoisuuteen enemmän vaikuttavan voihapon mooliosuus on sen sijaan ollut aikaisin korjatulla rehulla suurempi (Jaakkola et al. 1993b, Rinne et al. 1995). Säilörehun korjuuasteen vaihteleva vaikutus rasvapitoisuuteen voi osittain johtua käymisasteen eroista. Vaikka säilörehut olisi tehty samasta niitosta, erilaiset säilöntäolosuhteet ja ruohon kemiallisen koostumuksen muutokset ruohon vanhetessa voivat muuttaa säilörehun käymislaatua odottamattomasti. Aikaisella kasvuasteella säilötyn ruohon valkuaispitoisuus ja puskurikapasiteetti (pH:n laskua estävä ominaisuus) ovat suuremmat, mikä voi aiheuttaa eroja käymisasteessa silloin ellei käytetä erittäin runsaita happomääriä (Huhtanen 1993a, 1995).

4.4.9 Väkirehun määrä

Heinän ollessa karkearehuna rehuannoksen väkirehun osuuden lisääminen on kuitupitoisuuden pienenemisen seurauksena pienentänyt lipogeenisten rasvahappojen osuutta ja sitä kautta maidon rasvapitoisuutta (Huhtanen 1995). Vaikutukset ovat

korostuneet väkirehun osuuden ylittäessä 60 % kuiva-aineesta (Sutton 1984, Thomas & Martin 1988). Säilörehuun perustuvalla ruokinnalla maidon rasvapitoisuutta ei kuitenkaan voida oleellisesti vähentää väkirehun määrää lisäämällä (Huhtanen 1995). Kotimaisten tutkimusten mukaan väkirehu on suurinakin määrinä käytettynä vähentänyt rasvapitoisuutta vain vähän (Heikkilä et al. 1995a).

Väkirehun ruokintakertoja lisäämällä tai seosrehuruokintaa käyttämällä voidaan vähentää suuren väkirehumäärän aiheuttamaa haittaa, mutta näillä ruokintamenetelmillä maidon rasvapitoisuus säilyy muuttumattomana, vaikka väkirehun määrä olisi suurikin (Aaes 1993).

Viljalajilla ja väkirehun määrällä näyttää olevan yhteisvaikutus maidon koostumukseen. Väkirehumäärän ollessa pieni (25–40 % kuiva-aineesta) maidon rasvapitoisuus on pienentynyt kauran osuuden lisääntyessä rehussa. Ohra-kauraseoksen (1:1) osuuden lisääntyessä dieetissä rasvapitoisuus on jopa hieman lisääntynyt, ja taas hyvin suurilla väkirehumäärillä rasvapitoisuus on pienentynyt (Heikkilä et al. 1989b) (kuva 5). Suurien väkirehumäärien syöttäminen voi helposti aiheuttaa terveysongelmia ennen kuin maidon rasvapitoisuus pienenee huomattavasti (Heikkilä et al. 1995a).

Edellä kuvatut maidon rasvapitoisuuden muutokset selittyvät väkirehun vaikutuksilla pötsikäymiin. Jaakkolan ja Huhtasen (1993) tutkimuksessa väkirehun (ohra-rypsirouhe) osuuden (25-50-75) vaikutus propionihapon osuuteen oli hyvin pieni (165, 157 ja 170 mmol/mol), mutta voihapon osuus lisääntyi voimakkaasti (143, 160 ja 174 mmol/mol). Myös aiemmassa kirjallisuuskatsauksessa (Huhtanen 1987) väkirehun määrän vaikutukset pötsin propioni- ja voihappojen osuuksiin olivat samansuuntaisia. Näyttääkin siltä, että pienin propionihapon osuus ja suurin rasvapitoisuus saavutetaan väkirehun taloudellisesti ja biologisesti optimaalisella määrällä (30–40 % kuiva-aineesta), mikä on normaali käyttömäärä Suomessa (Huhtanen 1995, Heikkilä et al. 1995a).

4.4.10 Väkirehun koostumus

Hiilihydraatit

Ruokinnassa ohran korvaaminen kauralla on useiden tutkimusten mukaan vähentänyt maidon rasvapitoisuutta (Heikkilä et al. 1988, 1991, Martin & Thomas 1988). Kaura on lisäksi vähentänyt maidon palmitiinihapon ja lisännyt öljyhapon osuutta (Kankare & Antila 1984). Vaikka ruokittaessa kauraa maidon rasvapitoisuus on ollut pienempi kuin käytettäessä ohraa, pötsikäymisen erot ovat olleet niin pieniä (Vanhatalo et al., julkaisematon), että sillä ei ainakaan kokonaan pystytä selittämään havaittua vaikutusta. Pienempi valkuaispitoisuus kauraruokinnalla voi osittain johtua pitkäketjuisten rasvahappojen aiheuttamasta lyhytketjuisten rasvahappojen synteesiä vähentävästä vaikutuksesta maitorauhasessa (Heikkilä et al. 1995a). Heikkilän et al. (1995b) koeksessa ohra-kauraseosta (1:1) saaneilla lehmillä maidon rasvapitoisuus oli selvästi suurempi (45,2 vs. 42,0 g/kg) kuin pelkkää kauraa saaneilla lehmillä. Tämän tuloksen perusteella näyttää siltä, että kauran käytöllä voidaan pienentää maidon rasvapitoisuutta vain korvaamalla ohra kokonaan kauralla (Huhtanen 1995).

Kuitupitoisten sivutuotteiden käyttö väkirehuissa on lisääntymässä osittain rehuanoksen hinnan alentamiseksi ja osittain tärkkelyspitoisten väkirehujen suuresta käyttömäärästä johtuvien haittavaikutuksien vähentämiseksi (Heikkilä et al. 1995a). Ohran korvaaminen kokonaan sokerijuurikasleikkeellä (Huhtanen 1987) tai ohrehulla (Ala-Seppälä et al. 1988) pienensi maidon rasvapitoisuutta kohtuullisia (n. 40 % kuiva-aineesta) väkirehumääriä käytettäessä. Ero johtui pääasiassa pötsinesteen propionihapon osuuden lisääntymisestä ja voihapon osuuden vähentymisestä (Huhtanen 1988, 1992, Murphy et al. 1993). Muutokset pötsin käymistyyppissä näyttävät johtuvan ohran pötsin alkueläimiä suosivasta (Jaakkola & Huhtanen 1993) ja esim. ohrarehun alkueläinten toimintaa estävästä vaikutuksesta (Huhtanen 1992). Vehnän-

lese (Huhtanen 1991) ja ohran korvaaminen osittain kuitupitoisilla raaka-aineilla (Huhtanen 1993b) ei vaikuttanut rasvapitoisuuteen. Puolet kauraa sisältävän viljaseoksen osittainen korvaaminen kuitupitoisilla raaka-aineilla lisäsi maidon rasvapitoisuutta hieman (Huhtanen et al. 1995). Väkirehun komponenttien välillä näyttää olevan jonkin verran yhdysvaikutusta eli monipuolista väkirehua käytettäessä maidon rasvapitoisuus on usein ollut hieman suurempi kuin mitä se on ollut annettaessa ohraa ja kuitupitoisia rehuja ainoana rehuna (Huhtanen 1987, 1991, Huhtanen et al. 1988).

Valkuaisrehut

Valkuaisrehujen käyttö on usein hieman vähentänyt maidon rasvapitoisuutta (esim. Thomas & Rae 1988), mutta yksittäisissä tutkimuksissa erot ovat harvoin olleet merkitseviä. Juokutusmahaan ja ohutsuoleen infusoitu kaseiini on useimmissa kokeissa vähentänyt maidon rasvapitoisuutta (Thomas & Chamberlain 1984). Suomalaisissa tutkimuksissa rypsirouhe on usein hieman vähentänyt maidon rasvapitoisuutta. Maitotuotoksen suhteellinen lisäys on kuitenkin lähes aina ollut suurempi kuin rasvapitoisuuden pieneneminen, joten rasvatuotos on useimmiten lisääntynyt väkirehun valkuaispitoisuuden lisääntyessä. Rasvapitoisuuden pieneneminen selittyy siten ainakin osittain ns. "laimenemisvaikutuksella" eli valkuaisrehut lisäävät suhteessa enemmän glukogeenisten ja aminogeenisten ravintoaineiden saantia lipogeenisiin ravintoaineisiin verrattuna. Valkuaisrehuilla ei ole todettu olevan niin suurta vaikutusta pötsin haihtuvien rasvahappojen suhteisiin, että maidon rasvapitoisuus muuttuisi oleellisesti (Huhtanen 1995).

Maidon rasvapitoisuus saattaa muuttua aminohappojen saannin ollessa epätasapainossa. Ainakin metioniinin epätasapainoinen eli liiallinen (infuusio) (Varvikko et al. 1996) tai liian vähäinen (höyhenjauho) saanti lisäävät maidon rasvapitoisuutta (ks. Huhtanen 1995).

Rasva

Rehurasvan vaikutukset maidon koostumukseen ovat olleet hyvin vaihtelevia. Muun muassa rasvan käyttömäärä, rasvahappokoostumus ja rasvan käyttömuoto, kuten siemen tai öljy, ovat aiheuttaneet vaihtelevia muutoksia maidon koostumuksessa. Eläinrasvat (esim. tali) ovat useimmiten lisänneet rasvapitoisuutta ja kasvirasvat ovat puolestaan yleensä pienentäneet rasvapitoisuutta. Yleensä monityydyttymättömät rasvahapot alentavat rasvapitoisuutta enemmän, koska niiden vaikutus pötsimikrobeihin on haitallisempi kuin tyydyttyneiden rasvojen. Erityisesti monityydyttymättömät rasvahapot vähentävät pötsin alkueläinten määrää, mikä muuttaa pötsin VFA-suhteita maidon rasvapitoisuutta pienentävään suuntaan. Pitkäketjuiset rasvahapot vähentävät lyhytketjuisten rasvahappojen synteesiä etikkahaposta estämällä asetyyli-Ko-A-karboksylaasin toimintaa (Moore & Christie 1981).

Rehurasvan käytön osalta olisi vielä tutkittava, voidaanko pienillä määrillä tiettyjä rasvahappoja vähentää pötsin alkueläimistöä ja muuttaa VFA-suhteita aiheuttamatta haittaa kuidun sulatukselle ja pienentämättä maidon valkuaispitoisuutta. Suurten rasvamäärien käytön ongelmana, erityisesti runsaasti monityydyttymättömiä rasvahappoja käytettäessä, ovat maidon makuvirheet (Moore & Christie 1981).

4.4.11 Ruokintastrategiat ja lisäaineet

Tasaväkirehuruokinta on vaikuttanut maidon rasvapitoisuuteen vain vähän käytettäessä melko suuriakin väkirehumääriä. Tämä johtuu ilmeisesti siitä, että säilörehuun perustuvalla ruokinnalla väkirehun vaikutukset rasvapitoisuuteen ovat yleensä pieniä (Huhtanen 1995). Maatalouden tutkimuskeskuksessa tehdyn selvityksen mukaan väkirehutason nousu pienentää rasvapitoisuutta. Samalla rasvatuotos kuitenkin lisääntyy (121 havaintoa) (Ryhänen et al. 1996).

Tällä hetkellä yleistymässä olevalla seosrehuruokinnalla maidon rasvapitoisuutta ei voida vähentää, vaan vaikutukset ovat pikemminkin päinvastaisia. Seosrehuruokinta mahdollistaa suurempien väkirehumäärien käytön pötsin toiminnan häiriintymättä ja erityisesti suuria väkirehumääriä käytettäessä seosrehuruokinnalla on voitu ylläpitää rasvapitoisuutta. Väkirehujen ruokintakertojen lisäämisellä tai väkirehujen automaattiruokinnalla on suunnilleen samanlaiset vaikutukset. Myös näiden menetelmien tarkoituksena on varmistaa pötsin normaali toiminta suuria väkirehumääriä käytettäessä. Samalla pötsin VFA-suhteet pysyvät rasvapitoisuutta ylläpitävällä tasolla. Runsaiden väkirehuannosten aiheuttamaa pötsin pH:n alenemista on pyritty estämään lisäämällä rehuun puskuroivia aineita, kuten natriumbikarbonaattia. Myös tämä, kuten muutkin runsaiden väkirehuannosten haittoja lieventävät menetelmät, lisää maidon rasvapitoisuutta (Huhtanen 1995).

Pötsin käymistyyppin muuttamiseksi on tutkittu useiden lisäaineiden käyttöä. Osa tutkituista aineista on ollut antibiootteja ja pääosa tutkimuksista on tehty lihanaudoilla, mutta viime vuosina kiinnostus niiden käyttöön myös lypsylehmien ruokinnassa on kasvanut pyrittäessä maidon rasvapitoisuuden vähentämiseen. Lisäaineet, kuten monensiini ja avoparsiini, muuttavat pääasiassa etikka/propionihappo -suhdetta, kun taas voihamon osuuteen niillä on pienempi vaikutus. Voihamon osuuden muutoksella olisi kuitenkin meidän ruokintatyyppillämme selvästi suurempi vaikutus rasvapitoisuuteen (Huhtanen 1995). Maa- ja metsätalousministeriön asettaman mikrobilääkeainetyöryhmän mukaan antibioottisten rehun lisäaineiden käyttöä olisi pyrittävä järjestelmällisesti vähentämään. Sellaisia antibioottisia lisäaineita, joita vastaan kehittyä helposti vastustuskykyä tai joita käytetään sairauksien hoitoon, ei tulisi käyttää lainkaan. Eräs tällainen on avoparsiini, joka kuuluu samaan mikrobilääkeaineryhmään kuin ihmisillä vakavien infektioiden reservilääkkeenä käytetty vankomyysiini. Avoparsiinin käyttö lypsylehmille

kiellettiin Euroopan yhteisössä 1995, kun havainnot sen vankomysiiniresistenssiä aiheuttavasta kyvystä jatkuvasti lisääntyivät (MMM 1996).

4.5 Maidon rasvahappokoostumus

Rasvojen ja öljyjen lisääminen rehuun lisää rehun energiapitoisuutta, mikä voi olla tarpeen runsastuottoisilla lehmillä ja maidontuotantokauden alussa energiantarpeen ollessa suurin. Rehuun lisätyt rasvat ja öljyt voivat muuttaa maidon rasvahappokoostumusta monella eri tavalla. Yleensä ne lisäävät maidon pitkäketjuisten ja vähentävät lyhytketjuisten rasvahappojen osuutta. Tämä johtuu lyhytketjuisten rasvahappojen *de novo*-synteesin vähenemisestä maitorauhasessa. Tällainen vaikutus syntyy, kun rasvalisäyksestä johtuen pötsin kuidun sulatus heikkenee ja etikkahapon tuotanto vähenee (Palmquist & Jenkins 1980).

Vaihtoehtoisesti rasvahappokoostumusta voidaan muuttaa lisäämällä rehuun pitkäketjuisia rasvahappoja, jotka siirtyvät maitoon ja samalla estävät lyhytketjuisten happojen synteesiä maitorauhasessa (Storry 1988). Rasvat, jotka ohittavat pötsin biohydrogenaation, voivat lisätä tyydyttymättömien rasvahappojen siirtymistä maitoon (Clapperton et al. 1980). Jos pitkäketjuiset rasvahapot ovat suhteellisen tyydyttyneitä, C_{18:0}-rasvahappo voidaan desaturoida C_{18:1}-hapoksi (Banks et al. 1976).

Maidon rasvahappokoostumukseen vaikuttavia ruokinnallisia tekijöitä on rasvaruokinnan lisäksi useita. Aliruokintatilanteessa dieetistä peräisin olevien etikkahapon ja glukoosin määrä vähenee, mikä vähentää lyhytketjuisten rasvahappojen synteesiä maitorauhasessa ja lisää rasvahappojen käyttöä rasvakudoksesta (Palmquist et al. 1993), minkä on havaittu lisäävän maidon C_{18:1}-rasvahapon osuutta (Bitman et al. 1984, Miettinen & Huhtanen 1989). Maidon C_{18:1}-rasvahapon osuuden lisääntymisellä on taipumus vähentää valkuaispitoisuutta.

Laidunruokinta lisää pitkäketjuisten rasvahappojen osuutta maidon rasvassa, kun taas sisäruokintakaudella lyhytketjuisten rasvahappojen osuus on suhteellisesti ottaen suurempi. Laiduntavien lehmien maidon rasva sisältää yleensä myös enemmän tyydyttymättömiä rasvahappoja, joten rasva on pehmeämpää. Pötsikäymisen muuttuminen enemmän voihapsaaksi lisää maidon C₄- ja C₆-C₈-rasvahappojen määrää. Lisäksi säilörehun käymisellä ja väkirehun koostumuksella on vaikutusta maidon rasvahappokoostumukseen. Leikkeen syöttäminen ja propionihapon tuotantoa lisäävä pötsikäyminen yleensä lisäävät parittoman määrän hiiliatomeja sisältävien C₁₅- ja C₁₇-rasvahappojen osuutta maidossa. Dieetin valkuaisen vaikutusta maidon rasvahappokoostumukseen on tutkittu vähän, mutta ilmeisesti valkuaisen runsaampi saanti maidontuotantokauden alussa lisää rasvan mobilisaatiota kudoksista (Oldham 1984), mikä saattaisi lisätä pitkäketjuisten rasvahappojen osuutta maidon rasvassa (Palmquist et al. 1993).

Kun väkirehun osuus kasvaa yli 50 % rehun kuiva-aineesta, lisääntynyt tärkkelyksen saanti pienentää maidon rasvapitoisuutta ja samalla muuttaa maidon rasvahappokoostumusta. Useissa tapauksissa lyhytketjuisten rasvahappojen osuus pienenee ja C₁₈-rasvahapon osuus lisääntyy. Muutokset riippuvat kuitenkin väkirehun viljalajista ja rasvapitoisuudesta (Palmquist et al. 1993). Maidon rasvapitoisuuden pienentyminen ohraan perustuvalla ruokinnalla vaikutti vain hyvin vähän maidon lyhytketjuisten rasvahappojen osuuteen (Baldwin et al. 1969), kun sen sijaan runsaaseen maissiin perustuvalla ruokinnalla lyhytketjuisten rasvahappojen osuus pieneni huomattavasti (ks. Palmquist et al. 1993). Soijaöljyn lisääminen väkirehuun (0 tai 10 % soijaöljyä väkirehussa) muutti odotetusti maidon rasvahappokoostumusta, mutta ruokintakertojen määrällä (2 tai 24 kertaa vuorokaudessa) oli vain erittäin vähäinen vaikutus maidon rasvahappokoostumukseen (Banks et al. 1980).

4.6 Maidon valkuais/rasva -suhde

Vaikka maidon rasva- ja valkuaispitoisuus ovat vahvasti geneettisesti korreloituneet, rasvapitoisuutta voidaan vähentää ja valkuaispitoisuutta lisätä muuttamalla ruoansulatuskanavasta imeytyvien ravintoaineiden koostumusta (Heikkilä et al. 1995a). Blauwielkin et al. (1992) kokeessa pötsiin infusoidusta VFA:sta voihapsausta korvaaminen propionihapolla ja ohravalukuaisen korvaaminen kalajauholla lisäsi maidon valkuais/rasva -suhdetta 0,74:stä 0,88:aan, ja maidon rasva- ja valkuaispitoisuudet korreloivat negatiivisesti. Kokeessa ollut voihsausta ja ohravalukuaisen yhdistelmä tuotti saman valkuais/rasva -suhteen, kuin mitä suhde on keskimäärin tarkkailutiloilla Suomessa. Tämä osoittaa, että suomalaiset lehmät pystyvät tuottamaan maitoa, jonka valkuais/rasva -suhde on suuri edellyttäen, että ruoansulatuskanavasta imeytyvät ravintoaineet on oikein tasapainotettu. Ongelmana on, miten tehdä sellainen dieetti käytännön tiloille (Heikkilä et al. 1995a).

Vuonna 1993 Suomessa lehmänmaidossa oli rasvaa 43,8 g/kg ja valkuaista 32,7 g/kg. Valkuais/rasva -suhde oli pienempi kuin muissa EU-maissa (Heikkilä et al. 1995a). Maidon rasvapitoisuus ei ole kuitenkaan EU-maiden suurin ja valkuaispitoisuuskin on vähintään keskitasoa.

4.7 Maidon laktoosipitoisuus

Laktoosi on tärkein aine maidon osmoottisen paineen säätelyssä. Toisin sanoen laktoosi säätelee maidon vesipitoisuutta ja siten maitomäärää. Laktoosi muodostuu Golgin rakkuloiden erityssoluissa, joihin virtaa vettä tasaisen osmoottisen paineen säilyttämiseksi. Valkuainen ja sen jälkeen rasva laimennetaan niiden lopullisiksi pitoisuuksiksi maidossa tällä menetelmällä (Davies et al. 1983).

Kokeessa, jossa voi- ja propionihappoa infusoitiin pötsiin, voihsausta vähensi maidon laktoosipitoisuutta ja -tuotosta. Samalla maitotuotos pieneni ja rasvapitoisuus li-

Taulukko 6. Säilörehun säilöntäaineen vaikutus maidontuotantoon (Heikkilä et al. 1991).

	Säilöntäaine				Ero
	MH	LA ₁ +E ₁	LA ₁ +E ₁ +I	LA ₂ +E ₂	MH vs. muut
Säilörehu					
Vesiliukoiset					
hiilihydraatit (g/kg ka)	34	16	27	18	
Maitohappo (g/kg ka)	58	85	89	74	
Ammoniumtyppi (g/kg N)	36	70	56	50	
Syönti (kg ka/pv)					
Säilörehu	12,9	11,4	11,8	11,7	
Yhteensä	20,0	18,5	18,8	18,8	
Maitoa (kg/pv)	26,3	26,5	26,1	26,5	-0,2
Maidon koostumus (g/kg)					
Rasvaa	43,7	40,4	41,0	39,5	9,0
Valkuaista	33,8	32,0	32,5	32,2	4,9
Laktoosia	48,9	48,7	48,5	48,8	0,5
Tuotos (g/pv)					
Rasva	1139	1058	1068	1043	7,8
Valkuainen	884	842	849	846	4,5
Laktoosi	1285	1293	1263	1293	0,2
Elopainon muutos (kg/pv)	+0,09	-0,07	-0,03	-0,12	

MH = muurahaishappo, LA = maitohappobakteeri, E = entsyymi (pääasiassa sellulaasia), I = inhibiittori (natriumformaatti). Alaviitteet 1 ja 2 ovat erilaisia maitohappobakteeri- tai entsyymiseoksia

sääntyi. Voihapon saannin lisääntyminen vähensi plasman glukoosipitoisuutta (Huhtanen et al. 1993a). Myös Blauwiekelin et al. (1992) kokeessa vastaavien rasvahappojen infuusioilla saatiin samansuuntaiset tulokset. Alemmalla tuotostasolla voihapon osuuden lisääminen pötsin VFA:sta ei sen sijaan vaikuttanut maitotuotokseen, mutta laktoosipitoisuus pieneni (Huhtanen et al. 1993).

Säilörehun käymisasteella on ollut pieni vaikutus maidon laktoosipitoisuuteen. Suhteellinen ero laktoosituotoksessa rajoittuneesti käyneen ja pitkälle käyneen rehun välillä on ollut pienempi kuin valkuais- ja rasvatuotoksessa (taulukko 6). Tämä vastaa myös sitä suhteellista eroa maidon esiaineissa, jotka tulevat eläimen käyttöön näistä kahdesta erityyppisestä säilörehusta. Paljon maitohappoa sisältävät säilörehut tuottavat

suhteellisesti enemmän glukogeenisiä ravintoaineita kuin valkuaisen tai rasvan esiaineita verrattuna rajoittuneesti käyneeseen säilörehuun. Suomalaisista kokeista tehdyn regressioanalyysin perusteella voidaan olettaa, että paljon maitohappoa sisältävää rehua saavat lehmät voisivat tuottaa enemmän maitoa, jossa olisi vähemmän rasvaa ja valkuaista kuin lehmät, jotka saavat rajoittuneesti käynyttä rehua, jos rehun syönnissä ei olisi eroja (Huhtanen 1993a). Propioni- ja voi hapon infuusioilla aikaansaatu samanlainen suhde pötsin VFA:ssa kuin kahdella erityyppisellä säilörehulla syntyvä suhde viittaavat myös siihen, että paljon propionihappoa tuottava fermentaatio pötsissä lisää maidon ja laktoosin tuotantoa runsaasti voi happoa tuottavaan fermentaatioon verrattuna (Blauwiekel et al. 1992, Huhtanen et al. 1993b).

Väkirehutasen nousu pienensi maidon laktoosipitoisuutta (89 havaintoa) Maatalouden tutkimuskeskuksessa tehdyn selvityksen mukaan (Ryhänen et al. 1996). Tutkituista muuttujista juuri väkirehun määrä vaikutti eniten laktoosipitoisuuteen. Myös ohran prosessointi vaikutti laktoosipitoisuuteen. Laktoosipitoisuus lisääntyi 0,2–0,3 g/kg prosessoitua ohraa saaneilla lehmillä käsittelemätöntä ohraa saaneisiin lemmiin verrattuna. Samalla maidon rasvapitoisuus pieneni ja valkuaispitoisuus lisääntyi (Huhtanen & Heikkilä 1995).

4.8 Maidon kivennäisainepitoisuus

Maidon kalsium- ja fosforipitoisuudet ovat melko vakiot. Niihin on ruokinnallisesti vaikea vaikuttaa (Peaker 1980). Toisin sanoen, jos kalsiumista tai fosforista on puutetta, lehmä reagoi siihen vähentämällä maitotuotosta eikä laimentamalla niiden pitoisuuksia maidossa. Kalsiumin toksisuus puolestaan on maitoa tuottavalla lehmällä harvinaista. Maidontuotantovaiheessa oleva lypsylehmä sietää jopa kuusinkertaisen määrän kalsiumia suhteessa fosforiin. Kalsiumin liikasaannista seuraa syönnin väheneminen, mikä puolestaan vähentää maitotuotosta (NRC 1980).

Joidenkin tutkimusten mukaan energian puute runsastuottoisilla lehmillä lisäsi maidon kalsiumpitoisuutta, mutta ei vaikuttanut fosforin eikä magnesium pitoisuuksiin. Maidon sitraattipitoisuus kuitenkin lisääntyi huomattavasti (1,7–2,35 g/l) energia-aliruokinnan aikana (Kaufmann & Hagemeyer 1987). Näiden tulosten jälkeen on vaikea selittää vuodenajan vaikutusta maidon sitraattipitoisuuteen (Kaufmann, julkaisematon).

Normaali dieetti vaikuttaa vain hyvin vähän laktoosin, natriumin, kaliumin tai kloridin pitoisuuksiin yleisesti kotieläiminä pidettyjen märehitijöiden maidossa. Joditetun kaseiinin lisääminen lehmien rehuun kuitenkin lisää tuotosta ja laktoosipitoisuutta ja pienentää natriumin, kaliumin ja

kloridin pitoisuuksia. Nämä vaikutukset muistuttavat hyvin paljon lihaksensisäisesti annetun tyroksiinihormonin vaikutuksia, ja tämän vuoksi oletetaan, että joditettu kaseiini stimuloi tyroksiinihormonin tuotantoa. Ruokinnan vaikutuksia monenarvoisten ionien pitoisuuksiin maidossa on tutkittu melko vähän (Davies et al. 1983).

Runsaasti väkirehua sisältävä ruokinta, mikä pienentää maidon rasvapitoisuutta, johtaa myös maidon sitraattipitoisuuden sekä liukoisen kalsiumpitoisuuden pienemiseen, kun taas runsaasti rasvaa sisältävät dieetit voivat lisätä maidon sitraattipitoisuutta (Ormrod et al. 1980).

4.9 Maidon hivenainepitoisuus

Hivenaineet voivat siirtyä maitoon joko lehmän kautta tai lypsyn jälkeen kontaminaation seurauksena. Joidenkin hivenaineiden kuten boorin (Bo), koboltin (Co), jodin (I), mangaanin (Mn), molybdeenin (Mo) ja sinkin (Zn) pitoisuutta maidossa voidaan lisätä suurentamalla niiden pitoisuutta rehussa. Maidon säilyttäminen metalliastioissa saattaa lisätä joidenkin hivenaineiden kuten kuparin, raudan, nikkelin ja tinan pitoisuutta maidossa (Jeness 1985).

Maaperän ja rehuksien seleenipitoisuus vaikuttaa maidon seleenipitoisuuteen, ja tämän vuoksi se voi vaihdella välillä 0–1270 mg/l (Levander 1986). Maidon seleeni on suurimmaksi osaksi sitoutunut valkuaisaineisiin (Allen & Miller 1981). Tutkimuksessa, jossa selvitettiin epäorgaanisen ja orgaanisen seleenin aineenvaihduntaa, ⁷⁵Se:n todellinen imeytyminen oli 63 ja 65 % sekä erittyminen maidossa 4 ja 7 % vuohilla, joille annettiin Na₂⁷⁵SeO₃:ä pötsinsisäisesti tai ⁷⁵Se:llä leimattua ruohoa. Dieetin seleenipitoisuudella ei ollut vaikutusta ⁷⁵Se:n imeytymiseen tai erittymiseen maidossa. Kun ⁷⁵Se annettiin suonensisäisesti, 3,6 % seleeniä ja 33 % selenometioniinista erittyi maidossa. Na₂⁷⁵SeO₃ erittyi pääasiassa virtsassa. Samassa tutkimuksessa lehmille annettiin joko Na₂SeO₃:ä tai säilörehua, johon

oli viikkoa ennen korjuuta ruiskutettu Na_2SeO_3 :ä. Selenoitu säilörehu lisäsi maidon seleenipitoisuutta voimakkaammin kuin Na_2SeO_3 . Kun seleenitädennyksen jälkeen eläinten seleenin saantia rajoitettiin, aleni maidon seleenipitoisuus nopeammin lehmillä, jotka olivat saaneet Na_2SeO_3 :ä kuin lehmillä, jotka olivat saaneet selenoitua säilörehua (Aspila 1991).

Suomen maaperässä on hyvin niukasti seleeniä, mutta vuodesta 1984 lähtien moniravinteisiin lannoitteisiin on lisätty seleeniä. Tämän jälkeen myös maidon seleenipitoisuus lisääntyi välittömästi. Maidon seleenipitoisuus on lisääntynyt noin 25 mg:aan litrassa (Aspila & Syrjäla-Qvist 1987), kun se oli 3–4 mg/l ennen seleenin lisäämistä lannoitteisiin (Varo 1984). Vuodesta 1986 lähtien maidon seleenipitoisuus on pysynyt melko vakiona ja kaiken kaikkiaan suomalaisten seleenin saanti on nyt kansainvälisten normien mukaan riittävällä ja turvallaisella tasolla (MMM 1990). Maidon jodipitoisuus määräytyy suoraan rehusta saatavan jodimäärän mukaan (Binnerts 1979, Hemken 1980, Hillman & Curtis 1980). Myös jodipitoinen vedinkasto lisää maidon jodipitoisuutta (Hemken 1980). Jodin saannin lisääntyessä veren seerumin glukoosipitoisuudet ja veren urea-N -pitoisuudet lisääntyivät (Hillman & Curtis 1980). Jodin saannin lisääntyminen suurentaa sekä seerumin että maidon jodipitoisuutta, mutta enemmän maidon jodipitoisuutta (Olson et al. 1984). Seerumin pienempi pitoisuus johtuu ilmeisesti maidontuotannosta, sillä maitoa tuottamattomilla lehmillä seerumin jodipitoisuus oli huomattavasti suurempi kuin lypsävillä lehmillä (Hillman & Curtis 1980, Fish & Swanson 1982). Syy jodin erittämiseen maitoon saattaa olla seerumin jodipitoisuuden pienentäminen (Olson et al. 1984).

Aikuisen ihmisen jodin saantisuositus on 150 mg/päivä (Haglund et al. 1994). Jodin toksisuuskokeissa maidon jodipitoisuus on noussut jopa 6,4 milligrammaan litrassa lehmien saadessa keskimäärin 164 mg jodia metyleenidiamiinidihydrojodidina päivässä (Hillman & Curtis 1980). Tämän vuoksi jo-

dia ei tulisi antaa lypsylehmille yli NRC:n suositusten (Olson et al. 1984). Myös tuotannossa on havaittu negatiivisia vaikutuksia: mm. maitotuotos on vähentynyt ylimääräistä jodia saaneilla lehmillä (McCaley et al. 1972, Hillman & Curtis 1980).

4.10 Maidon vitamiinipitoisuus

Rehuun lisätyillä vitamiineilla voidaan lisätä lähinnä maidon rasvaliukoisten A- ja D-vitamiinien pitoisuuksia. Maidon E-vitamiinipitoisuutta voidaan lisätä helposti ihonalaisella E-vitamiiniriskeella (Hidiroglou 1989). Sen sijaan rehussa annetusta E-vitamiinista todettiin vain pienen osan siirtyneen maitoon (Charmley & Nicholson 1994).

Vuodenaika vaikuttaa maidon A-vitamiinipitoisuuteen, sillä talvella sisäruokintakaudella pitoisuus on pienin ja kesällä laidunkaudella suurin (Gregory 1980). Ympäri vuotinen laiduntaminen ei kuitenkaan ole pitänyt maidon A-vitamiinipitoisuutta tasaisen korkeana. Uudessa-Seelannissa, jossa lehmä laidunnetaan rehevällä laidumella ympäri vuoden, A-vitamiinin pitoisuudet voissa ovat vaihdelleet merkittävästi vuodenaikojen mukaan siten, että ne ovat olleet suurimmat talvella ja pienimmät kesällä (Barnicoat 1947). Maidon A-vitamiinipitoisuuden vaihtelun onkin arveltu johtuvan ennemminkin ruohon kasvuasteesta kuin vuodenajasta (Gregory 1980). Hänen mukaansa on kuitenkin selvää, että maidon suuri A-vitamiinipitoisuus voidaan varmistaa, kun lehmät saavat hyvälaatuisia rehuja, joissa on paljon karoteenia.

Ruokinnan vaikutusta maidon D-vitamiinin pitoisuuteen ei ole tutkittu kovin paljon ilmeisesti siksi, että maito ei ole ihmisen tärkein D-vitamiinin läh.

Maidon tokoferolipitoisuuden (E-vitamiini) ja karoteenipitoisuuden on todettu useissa kokeissa olevan suurimmillaan lehmien ollessa laitumella (Gregory 1980).

Pötsin mikro-organismit pystyvät syntetisoimaan suuria määriä B-vitamiineja, joten dieetillä on vähemmän vaikutusta niiden pitoisuuksiin maidossa kuin rasvaliukoisilla vitamiineilla. Ruokinnan muutokset, kuten sisäruokinnasta laidunruokintaan siirtyminen tai sisäruokintatyyppistä toiseen siirtyminen, ovat kuitenkin toisinaan vaikuttaneet maidon vesiliukoisten vitamiinien pitoisuuksiin. Toisinaan nämä muutokset ovat vain väliaikaisia ja pitoisuudet maidossa palautuvat ennalleen, kun pötsimikrobisto sopeutuu uuteen dieettiin (Gregory 1980).

Rehun kivennäisaineliset ovat lisänneet hieman maidon tiamiinin ja riboflaviinin pitoisuuksia (Davidov & Gul'ko 1964, Barchenko et al. 1970, Turashvili 1972) ja laitumen suuret lannoitemäärät lisäsivät yhdessä kokeessa maidon riboflaviinin ja vähensivät tiamiinin pitoisuutta (Gul'ko 1973).

Siirtyminen sisäruokinnasta laidunruokintaan lisäsi maidon B₆-vitamiinin pitoisuutta hieman, mutta samalla pantoteenihapon pitoisuus väheni 34–40 % ja biotiinin pitoisuus väheni 15 % (Kruglova 1972, Sharabrin et al. 1973). Maidon riboflaviinipitoisuuden todettiin yhdessä kokeessa olevan suurempi, kun lehmien ruokinnassa käytettiin standardirehuannosta verrattuna hyvin karkearehuvaltaiseen ruokintaan (Davidov & Gul'ko 1964).

Ruokinnalla on joissakin kokeissa ollut vaikutusta maidon foolihapon pitoisuuteen. Maissisäilörehun antaminen lisäsi maidon foolihapon pitoisuutta 25 % (Gul'ko 1966) ja kivennäisaineliset tai laitumen lannoittaminen lisäsivät myös foolihapon pitoisuutta (Turashvili 1972, Gul'ko 1973). Korvaamalla 20 ja 30 % rehuannoksen valkuaisesta urealla lisäsi maidon foolihapon pitoisuutta 52 ja 32 % (Gul'ko 1966). Joidenkin kokeiden mukaan maidon foolihappopitoisuuden on myös todettu olevan suurempi lehmien laiduntaessa tuoreessa laidunkas-

vustossa (Gul'ko 1972, Dong & Oace 1975).

Useinkaan ei ole helppoa erottaa ruokinnan ja muiden tekijöiden, kuten ruokinta- ja hoitomenetelmien, maidontuotannon vaiheen, rodun, vuodenajan ja ilmaston vaikutusta toisistaan (Gregory 1980).

4.11 Muiden aineiden pitoisuudet maidossa

Monet kasveissa luonnollisesti esiintyvät myrkylliset aineet kulkeutuvat maitoon, kun kasvia syötetään lehmille. Tällaisia aineita ovat esimerkiksi ristikkukaisissa esiintyvät glukosinolaatit (Cheeke & Shull 1985). Rypsirouheen suojauskäsittely vähensi sekä rouheen glukosinolaattien määrää että maidon goitriinipitoisuutta (Kankare & Antila 1986, Tuori et al. 1988).

Veren ja maidon ketoainepitoisuuden välillä on useissa tutkimuksissa todettu selvä yhteys. Ketoaineiden (β -hydroksivoihappo, asetonon ja asetetikkahappo) pitoisuudet lisääntyvät maidossa ruokintavirheiden seurauksena. Tällaisia ruokintavirheitä voivat olla valkuaisaliruokinta ja energiaaliruokinta yhdessä tai erikseen sekä valkuaisyliruokinta (Setälä et al. 1986). Myös runsaasti voihappoa tuottava ruokinta lisää maidon ketoaineiden pitoisuuksia (Huhtanen et al. 1993a).

Rasvaliukoiset aineet, kuten organoklooriyhdisteitä sisältävät hyönteismyrkyt ja polyklooratut (ja bromatut) bifenyylit kerääntyvät elimistön rasvoihin, mukaanlukien maidon rasvaan. Muut hyönteismyrkyt, kuten organofosfaattiyhdisteet ja karbamaatit hajoavat helpommin elimistössä, joten niitä ei yleensä ole maidossa (Larson 1985).

Lähes kaikki eläimelle annetut lääkkeet voivat siirtyä maitoon. Siirtyminen riippuu useasta tekijästä, kuten aineen liukoisuudesta ja kemiallisista ominaisuuksista ja mahdollisista kuljetusmekanismeista. Jotkut lääkkeet voivat olla osittain rasvaliukoisia ja esiintyä siksi pääasiassa maidon rasvasa, toiset taas ovat joko vesiliukoisia tai si-

toutuneet valkuaisaineisiin. Monet lääkkeet siirtyvät ilmeisesti maitoon yksinkertaisen diffuusion avulla vapaiden ionisoitumattomien yhdisteiden mukana. Lehmän maidon pH (6,7) on normaalisti matalampi kuin veren pH (7,4), joten happamien lääkkeiden pitoisuus on suurempi veressä kuin maidossa, pitoisuuksien ollessa päinvastoin emäkisten lääkkeiden osalta (Larson 1985).

Antibiootteja joutuu maitoon utaretu-lehduksen tai jonkin muun tulehduksen hoidon seurauksena. Lihakseen tai nahan alle ruiskutetut antibiootit kulkeutuvat maitoon kuten muutkin lääkkeet ja voi kulu useita päiviä ennen kuin pitoisuudet maidossa pienevät niin paljon, että niillä ei ole enää mitään merkitystä. Suoraan nännikanavaan laitettu antibiootti imeytyy myös kudoksiin, ja maidon antibioottipitoisuuden pienenemiseen kuuluu tässäkin tapauksessa useita päiviä (Larson 1985).

Rehuun lisätty formaldehydi siirtyy osittain maitoon. Formaldehydiä sisältävällä säilöntäaineella säilöttyä nurmirehua saaneilla lehmillä rehun mukana tulleesta formaldehydistä siirtyi maitoon keskimäärin 20 % (0–47 %). Lehmien formaldehydin saanti säilörehusta oli 1,47–1,58 grammaa päivässä. Formaldehydillä käsitellystä ureasta formaldehydi ei siirtynyt niin helposti maitoon kuin säilörehusta (Syrjälä-Qvist & Setälä 1982b). Formaldehydillä käsitellystä valkuaisväkirehusta formaldehydiä siirtyi maitoon vain 0,06–0,07 %. Myös silloin, kun rehuun ei oltu lisätty formaldehydiä, sitä löytyi pieniä määriä maidossa. Lehmät saivat formaldehydiä valkuaisväkirehusta 0–14,6 grammaa päivässä (Syrjälä-Qvist & Setälä 1982a).

Luonnossa esiintyvät myrkylliset aineet siirtyvät myös maitoon. Arsenikilla on joitakin samankaltaisia ominaisuuksia kuin fosforilla, joten se kiinnittyy mahdollisesti samantapaisiin yhdisteisiin elimistössä kuin fosfori. Rehussa tulevasta arsenikista kuitenkin vain pieni määrä siirtyy maitoon. Elohopeasta, lyijystä ja kadmiumista siirtyy myös hyvin pieni määrä maitoon. Yleensä ottaen maitorauhanen siivilöi epätavalliset myrkylliset metallit, eikä päästä niitä mer-

kittävässä määrin maitoon ennen kuin lehmässä itsessään alkaa näkyä ulkoisia vaikeita myrkytysoireita (Larson 1985).

Elintarvikkeiden ja ravinnon vierasainepitoisuuksia selvittäneen tutkimuksen mukaan sekä kotimaisten että ulkomaisten elintarvikkeiden vierasainepitoisuudet olivat yleensä hyvin pieniä. Erityisesti suomalaisen kulutusmaidon ja juustojen orgaanisten ja epäorgaanisten vierasainepitoisuudet todettiin pienemmiksi kuin vastaavien keskieuropalaisten tuotteiden. Tutkimuksessa selvitettiin mm. elintarvikkeiden lyijyn, kadmiumin, organoklooripestisidijäämä-, PCB-, polysyklisten aromaattisten hiilivety-yhdisteiden (PAH) ja Fusarium-toksiinien pitoisuuksia (Kumpulainen et al. 1993).

Radioaktiivisia aineita on joutunut ilma-keuhään ja sitä kautta maaperään ja kasveihin ydinasekokeiden ja ydinvoimalaonnettomuuksien seurauksena. Maitoon ja maitovalmisteisiin siirtyneitä radioaktiivisia aineita ovat olleet ainakin jodi 131, cesium 137, cesium 134, strontium 90 ja barium 140 (Larson 1985, Rauramaa & Rantavaara 1986). Rehun suhteellinen strontium:kalsium -suhde vaikuttaa strontium 90:n pidäytymiseen elimistöön ja siirtymiseen maitoon. Jos rehun Sr:Ca -suhde koko rehuanoksessa on 1, luustoon varastoituva Sr:Ca -suhde on vain neljäsosa tästä määrästä ja maitoon siirtyvä Sr:Ca -suhde vain yksi kymmenesosa tästä määrästä. Lehmä suosii kalsiumin erittämistä maitoon strontium 90:n kustannuksella. Rehun mukana tuleva jodi 131 siirtyy esteittä maitoon. Vaikka jodi 131:n puoliintumisaika on lyhyt (8 päivää) strontium 90:een (28 vrk) verrattuna, sitä pidetään tällä hetkellä maitoon siirtyvistä radioaktiivisista aineista pahimpana (Larson 1985). Cesium 137:n puoliintumisaika on pitkä (noin 30 vuotta), joten se aiheuttaa pitkäaikaisen säteilyrasituksen elimistöön joutuessaan. Lehmän saamasta cesium 137:stä siirtyy maitoon noin 10 % (Aspila 1986).

Hormonien ja tiettyjen muiden veren aineosien siirtymismekanismi maitoon ei vielä tunneta kovin hyvin. Eräs reitti rasva-

liukoisille hormoneille ja niiden johdannaisille on sama kuin muillakin rasvaliuukoisilla aineilla, kuten lääkkeillä ja hyönteismyrkyillä (Larson 1985).

Maitorauhanen ottaa prolaktiinia verestä eniten juuri silloin, kun sitä erittyy eniten eli lypsyn aikana tai tyrotropiinia vapauttavan hormonin (TRH) annon jälkeen. Rotalalla prolaktiinin kiinnittyminen reseptoriin on välttämätöntä, jotta mahdollisimman suuri määrä maitoa voi erittyä. Lehmillä tätä ei ole vielä todettu. Prolaktiini on kiinnittynyt endoplasmisen retikulumin, Golgin laitteen ja eritysrakkuloiden solukalvoihin. Prolaktiinia eritetään maitorakkulaan, ja tämän vuoksi sitä on myös maidossa. Prolaktiinin tehtävää maidossa ei kuitenkaan tunneta (Tucker 1985).

Rotilla ja vuohilla lypsy aiheuttaa kasvuhormonin erittymisen, mutta lehmillä sen pitoisuus veressä ei muutu lypsyn aikana. Lehmällä kasvuhormonin pitoisuus veressä on suurin maidontuotantokauden alussa ja pienin tuotantokauden lopussa. Kasvuhormonin pitoisuus veressä pienenee siis samalla kun tuotos ja ravinnontarve vähenevät. Maitorauhanen ottaa kasvuhormonia silloin, kun sitä erittyy eläimellä, ja joissakin kirjoituksissa onkin mainittu, että maidossa on kasvuhormonia (Tucker 1985).

5 Maidon antioksidantit

Lehmän maidon tiedetään sisältävän useita aineosia, joilla on pro-oksidiivisia ja anti-oksidiivisia vaikutuksia, mutta koko anti-oksidiivista kapasiteettia ei tunneta. Ruuan antioksidanttien tehtävä on estää makuvirheiden ja muiden yhdisteiden syntymistä rasvojen, öljyjen ja muiden lipidien hapettua (Korpela et al. 1995).

Vitamiinipitoisuus ja oksidiivinen pysyvyys ovat kaksi tärkeää maidon ja maitotuotteiden laadun mittaria. E-vitamiini (α -tokoferoli), A-provitamiini (β -karoteeni) ja ehkä myös A-vitamiini (retinoli) toimivat rasvaliuukoisina antioksidantteina es-

täen maidon rasvaa hapettumasta (Shingoethe et al. 1978, Nicholson & St-Laurent 1991). Näiden vitamiinien pitoisuuteen maidossa vaikuttaa lähinnä rehun vitamiinipitoisuus (Nicholson & St-Laurent 1991), mutta myös rotu. Hapettumista esiintyy myös enemmän runsastuottoisilla karjoilla sekä nuorilla lehmillä maidontuotantokauden alussa (Nicholson 1993). Jensenin ja Nielsenin (1995) kokeessa tuotosvaihe vaikutti siten, että suurimmat pitoisuudet olivat ternimaidossa sekä viimeisten tuotosviikkojen aikana. Heidän mukaansa α -tokoferolin siirtyminen maitoon on korkeintaan 25–30 mg vuorokaudessa.

α -tokoferolin siirtyminen verestä maitoon voidaan selittää Michaelis-Menten -kinetiikalla ilmeisesti kantaja-aineen välittämissä prosessissa. β -karoteeni näyttää siirtyvän verestä maitoon passiivisen diffuusion avulla. A-vitamiinin siirtymistä maitoon ei kuitenkaan voida selittää veren A-vitamiinipitoisuudella todennäköisesti maksan vahvasta säätelystä johtuen. Vitamiinina ja provitamiinina toimimisen lisäksi E-vitamiini ja β -karoteeni ovat rasvaliuukoisia antioksidantteja. β -karoteeni on erittäin tehokas antioksidantti alhaisessa hapen paineessa, kun taas E-vitamiini toimii korkeamassa hapen paineessa (Jensen & Nielsen 1995).

Maidon rasvan hapettumisen uskotaan alkavan rasvapalloksen pinnalla solukalvon fosfolipideissä (milk fat globule membrane, MFGM). Jensenin ja Nielsenin (1995) tekemissä kokeissa vain α -tokoferolin todettiin olevan MFGM:ssä. τ -tokoferolia, β -karoteenia tai retinolia ei löytynyt MFGM:stä. α -tokoferolin pitoisuus MFGM:ssä korreloi lineaarisesti maidon kokonaisrasvapitoisuuden kanssa.

Ruotsalaisen artikkelin mukaan huommin hapettumista kestävä maiton tuottamisriskit voivat olla seuraavia (Barrefors & Everitt 1995):

* korkeampi tuotos; enemmän stressiä, vaikeampi saavuttaa ravintoaineiden tasapainoa ruokinnassa, erityisesti maidontuotannon alkuvaiheessa

- * vähemmän karkearehua; muutokset pötsikäymisessä
- * enemmän energiapitoisia lisärehuja, enemmän lisättyä rasvaa, joissakin tapauksissa enemmän tai vähemmän suojattua tai kalsiumiin sidottua rasvaa ja enemmän rehun rasvahappoja siirtyy maitoon
- * nuoremmat lehmät; maidon pysyvyys heikompi ja maidon Cu-pitoisuus suurempi
- * rehun muuttuneet käsittely- ja säilytysmenetelmät; rehuun lisättyjen antioksidanttien tarve suurempi

Luettelon viimeisestä kohdassa mainittu vitamiinien lisääminen rehuun ei välttämättä aiheuta toivottua vaikutusta. Kanadalaisessa kokeessa rehuun lisätty E-vitamiini ei estänyt hapettuneen maun syntymistä maitoon, koska E-vitamiini ei siirtynyt riittävässä määrin maitoon (Charmley & Nicholson 1994).

Suomessa väkirehun osuus rehuannoksessa on huomattavasti pienempi kuin Ruotsissa. Ruotsissa väkirehun osuus ruokinnassa on lisääntynyt karkearehun kustannuksella viime vuosien aikana. Runsastuottoisilla lehmillä viljan ja väkirehun yhteismäärä saattaa nousta jopa 18 kiloon päivässä. Näin suuren väkirehumäärän syöttäminen edellyttää, että se sisältää kuitupitoisia rehuja kuten melassileikettä, jota voi olla ruotsalaisessa väkirehuannoksessa jopa 50 % (Emanuelson & Bertilsson 1995). Suomessa väkirehun osuus ruokinnassa on noin 40 %:n tasolla rehuyksiköistä.

Ruotsalaisen kenttäkokeen mukaan neutraalin rasvan rasvahappo C18:2 oli tärkein rasvahappo, joka aiheutti makuvirheitä maitoon. Havainto sopii yhteen sen kanssa, että β -karoteenin todettiin olevan tärkeä

antioksidantti, vaikka se sijaitsee neutraalissa rasvassa. Eläin saa β -karoteenin pääasiassa rehusta. Kun säilörehu on huonolaatuista, sitä voitaisiin lisätä rehuun. Koska β -karoteeni on kuitenkin melko kallista, se voitaisiin korvata A-vitamiinilla. Vielä ei kuitenkaan tiedetä, siirtyykö A-vitamiini samassa määrin maitoon kuin β -karoteeni, ja onko se yhtä tehokas antioksidantti kuin β -karoteeni (Barrefors & Everitt 1995).

Maidon alfa-tokoferolin liian pienet pitoisuudet voivat johtua rehun hapettuneesta rasvasta, ja α -tokoferoliasetaatin lisääminen rehuun lisää sen pitoisuutta. Murskatun ja propionihapolla säilötyn kauran pitkä varastointiaika voi olla myös syynä α -tokoferolin pieneen pitoisuuteen maidossa. Kauran C18:2-pitoisuus on melko suuri, ja se on tärkeä rasvan lähde lypsylehmille (Barrefors & Everitt 1995).

Rehuun lisätyn rasvan vaikutuksia maidon hapetusalttiuteen ei ole tutkittu kovin paljon. Kanadalaisessa kokeessa soijapavut aiheuttivat maitoon härskiintynyttä makua. Rasva itsessään ei aiheuttanut hapetusalttiuden lisääntymistä, sillä sama määrä rasvahappojen kalsiumsuoloja ei vaikuttanut rasvan pysyvyyteen. Sen sijaan soijan monityydyttymättömät rasvahapot lisäsivät maidon hapettumista. Tämä viittaa siihen, että osa soijan rasvahapoista ei altistu pötsin lipolyysille ja biohydrogenaatiolle.

Aiemmassa kokeessa Goering et al. (1976) osoittivat rehuun lisätyn suojatun saflooriöljyn lisäävän linolihapon (C_{18:2}) pitoisuutta maidon rasvassa, ja tämä oli yhteydessä vahvan härskiintyneen maun muodostumiseen maidossa. Muissa rasvalisäkokeissa, joissa hapettuneen maku on arvioitu, hapetusalttiuden ei havaittu lisääntyneen (Lundin & Palmquist 1983, Casper et al. 1988, Atwal et al. 1990, Stegeman et al. 1992).

6 Maidon hygieeninen laatu

Maidon mikrobiologisista virheistä pelätyin on runsas voihappobakteeri-itiöpitoisuus. Tällaisen maidon käyttö juustonvalmistukseen on erittäin kyseenalaista. Voihappobakteerien eli klostridien itiöistä kehittyvät bakteerit pystyvät pilaamaan juustot täysin käyttökelvottomiksi (Nordlund & Setälä 1986). Voihappobakteerien itiöt tulevat navettailmaan säilörehun, multaisten juureksien, heinän ja pintavesien mukana. Maitoon ne joutuvat navetassa lypsyn yhteydessä ilmasta, utareen pinnasta ja lannasta. Pääasiallisia saastuttajia ovat säilörehu ja lanta (Rauramaa 1983).

Lehmän maitoon erittyä aina jonkin veran soluja. Välittömästi poikimisen jälkeen maidon solupitoisuus on erittäin suuri. Ensimmäisen laktatioviikon kuluessa pitoisuus kuitenkin pienenee nopeasti. Tämänkin jälkeen solupitoisuus pienenee vielä parin kolmen viikon aikana hitaasti keskimäärin tasolle 90 000–100 000 solua/ml. Lypsykauden loppupuolella solupitoisuus suurenee uudelleen, mutta ei likimainkaan yhtä suureksi kuin poikimisen jälkeen (Syväjärvi 1986).

Nuorten lehmien maidon solupitoisuus on pienempi kuin vanhempien lehmien. Terveen ensikon maidon solupitoisuus on yleensä selvästi alle 100 000 kpl/ml. Vanhojen lehmien maidon suuri solupitoisuus johtuu pääosin siitä, että utaretulehdus on vanhoilla lehmillä yleisempää kuin nuorilla. Kuitenkin myös terveillä, vanhoilla lehmillä maidon solupitoisuus on suurempi kuin terveillä, nuorilla lehmillä (Syväjärvi 1986).

Tulehtuneessa neljänneksessä maidon solupitoisuus lisääntyy jyrkästi, mikä johtuu yleensä bakteeritartunnan aiheuttamasta tulehduksesta. Myös vetimien kautta utareeseen tunkeutunut lika, muut vieraat aineet ja utareen mekaaninen vamma voivat aiheuttaa tulehduksen (Syväjärvi 1986).

Bacillus- ja *Clostridium*-sukuihin kuuluvat bakteerit pystyvät muodostamaan kuu-

muutta kestäviä itiöitä. Jotkut näistä bakteereista voivat olla tautia aiheuttavia ihmisen ravinnossa esiintyessään. Maidossa mahdollisesti esiintyviä patogeenisiä bakteereita ovat ainakin *Bacillus cereus*, *B. licheniformis*, *B. subtilis*, *B. pumilis*, *B. circulans*, *B. brevis* ja *Clostridium butyricum* (Christiansson 1995). Patogeeniset bakteerit eivät ole ongelma Suomessa, koska niitä esiintyy maidossa vain vähän.

7 Maidon maku

Pahanhajuiset, mädäntyneet säilörehut aiheuttavat pahimmat maidon haju- ja makuvirheet. Ne saattavat johtaa myös ruuansulatusjärjestelmän häiriöihin ja siten myös maidon määrän ja laadun muutoksiin. Pilaantuneeseen rehuun on muodostunut homehtumisen, virhekäymisten ja mätänemisen seurauksena pahanhajuisia ja -makuisia aineita. Nämä haju- ja makuaineet siirtyvät ruuansulatuskanavasta vereen ja edelleen verestä maitoon. Niitä saattaa tulla maitoon myös navettailmasta (Rauramaa 1983).

Norjassa havaittiin tietyllä alueella pilaantuneen ja huonolta maistuvan maidon osuuden lisääntyneen meijereihin toimitetussa maidossa vuosina 1986–1990. Samana aikana pahanmakuisen maidon osuus kuitenkin väheni koko maan mittakaavassa. Selvityksessä löytyi useita syitä makuvirheiden synnylle. Makuvirheet jaettiin kolmeen ryhmään: katkera maku, rehun maku ja hapettuneen maku. Katkeran maun esiintyminen liittyi vahvasti soluluvun lisääntymiseen, utaretulehdukseen, maidon pysyvyyttä heikentäviin tekijöihin sekä tihentyneeseen poikimisväliin. Lypsyn aikana annettu huonolaatuinen säilörehu oli pääasiallisin rehun maun aiheuttaja, eli maito saastui ilman kautta. Marginaaliset rehun E-vitamiini- ja seleenipitoisuudet yhdistyneenä paljon väkirehua saaviin runsastuotisiin lehmiiin, joiden maito sisältää runsaasti tyydyttymättömiä rasvahappoja, lisäsivät hapettuneen makua maidossa (Mould & Hansen 1994).

Edellä mainitussa kokeessa tuli esille useita maidon makuun liittyviä ongelma-alueita, joissa on vielä paljon tutkimista. Eri-tyisesti maitotuotoksen, väkirehun käytön, dieetin vitamiini- ja hivenainepitoisuuden, maidon rasvan tyydyttyneisyyden sekä hapestuneen maun välisessä yhteydessä on vielä selvittämistä. Myös rehun maun ja säilörehun laadun välisen yhteyden tutkiminen olisi tärkeää. Utaretulehduksen, tuotantosairauksien (esim. ketoosin) sekä tuotantovaiheen vaikutus maidon katkeraan makuun tulisi myös selvittää (Mould & Hansen 1994), samoin kuin pötsin käymistyypin ja maun yhteys.

Jotkut yhdisteet aiheuttavat maitoon kalanmakua, mutta näitä yhdisteitä ei tunneta vielä kovin hyvin (Mehta et al. 1973). Melassileike ja laiduntaminen ruiskasvustossa aiheuttaa maitoon kalanmakua (Strobel et al. 1953). Joidenkin lähteiden mukaan kalanmakua aiheuttavat maitoon alemmat alifaattiset amiinit (Corfield 1955, Meijboom & Stroink 1970, Newlander & Atherton 1964). Cole et al. (1961) mittasivat alifaattisten amiinien (C_1 – C_4 , C_6) pitoisuuksia rehunmakuisesta maidosta. Kun näitä amiineja lisättiin maitoon, 3 ppm metyyliamiinia (MA) sisältävä maito aiheutti maitoon metallinmaun ja muut aiheuttivat rehun tai lääkkeen maun. Corfieldin (1955) mukaan *Pseudomonas*-bakteeri tuotti trimetyyliamiinia (TMA) ja trimetyyliamiinioksidia, jotka molemmat ovat koliinin ja betaiinin hajoamistuotteita, mikä johti kalanmaun syntymiseen maidossa. Forss et al. (1960) tunnistivat useita yhdisteitä, jotka aiheuttivat kalaöljyn makua voirasvaan. Kaksi kuudesta makufraktiosta aiheutti eniten kalaöljyn makua maitoon, ja nämä olivat öljyfraktio (n-heksanaali, n-heptanaali ja 2-heksenaali) sekä metallifraktio.

7.1 Laiduntamisen vaikutus maidon makuun

Mehta et al. (1973) kehittivät menetelmän, jolla voitiin määrittää maidosta trimetyyliamiinin ja metyyliamiinin pitoisuudet kaasu-

kromatografisesti. Yhdysvalloissa tehdyssä kokeessa vehnäkasvustossa laiduntavien lehmien maidon ja vertailuryhmän lehmien maidon makua ja TMA- sekä MA-pitoisuuksia verrattiin keskenään. Maidon maulle annetut pisteet huononivat ja trimetyyliamiinin pitoisuus lisääntyi 4,08 ppm:ään ja metyyliamiinin 57,5 ppm:ään vehnäkasvustossa laiduntavilla lehmillä.

Kymmenen vertailumaitonäytteen makupisteet vaihtelivat 34,0 ja 38,3 pisteen välillä (suurempi arvo parempi) ja TMA-pitoisuus vaihteli 0,26 ja 1,28 ppm välillä ja MA-pitoisuus 4,85 ja 14,63 ppm välillä, mitkä olivat selvästi alle rajan, jossa niiden on arvioitu aiheuttavan makua maitoon. TMA aiheutti makua maitoon, kun sen pitoisuus oli noin 2 ppm tai enemmän, mutta metyyliamiinia ei pystytty maistamaan vielä 80 ppm pitoisuudessakaan. TMA-pitoisuuden ollessa 4 ppm, maidon makupisteet laskivat 36,6:sta (vertailuryhmän maito) 32,0:aan, kun taas 40 ppm metyyliamiinia maidossa nosti makupisteet 37,0:aan. Tässä kokeessa MA:n lisääminen maitoon ei siis aiheuttanut huonoa makua, kun taas TMA:n lisääminen maitoon aiheutti kalanmakua ja epäpuhdasta makua. Kokeen perusteella voidaan sanoa, että trimetyyliamiini aiheuttaa maitoon kalanmaun, kun lehmiä laidunnetaan vehnää kasvavalla laitumella (Mehta et al. 1973). Mahdollinen vaikutus tuoreen ruohon yhteydessä vaatii tutkimusta.

Keen ja Wilson (1993) ovat esittäneet hypoteesin, joka saattaa selittää laiduntamisen toisinaan aiheuttaman makuvivahteen maidon rasvaan. Oletus perustuu lipoksygenaasientsyymiin toimintaan ruohon pureskelun aikana, mikä johtaa makua antavien karbonyyliyhdisteiden ja vastaavien alkoholien muodostumiseen ruohon rasvan tyydyttymättömistä rasvahapoista.

Tiettyjen maidon rasvassa olevien terpenoidien todettiin myös viittaavan siihen, että maidon olivat tuottaneet laiduntavat lehmät, mutta minkään terpenoidin ei havaittu aiheuttavan uusiseelantilaisten maitorasvaa sisältävien tuotteiden selvää ruohon makua (Wilson 1993).

7.2 Lipolyysi maidon maun heikentäjänä

Lehmän maidon lipolyysialttiuteen vaikuttavat useat tekijät. Tärkein niistä on lehmän ruokinta, sillä se vaikuttaa tiettyihin metabolisiin prosesseihin, jotka puolestaan vaikuttavat veren koostumukseen. Muutokset lipidimetaboliassa voivat siten lisätä lipolyysialttiutta. Lipolyysialttius lisääntyy, kun rehuannoksen energiapitoisuus on liian pieni tai koostumuksen ollessa tiettyntyyppinen esim. paljon palmitiinihappoa sisältävä. Maidon lipolyysialttius lisääntyy maidontuotantokauden loppua kohden ja ruokinnan vaikutus on korostunut juuri tällöin. Toisaalta lipolyysialttius on suurempi matalatuottoisilla lehmillä ja lehmillä, joiden tuotos laskee epänormaalisti (Jellema 1980).

Näyttää siltä, että veren seerumissa on lipolyyttinen rinnakkaistekijä (cofactor) ja sen erittyminen tai "vuotaminen" maitoon määrää maidon lipolyyttisen alttiuden. Ruokinta vaikuttaa voimakkaasti veren rinnakkaistekijän määrään. Rinnakkaistekijän erittyminen maitoon voi riippua paitsi ruokinnasta, myös muista tekijöistä, kuten äkillisestä ruokinnan muutoksesta, maitotuotoksesta, maidontuotannon vaiheesta, utaretulehduksesta, hormoneista, lypsykoneesta ja stressitilanteista. Jotkut edellä mainituista tekijöistä vaikuttavat ilmeisesti maidon rasvavalloksen solukalvon koostumukseen. Vielä ei tiedetä sitä, onko rinnakkaistekijä lipolyysiä aiheuttava tekijä ja muuttaako se solukalvon koostumusta vai molempia (Jellema 1980).

Lipolyysin esiintyminen lehmän maidossa liitetään useisiin tekijöihin, joita ovat maidontuotantovaihe, vuodenaika, ruokinta, maitotuotos, putkilypsykoneen käyttö ja maidon jäähdytys yhtenä suurena eränä maatilalla (International Dairy Federation 1974, International Dairy Federation 1975, Jensen 1964, Brockenhoff & Jensen 1974,

Deeth & Fitz-Gerald 1976). Samoissa olosuhteissa elävien lehmien maidon lipolyysialttius saattaa olla merkittävästi erilainen ja laktaatiokauden aikainen suuntaus saattaa olla myös yksilökohtainen (Krienke 1944, Fredeen et al. 1951). Yksittäisen lehmän maidon alttius lipolyysille voi lisäksi vaihdella päiväkohtaisesti ja jopa eri neljänneksistä otetuissa maitonäytteissä voi olla eroja (Dunkley 1951, Fredeen et al. 1951, Jensen 1959, Johnson & Von Gunten 1961). Kaikki nämä tekijät yhdessä vaikeuttavat sellaisten fysiologisten tekijöiden määrittämistä tarkasti, jotka vaikuttavat lipolyysiin ja sekavuutta lisäävät vielä kirjallisuudessa esiintyvät ristiriitaisuudet (Jellema 1980).

7.2.1 Laiduntamisen ja heinäruokinnan vaikutukset lipolyysiin

Maidon lipolyysialttius on suurin talvikautena. Tämä liitetään yleensä siihen, että suuri osa lehmistä on jo pitkällä tuotantokautta (Jensen 1959, 1964), mutta jotkut tutkijat (Chen & Bates 1962) katsovat sen johtuvan jostakin muusta tekijästä kuten laidunruokinnan puuttumisesta. Laiduntaminen on vähentänyt ja kuivatuilla rehuilla ruokkiminen lisännyt useissa kokeissa härskiintyneisyyden esiintymistä maidossa. Hyvälaatuisen kuivan rehun ja laiduntamisen välillä ei kuitenkaan ole havaittu mitään eroa maidon härskiintymisessä (Cannon & Rollins 1961, Speer et al. 1958)

Laiduntaminen ei siis sinänsä ole vähentänyt maidon lipolyyttistä alttiutta. Lisääntyneen lipolyysialttiuden riskiä voidaan vähentää, kun lehmia laidunnetaan hyvälaatuisella nurmella. Myöskään hyvälaatuisten sisäruokintarehujen, jotka sisältävät heinää tai säilörehua sekä väkirehua, ei ole todettu aiheuttavan lipolyyttisiä ongelmia. Näyttääkin siltä, että sisäruokintatyyppi ja rehun laatu ovat tärkeimmät tekijät (Jellema 1980).

7.2.2 Erilaisten sisäruokintamenetelmien vaikutukset lipolyysiin

Siegenthaler (1958) havaitsi kermassa enemmän lipolyyttisiä makuvirheitä alueilla, joilla viljeltiin sokerijuurikasta. Lipolyysialttiuden lisääntyminen liittyi sokerijuurikkaan sivutuotteita saaneiden lehmien tyydyttymättömien rasvahappojen pitoisuuden vähenemiseen rasvassa. Lipaasiaktiivisuus itsessään ei kuitenkaan ollut lisääntynyt merkittävästi.

Astrup et al. (1977) olettivat, että dieetin rasvahappokoostumus, erityisesti palmitiinihappo, vaikuttaisi lipolyysiin. Normaaliin talvella syötettävään, energian tarpeen täyttävään tai ylittävään, karkearehua ja väkirehua sisältävään dieettiin lisättiin soijarouhetta tai tiettyjä rasvahappoja. Tutkimuksissa ilmeni, että vapaiden rasvahappojen (FFA) pitoisuudet lisääntyivät maidossa, kun rehuun lisättiin palmitiinihappoa. Myristiinihapolla oli pieni samansuuntainen vaikutus, mutta steariinihapolla ja soijarouheella ei ollut vaikutusta kontrolliin verrattuna. Artikkelissa todettiin myös, että lipolyttiset ongelmat ovat harvinaisia laidunkaudella, kun maidon rasvassa on vähemmän palmitiinihappoa.

Ruokintamenetelmä saattaa siis joissakin tapauksissa vaikuttaa maidon lipolyysialttiuteen, mutta myös lehmien väliset yksilölliset erot näyttävät olevan tärkeitä. Herääkin kysymys, onko ruokintamenetelmä vai rehuannoksen energiapitoisuus tärkein vaikuttava tekijä. Molemmilla saattaa olla vaikutusta rasvan synteesiin ja mobilisaatioon lehmän elimistössä. Useissa kokeissa onkin todettu, että lipolyysialttiutensa ja makuvirheet lisääntyvät, kun lehmien energiansaanti on alle ylläpitoon ja maidontuotantoon tarvittavan määrän. Vaikutus on ollut selvempi myöhemmässä maidontuotannon vaiheessa, mutta sitä on esiintynyt myös maidontuotannon alkuvaiheessa. Ruokinnalla ei kuitenkaan näytä olevan mitään vaikutusta maidon lipolyyttisen entsyymin määrään (Jellema 1980).

8 Luonnonmukaisesti tuotetun maidon laatu

Kallio ja Sairanen (1994) ovat tehneet kirjallisuuskatsauksen kotieläinten luonnonmukaisesta ruokinnasta. Tässä referoidut maidon laatua koskevat kaksi koetta ovat heidän julkaisustaan. Tanskalaisessa tutkimuksessa verrattiin tavanomaisesti ja luonnonmukaisesti tuotetun maidon (luomumaidon) koostumusta, bakteriologista laatua, teknologisia ominaisuuksia ja allergiaa aiheuttavia ominaisuuksia. Tutkimuksessa oli mukana 18 tilaa, joista yhdeksän oli luonnonmukaisesti viljeltyä, kuusi tavanomaisia ja kolme siirtymävaiheessa olevaa tilaa (Werner 1990). Ruokinnassa tuoreen nurmen, apilanurmen ja kokovilja- tai nurmisäilörehun määrissä ei ollut eroja tilojen välillä, mutta rehuannoksen koostumus oli erilainen. Luomutiloilla viljeltiin nurmen seassa apilaa ja tehtiin palkoviljasäilörehua ohraa ja palkokasveja. Tavallisilla tiloilla lehmät saivat nurmikasveja ja kokoviljasäilörehun raaka-aine oli ohra. Luomulehmät saivat enemmän ohraa ja heinää, kun taas tavanomaisilla tiloilla käytettiin enemmän väkirehuseoksia ja juurikkaita (Kallio & Sairanen 1994).

Luomumaito sisälsi 0,2 %-yksikköä enemmän valkuaisista ja 0,2 %-yksikköä enemmän kaseiinia sekä 0,01 %-yksikköä vähemmän ei-proteiinityyppiä kuin tavanomaisesti tuotettu maito. Luomumaidon suurempi valkuaispitoisuus johtui kaseiinin suuremmasta määrästä. Luomumaidon valkuaispitoisuus oli koko vuoden suurempi kuin tavanomaisesti tuotetun maidon, mikä saattoi johtua myös eläinaineksesta tai muista eroista kuin tuotantotavasta, sillä koejärjestelyt eivät mahdollista suorien johtopäätöksiä. Ruotsissa Öjebyssä parhaillaan (1995) meneillään olevassa laajassa kokeessa luomumaidon valkuaispitoisuus on ollut 0,2 %-yksikköä pienempi kuin vertailuryhmillä.

Maidon rasva- ja laktoosipitoisuuksissa ei ollut eroja, mutta rasvan koostumus vaihteli ruokinnan mukaan. Luomumaidossa oli 0,5 %-yksikköä enemmän linoleiinihappoa kuin tavanomaisesti tuotetussa maidossa. Maidon linoleiinihappopitoisuutta lisäsi joidenkin tilojen runsas pellavansiementen käyttö ruokinnassa. Luomumaidossa oli 2,8 %-yksikköä vähemmän tyydyttymättömiä rasvahappoja kuin tavallisessa maidossa. Ero saattoi johtua siitä, että tavanomaisilla tiloilla käytetyssä väkirehussa oli enemmän rasvaa ja kyseiset rasvahapot siirtyivät maitoon. Rasvalisäys lisää yleensä maidon tyydyttymättömien rasvahappojen osuutta. Toisaalta negatiivinen energiatase voi johtaa tyydyttymättömien, erityisesti C_{18:1}, osuuden lisääntymiseen maidossa. Luomumaidossa oli kuitenkin enemmän haaroittuneita rasvahappoja, jotka eivät ole rehu-rasvoja vaan muodostuvat etumahoissa mikrobitoiminnan tuloksena.

Luomumaito sisälsi 0,2 mg/100g enemmän C-vitamiinia kuin tavallinen maito. Ero on pieni verrattuna maidon C-vitamiinipitoisuuteen (21 mg/l). C-vitamiinipitoisuuden lisääntyminen saattoi johtua siitä, että luomutiloilla käytetään vähemmän typpilannoitusta, mikä vähentää sadon C-vitamiinipitoisuutta. Tosin maidon C-vitamiinipitoisuus on niin pieni, että sillä ei lie ne ravitsemuksellista merkitystä. Maidon kivennäiskoostumuksessa ei ollut eroja. Tuore tavallinen maito sai paremman aistinvaraisen arvostelun kuin tuore luomumaito. Seitsemän päivän jälkeen maidoissa ei enää havaittu aistinvaraisia eroja. Maitojen juoksettavuudessa tai bakteriologisessa laadussa ei ollut eroja. Näytteistä ei myöskään löydetty antibioottijäämiä. Aflatoksiini M1:stä löydettiin muutamasta tavallisen maidon näytteestä, mutta ei luomumaidosta. Yhdessä luomumaitonäytteessä ja yhdessä tavallisessa maitonäytteessä oli pestisidijäämiä. Molempien ryhmien maidoista löytyi kadmiumia. Kaikki aflatoksiini-, pestisidi- ja raskasmetallimäärät olivat kuitenkin niin pieniä, että ne olivat määrittystarkkuuden rajalla. Maitoallergikot reagoivat samalla tavalla sekä luonnonmukaisesti että

tavanomaisesti tuotettuun maitoon.

Ratkaisevia eroja luonnonmukaisesti ja tavanomaisesti tuotetun maidon välillä ei löytynyt. Pienet erot saattoivat paremmin johtua erilaisista rehuista kuin viljelymenetelmästä sinänsä. Mainittuja maito-analyysijä ei siis voi käyttää maidon tuotantotavan määrittämiseen.

Saksassa tehdyssä kokeessa vaihtoehtoisesti ja tavanomaisesti viljelevien tilojen maidon laatua seurattiin tankkimaitonäytteistä vuoden ajan. Näytteet tutkittiin aistinvaraisesti ja analysoitiin juustoutumisominaisuuksiltaan, natriumin, kaliumin ja kalsiumin pitoisuuksiltaan samoin kuin nitraattien, amino- ja rasvahappojen, organoklooristen ja PCB-tuholaistorjunta-ainejäämien suhteen. Tilojen välillä ei havaittu merkitseviä eroja kyseisissä muuttujissa (Knöppler & Averdunk 1986).

9 Yhteenveto

1. Maidon rasvapitoisuutta voidaan vähentää ruokinnallisoin keinoin, mutta usein samalla myös valkuaispitoisuus vähenee. Biologisten säilöntäaineiden käyttäminen, ohran korvaaminen kauralla ja rasvan lisääminen rehuun ovat vähentäneet maidon rasvapitoisuutta, mutta myös valkuaispitoisuus on vähentynyt.
2. Rasvapitoisuuden vähentäminen ja valkuaispitoisuuden pitäminen samana tai jopa lisääminen on vaikeampaa. Ohran prosessointi, ohran korvaaminen kokonaan sokerijuurikasleikkeellä ja väkirehun osuuden lisääminen ovat kuitenkin olleet lupaavia keinoja näiden tavoitteiden saavuttamiseksi.
3. Tutkimukset osoittavat, että maidon koostumukseen voidaan vaikuttaa tasapainottamalla eläimen ravintoaineiden saantia. Edellä mainituilla ruokinnan muutoksilla on pystytty vähentämään

maidon rasvapitoisuutta 2–3 g/kg ja/tai lisätty valkuaispitoisuutta 1 g/kg. Karkearehun laatutekijöillä on usein ollut jopa suurempi vaikutus maidon koostumukseen kuin väkirehulla.

4. Laktoosi on tärkein aine maidon osmoottisen paineen säätelyssä, ja sen pitoisuus maidossa vaihtelee erittäin vähän. Ruokinnalla ei yleensä ole ollut vaikutusta maidon laktoosipitoisuuteen.
5. Maidon kalsium- ja fosforipitoisuuksiin ruokinnalla ei juuri pystytä vaikuttamaan. Sen sijaan maidon seleenin ja jodin pitoisuutta voidaan lisätä lisäämällä

niiden pitoisuutta rehussa. Myös boorin, koboltin, mangaanin, molybdeenin ja sinkin on todettu siirtyvän ainakin jossakin määrin rehusta maitoon. Rehuun lisätyillä vitamiineilla voidaan lisätä lähinnä rasvaliukoisten A- ja D-vitamiinien pitoisuutta. Muiden vitamiinien pitoisuuteen ruokinta vaikuttaa yleensä hyvin vähän. Tutkimus ruokinnan vaikutuksista maidon vitamiinipitoisuuteen on maassamme ollut vähäistä.

6. Myös ruokinnan ja maidon maun välisen yhteyden sekä makua aiheuttavien komponenttien tutkiminen on ollut hyvin vähäistä.

Kirjallisuus

Aaes, O. 1993. Forskningsrapport nr 16, Statens Husdyrbrugsforsog. 23 p.

Agricultural Research Council 1984. The nutrient requirements of ruminant livestock. Supplement no 1.

Ala-Seppälä, H., Huhtanen, P. & Näsi, M. 1988. Silage intake and milk production in cows given barley or barley fibre with and without dried distiller's solubles. *Journal of Agricultural Science in Finland* 60: 723–733.

Allen, J.C. & Miller, W.J. 1981. Mechanism for selenium secretion into milk. *Feedstuffs* 53(5): 22–23.

Aspila, P. 1986. Tsernobylin signaali ainekerroksa: ruoho, lypsylehmä. In: Aerosolitutkimusseuran raportti n:o 2: 21–22.

– 1991. Metabolism of selenite, selenomethionine and feed-incorporated selenium in lactating goats and dairy cows. *Journal of Agricultural Science in Finland* 63: 1–73.

– & **Syrjälä-Qvist, L.** 1987. Maidon seleenipitoisuuden lisääminen. In: Seleeniä maidosta ja lihasta. *Agronomiiton julkaisuja n:o 102: 35–43.*

Astrup, H. N., Skrovseth, O. & Vik-Mo, L., Ekern, A. & Sola, E. 1977. Feed palmitic acid as a factor in milk lipolysis. *Meieriposten* 68: 681.

Atwal, A.S., Hidioglou, M., Kramer, J.K. & Binns, M.R. 1990. Effects of feeding α -tokoferol and calcium salts of fatty acids on vitamin E and fatty acid composition of cow's milk. *Journal of Dairy Science* 73: 2832–2841.

Baird, G.D. 1981. Lactation, pregnancy and metabolic disorder in the ruminant. *Proceedings of the Nutrition Society* 40: 115–120.

Baldwin, R.L., Lin, H.J., Cheng, W., Cabrera, R. & Ronning, M. 1969. Enzyme and metabolite levels in mammary and abdominal adipose tissue of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 52: 183.

Banks, W., Clapperton, J.L. & Ferrie, M.E. 1976. Effect of feeding fat to dairy cows receiving a fat-deficient basal diet. II: Fatty acid composition of the milk fat. *Journal of Dairy Research* 43: 219–227.

–, **Clapperton, J.L., Kelly, M.E., Wilson, A.G. & Crawford, R.J.M.** 1980. The yield, fatty acid composition and physical properties of milk fat obtained by feeding soya oil to dairy cows. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 31: 368.

Barchenko, I.P., Malevannaya, E.M. & Kebko, V.G. 1970. *Vopr. Ratsion. Pitan.* No. 6: 126. (Ref. Gregory, M.E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.)

Barnicoat, C. R. 1947. *Journal of Dairy Research*

15: 80. (Ref. Gregory, M. E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. International Dairy Federation Bulletin 125: 164–166.)

Barrefors, P. & Everitt, B. 1995. The increased problem of oxidation taste in milk: Experiences from a field study in Sweden. Proceedings of NJF/NMR-Seminar no. 252. Milk in Nutrition: Effects of Production and Processing Factors, Turku, Finland, 13.–15.1.1995. NJF - Report 102: 135–148. ISBN 952-90-6504-3.

Bauman, D.E. & Davis, C.L. 1975. Regulation of lipid metabolism. In: McDonald, I.E. & Warner, A.C.I. (eds.). Physiology of Digestion and Metabolism in the Ruminant. Armidale N. S. W. p. 269–509.

Bergmann, E.N. 1977. Glucose metabolism in ruminants. In: Van Adrichen, P.W.M. (ed.). Proceedings of 3rd International conference on Production Diseases of Farm Animals. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation. p. 25–29.

– **& Pell, J.M.** 1985. Integration of amino acid metabolism in the ruminant. In: Gilchrist, F.M.C. & Mackie, R.J. (eds.). Herbivore Nutrition in the Subtropics and Tropics. Johannesburg, South Africa: The Science Press. p. 613–628.

Bertilsson, J. 1983. Effects of conservation method and stage of maturity upon the feeding value of forages to dairy cows. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Animal Husbandry. Report 104. 25 p. ISSN 0347-9838, ISBN 91-576-1500-4.

– 1987. Effects of conservation method and stage of maturity upon the feeding value of forages to dairy cows. 3. Wilting and cutting time for silage. Swedish Journal of Agricultural Research 17: 123–131.

Bines, J.A., Hart, I.C. & Morant, S.V. 1980. Endocrine control of energy metabolism in the cow: the effect on milk yield and levels of some blood constituents of injecting growth hormone and growth hormone fragments. British Journal of Nutrition 43: 179–188.

Binnerts, W.T. 1979. The iodine content in milk: No reason for concern yet. Netherlands Milk Dairy Journal 37: 12–23.

Bitman, J., Wood, D.L., Tyrrell, H.F., Bauman, D.E., Peel, C.J., Brown, A.C.G. & Reynolds, P.J. 1984. Blood and milk lipid responses induced by growth hormone administration in lactating cows. Journal of Dairy Science 67: 2873.

Blauwikel, R., Huhtanen, P. & Saastamoinen, I. 1992. Effect of fishmeal or barley protein and VFA infusions on milk yield and composition and on

blood metabolites. Journal of Dairy Science 75, Supplement 1: 199.

Boda, K., Várady, J. & Havassy, I. 1976. Utilization of urea-nitrogen-15 in ruminants. In: Tracer studies on non-protein nitrogen for ruminants III. Vienna: International Atomic Energy Agency. p. 1–12.

Bondi, A.A. 1987. Animal Nutrition. Chichester: John Wiley & Sons. 540 p. ISBN 0 471 90375 2.

Brockhoff, H. & Jensen, R.G. 1974. Lipolytic enzymes. New York: Academic Press.

Cannon, R.Y. & Rollins, G.H. 1961. Effect of feed and nutritional level of the cow on the development of rancidity in milk. Journal of Dairy Science 44: 969.

Casper, D.P., Schingoethe, D.J., Middaugh, R.P. & Baer, R.J. 1988. Lactational responses of dairy cows to diets containing regular and high oleic acid sunflower seeds. Journal of Dairy Science 71: 1267–1274.

Castle, M.E. & Watson, J.N. 1984. Silage and milk production: a comparison between unwilted and wilted grass silage. Grass and Forage Science 39: 187–193.

Chamberlain, D.G. 1987. The silage fermentation in relation to the utilization of nutrients in the rumen. Process Biochemistry 22: 60–63.

Charmley, E. & Nicholson, J.W.G. 1994. Influence of dietary fat source on oxidative stability and fatty acid composition of milk from cows receiving a low or high level of dietary vitamin E. Canadian Journal of Animal Science 74: 657–664.

Cheeke, P.R. & Shull, L.R. 1985. Natural toxicants in feeds and poisonous plants. Westport, Connecticut: Avi Publishing company, INC. 492 p.

Chen, J.H.S. & Bates, C.R. 1962. Observations on the pipeline milker operation and its effect on rancidity. Journal of Milk and Food Technology 25: 176.

Choung, J.J. & Chamberlain, D.G. 1993. Proceedings of the 10th International Conference on Silage Research, Dublin, Ireland, September 6th–8th 1993. p. 141–142.

Christiansson, A. 1995. The significance of potentially pathogenic species of sporeformers, other than *Bacillus cereus*, in milk and milk products. Bulletin of the IDF 302: 2–10.

Church, D.C. 1983. Digestive physiology and nutrition of ruminants. 2 ed. Cornwallis: O & B Books. 350 p. ISBN 0-9601586-4-2.

- Clapperton, J.L., Kelly, M.E., Banks, J.M. & Rook, J.A.F.** 1980. The production of milk rich in protein and low in fat, the fat having a high polyunsaturated fatty acid content. *Journal of Science of Food and Agriculture* 31: 1295–1302.
- Cole, D.D., Harper, W.J. & Hankinson, C.L.** 1961. Observations on ammonia and volatile amines in milk. *Journal of Dairy Science* 44: 171.
- Corfield, A.E.** 1955. Bacterial fishiness in milk. *Dairy Industry* 20: 1035.
- Costa, N.D., McIntosh, G.H. & Snoswell, A.M.** 1976. *Australian Journal of Biological Sciences* 29: 33–42.
- Davidov, R.B. & Gul'ko, L.E.** 1964. Dokl. TSKhA. No. 104: 89. (Ref. Gregory, M. E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.)
- Davies, D.T. & Law, A.J.R.** 1980. The content and composition of protein in creamery milks in south-west Scotland. *Journal of Dairy Research* 47: 83–90.
- , **Holt, C. & Christie, W.W.** 1983. The composition of milk. In: Mephram, T. B. (ed.). *Biochemistry of lactation* p. 72–117.
- Deeth, H.C. & Fitz-Gerald, C.H.** 1976. Lipolysis in dairy products: a review. *The Australian Journal of Dairy Technology* 31: 53–64.
- Dejneka, J., Nowosad, R. & Simoni, J.** 1979. Studies on radio-selenium ⁷⁵Se distribution in tissues and rumen content and on its excretion with bile, urine and faeces in sheep (Summary). *Polskie Archiwum Weterynaryjne* 21 (2): 247–248.
- DePeters, E.J., Taylor, S.J., Finley, C.M. & Farnum, T.R.** 1987. Dietary fat and nitrogen composition of milk from lactating cows. *Journal of Dairy Science* 70: 1192.
- Dong, F.M. & Oace, S.M.** 1975. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 23: 534. (Ref. Gregory, M. E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.)
- Dunkley, W.L.** 1951. Hydrolytic rancidity in milk. I. Surface tension and fat acidity as measures of rancidity. *Journal of Dairy Science* 34: 515.
- Emanuelson, M. & Bertilsson, J.** 1995. The effect of feeding on milk fat content and fatty acid composition. New research experiences and feeding practice in Sweden. *Proceedings of NJF/NMR-Seminar no. 252, Milk in Nutrition: Effects of Production and Processing Factors, Turku, Finland, 13.–15.1.1995.* NJF - Report 102: 87–99. ISBN 952-90-6504-3.
- Engelhardt, W.V. & Hauffe, R.** 1975. Role of omasum in absorption and secretion of water and electrolytes in sheep and goats. In: McDonald, I.W. & Warner, A.C.I. (eds.). *Digestion and metabolism in the ruminant*. Armidale, Australia: University of New England, Publishing Unit. p. 216–230.
- Ettala, E., Rissanen, H., Virtanen, E., Huida, L. & Kiviniemi, J.** 1982. Wilted and unwilted silage in the feeding of dairy cattle. *Annales Agriculturae Fenniae* 21: 67–83.
- Fish, R.E. & Swanson, E.W.** 1982. Effects of excessive intakes of iodine upon growth and thyroid function of growing Holstein heifers. *Journal of Dairy Science* 65: 605–610.
- Forar, F.L., Kincaid, R.L., Preston, R.L. & Hillers, J.K.** 1982. Variation of inorganic phosphorus in blood plasma and milk of lactating cows. *Journal of Dairy Science* 65: 760–763.
- Forss, D.A., Dunstone, E.A. & Stark, W.** 1960. Fishy flavor in dairy products. III. The volatile compounds associated with fishy flavor in washed cream. *Journal of Dairy Research* 27: 373.
- Fredeen, H., Bowstead, J.E., Dunkley, W.L. & Smith, L.M.** 1951. Hydrolytic rancidity in milk. II. Some management and environmental factors influencing lipolysis. *Journal of Dairy Science* 34: 521.
- Goering, H.K., Gordon, C.H., Wrenn, T.R., Bitman, J., King, R.L. & Douglas, F.W.** 1976. Effect of feeding protected safflower oil on yield, composition, and oxidative stability of milk. *Journal of Dairy Science* 59: 416–425.
- Gordon, F.J.** 1980a. The effect of interval between harvests and wilting on silage for milk production. *Animal Production* 31: 35–41.
- 1980b. The effect of silage type on the performance of lactating cows and the response to high levels of protein in the supplement. *Animal Production* 30: 29–37.
- 1981. The effect of wilting of herbage on silage composition and its feeding value for milk production. *Animal Production* 32: 171–178.
- 1986. The effects of system of silage harvesting and feeding on milk production. *Grass and Forage Science* 41: 209–219.
- 1987. The influence of the system of silage harvesting and feeding and the use of protected protein on milk production. *Grass and Forage Science* 42: 9–19.

- & Peoples, A.C. 1986. The utilization of wilted and unwilted silages by lactating cows and the influence of changes in the protein and energy concentration of the supplement offered. *Animal Production* 43: 355–366.
- Gow, C.B., Ranawana, S.S. E., Kellaway, R.C. & McDowell, G.H.** 1979. Responses to post-ruminal infusion of casein and arginine, and to dietary protein supplements in lactating goats. *British Journal of Nutrition* 41: 371–382.
- Gregory, M.E.** 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.
- Gul'ko, L.E.** 1966. Dokl. TSKhA. No. 116: 101. (Ref. Gregory, M. E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.)
- 1972. Dokl. TSKhA. No. 190: 75. (Ref. Gregory, M. E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.)
- 1973. Dokl. TSKhA. No. 191: 43. (Ref. Gregory, M. E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.)
- Haglund, B., Hakala-Lahtinen, P., Huupponen, T. & Ventola, A.-L.** 1994. Ihmisen ravitseminen. Porvoo, Helsinki, Juva: WSOY. ISBN 951-0-19145-0.
- Harrop, C.J.F.** 1974. Nitrogen metabolism in the ovine stomach. 4. Nitrogenous components of the abomasal secretions. *Journal of Agricultural Science* 83: 249–257.
- Hartman, A.M. & Dryden, L.P.** 1974. The vitamins in milk and milk products. In: Webb, B.H., Johnson, A.H. & Alford, J.A. (eds.). *Fundamentals of Dairy Chemistry*. Westport, Connecticut: The Avi Publishing Company. p. 325–401.
- Hawke, J.C. & Taylor, M.W.** 1983. Influence of nutritional factors on yield, composition and physical properties of milk fat. In: Fox, P.F. (ed.). *Developments in Dairy Chemistry* 2: 37–81.
- Heikkilä, T.** 1993. Concentrate supplemented silage of hay harvested at early growth stage in the feeding of dairy cattle. *Proceedings of the Russia's-Finnish symposium, Elaboration of ecologically safe methods for agriculture, Sanct-Petersburg, Russia, 15-18.1. 91.* p. 176–178.
- 1994. Nykyhinnoilla runsas väkirehuannos ei ole taloudellisesti kannattava. *Maito ja me –lehti, Säilörehuliite* 4/1994: 38–40.
- , **Huhtanen, P., Jaakkola, S. & Miettinen, H.** 1995a. Manipulation of milk composition with forage-based diets. *Proceedings of NJF/NMR-Seminar No. 252, Milk in Nutrition: Effects of Production and Processing Factors*. Turku, Finland 13.–15.1.1995. NJF - Report 102: 116–134. ISBN 952-90-6504-3.
- , **Toivonen, V. & Huhtanen, P.** 1995c. Esikuiva-tun säilörehun käymislaadun ja valkuaisäydennyksen vaikutus lypsylehmän ruokinnassa. *Kotieläintieteen päivät 1995. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 888*. Helsinki. Maaseutukeskusten Liitto. p. 149–154. ISBN 951-808-034-8.
- , **Toivonen, V. & Mela, T.** 1992. Comparison of red clover-grass silage with grass silage for milk production. *Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation, Lahti, Finland. June 8-11, 1992.* p. 388–391.
- , **Toivonen, V. & Väättäin, H.** 1990. Väkiheinätutkimus 1984–90, osa 5. Väkiheinä- ja viljakoe, ja säilöntäaineet säilörehun valmistuksessa, osa 4. Säilöntäaine- ja väkirehukoe. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimuslaitos, Eläinravitsemuksen tutkimusala. Toimintakertomus vuodelta 1990. p. 7–12.
- , **Toivonen, V. & Väättäin, H.** 1991. Effect of biological additives on silage quality and milk production with dairy cows. *42nd Annual Meeting of the EAAP, Berlin, 8.-12. September 1991. Abstracts Vol 2: 49.*
- , **Väättäin, H. & Lampila, M.** 1986. Säilöntäaineet säilörehun valmistuksessa: säilöntäaine- ja väkirehukoe. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, kotieläinhuolto-osasto. Toimintakertomus ja tutkimustuloksia vuodelta 1986. p. 4–6.
- , **Väättäin, H. & Lampila, M.** 1988. Barley or oats for dairy cows? *Proceedings of the VI World Conference on Animal Production, Helsinki, June 27-July 1, 1988.* p. 336.
- , **Väättäin, H. & Lampila, M.** 1989b. Energia- ja valkuaisruokinnan vaikutus maidon koostumukseen, osat 2–4, väkirehutasokokeet. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimuslaitos, Kotieläinten ravitsemuksen tutkimusala. Toimintakertomus ja tutkimustuloksia vuodelta 1989. p. 11–13.
- , **Väättäin, H. & Lampila, M.** 1989c. Energia- ja valkuaisruokinnan vaikutus maidon koostumukseen, osat 2–4, väkirehutasokokeet. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimuslaitos, Kotieläinten ravitsemuksen tutkimusala. Toimintakertomus ja tutkimustuloksia vuodelta 1989. p. 11, 14.

- , **Väätäinen, H. & Lampila, M.** 1989d. Effect of silage quality on milk yield and composition in dairy cows. Proceedings of the International Symposium on Production, Evaluation and Feeding of Silage, Rostock, Germany, 12th to 16th June 1989. p. 177–183.
- , **Väätäinen, H., Lampila, M. & Toivonen, V.** 1989a. Säilöntäaineet säilörehun valmistuksessa: säilöntäaine- ja väkirehukoe. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus, Kotieläintuotannon tutkimuslaitos, Kotieläinten ravitsemuksen tutkimusala. Toimintakertomus ja tutkimustuloksia vuodelta 1989. p. 5–7.
- , **Väätäinen, H. & Toivonen, V.** 1993. Effects of acid and biological additives on grass silage quality and milk production in dairy cows supplemented with concentrates containing three levels of rapeseed meal. Proceedings of the 10th International Conference on Silage Research, Dublin, Ireland, September 6th–8th 1993. p. 190–191.
- , **Väätäinen, H. & Toivonen, V.** 1995b. Effects of hay or silage and barley-oats or oats in milk production. Nordiskt lantbruk i det nya Europa. Nordiska Jordbruksforskarens Föreningens XX kongress, Reykjavik, 26–29 juni 1995. Nordisk jordbruksforskning 77(3): 121.
- Hemken, R.W.** 1980. Milk and meat iodine content: Relation to human health. Journal of American Veterinary Medicine Association. 176: 1119–1121.
- Hidiroglou, M.** 1989. Mammary transfer of vitamin E in dairy cows. Journal of Dairy Science 72: 1067–1071.
- & **Jenkins, K.J.** 1973. Absorption of 75-selenomethionine from the rumen of sheep. Canadian Journal of Animal Science 54: 325–330.
- & **Jenkins, K.J.** 1974. Fate of ⁷⁵Se-selenomethionine in the gastrointestinal tract of sheep. In: Hoekstra, W.G. et al. (eds.) Trace Element Metabolism in Animals, 2. Baltimore: University Park Press.
- Hillman, D. & Curtis, A.R.** 1980. Chronic iodine toxicity in dairy cattle: Blood Chemistry, leukocytes and milk iodide. Journal of Dairy Science 63: 55–63.
- Holmes, C.W. & Wilson, G.F.** 1984. Milk Production from Pasture. New Zealand: Butterworths. 319 p. ISBN 0-409-70140-8 pbk.
- Hudman, J.F. & Glenn, A.R.** 1984. Selenite uptake and incorporation by *Selenomonas ruminantium*. Archives Microbiology. 140: 252–256.
- Huhtanen, P.** 1987. The effect of dietary inclusion of barley, unmolassed sugar beet pulp and molasses on milk production digestibility and digesta passage in dairy cows given silage based diet. Journal of Agricultural Science in Finland 59: 101–120.
- 1988. The effect of barley, unmolassed sugar-beet pulp and molasses supplements on organic matter, nitrogen and fiber digestion in the rumen of cattle given a silage diet. Animal Feed Science and Technology 20: 259–278.
- 1991. The response to replacement of barley with wheat bran and treatment of rapeseed meal in the diets of dairy cows given grass silage *ad libitum*. Acta Agriculturae Scandinavica 41: 415–426.
- 1992. The effects of barley vs. barley fibre with or without distiller's solubles on site and extent of nutrient digestion in cattle fed grass-silage-based diet. Animal Feed Science and Technology 36: 319–337.
- 1993a. Forage influences on milk composition. Proceeding of Nova Scotia Forage Conference, Forage: Seeding to Feeding, Dartmouth, Canada, 29-30.10.93. p. 144–162.
- 1993b. The effects of concentrate energy source and protein content on milk production in cows given grass silage *ad libitum*. Grass and Forage Science 48: 347–355.
- 1995. Maidon rasvapitoisuuteen vaikuttavat ruokintafysiologiset tekijät ja mahdollisuudet pienentää rasvapitoisuutta ruokinnallisoin keinoin. Kotieläintieteen päivät 1995. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 888. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 51–63. ISBN 951-808-034-8.
- , **Ala-Seppälä, H. & Näsi, M.** 1988. Response of silage intake and milk production to replacement of barley by barley fibre derived from integrated starch-ethanol process. Journal of Agricultural Science in Finland 60: 711–721.
- & **Heikkilä, T.** 1995. The effect of physical treatment of barley and rapeseed meal in dairy cows given grass silage. British Society of Animal Science Winter Meeting, Programme and Summaries, Spa Complex Scarborough, 20–22. March 1995. Paper No 148. 2 p. Animal Science 3: 551.
- , **Jaakkola, S. & Saarisalo, E.** 1995. The effects of concentrate energy source on the milk production of dairy cows given a grass silage-based diet. Animal Science 60: 31–40.
- , **Khalili, H. & Näsi, M.** 1991. A comparison of untreated and formaldehyde-treated barley distiller's solubles and rapeseed meal as protein supplements in dairy cows given grass silage *ad libitum*. Journal of Agricultural Science in Finland 63: 455–463.

- & **Miettinen, H.** 1992. Milk production and concentrations of blood metabolites as influenced by the level of wet distiller's solubles in dairy cows receiving grass silage-based diet. *Agricultural Science in Finland* 1: 279–290.
- , **Miettinen, H., Kaustell, K. & Sairanen, A.** 1993b. Effects of gradual replacement of propionate with butyrate in dairy cows given a grass silage-based diet. *Proceedings of the VII World Conference on Animal Production, Edmonton, Canada*. 28.6-2.7.1992. p. 342–343.
- , **Miettinen, H. & Toivonen, V.** 1997. Effects of silage fermentation and post-ruminal casein supplementation in lactating dairy cows. 1. Diet digestion and milk production. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 74: 450–458.
- , **Miettinen, H. & Ylisen, M.** 1993a. Effect of increasing ruminal butyrate on milk yield and blood constituents in dairy cows fed a grass silage-based diet. *Journal of Dairy Science* 76: 1114–1124.
- , **Rinne, M., Huuskonen, K., Vesterinen, V. & Huhtanen, P.** 1995. The effect of silage fermentation on the response to protein supplementation in milk production and rumen fermentation *in vitro*. *Proceedings of the VII Symposium on Protein Metabolism and Nutrition*. p. 68.
- International Dairy Federation 1974. Lipolysis in cooled bulk milk. Document No 82.
- 1975. *Proceedings of the lipolysis symposium, Cork, Ireland*. Document No. 86.
- Jaakkola, S. & Huhtanen, P.** 1992a. Rumen fermentation and microbial protein synthesis in cattle given intraruminal infusions of lactic acid with a grass silage based diet. *Journal of Agricultural Science* 119: 411–418.
- & **Huhtanen, P.** 1992b. The effect of grass maturity on nitrogen metabolism in the rumen of cattle receiving silage-based diet. *Proceedings of the 14th General Meeting of the European Grassland Federation*. Lahti, Finland, June 8.-11., 1992. p. 588–590.
- & **Huhtanen, P.** 1993. The effects of forage preservation method and proportion of concentrate on nitrogen digestion and rumen fermentation in cattle. *Grass and Forage Science* 48: 146–154.
- , **Huhtanen, P. & Hissa, K.** 1991. The effect of cell wall degrading enzymes or formic acid on fermentation quality and on digestion of grass silage by cattle. *Grass and Forage Science* 46: 75–87.
- , **Huhtanen, P. & Kaunisto, V.** 1993a. The effect of formic acid application rate at ensiling on the utilization of grass silage nitrogen in cattle. *Proceedings of VII World Conference on Animal Production, Edmonton, Canada*. Vol. 3: 253–254.
- , **Huhtanen, P. & Rinne, M.** 1993b. The effect of grass maturity on rumen fermentation and digestion of cell wall carbohydrates in cattle receiving silage-based diet. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 1: 62.
- , **Rinne, M., Huuskonen, K., Vesterinen, V. & Huhtanen, P.** 1995. The effect of silage fermentation on the response to protein supplementation in milk production and rumen fermentation *in vitro*. *Proceedings of the VII Symposium on Protein Metabolism and Nutrition*. p. 68.
- Jellema, A.** 1980. Physiological factors associated with lipolytic activity in cow's milk. *International Dairy Federation Bulletin: Flavour impairment of milk and milk products due to lipolysis*. Document 118: 33-40.
- Jenness, R.** 1985. Biochemical and nutritional aspects of milk and colostrum. In: Larson, B.L. (ed.). *Lactation*. 5th edition. Iowa: The Iowa State University Press. p. 164–197. ISBN 0-8138-1063-9.
- Jensen, R.** 1959. Spontaneous lipolysis in milk throughout the stages of lactation of individual cows. *Journal of Dairy Science* 42: 1619.
- Jensen, R.G.** 1964. Lipolysis. *Journal of Dairy Science* 47: 210.
- Jensen, S.K. & Nielsen, K.N.** 1995. Transfer of vitamin A, E and β -carotene from feed to milk at various stages of lactation and its importance for milk stability. *Proceedings of NJF/NMR-Seminar no. 252, Milk in Nutrition: Effects of Production and Processing Factors, Turku, Finland, 13.-15.1.1995*. NJF - Report 102: 149–156. ISBN 952-90-6504-3.
- Johnson, P.E. & Von Gunten, R.L.** 1961. Daily variations in lipolytic activity in individual cow's milk. *Journal of Dairy Science* 44: 969.
- Kallio, M. & Sairanen, S.** 1994. Kotieläinten luonnonmukainen ruokinta. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 10/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 19 p.
- Kankare, V. & Antila, V.** 1984. The effect of feed grains on the fatty acid composition of milk fat. *Journal of Agricultural Science in Finland* 56: 33–38.
- & **Antila, V.** 1986. Öljyä sisältävä rypsirouhe ja -puriste lypsylehmien ruokinnassa. Koetointia ja käytäntö 43 (11.11.1986) : 52.

Karjantarkkailu 1993. Tuotostarkkailun tulokset. Maaseutukeskusten Liiton julkaisu no. 876. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. 43 p.

Kaufmann, W. Julkaisematon. (Ref: Kaufmann, W. & Hagemeister, H. 1987. Composition of milk. In: Gravert, H.O. (ed.). World Animal Science C3. Dairy-Cattle Production. p. 161. ISBN 0-444-42680-9.)

– & Hagemeister, H. 1987. Composition of milk. In: Gravert, H. O. (ed.). World Animal Science C3. Dairy-Cattle Production. p. 107–171. ISBN 0-444-42680-9.

Keen, A.R. & Wilson, R.D. 1993. Pasture feeding - a contribution of additional flavour nuances to milk-fat and meat flavour. New Zealand Dairy Research Institute Milkfat flavour forum, Summary of Proceedings, Palmerston North, New Zealand, 3-4 March, 1992. Palmerston North, New Zealand: New Zealand Dairy Research Institute. 1993: 24–31.

Knöppler, H.-O., von. & Averdunk, G. 1986. Vergleichende Qualitätsuntersuchungen von konventionell und alternativ erzeugter Kuhmilch. Archiv für Lebensmittelhygiene 37: 94–96.

Korpela, R., Ahotupa, M., Korhonen, H. & Syväoja, E.-L. 1995. Antioxidant properties of Cow's milk. Proceedings of NJF/NMR-Seminar no. 252, Milk in Nutrition: Effects of Production and Processing Factors. Turku, Finland, 13.-15.1.1995. NJF - Report 102: 157–159. ISBN 952-90-6504-3.

Krienke, W.A. 1944. The relationship of the individuality of the cow to the production of rancid milk. Journal of Dairy Science 27: 683.

Kruglova, L.A. 1972. Dokl. TSKhA. No. 190: 79. (Ref. Gregory, M.E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. International Dairy Federation Bulletin 125: 164–166.)

Kumpulainen, J., Hietaniemi, V. & Tahvonen, R. 1993. Elintarvikkeiden ja ravinnon vierasainepitoisuudet - kansainvälistä vertailua. Kemia 20, 9-10: 841–846.

Larson, B.L. 1985. Biosynthesis and cellular secretion of milk. In: Larson, B.L. (ed.). Lactation. 5th edition. Iowa: University Press. p. 129–163. ISBN 0-8138-1063-9.

Levander, O.A. 1986. Selenium. In: Mertz, W. (ed.). Trace elements in human and animal nutrition. Orlando, Florida: Academic Press. Inc. p. 209–279.

Lundin, P.K. & Palmquist, D.L. 1983. Vitamin E supplementation of high fat diets for dairy cows.

Journal of Dairy Science 66: 1909–1916.

Martin, P.A. & Thomas, P.C. 1988. Dietary manipulation of the yield and composition of milk: effects of dietary inclusions of barley and oats in untreated or formaldehyde-treated forms of milk fatty acid composition. Journal of the Science of Food and Agriculture 43: 145–154.

McCaley, E.H., Johnson, D.W. & Alhadji, I. 1972. Disease problems in cattle associated with high levels of iodine. Bovine Practice 7: 22–27.

McDonald, P., Edwards, R.A. & Greenhalgh, J.F.D. 1988. Animal Nutrition. 4. ed.. New York: John Wiley & Sons. 543 p. ISBN 0-470-20791-4 (USA only), ISBN 0-582-40903-9.

McDowell, L.R. 1989. Vitamins in animal nutrition: comparative aspects to human nutrition. San Diego, California: Academic Press. 486 p. ISBN 0-12-483372-1.

Mehta, R.S., Bassette, R. & Ward, G. 1973. Trimethylamine responsible for fishy flavor in milk from cows on wheat pasture. Journal of Dairy Science 57 (3): 285–289.

Meijboom, P.W. & Stroink, J.B.A. 1970. 2-trans, 4-cis,-decatrienal, the fishy off-flavor occurring in strongly autoxidized oils containing linolenic acid or 3, 6, 9 etc., fatty acids. Journal of association of oil chemists society 49: 555.

Mephram, T.B. 1987. Physiology of lactation. Milton Keynes, Philadelphia: Open University Press. 207 p. ISBN 0-335-15152-3, ISBN 0-335-15151-5.

Miettinen, H. & Huhtanen, P. 1989. The concentrations of blood metabolites and the relations between blood parameters, fatty acid composition of milk and estimated ME-balance in dairy cows given grass silage *ad libitum* with five different carbohydrate. Acta Agriculturae Scandinavica 39: 319–330.

– & Huhtanen, P. 1996. Effects of the ratio of ruminal propionate to butyrate on milk yield and blood metabolites in dairy cows. Journal of Dairy Science 79: 851–861.

MMM 1990. Seleeniryöryhmän raportti. V vuosiraportti. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 32 p.

– 1996. Mikrobilääkeaineiden käyttö eläimillä. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/1996. 27 p. ISSN 1238-2531. ISBN 951-53-0820-8.

Moore, J.H. & Christie, W.W. 1981. Lipid metabolism in the mammary gland of ruminant animals. In: Christie, W.W. (ed.). Lipid Metabolism in Ruminant Animals. Oxford, England: Pergamon Press. p. 227–277. ISBN 0-08-023789-4.

- Mould, F.L. & Hansen, B.G.** 1994. Possible causes for the changing incidence of adverse flavours and taints detected in milk delivered to dairies in south-west Norway. *Norwegian Journal of Agricultural Science* 8: 155–163.
- Murphy, M., Khalili, H. & Huhtanen, P.** 1993. The substitution of barley by other carbohydrates in grass silage based diets to dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 41: 279–296.
- Newlander, J.A. & Atherton, H.V.** 1964. Composition of milk. The chemistry and testing of dairy products. Milwaukee, Wisconsin: Olsen Publishing Co.
- Nicholson, J.W.G.** 1993. Spontaneous oxidized flavour in cow's milk. *Bulletin of the International Dairy Federation* 281: 2–12.
- Nicholson, J.W.G. & St-Laurent, S.-M.** 1991. Effect of forage type and supplemental dietary vitamin E on milk oxidative stability. *Canadian Journal of Animal Science* 71: 1181–1186.
- Nordlund, J. & Setälä, J.** 1986. Säilörehu ja maitovalmisteiden laatu. *Karjantuote* 69, 3: 14–16.
- NRC 1980. Mineral tolerance of domestic animals. Washington, DC: National Academy of Sciences. 577 p.
- Nsereko, V.L. & Rooke, J.A.** 1993. The effect of novel additives upon protein breakdown during ensilage. Proceedings of the 10th International Conference on Silage Research, Dublin, Ireland, 6 th-8 th September, 1993. p. 116–117.
- Oldham, J.D.** 1984. Protein-energy interrelationships in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 67: 1090.
- Olson, W.G., Stevens, J.B., Anderson, J. & Haggard, D.W.** 1984. Iodine toxicosis in six herds of dairy cattle. *JAVMA* 184, 2: 179–181.
- Ormrod, I.H.L., Thomas, P.C. & Wheelock, J.V.** 1980. The effect of dietary inclusions of tallow on the citric acid and soluble calcium content of cow's milk. *Proceedings of the Nutrition Society* 39: 33A.
- Palmquist, D.L. & Jenkins, T.C.** 1980. Fat in lactation rations: Review. *Journal of Dairy Science* 63: 1–14.
- Palmquist, D., Beaulieu, A.D. & Barbano, D.M.** 1993. ADSA Foundation Symposium: Milk fat synthesis and modification. Feed and animal factors influencing milk fat composition. *Journal of Dairy Science* 76: 1753–1771.
- Paulson, G.C., Baumann, C.A. & Pope, A.L.** 1968. Metabolism of ⁷⁵Se-selenate, ⁷⁵Se-selenomethionine and 35-S-sulfate by rumen microorganisms *in vitro*. *Journal of Animal Science* 27: 497–504.
- Peaker, M.** 1980. Influence of diet on the yields and contents of lactose and minerals in milk. *International Dairy Federation Bulletin*. Document 125: 159–163.
- Peel, C.J., Bauman, D.E., Gorewit, R.C. & Sniffen, C.J.** 1981. *Journal of Nutrition* 111: 1662–1671.
- Peterson, P.J. & Butler, G.W.** 1962. The uptake and assimilation of selenite by higher plants. *Australian Journal of Biological Sciences* 15: 126.
- Rauramaa, A.** 1983. AIV-rehun laatu ja sen vaikutus maitoon ja maitovalmisteisiin. *Maitojaloste* 2/83: 10–11.
- Rauramaa, A. & Rantavaara, A.** 1986. Radioaktiiviset aineet maidossa ja maitovalmisteissa. *Karjantuote* 6: 42–43.
- Rinne, M., Jaakkola, S., Heikkilä, T., Toivonen, V. & Huhtanen, P.** 1995. Nurmirehun sulavuuden ja väkirehun yhdysvaikutukset lypsylehmillä. Kotieläintieteen päivät 1995, Helsinki. Maaseutukeskusten liiton julkaisu no 888. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 41–46. ISBN 951-808-034-8.
- Rook, J.A.F.** 1976. In: Swan, H. & Broster, W.H. (eds). *Principles of Cattle Production*. London: Butterworths. p. 221–236.
- , **Sutton, J.D. & France, J.** 1992. Prediction of the yields of milk constituents in dairy cows offered silage *ad libitum* and concentrates at a flat rate. *Animal Production* 54: 313–322.
- & **Thomas, P.C.** 1983. Milk secretion and its nutritional regulation. In: Rook, J.A.F. & Thomas, P.C. (eds.). *Nutritional Physiology of Farm Animals*. London, New York: Longman. p. 314–368. ISBN 0-582-45587-1.
- Ryhänen, M., Huhtanen, P., Jaakkola, S. & Ahvenjärvi, S.** 1996. EU-jäsenyyden vaikutus maidontuotantoon. In: Ylätalo, M. (ed.). *Maatalousyrittäjien sopeutuminen EU:ssa vallitseviin hintasuhteisiin*. Tuotanto- ja kustannusteoreettinen tarkastelu kasviviljelyyn ja kotieläintuotantoon sovellettuna. Helsingin yliopisto, taloustieteen laitos. Julkaisu No. 12. Helsinki: Helsingin yliopisto. p. 75–118.
- Schingoethe, D.J., Parsons, J.G., Ludens, F.C., Tucker, W.L. & Shave, H.J.** 1978. Vitamin E status of dairy cows fed stored feeds continuously of pastured during summer. *Journal of Dairy Science* 61:

1582–1589.

Schwab, C.G., Satter, L.D. & Clay, A.B. 1976. Response of lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids. *Journal of Dairy Science* 59: 1254–1270.

Selner, D.R. & Schultz, L.H. 1980. Effects of feeding oleic acid or hydrogenated, vegetable oils to lactating cows. *Journal of Dairy Science* 63: 1235–1241.

Setälä, J., Rauramaa, A. & Rajamäki, S. 1986. Maidon urea- ja ketoainepitoisuuden ja lehmien ruokinnan välinen riippuvuus käytännön tiloilla. *Karjalous* 1: 30–31.

Sharabrin, I.G., Lutskii, D.Y., Zelenskaya, Z.M., Morozova, Z.V., Vorob'ev, E.S. & Kulebyakin, I. 1973. *Sb. Nauchn. Tr. Mosk. Ordena Tr. Krasnogo Znamenii Vet. Akad., K. I. Skryabina*. 65: 82. (Ref. Gregory, M.E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.)

Siddons, R.C., Nolan, J.V., Beever, D.E. & MacRae, J.C. 1985. Nitrogen digestion and metabolism in sheep consuming diets containing contrasting forms and levels of N. *British Journal of Nutrition* 54: 175–187.

Siegenthaler, E. 1958. Studies of the incidence and control of bitter flavour in cream from a beet-growing district. Part II. Schweiz. Milchztg (Wissenschaftliche Beilage Nr. 56) 84: 441.

Smith, R.H. 1989. Nitrogen metabolism in the ruminant stomach. In: Bock, H.-D. et al. (eds.). *Protein metabolism in farm animals. Evaluation, digestion, absorption and metabolism*. Oxford: Oxford University Press, Berlin: VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag. p. 165–203. ISBN 0-19-854251-8.

Speer, J.F., Watrous, G.H. & Kesler, E.M. 1958. The relationship of certain factors affecting hydrolytic rancidity in milk. *Journal of Milk and Food Technology* 21: 33.

Stangassinger, M. & Giesecke, D. 1980. The metabolism of isobutylidene diurea - a glucogenic NPN-compound. *European Association for Animal Production. Publication No. 27*: 592–598.

Steele, W. 1985. High-oil, high-protein diets and milk secretion by cows. *Journal of Dairy Science* 68: 1409.

Stegeman, G.A., Baer, R.J., Schingoethe, D.J. & Casper, D.P. 1992. Composition and flavor of milk and butter from cows fed unsaturated fat and receiving bovine somatotropin. *Journal of Dairy Science* 75: 962–970.

Storry, J.E. 1988. The effect of dietary fat on milk composition. In: Haresign, W. & Cole, D.J.A. (eds.). *Recent Developments in Ruminant Nutrition*. London: Butterworths. p. 111–141.

Strobel, D.R., Bryan, W.G. & Babcock, C.J. 1953. *Flavors in milk*. Publication of United States Department of Agriculture. Washington, D. C.

Sutton, J.D. 1984. Milk compositional quality and its importance in future markets. In: Mastle, M.E. & Gunn, R.G. (Eds.). *Occasional publication No 9*. British Society of Animal Production. p. 43–52.

Syrjälä-Qvist, L. & Setälä, J. 1982a. Formaldehyde content of milk. 1. Cows fed on protein concentrates treated with different amounts of formaldehyde. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 54: 63–67.

– **& Setälä, J.** 1982b. Formaldehyde content of milk. 2. Cows fed on grass silage preserved with formaldehyde-containing additive and on formaldehyde-treated urea. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 54: 63–67.

Syvjäärvi, J. 1986. Soluluvun käyttö. In: Sandholm, M. & Kaartinen, L. (eds.). *Utareen sairaudet*. Helsinki: Eläinlääketieteellinen korkeakoulu. p. 99–103.

Taniguchi, K., Huntington, G.B. & Glenn, B.P. 1995. Net nutrient flux by visceral tissues of beef steers given abomasal and ruminal infusions of casein and starch. *Journal of Animal Science* 73: 236–249.

Thomas, C. & Rae, R.C. 1988. Concentrate supplementation of silage for dairy cows. In: Garnsworthy, P. C. (ed.). *Nutrition and lactation in the dairy cow*. London, Boston, Singapore, Sydney, Toronto, Washington: Butterworths. p. 327–354.

–, **Daley, S.R., Aston, K. & Hughes, P.M.** 1981. Milk production from silage. 2. The influence of the digestibility of silage made from the primary growth of perennial ryegrass. *Animal Production* 33: 7–13.

–, **Aston, K., Daley, S.R. & Hughes, P.M.** 1982. A comparison of red clover with grass silage for milk production. *Animal Production* 34: 361.

Thomas, P.C. & Chamberlain, D.G. 1982. Silage as a foodstuff. In: Rook, J.A.F. & Thomas, P.C. (eds.). *Silage for milk production*. Technical Bulletin 2.uk: NIRD-HRI.. p. 63–101.

– **& Chamberlain, D.G.** 1984. Manipulation of milk composition to meet market needs. In: Haresign, W. & Cole, D.J.A. (eds.). *Recent Advances in Animal Nutrition*. London: Butterworths. p. 219–243.

- & **Martin, P.A.** 1988. The influence of nutrient balance on milk yield and composition. In: Garnsworthy, P.C. (ed.). *Nutrition and Lactation in the Dairy Cow*. London: Butterworths. p. 97–118. ISBN 0-408-00717-6.
- & **Rook, J.A.F.** 1983. Milk production. In: Rook, J.A.F. & Thomas, P.C. (eds.). *Nutritional Physiology of Farm Animals*. London, New York: Longman. p. 558–622. ISBN 0-582-45587-1.
- Tucker, H.A.** 1985. Endocrine and neural control of the mammary gland. In: Larson, B.L. (ed.). *Lactation*. Iowa: The Iowa State University Press. p. 39–79.
- Tuori, M.** 1992. Rapeseed meal as a supplementary protein for dairy cows on grass silage-based diet, with the emphasis on the nordic AAT-PBV feed protein evaluations system. *Agricultural Science in Finland* 1: 367–439.
- , **Kaustell, K., Syrjälä-Qvist, L. & Asikainen, A.** 1988. Rypsirouheen lajikkeen ja käsittelyn vaikutus maitotuotukseen ja maidon koostumukseen säilörehuruokinnalla olevilla lehmillä. Helsingin yliopisto, kotieläintieteen laitos. Toimintakertomus ja tutkimustuloksia 1988. Helsinki: Helsingin yliopisto. p. 12–14.
- & **Syrjälä-Qvist, L.** 1995. Increasing amounts of expanded rapeseed expellers in the feeding of dairy cows. 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, UK, 4-7 July 1995. Volume ¼: 145–147.
- , **Syrjälä-Qvist, L. & Leivonen, V.** 1994. Effect of protein content of concentrate on milk production with direct cut and wilted grass silage diets. International Conference on Animal Nutrition, Tartu, Estonia, 26.-27.5.1994. 5 p.
- Turashvili, Sh. G.** 1972. *Zhivotnovodstvo*. No. 9: 88. (Ref. Gregory, M. E. 1980. Influence of diet on the vitamin content of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 125: 164–166.)
- Ullrey, D.E.** 1972. Biological availability of fat-soluble vitamins: vitamin A and carotene. *Journal of Animal Science* 35: 648–657.
- Vanhatalo, A., Heikkilä, T. & Gäddnäs, T.** 1995. Puna-apilapitoinen säilörehu lypsylehmien ruokinnassa: vaikutus valkuaisyynteesiin, pötsifermentaatioon ja maidon tuotantoon heinäsäilörehuun verrattuna. Kotieläintieteen päivät 1995. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 888. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 190–193. ISBN 951-808-034-8.
- Van Soest, P.J.** 1982. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornwallis: O & B Books. 374 p. ISBN 0-9601586-0-X.
- 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Ithaca, London: Cornell University Press. 476 p. ISBN 0-8014-2772-X.
- Varo, P.** 1984. Seleenilannoituksen ravitsemukselliset vaikutukset. *Karjantuote* 6: 18–20.
- Varvikko, T., Jaakkola, S. Rinne, M. & Huhtanen, P.** 1995. Rypsirouheen ja lämpö-kosteuskäsitellyn rypsiuristeiden valkuaisarvo maidontuotannossa säilörehuruokinnalla. Kotieläintieteen päivät 1995, Helsinki. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 888. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 35–40. ISBN 951-808-034-8.
- , **Vanhatalo, A., Huhtanen, P. & Holma, M.** 1996. Metioniinilisän vaikutus nurmisäilörehulla ruokitun lypsylehmän tuotantoon. Kotieläintieteen päivät 1996, Helsinki. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 905. Helsinki: Maaseutukeskusten Liitto. p. 147–150. ISSN 0789-9661, ISBN 951-808-047-X.
- Wallace, R.J. & Cotta, M.A.** 1988. Metabolism of nitrogen-containing compounds. In: Hobson, P.N. (ed.). *The Rumen Microbial Ecosystem*. London, New York: Elsevier Applied Science. p. 217–249.
- Webster, J.** 1987. Calcium exchange. In: *Understanding the dairy cow*. BSP Professional books. 357 p. ISBN 0-632-01889-5.
- Werner, H.** 1990. Karakterisering af økologisk produceret mælk. Rapport over en sammenlignende undersøgelse af traditionelt og økologisk produceret mælk. Statens Mejeriforsøg. Statens Mejeriforsøgsrapport nr. 41. 50 p.
- Wilson, R.D.** 1993. The effect of feed on the flavour components of milkfat. New Zealand Dairy Research Institute Milkfat flavour forum: Summary of Proceedings, Palmerston North, New Zealand, 3-4 March 1992. Palmerston North, New Zealand: New Zealand Dairy Research Institute. p. 68–71.
- Wolfschoon-Pombo, A. & Klostermeyer, H.** 1981. The NPN-fraction of cow milk. I. Amount and composition. *Milchwissenschaft* 36: 598.
- Wright, P.L. & Bell, M.C.** 1966. Comparative metabolism of selenium and tellurium in sheep and swine. *American Journal of Physiology* 211: 6–10.
- Ørskov, E.R., Flatt, W.P., Moe, P.W. & Munson, A.W.** 1969. *British Journal of Nutrition* 23: 443–453.

III Prosessoinnin vaikutus maidon laatuun

Timo Rokka ja Hannu Korhonen

Kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan todeta prosessoinnilla olevan merkittävä vaikutus maidon laatuun. Maidon prosessoinnin vaikutus kohdentuu erityisesti maidon kemiallisiin komponentteihin, kuten rasvaan, proteiineihin, laktoosiin, vitamiineihin, kivennäisaineisiin, hivenaineisiin ja entsyymeihin. Kemiallisia komponentteja

koskevat muutokset saattavat vaikuttaa myös maidon fysikaalisiin ja ravitsemuksellisiin ominaisuuksiin. Kuitenkin vain harvat näistä muutoksista ovat negatiivisia. Toisaalta meijerikäsittelyt voivat parantaa teknologisia ominaisuuksia, edistää maidon säilyvyyttä ja parantaa sen käyttökelpoisuutta ravintona.

Avainsanat: kemialliset muutokset, laatu, maito, meijerikäsittelyt, prosessointi

Processing and its effect on milk quality

Abstract

According to this literature review, processing has a marked effect on milk quality, in particular on the chemical components of milk such as fat, proteins, lactose, vitamins, trace elements and enzymes. Changes in chemical components may in turn affect the physical and nutritional properties of milk.

The impact of these changes is, however, rarely negative. On the contrary, milk processing may improve technological properties, enhance storability and promote the nutritional value of milk.

Key words: chemical changes, milk, processing, quality

1 Johdanto

Maitoon tai maidosta valmistettavien tuotteiden laatuun vaikuttaa keskeisesti raaka-aineena käytettävän maidon muokkautuminen erilaisissa prosesseissa. Maidon prosessoinnin vaikutus kohdentuu erityisesti maidon kemiallisiin komponentteihin, kuten rasvaan, proteiineihin, laktoosiin, vitamiineihin, kivennäisaineisiin, hivenaineisiin ja entsyymeihin. Kemiallisia komponentteja koskevat muutokset saattavat vaikuttaa myös maidon fysikaalisiin ja ravitsemuksellisiin ominaisuuksiin. Kuitenkin vain harvat näistä muutoksista ovat negatiivisia. Toisaalta meijerikäsittelyt voivat parantaa teknologisia ominaisuuksia, edistää maidon säilyvyyttä ja parantaa sen käyttökelpoisuutta ravintona. Tässä selvityksessä on keskitytty lähinnä meijerikäsittelyn perusprosessien vaikutuksiin maidon laatuominaisuuksissa. Näitä vaikutuksia on esitetty pääpiirteittäin kuvassa 1.

Maitoa joko suoraan tai välillisesti muokkaavat tekijät voidaan jakaa seitsemään pääryhmään (Froelich 1995):

1. Mekaaniset käsittelyt: mm. separointi, homogenointi, fraktiointi, sekoitukset ja putkistosiirot.
2. Lämpökäsittelyt: mm. pastörointi, UHT-käsittely, sterilisointi ja kuivaus.
3. Kemialliset käsittelyt: mm. kaseiinin happosaostaminen.
4. Biokemialliset käsittelyt: mm. juuston valmistus, laktoosin hajottaminen, proteiinien hydrolyysit.
5. Mikrobiologiset fermentaatiot: mm. juustot, hapanmaitovalmisteet ja probioottiset bakteerit.
6. Säteilykäsittelyt: mm. mikroaallot ja ionisaatio.

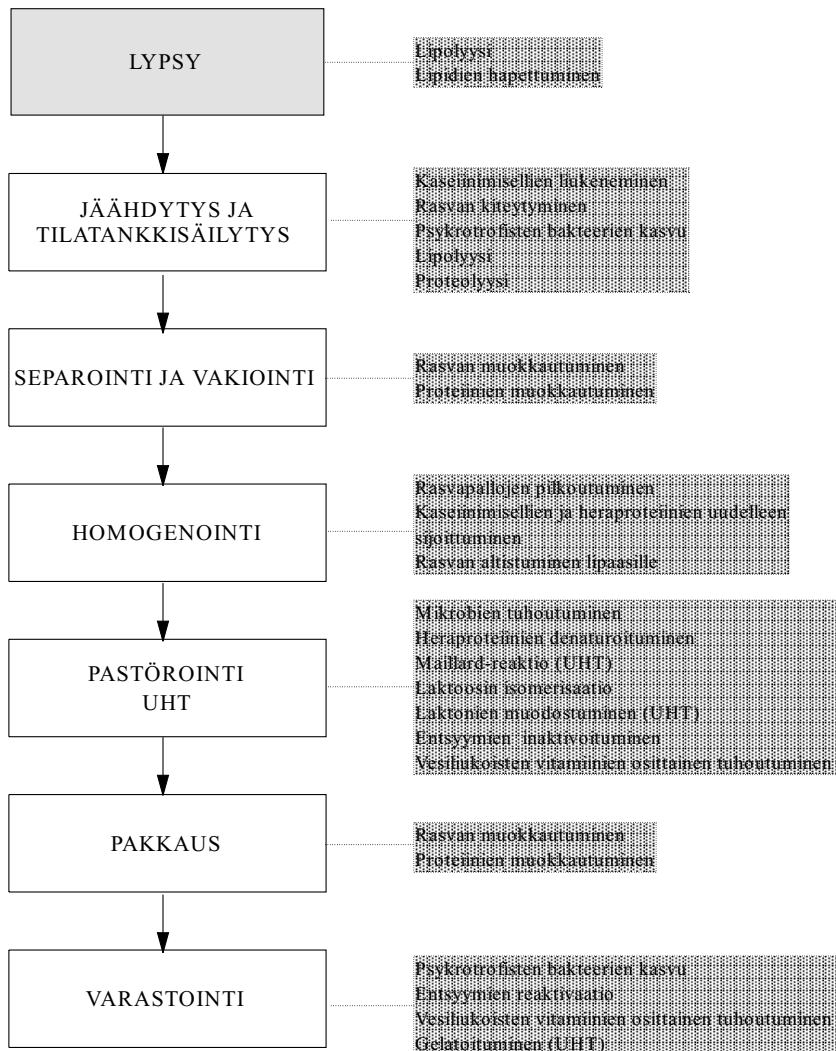
7. Varastointi: maidon kylmäsäilytys ja juuston kypsyminen.

2 Maidon lypsy ja jäähdyttäminen

Nykyään lypsäminen tapahtuu yleensä koneellisesti. Lypsy ja maidon siirto putkistoja pitkin tilatankkiin aiheuttaa suhteellisen vähäistä mekaanista muokkautumista lähinnä rasvaosassa. Myös muissa maidon komponenteissa voi esiintyä muutoksia. Ensisijaisesti maidossa tapahtuu rasvapallosten rikkoutumista, rasvan lipolyysin lisääntymistä, vapaan rasvan osuuden lisääntymistä ja auto-oksidaatiota (itsestään hapettumista) (Walstra & Jenness 1984, Kankare & Antila 1989, Guinot-Thomas et al. 1995).

Maitorasvan rasvapallomembraanit voivat joko rikkoutua tai vahingoittua raaka-aidon putkistosiiirroissa membraanien joutuessa pumppujen ja putkistojen seinämissä sekä mutkissa mekaanisen rasituksen kohteeksi (Krist 1986). Rasvan muokkautuminen pumppauksissa ja putkistoissa lisää altistumista maidon lipoproteiinilipaa-sille, joka johtaa maidon rasvapallosissa olevien triglyseridien rasvahappoketjujen irtamiseen glyserolista (Kankare & Antila 1989). Vapaiden rasvahappojen muodostumisen seurauksena maitoon voi tulla häskiintynyt maku ja haju, mikä johtuu lähinnä lyhytketjuisista voi- ja kapronihapoista (Walstra & Jenness 1984).

Erilaisissa pumppauksissa, putkistosii-roissa, tankkisäilytyksissä ja niissä tapahtuvissa sekoituksissa maito altistuu myös rasvan hapettumiselle. Sen aiheuttaa hapen liittyminen tyydyttymättömiin rasvahapposidoksiin. Tällöin hapen sitoutuessa rasvahapon kaksoissidokseen vetyä liittyy hapteen ja näin muodostuu aldehydejä, jotka aiheuttavat maitoon metallin maun (Walstra & Jenness 1984). Tätä itsestään etenevää reaktiosarjaa kutsutaan myös auto-oksidaatioksi. Taulukossa 1 on esitetty



Kuva 1. Raakamaidon prosessointikaavio ja maidossa tapahtuvat muutokset pääpiirteittäin (Korhonen & Korpela 1994).

yleisimmät maidon hapettumiseen vaikuttavat tekijät.

Maidon jäädyttämisen tarkoituksena on ylläpitää maidon luonnollista kemiallista ja mikrobiologista tilaa hidastamalla maidossa joko luontaisesti tapahtuvia tai saastumisista aiheutuvia reaktioita. Lyhytaikainen, alle kaksi vuorokautta kestävä, säilytys tilasäiliössä 4–6 °C:ssa aiheuttaa kuitenkin fysikaalis-kemiallisia reaktioita raakamaidossa. Maidon jäädyttäminen säilytyslämpötilaan aiheuttaa vähäistä rasvan kiteyty-

mistä (Walstra & Jenness 1984) ja kaseiinimaisellisen kalsiumfosfaattisiltojen osittaista liukenemistä (Fox 1992). Nämä reaktiot ovat palautuvia lämpötilaa nostettaessa. Maidon jäädyttäminen ja siihen liittyvä sekoittaminen edistävät myös osaltaan rasvapallojen membraanikerrosten rikkoutumista altistaen ne lipolyysiä aiheuttavan lipoproteiinilipasaasin vaikutukselle (Walstra & Jenness 1984, Guinot-Thomas et al. 1995).

Maidon pidempiaikainen kylmäsäilytys

Taulukko 1. Yleisimmät maidon hapettumiseen vaikuttavat tekijät (Walstra & Jenness 1984, Bramley & McKinnon 1990, Guinot-Thomas et al. 1995).

Tekijä	Hapettumista edistävä	Hapettumista ehkäisevä
C-vitamiini		x
Ksantiinioksidaasi	x	
Peroksidaasi	x	
Laktaatiokausi	Laktaatiokauden alku	
Fosfolipidit	x	
Kupari	x	
Valo	x	
Lämpötila	x	
Homogenointi		x
PH	Alhainen edistää (opt. pH 3.8)	
Antioksidantit		x
Ruokinta	Talvirehuruokinta edistää	Kesäruokinta ehkäisee
Happi	x	

(yli 4 vrk) altistaa maidon edellä kuvattujen lipolyysin ja auto-oksikaation lisäksi psykrotrofisten bakteerien kasvun aiheuttamalle lipolyysille ja proteolyysille. Psykrotrofiset bakteerit kykenevät kasvamaan kylmäsäilytyslämpötiloissa 4–6 °C ja tuottamaan ympäristöönsä sekä lipolyyttisiä että proteolyyttisiä entsyymejä. Psykrotrofit aiheuttavat maidossa lähinnä haju- ja makuvirheitä (Guinot-Thomas et al. 1995).

3 Separointi ja vakiointi

Raakamaidon rasvan erottaminen eli separointi ja sen jälkeinen vakiointi suoritetaan yleensä nestemäisten maitotuotteiden valmistusprosessin alkuvaiheessa. Maidon lämpötilaa nostetaan sen säilytyslämpötilasta (4–6 °C) noin 40–50 °C:seen. Tämän lämpötila-alueen on todettu olevan edullisin maidon rasvan erottumiselle. Maidon lämmittäminen tapahtuu yleensä levylämmönvaihtimella tai vastaavalla, joka voi olla erillinen tai maidon pastöintiin liittyvä laitteisto (Towler 1986).

Maidon separointi tapahtuu keskipa-

koisvoiman avulla. Maidon partikkelit, lähinnä rasva ja muut aineosat erottuvat toisistaan. Tämä ilmiö perustuu maidon komponenttien erilaisiin ominaispainoihin. Vakiointi tarkoittaa maidon rasvapitoisuuden asettamista haluttuun pitoisuuteen. Vakiointi voidaan suorittaa esi-, suora- tai jälkivakiointina (Towler 1986).

Separoitaessa tai vakioitaessa maidon komponentit joutuvat lähinnä mekaanisen muokkauksen kohteeksi. Maidon rasvapalloset voivat vahingoittua ja altistua lipolyysille. Maidon proteiineihin voi kohdistua lievää lämpötilan noususta johtuvaa denaturoitumista (Walstra & Jenness 1984).

4 Homogenointi

Maidon teknologisessa käsittelyssä seuraava vaihe on homogenointi, joka vaikuttaa maitoon sekä teknologisesti että myös ulkonäköön ja -muotoon, ja joka on välillisesti myös mikrobiologiseen laatuun vaikuttava. Homogenoinnissa pyritään maidon rasvapallosten halkaisijaa pienentämällä estämään mm. kermakerroksen muodostumis-

Taulukko 2. Maidon homogenoinnin edut ja haitat (Korhonen 1995).

Homogenoinnin edut	Homogenoinnin haitat
- ei kermoittumista	- maidon rasvan separointi vaikeutuu
- rasvan tasainen jakautuminen	- maidon valoherkkyys kasvaa -> hapettunut ja metallin maku
- maidon väri vaaleampi (miellyttävämpi)	- maidon lipolyysiherkkyys kasvaa -> eltaantunut maku
- maidon maku täyteläisempi	- valkuaisaineiden lämmönkestävyys heikkenee
- vähentynyt hapettumisherkkyys	
- nopeampi juoksettuminen juustonvalmistuksessa (kaseiinimisellien rakenne muuttuu)	
- hapanmaitovalmisteiden viskositeetti ja pehmeiden juustojen rakenne paranee	
- rasva imeytyy elimistössä nopeammin ja paremmin	
- proteiinien sulavuus paranee	

ta valmiin maitopakkauksen pinnalle eli ns. kermoittumista. Lisäksi homogenointi vaikuttaa rasvan tasaisempaan jakautumiseen maidossa antaen näin täyteläisemmän maun. Homogenoitu maito näyttää valkoisemmalta ja sen viskositeetti on huomattavasti korkeampi kuin homogenoimattoman maidon. Taulukossa 2 on esitetty maidon homogenoinnin etuja ja haittoja.

Homogenointi rikkoo rasvapallosia suojaavan ohuen kaseiinien muodostaman membraanivaipan altistaen rasvapallosen näin lipolyysiä aiheuttavalle lipaasi-entsyymille. Lipolyysin ehkäisemiseksi pastörointi onkin suoritettava välittömästi homogenoinnin jälkeen lipaasin inaktivoimiseksi. Homogenoinnissa voi tulla myös makuvirheitä, kuten hapettuneen makua maitoon. Teknologisesti homogenointi lisää mm. maidon vaahtovuutta ja heikentää maidon separointiominaisuuksia, jolla on merkitystä vain, jos maito homogenoidaan ennen separointia (Kessler 1981, Varnam & Sutherland 1994).

Homogenoitava maito lämmitetään 40–80 C:seen, jonka jälkeen maito puristetaan virtausnopeudella 150–300 m/s kovalla 70–100 bar:n paineella homogenisaattorissa olevien pienten reikien lävitse. Tällöin rasvapallosen venyvät kitkan ja rakosten ah-

tauden vaikutuksesta rihmoiksi ja paine rasvapallosissa kasvaa. Rasvapallojen poistues- sa raoista paine laskee niissä nopeasti, jolloin rasvarihmat katkeavat pieniksi rasvapallosiksi, joiden koko on noin 0,2–0,3 µm. Vastaava rasvapallon koko homogenoimattomassa maidossa on noin 3–4 µm (van Boekel & Walstra 1989).

Rasvapallosten pilkkoutuminen aiheuttaa myös niiden ympärillä olevien pääasias- sa proteiineista ja fosfolipideistä koostuvien rasvapallomembraanien osittaisen hajoami- sen (Walstra & Jenness 1984). Membraanin osaset muodostavat erilaisia komplekseja maidon muiden aineosasten kanssa. Hajonneet membraanin osaset korvautuvat kasei- inimiselleistä ja heraproteiineista muodos- tuvalla kalvolla, jolloin rasvapallosista muo- dostuu hyvin pysyvä emulsio maitoon (Boekel & Walstra 1989). Tämä vaikuttaa myös mm. maidon lämpöstabiilisuutta laskevasti ja viskositeettiä lisäävästi (Kessler 1981, Walstra & Jenness 1984).

Rasvapallomembraanin rikkoutuminen altistaa maidon myös samalla lipaasiensyym- in lipolyyttiselle vaikutukselle, joka joh- taa maidon rasvapallosissa olevien triglyse- ridien rasvahappoketjujen irtoamiseen glyserolista (Driessen 1989). Vapaiden ras- vahappojen muodostuminen aiheuttaa mai-

toon härskiintyneen maun ja hajun, joka on peräisin lyhytketjuisista voi- ja kapronihapoista (Walstra & Jenness 1984).

Homogenointi ja lämpökäsittely vaikuttavat maidon teknologisiin ominaisuuksiin siten, että hapanmaitovalmisteiden viskositeetti lisääntyy ja pehmeiden juustojen rakenne paranee (Renner 1983).

Maidon valkuaisaineet, varsinkin heraproteiinit, ovat herkkiä denaturoitumaan jo alhaisissakin lämpötiloissa. Homogenoinnin aikana saattaa tapahtua heraproteiinien osittaista denaturoitumista (Walstra & Jenness 1984). Tämä vaikuttaa stabiloivasti maidon olomuotoon, mm. siten että kermostumista ei esiinny homogenoidussa ja pastöroidussa maidossa (Kessler 1981).

Muihin kemiallisiin komponentteihin, kuten laktoosin olomuotoon ja ominaisuuksiin sekä entsyymien aktiivisuuteen ei homogenoinnilla ole juurikaan merkitystä.

Homogenoinnin vaikutusta maidon ravintofysiologiseen arvoon on tutkittu lähinnä rasvan ja proteiinien osalta. Eläinkokeissa on todettu, että maitorasvan ravintoarvo ei muutu homogenoinnissa. Homogenoidun rasvan on todettu imeytyvän nopeammin ja paremmin kuin homogenoimattoman rasvan. Tätä olettamusta tukee myös imeväisillä ja pikkulapsilla suoritettu tutkimus, jossa homogenoidun maidon osoitettiin lisäävän painoa enemmän kuin homogenoimattoman maidon (Renner 1983, 1986). Tämä saattaa johtua siitä, että maidon rasvapallosten koko muuttuu homogenoinnissa äidinmaidon rasvapallosten kooka vastaavaksi ja on näin helpommin ja luonnollisemmin käytettävissä lasten ruuansulatuselimistössä (Boekel & Walstra 1989).

Homogenoinnista 1970-luvun alussa tehtyjen tutkimusten perusteella esitettiin hypoteesi, jonka mukaan homogenoidun maidon pienet rasvapallosot läpäisevät ohutsuolen suolenseinämän hajoamatta, jolloin rasvapallosten membraaneihin sitoutunut ksantiinioksidaasientsyymi voisi siirtyä aktiivisena verenkiertoon. Täten verisuonten seinämissä tapahtuisi muutoksia, jotka saattaisivat johtaa sydän ja verisuoni-

tauteihin (Oster 1971). Hypoteesia ei kuitenkaan ole pystytty tieteellisesti osoittamaan todeksi (Renner 1983).

5 Maidon kuumennuskäsittelyt

Maidon säilyvyyden kannalta merkittävimmät ilmiöt tapahtuvat erilaisissa kuumennuskäsittelyissä. Kuumennuskäsittelyissä pyritään joko täydellisesti ehkäisemään tai osittain rajoittamaan maidossa vaikuttavien luontaisten tai jälkikontaminaationa siihen joutuneiden bakteerien ja niiden entsyymien toimintaa. Lisäksi käytetyt lämpötilat vaikuttavat maidon teknologiseen prosessoitavuuteen ja ravintofysiologiseen sulaavuuteen. Kuumennuskäsittelyt voidaan luokitella eri tavoin. Yleisesti käytetty luokittelu jakaa ne seuraavasti: termisointi, pastörinti, UHT-käsittely ja sterilointi. Pastörintikin voidaan vielä jakaa kesto-kuumennukseen sekä matala- ja korkeapastörintiin. Taulukossa 3 on esitetty yleisesti käytettyjä lämpökäsittelyitä, sekä niiden lämpötiloja ja aikoja. Lämpötilat voivat vaihdella jonkin verran riippuen pastörintiin käytetystä ajasta. Taulukkoon 4 on koottu maidon lämpökäsittelyiden edut ja haitat.

5.1 Pastörinti

Pastörintin ensisijaisena tarkoituksena on sairauksia ja ruokamyrkytyksiä aiheuttavien bakteerien tuhoaminen. Pastörinti vähentää myös harmittomien maitoon kontaminoituneiden bakteerien ja niiden entsyymien aktiivisuutta (Burton 1986, Griffiths 1992). Maidon pastörintinissa on huomioitava aina valmistuksessa käytettävän raaka-aineen laatu. Lopputuotteeseen voi syntyä epätoivottuja ulkonäkö-, maku- ja hajuminaisuuksia, ravintoarvo huononee ja kemiallinen koostumus voi muuttua (Cromie et al. 1989, Scauff et al. 1990).

Taulukko 3. Maidon lämpökäsittelyiden lämpötila- ja aikayhdistelmät (Kessler 1981, Robinson 1986).

Maidon Lämpökäsittely	Lämpötila	Aika
Termisointi	62 - 65 °C	30 min.
Pastörointi		
Matalapastörointi	72 - 75 °C	15 - 40 s.
Korkeapastörointi	80 - 84 °C	6 s.
UHT-käsittely	135 - 150 °C	2 - 4 s.
Sterilointi	110 - 135 °C, 0,6 - 0,8 bar	10 - 30 min.

Kestokuumennusta ja matalapastörointia käytetään lähinnä nestemäisten maitovalmisteiden valmistuksessa. Näistä matalapastörointi on yleisempi. Korkeapastörointia käytetään lähinnä kermojen ja muiden hapanmaitovalmisteiden valmistuksessa (Robinson 1986).

Pastörointilaitteistot voidaan jakaa kolmeen eri lämmönvaihtintyyppiin: levy-, putki- ja kaavinlämmönvaihtimet. Yleisenä periaatteena näissä kaikissa on saada mahdollisimman suuri lämmitettävä pinta kosketuksiin pastöroitavan tuotteen kanssa.

Pastörointi aiheuttaa suurimmat muutokset maidon proteiineissa. Niissä tapahtuu eriasteista denaturaatiota riippuen lämpötilasta ja pastörointiajasta. Denaturaatio ei välttämättä merkitse ravintofysiologisen arvon huononemista, vaan ainoastaan fyysikaalisen rakenteen väliaikaista tai pysyvää muutosta (Singh & Creamer 1992). Maidon proteiineista pastöroinnin vaikutus kohdistuu lähinnä heraproteiineihin ja näistä herkimpiä ovat immunoglobuliinit, joiden denaturoituminen alkaa jo 60 °C:ssa. β -laktoglobuliinin ja seerumialbumiinin denaturoitumisen on todettu alkavan noin 70 °C:ssa. Heraproteiineista lämmönkestävin on α -laktalbumiini, jonka lämpödenaturaatio alkaa noin 86 °C:ssa (Walstra & Jenness 1984, Pearce 1989, Fox & Dulvihill 1993). Heraproteiinien denaturoituessa niiden sekundääri- ja tertiäärirakenne muuttuu. Näin tapahtunut rakenteen löystymi-

nen ja aukeaminen edesauttaa proteolyytisten entsyymien toimintaa (Renner 1986, Pearce 1989). Denaturoitunut heraproteiini ei esiinny maidossa erillisenä saostumana vaan muodostaa kaseiinimisellien kanssa herkästi hajoavia aggregaatteja. Myös heraproteiinien ja rasvapallosten välille muodostuu komplekseja täysmaitoa kuumennettaessa (Dalgleish & Banks 1991, Houlian et al. 1992).

Maidossa olevat entsyymit voidaan jakaa luonnollisesti jo maidossa oleviin ja bakteeriperäisiin entsyymeihin. Entsyymit vaikuttavat maidossa lähinnä makuun ja hajuun sekä säilymiseen. Pastörointi inaktivoi tehokkaasti osan maitoa pilaavista entsyymeistä, kuten lipoproteiinilipaasin, alkaalisen fosfataasin ja katalaasin. Pastöroinnin avulla ei kuitenkaan pystytä inaktivoimaan proteinaasia eikä laktoperoksidaasia, joilla on keskeinen merkitys maidon säilyvyydelle (Driessen 1989, Bramley & McKinnon 1990). Kuvassa 2 on esitetty erilaisten maitoa pilaavien entsyymien inaktivoituminen erilaisissa lämpötila- ja aikayhdistelmissä.

Maidon vitamiineista rasvaliukoiset vitamiinit ja eräät B-ryhmän vesiliukoisetkin vitamiinit kestävät hyvin erilaisia pastörointilämpötiloja. Kuitenkin C-vitamiini ja B-vitamiinit; tiamiini, pyridoksiini, kobalamiini ja foolihappo ovat suhteellisen herkkiä lämpökäsittelyille ja tuhoutuvat osittain (10–20 %) jo pastöroinnissa (Renner 1983, Schaafsma et al. 1990). Tämän ei ole kui-

Taulukko 4. Maidon lämpökäsittelyjen edut ja haitat (Korhonen 1995).

Lämpökäsittelyjen edut	Lämpökäsittelyjen haitat
- patogeeniset bakteerit ja virukset tuhoutuvat	- ravintoarvon (vitamiinit ja aminohapot) aleneminen
- maitovalmisteiden laatua huonontavat bakteerit ja entsyymit tuhoutuvat	- maun huonontuminen (UHT)
- kulutusmaitotuotteiden kestävyys (säilyvyys) paranee	
- ravintoarvo (valkuaisen sulavuus, kivennäisaineiden imeytyvyys) saattaa parantua	
- organoleptiset (aistinvaraiset) ominaisuudet (mm. laktonien muodostuminen UHT:ssa) saattavat parantua	

tenkaan todettu vaikuttavan maidon ravintoarvoon (Schaafsma 1989). Taulukossa 5 on esitetty erilaisten lämpökäsittelyiden vaikutus vitamiinien tuhoutumiseen.

Laktoosiin kohdistuvat lämpökäsittelyjen vaikutukset ilmenevät maidossa lähinnä Maillard-reaktiona ja laktuloosin muodostumisena. Maillard-reaktiota ei tapahdu juurikaan pastörintilämpötiloissa, mutta se on merkittävämpää UHT- ja sterilointilämpötiloissa (O'Brien & Morrissey 1989 ja Olano & Martinez-Castro 1989). Laktuloosin muodostuminen on niinkään riippuvainen lämpökäsittelystä. Pastöroinnissa laktuloosia ei juurikaan muodostu, mutta UHT- ja sterilointikäsittelyissä sitä muodostuu jo havaittavia määriä, yli 100 mg/litra maitoa (Buchheim et al. 1994).

Pastörintilämpötilat vaikuttavat maidon rasvaan siten, että niistä muodostuu miellyttävän maun ja aromin omaavia laktoneita. Tämä ominaisuus korostuu vielä homogenoidussa maidossa (Renner 1983, 1986).

Maidon kivennäis- ja hivenainesisältöön pastörointi ei juurikaan vaikuta (Dalglish 1989).

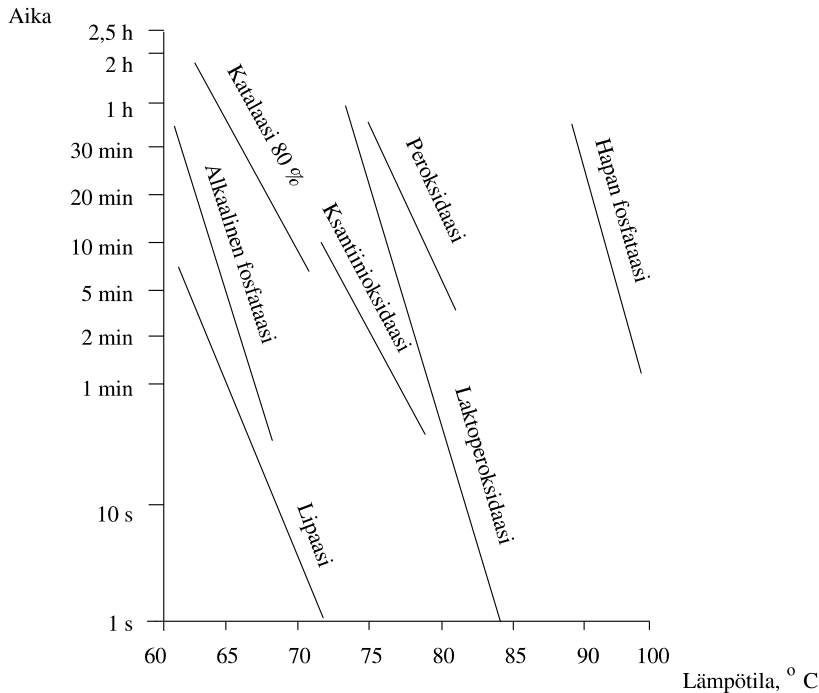
5.2 UHT-käsittely ja sterilointi

UHT (Ultra High Temperature) -käsittelyssä eli iskukuumennuksessa maito kuumentetaan 2–4 sekunnin ajaksi 135–150 °C:seen, jonka jälkeen se jäähdytetään välittömästi ja pakataan aseptisesti myyntipak-

kauksiinsa (Kessler 1981).

Maidon säilyvyyttä parantavista menetelmistä tehokkain on sterilointi. Se tapahtuu yleensä 110–135 °C:ssa autoklaavissa 0,6–0,8 bar:in paineessa 10–30 minuutin ajan. Tavallisesti tuotteen sterilointi tapahtuu suljetuissa pakkauksissa (Kessler 1981, Robinson 1986).

UHT-käsittely ja sterilointi inaktivoivat maidon omat entsyymit ja tuhoavat vegetatiiviset bakteerisolut, hiivat sekä homeet. Tämä lisää huomattavasti maidon säilyvyysaikaa (Robinson 1986). UHT-käsitellyissä tuotteissa voi esiintyä joitakin mikrobeja, jotka ovat kontaminoituneet niihin pakkausmateriaalista tai häiriötilanteesta pakkausprosessissa. Steriloinnissa kaikki mikrobit tuhoutuvat ja maito kestää hyvin pitkiäkin aikoja säilytystä korkeissa lämpötiloissa edellyttäen, että pakkauksella on kyky eristää tuote ympäröivästä maailmasta (Kessler 1981, Varnam & Sutherland 1994). UHT-käsittely ja sterilointi vaikuttavat jonkin verran maitorasvan kemialliseen koostumukseen. Maidon rasvan triglyseridit altistuvat UHT-käsittelyssä hapettumiselle, joka etenee varastoinnin aikana. UHT-käsittely saattaa tuottaa maitorasvasta makua heikentäviä aldehydejä ja metyyliiketoneja (Renner 1986). Hapettumisreaktioihin UHT- ja sterilointikäsittelyiden korkeilla lämpötiloilla on todettu olevan ehkäisevä vaikutus. Korkeat lämpötilat inaktivoivat kuparin, joka on pääkatalyytti hapettumisreaktioissa (Boekel &



Kuva 2. Maitoa pilaavien entsyymien inaktivoituminen erilaisissa lämpötila- ja aikayhdistelmissä (Renner 1983, Walstra & Jenness 1984).

Walstra 1995).

Maidon heraproteiineista 70–80 % denaturoituu UHT- ja sterilointikäsitellyissä. Tuotteisiin muodostuu sulfidiyhdisteitä, jotka aiheuttavat keitetyn makua. Se häviää sulfidiyhdisteiden hajotessa varastoinnin aikana. Maidon kaseiinissa tapahtuu muutoksia, jotka vaikuttavat erityisesti kaseiinimiselleihin (Renner 1983, Pearce 1989, Fox & Flynn 1992). UHT- ja sterilointikäsitelystä tapahtuu misellien yhdistymistä eli aggregaatiota, misellien koon suurenemista, kolloidisen kalsiumfosfaatin määrän lisääntymistä ja misellien assosiaatiota heraproteiinien kanssa (Walstra & Jenness 1984, Singh & Creamer 1992). Nämä muutokset vaikuttavat positiivisesti maidon koagulaatioon, proteiinien sulavuuteen, lisääntyneeseen stabiliteettiin, vedensidontakykyyn, vähentyneeseen heroittumiseen ja vahvistavat geelin muodostusta (Renner 1983, Sieber 1986, Fox & Flynn 1992).

UHT- ja sterilointikäsitely aiheutta-

vat maidon laktoosiosassa Maillard-reaktion, joka tapahtuu laktoosin ja maidon proteiinien ja erityisesti lysiniin reagoitessa keskenään (O'Brien & Morrissey 1989). Maillard-reaktion seurauksena maitoon syntyy tiettyjä makuja, kuten toffeen- ja suklaanmakua. Toisaalta Maillard-reaktiossa voi muodostua myös epätoivottuja makuja (Renner 1983). Lisäksi reaktiossa syntyy tuotteeseen makukomponenttien ohella ruskehtava väri. Maillard-reaktio voi myös alentaa maidon ravintoarvoa tuhoamalla välttämättömiä aminohappoja. Tällä ei ole kuitenkaan todettu olevan kovinkaan suurta merkitystä ihmisen ravitsemuksen kannalta (Walstra & Jenness 1984). Reaktiossa syntyvää furosiinia on esitetty käytettäväksi indikaattorina mitattaessa Maillard-reaktion astetta (O'Brien 1995).

Korkeat UHT- ja sterilointilämpötilat johtavat laktuloosin muodostumiseen laktoosista. Laktuloosia syntyy glukoosin korvautuessa lämpötilan vaikutuksesta fruk-

Taulukko 5. Lämpökäsittelyjen vaikutus maidon vesiliukoisten vitamiinien tuhoutumiseen (Renner 1983).

Lämpökäsittely	Tuhoutumisaste (%)				
	Tiamiini (B ₁)	Pyridoksiini (B ₆)	Kobalamiini (B ₁₂)	Foolihappo	Askorbiinihappo (C)
Pastörointi	< 10	0 - 8	< 10	< 10	10 - 25
UHT-käsittely	0 - 20	< 10	5 - 20	5 - 20	5 - 30
Sterilointi	20 - 50	20 - 50	20 - 100	30 - 50	30 - 100

toosilla. (Walstra & Jenness 1984, Andrews 1989). Laktuloosin muodostuminen riippuu myös maidon rasvasisällöstä. Laktuloosia muodostuu UHT-käsittelyssä täysmaidosta vähemmän kuin rasvattomasta maidosta (Pellegrino 1994). Euroopan unioni ja Saksan maidontutkimuslaitos ovat esittäneet laktuloosin määrittämistä uudeksi lämpökäsittelyjen toteamisen menetelmäksi (Taulukko 6) (Buchheim et al. 1994).

Laktuloosilla on todettu olevan positiivisia fysiologisia vaikutuksia suoliston, lähinnä paksusuolen mikrobiflooran säätelyssä. Onkin todettu, ettei laktaasi pysty hydrolysoimaan laktuloosia. Tämä vaikuttaa taas siihen, että paksusuolen bifidobakteerit voivat käyttää laktuloosin hyväkseen tuottaessaan suolen sisällön happamuutta lisääviä orgaanisia happoja. Orgaanisten happojen on todettu vaikuttavan osaltaan enteropatoogeenisten mikro-organismien kasvua ehkäisevästi (Harju 1993, Tamura et al. 1993).

Maidon rasvaliukoiset vitamiinit kestävät UHT- ja sterilointikäsittelyn. Suurimmat muutokset tapahtuvat vesiliukoisissa C- ja B-ryhmän (tiamiini, pyridoksiini, kobalamiini ja foolihappo) vitamiineissa, jotka ovat huomattavasti herkempiä lämpökäsittelyille. Niistä tuhoutuu 5–30 % UHT-käsittelyssä. Vitamiinien tuhoutumisen ei ole

kuitenkaan todettu vaikuttavan merkittävästi maidon ravintoarvoon (Renner 1983).

UHT-käsittelyn vaikutukset maidon kivennäisainesisältöön kohdistuvat lähinnä liukoiseen kalsiumiin ja fosforiin. UHT-käsittelylämpötiloissa jopa 50 % liukoisesta kalsiumista saostuu lämpötilan vaikutuksesta kaseiinimisellien pinnalle. Tämä ilmiö on UHT-käsittelylämpötiloissa palautuva. Elimistössä kivennäisaineiden imeytymisen on todettu olevan UHT-maidosta yhtä hyvä tai jopa parempi kuin raakamaidosta (Renner 1983, Morrisey & Flynn 1990).

Useimmat maidon hivenaineista ovat sitoutuneet osittain tai kokonaan laktoosiin, proteiineihin, entsyymeihin tai rasvapallostien membraaneihin. Hivenaineet seuraavat näitä aineosia meijeriprosesseissa. Maidon heraproteiinien denaturoitumisen UHT- ja sterilointikäsittelyissä onkin todettu alentavan mm. sinkin ja raudan imeytymistä maidosta elimistöön (Gurr 1988).

UHT- ja sterilointikäsittelyjen avulla voidaan pysäyttää lähes kaikki entsyymitoiminta maidossa. Käsittelyt inaktivoivat tehokkaasti maitoa pilaavat entsyymit, kuten lipoproteiinilipaasin, alkaalisen fosfaatin ja katalaasin. Myös proteinaasit ja peroksidit pystytään inaktivoimaan sen avulla (Kuva 2) (Renner 1983, Suhren 1983, Griffiths 1986, Farkye 1992).

Taulukko 6. Euroopan unionin ja Saksan maidontutkimuslaitoksen (FDRC) ehdotukset ylä- ja alarajoiksi erilaisten maidon kuumennuskäsittelyiden toteamiseksi (Buchheim et al. 1994).

Maitotyyppi	Lämpökäsittelyn raja-arvot	EU:n ehdotus	FDRC:n ehdotus
Steriloitu maito	Alaraja	> 600 mg laktuloosia /l	-
	Alaraja	< 50 mg β -laktoglobuliinia /l	
UHT-maito	Yläraja	-	< 1200 mg laktuloosia /l
	Alaraja	> 100 mg laktuloosia/l	-
Korkeapastöroitu maito	Yläraja	> 50 mg β -laktoglobuliinia /l	< 400 mg laktuloosia/l
	Alaraja	peroksidaasinegatiivinen	peroksidaasinegatiivinen
Pastöroitu maito	Yläraja	< 50 mg laktuloosia/l	
	Yläraja	> 2000 mg β -laktoglobuliinia /l	> 2000 mg β -laktoglobuliinia /l
	Alaraja	Fosfataasinegatiivinen	Fosfataasinegatiivinen
Raakamaito	Yläraja	Peroksidaasipositiivinen	Peroksidaasipositiivinen
	Yläraja	Laktuloosia ei havaittavissa	
	Yläraja	> 2000 mg β -laktoglobuliinia /l	> 2000 mg β -laktoglobuliinia /l

6 Pakkaus ja varastointi

Maitoa pakattaessa voi tapahtua maidon rasvan ja proteiinien eriaiteista muokkauantumista. Erityisesti maidon rasva voi altistua hapettumiselle ja sen kautta erilaisille makuvirheille (Walstra & Jenness 1984). Näiden virheiden syntyminen ei kuitenkaan ole kovinkaan todennäköistä normaaleissa pakkausprosesseissa ja niitä voikin ilmetä lähinnä jonkin häiriötilanteen seurauksena.

Pastöroidussa maidossa voi pakkauksen ja varastoinnin aikana tapahtua jälkikontaminoituneiden psykrotrofisten bakteerien tai itiöiden kasvua (Burton 1986, Cromie et al. 1989). Oikein valmistetuissa ja säilytetyissä UHT- ja steriloiduissa tuotteissa ei psykrotrofisten mikrobien kasvua käytän-

nössä tapahdu (Burton 1986). Bakteeriperäiset proteolyttiset ja lipolyttiset entsyymit voivat säilytyksen aikana aiheuttaa pakkauksissa tuotteeseen makuja ja hajuvirheitä (Cromie et al. 1989).

Maitotuotteiden pitkäaikaisissa säilytyksissä saattaa tapahtua vitamiinien, varsinkin vesiliukoisten vitamiinien, C-vitamiinin, foolihapon ja kobalamiinin tuhoutumista hapen vaikutuksesta sekä vähäisemmässä määrin myös rasvaliukoisten A- ja E-vitamiinien tuhoutumista. Myös valon vaikutuksesta voi tapahtua vitamiinien tuhoutumista. C-vitamiini on erityisen herkkä tuhoutumaan valon vaikutuksesta, jo tunnin altistuminen valolle tuhoaa vitamiinista noin 70 % (Renner 1983).

UHT- ja steriilituotteissa voi varastoinnin aikana tapahtua gelatoitumista, jonka aiheuttavat kivennäisaineista ja proteiineista muodostuvat kompleksit (Walstra & Jenness 1984).

7 Yhteenveto

Merkittävimmät prosessoinnin aiheuttamat muutokset maidossa:

1. Maidon homogenoinnin aiheuttama rasvapallojen pilkkoutuminen ja sen aiheuttamat ilmiöt: maidon kermoittuminen vähenee, koostumus muuttuu tasaisemmaksi ja maku täyteläisemmäksi. Rasvan altistuminen lipoproteiinilipaasille, joka aiheuttaa vapaan rasvan osuuden lisääntymisen myötä maitoon makuvirheitä, kuten eltaantuneen makua.
2. Lämpökäsittelyn inaktivoiva vaikutus maidon mikrobeihin ja entsyymeihin,

jonka johdosta maidon säilyvyys paranee.

3. Lämpökäsittelyjen aiheuttama laktoosin isomerisaatio ja Maillard-reaktio. Isomerisaatiossa muodostuneen laktoosin hyväksikäyttö sekä lämpökäsittelyjen mittarina että ohutsuolen toimintaa tasapainottavana tekijänä. Maillard-reaktiossa syntyvät positiiviset ja negatiiviset maku- ja aromiyhdisteet sekä mahdollisesti syntyvät toksiset ja allergeniset yhdisteet.
4. Maidon altistuminen hapettumiselle maidonjalostusprosessin eri vaiheissa. Hapettumisesta aiheutuu maitoon muutoksia, kuten metallin makua.

Kirjallisuus

Andrews, G. 1989. Lactulose in heated milk. *International Dairy Federation Bulletin* 283: 45–52.

Boekel, M. A. J. S. van & Walstra, P. 1989. Physical changes in the fat globules in homogenized & unhomogenized milk. *International Dairy Federation Bulletin* 238: 13–16.

– & **Walstra, P.** 1995. Effect of heat treatment on chemical and physical changes to milkfat globules. In: Fox, P.F. (ed.). *Heat-Induced Changes in Milk* 2nd ed.. p. 51–65.

Bramley, A.J. & McKinnon, C.H. 1990. The microbiology of raw milk. In: Robinson, R. K. (Ed.). *Dairy Microbiology*. Vol 1. London: Elsevier Applied Science. p. 163–208.

Buchheim, W., Heeschen, W. & Schlimme, E. 1994. Definition and differentiation of heat treatments of milk. *European Dairy Magazine* 1: 42–44.

Burton, H. 1986. Microbiological aspects. *International Dairy Federation Bulletin* 200: 9–14.

Cromie, S. J., Schmidt, D. & Dommett, T. W. 1989. Effect of pasteurization and storage condi-

tions on the microbiological, chemical and physical quality of aseptically packaged milk. *The Australian Journal of Dairy Technology* 1: 25–30.

Dagleish, D. G. 1989. The behaviour of minerals in heated milks. *International Dairy Federation Bulletin* 238: 68–70.

– & **Banks, J. M.** 1991. The formation of complexes between serum proteins and fat globules during heating of whole milk. *Milchwissenschaft* 46: 75–78.

Driessen, F.M. 1989. Inactivation of lipases & proteases (indigenous & bacterial). *International Dairy Federation Bulletin* 238: 71–93.

Farkye, N. Y. 1992. Indigenous enzymes in milk. In: Fox, P. F. (ed.) *Advanced Dairy Chemistry*. Volume 1. Proteins. London: Elsevier Applied Science. p. 339–367.

Fox, P. F. 1992. *Advanced Dairy Chemistry* Volume 1. Proteins. London: Elsevier Applied Science. 409 p.

– & **Dulvihill, D. M.** 1993. Developments in milk protein processing. *Food Science and Technology Today* 7: 152–161.

- & **Flynn, A.** 1992. Biological properties of milk proteins. In: Fox, P. F. (ed.) *Advanced Dairy Chemistry*. Volume 1. Proteins. London: Elsevier Applied Science. p. 255–284.
- Froelich, W.** 1995. Processing of milk and its effects on milk components from the viewpoint of human nutrition and health: a review. *Proceedings of NJF/NMR-Seminar No. 252*. Turku, Finland, 13-15.1.95. p. 165–174.
- Griffiths, M. W. B.** 1992. Cereus in liquid milk and other milk products. *International Dairy Federation Bulletin* 275: 36–39.
- 1986. Use of milk enzymes as indices of heat treatment. *Journal of Food Protection* 49: 696–705.
- Guinot-Thomas, P., Al Ammour, M. & Laurent, F.** 1995. Effects of storage conditions on the composition of raw milk. *International Dairy Journal* 5: 211–223.
- Gurr, M. L.** 1988. Nutritional significance of essential trace elements in dairy foods. *International Dairy Federation Bulletin* 222: 18–23.
- Harju, M.** 1993. Production and properties of lactulose, lactiol and lactobionic acid. *International Dairy Federation Bulletin* 289: 27–30.
- Houlian, A. V., Goddard, P. A., Nottingham, B. J. & Kitchen, B. J.** 1992. Interactions between the bovine milk fat globule membrane and skim milk components on heating whole milk. *Journal of Dairy Research* 59: 187–195.
- Kankare, V. & Antila, V.** 1989. Maitorasvan lipolyysi. I. Maidon lipaasiaktiivisuus ja maitorasvan lipolyysi. II. Maidonkäsittelyn vaikutus maitorasvan lipolyysiin. Maatalouden tutkimuskeskus, Elintarvikkeiden tutkimuslaitos, Tiedotteita N:o. 1.
- Kessler, H.G.** 1981. *Food engineering and dairy technology*. Verlag A. Kessler, Freising, Germany. 654 p.
- Korhonen, H.** 1995. Esitelmä: Valion tuotetiedotajien kokous 4.5.95.
- & **Korpela, R.** 1994. The effects of dairy processes on the components and nutritional value of milk. *Scandinavian Journal of Nutrition* 38: 166–172.
- Krist, E.** 1986. Lipolytic changes in the milk fat of raw milk and their effect on the quality of milk products. *Food Microstructure*. 5: 265–275.
- Morrissey, P. A. & Flynn, A.** 1990. Bioavailability of minerals in milk. *Proceedings of the 23rd International Dairy Congress in Montreal, Canada*, 8.12.1990. Ottawa: Mutual Press, Vol 2. p. 1187–1207.
- O'Brien, J. M.** 1995. Heat-induced changes in lactose: Isomerization, degradation, Maillard browning. In: Fox, P.F. (ed.). *Heat-Induced Changes in Milk*. 2nd ed. p. 134–170.
- & **Morrissey, P. A.** 1989. The Maillard reaction in milk products. *International Dairy Federation Bulletin* 238: 53–56.
- Olano, A. & Martinez-Castro, I.** 1989. Modification & interactions of lactose. *International Dairy Federation Bulletin* 283: 35–44.
- Oster, K. A.** 1971. Plasmalogen diseases: A new concept of the ethiology of atherosclerotic process, *American Journal of Clinical Research* 2: 30–35.
- Pearce, R. J.** 1989. Thermal denaturation of whey protein. *International Dairy Federation Bulletin* 238: 17–23.
- Pellegrino, L.** 1994. Influence of fat content on some heat-induced changes in milk and cream. *Netherlands milk and Dairy Journal* 48: 71–80.
- Renner, E.** 1983. *Milk and Dairy Products in Human Nutrition*. München: Volkswirtschaftlicher Verlag, p. 281–305.
- 1986. Nutritional aspects - Part I - Biochemical composition. *International Dairy Federation Bulletin* 200: 27–29.
- Robinson, R.K.** 1986. *Modern dairy technology*. Volume 1. *Advances in Milk Processing*. London: Elsevier Applied Science. 438 p.
- Scauff, P., Savalle, B., Miranda, G., Pellissier, J.-P., Guillotcau P. & Toullice, R.** 1990. *In vivo* gastric digestion of milk proteins. Effect of technological treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 38: 1623–1629.
- Schaafsma, G.** 1989. Effects of heat treatment on the nutritional value of milk. *International Dairy Federation Bulletin* 238: 68–70.
- , **Rolls, B. A. & Blakeborough, P.** 1990. Effects of milk versus plantproteins on bioavailability of micro-nutrients. *International Dairy Federation Bulletin* 253: 55–60.
- Sieber, R. J.** 1986. Nutritional aspects- Part II - *in vivo* experiments. *International Dairy Federation Bulletin* 200: 30–34.
- Singh, H. & Creamer, L. K.** 1992. Heat stability of milk. In: Fox, P. F. (ed.). *Advanced Dairy Chemistry* Volume 1. Proteins. London: Elsevier Applied Sci-

ence. p. 621–656.

Suhren, G. 1983. Occurrence and levels of heat-resistant proteinases and their effects on UHT-treated dairy products. *International Dairy Federation Bulletin* 157: 17–25.

Tamura, Y., Mizota, T., Shimamura, S. & Tomita, M. 1993. Lactulose and its application to the food and pharmaceutical industries. *International Dairy Federation Bulletin* 289: 43–53.

Towler, C. 1986. Developments in cream separation and processing. In: Robinson, R.K. (ed.). *Mod-*

ern Dairy Technology. Volume 1. *Advances in Milk Processing*. London: Elsevier Applied Science. p. 51–92.

Varnam, A.H. & Sutherland, J.P. 1994. *Milk and milk products, technology, chemistry and microbiology*. London: Chapman & Hall. p. 451.

Walstra, P. & Jenness, R. 1984. *Dairy chemistry and physics*. New York. John Wiley & Sons. 467 p.

IV Maidon ravitsemuksellinen laatu

Pirjo Salo-Väänänen ja Vieno Piironen

Maidolla ja maitovalmisteilla on keskeinen rooli kalsiumin, vitamiinien ja hivenaineiden lähteenä suomalaisessa ruokavaliossa. Maidon merkitys ruokavalion rasvojen ja proteiinien saannissa on myös olennainen. Maidon rasvahapoista noin 70 % on tyydyttyneitä rasvahappoja ja monitydyttymättömien rasvahappojen osuus on pieni. Rasvan tyydyttyneen rasvan osuus energiansaannista on pienentynyt. Maidon aminohappokoostumus on lähes ideaalinen, mutta sitä voivat huonontaa erilaiset kuumennusprosessit. Toisaalta kuumennusprosesseissa myös osa maitosokerista eli laktoosis-

ta isomeroituu laktuloosiksi, joka laktoosin ohella on reaktiivinen maidon proteiinien lysiinin kanssa (Maillard-reaktio). Proteiinin välttämättömät aminohapot voivat kovassa kuumennuksessa rasemisoitua ihmiselle käyttökeltottomaan D-muotoon. Kuumennuksessa voi muodostua käyttökeltottomia tai mahdollisesti haitallisia yhdisteitä, kuten lysinoalaniinia tai histidinoalaniinia. Näiden reaktioiden hallitsemiseksi ja minimoimiseksi tulisi erilaisten kuumennusprosessien vaikutuksia tutkia entistä täsmällisemmin.

Avainsanat: hivenaineet, kalsium, kuumennuskäsittelyjen vaikutus, maito, proteiinit, rasvat, ravitsemus, vitamiinit

Nutritive quality of milk

Abstract

Milk and milk products are important sources of calcium, vitamins and minerals. Milk is also an essential source of fats and proteins. Milk fat contains approximately 70 per cent saturated fatty acids and the content of polyunsaturated fatty acids is low. The proportion of fats, including that of saturated fat, in energy intake has declined. The amino acid composition of milk is almost ideal for human nutrition but thermal processes may lower the nutritive value of proteins. Thermal processes also affect milk sugars. Lactose, which is reactive

with the lysine residues of milk proteins, may partly isomerize into lactulose, which is also reactive with the lysine residues of milk proteins (Maillard reaction). The essential amino acids of milk proteins may racemize during intense heating into D forms that are not nutritionally useful for the human body. Heat may also induce crosslinkings of amino acids such as lysinoalanine and histidinoalanine. To avoid or minimize such reactions the effects of thermal processes should be studied more comprehensively.

Key words: calcium, effect of thermal processes, fats, milk, minerals, nutrition, proteins, vitamins

1 Johdanto

Suomalaisen ruokavalion peruspilarina on aina ollut maito ja siitä jalostetut tuotteet. Nestemäisten maitojen ja maitotuotteiden keskimääräinen kulutus oli vuoden 1994 ennakkotaseen mukaan 568,5 g henkilöä kohti vuorokaudessa (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 1996). Maidon merkitys erilaisten ravintoaineiden lähteenä onkin huomattava.

Maito ja maitovalmisteet ovat tärkeimmät kalsiumin, fosforin, molybdeenin, kromin ja riboflaviinin lähteet ruokavaliossamme. Ravinnon kalsiumista saadaan lähes 80 % maidosta ja maitovalmisteista (Aro et al. 1993). Ne ovat myös merkittäviä kaliumin, magnesiumin, sinkin ja tiamiinin lähteitä. Niiden merkitys seleenin, jodin ja A-vitamiinin lähteenä on niin ikään huomionarvoinen (Heinonen 1989, Alftan 1993, Ekholm 1993). Maito ja maitovalmisteet ovat helposti saatavilla oleva proteiinin lähde ja maidon proteiinit ovat ravitsemuksellisesti lähes ihanteellisia ihmiselle (Food and Nutrition Board 1989). Maidon merkitys ruokavalion rasvojen saannissa on niin ikään olennainen. Maitorasvan rasvahapoista kuitenkin lähes 70 % on tyydyttyneitä rasvahappoja ja monitydyttymättömiä rasvahappoja on vain vähän, alle 3 % (Rastas et al. 1993). Tyydyttyneen rasvan osuus energian saannista oli vuonna 1982 noin 20 %, mutta kymmenen vuotta myöhemmin enää 15–16 %. Tyydyttyneiden rasvojen lähteet ruokavaliossa ovat samalla muuttuneet. Miesten arvioidaan saavan näitä rasvoja liha- ja makkarakuituista ja naisten juustoista (Ravitsemuskertomus 1995). Ravitsemuksellisesti ja kansanterveydellisesti tähän onkin kiinnitetty maassamme varsin paljon huomiota, koska nimenomaan ravinnon tyydyttynyt rasva ja sepelvaltimotautikuoletisuus korreloivat voimakkaasti keskenään (Pyörälä 1992). Toisaalta usein on esitetty ruokavalion kokonaisrasvan vähentämistä parempana vaihtoehtona kuin sitä, että yksittäisiä elintarvikkeita jätettäisiin ruokavaliosta pois. Maidon merkitys rasvanlähteenä

on pienentynyt nestemäisten maitotuotteiden käytön hieman vähennyttyä ja toisaalta rasvattomien ja vähärasvaisten maitotuotteiden käytön yleistyttyä (Ravitsemuskertomus 1995).

Erilaiset prosessit voivat kuitenkin muuttaa maidon koostumusta myös epäedullisempaan suuntaan. Kuumennusprosesseissa syntyvät yhdisteet heikentävät usein juuri maidon hyvälaatuisen proteiinien laatua. Näitä reaktioita ovat Maillard-reaktiot, uusien aminohappoyhdisteiden (lysino- ja histidinoalaniini) ja D-aminohappojen muodostuminen. Edellä mainitut yhdisteet eivät välttämättä ole ihmiselimistössä käyttökelpoisia (Masters & Friedman 1980, Walter et al. 1994). Toisaalta Maillard-reaktiotuotteet saattavat olla osatekijänä miellyttävän aromin synnyssä ja niillä saattaa olla antioksidatiivisia ominaisuuksia (Cerami 1994, Chuyen 1994). Osa maitosokerista eli laktoosista isomeroituu kuumennuskäsittelyssä laktuloosiksi, joka on laksatiivinen ja edistää suoliston kaasua muodostavien mikrobin lisääntymistä aiheuttaen ilmavaivoja (Modler 1994). Laktuloosin laksatiivisia ominaisuuksia voidaan hyödyntää esimerkiksi ummetuksen hoidossa (Korhonen & Korpela 1994). Sekä laktoosi että laktuloosi ovat maidon proteiinien lysyyliähteiden kanssa hyvin reaktiivisia käynnistäen Maillard-reaktion. Ensi vaiheessa muodostuu laktosyyli- tai laktulosyyliysiiniä, jota ei voida suoranaisesti määrittää. Laktulosyyliysiinipitoisuus voidaan analysoida määrittämällä furosiinin pitoisuus, joksi laktulosyyliysiini muuttuu analysointia edeltävässä proteiinien happohydrolyysissä (Resmini & Pellegrino 1994). Pastöroidun maidon furosiinipitoisuuden ylärajaksi on asetettu Euroopan unionissa 8,5 mg/100 g proteiinia (Korpela 1996). Edellä mainittujen tekijöiden haitallisten vaikutusten minimoimiseksi tuleekin pyrkiä optimoimaan lämpökäsittelyprosesseja siten, että ne heikentävät maidon ravitsemuksellista laatua mahdollisimman vähän. Toisaalta on otettava huomioon ne kuumennuskäsittelyjen osoittajayhdisteet, joita pyritään saattamaan voimaan Euroopan unionin toimesta.

2 Maidon kalsiumin, vitamiinien ja hivenaineiden ravitsemuksellinen merkitys

2.1 Maidon kalsium ja sen ravitsemuksellinen merkitys

Maidossa on kalsiumia 120 mg/100 g (Rastas et al. 1993). Kalsiumin tarve vaihtelee iän mukaan ja on eri ikäryhmissä seuraava: 0–6 kk 400 mg/vrk, 6–12 kk 600 mg/vrk, 1–10 v 800 mg/vrk, 11–24 v 1200 mg/vrk ja yli 24-vuotiaille 800 mg/vrk (Food and Nutrition Board 1989). Aikuisen päivittäisestä kalsiumin tarpeesta 100 g maitoa kattaa siis 15 %. Käyttämällä maitoa 6–7 desilitraa päivittäin voidaan koko kalsiumin tarve kattaa. Suomessa maidon ja maitotuotteiden käyttö on runsasta (keskimäärin 568,5 g/vrk, Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 1996) ja n. 75–80 % kalsiumin tarpeesta saadaan maidosta tai maitotuotteista (Aro et al. 1993). Eniten kalsiumia suhteessa energian määrään saadaan vähärasvaisista maitotuotteista.

2.1.1 Kalsiumin merkitys luustolle

Luusto on kehon tukirakenne, jolla on lisäksi keskeinen merkitys elimistön kalsiumaineenvaihdunnassa. Luu koostuu soluista, orgaanisesta peruskudoksesta ja mineraaleista. Luussa on kolmenlaisia soluja: luunsyöjäsolut, luunrakentajasolut ja luusolut. Orgaaninen peruskudos, joka käsittää 30 % luun kuiva-aineesta, muodostuu luunrakentajasolujen tekemästä kollageenista ja mukoproteiineista. Luun mineraali (70 % kuiva-aineesta) on pääasiassa kiteistä hydroksiapatiittia $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$, johon on liittynyt myös natrium-, magnesium-, karbonaatti- ja sitraatti-ioneja (Aro et al.

1993).

Terveessä luussa vallitsee dynaaminen tila, jossa koko ajan hajoaa ja muodostuu luuta. Luunsyöjäsolut liuottavat luun peruskudosta, jolloin luustosta vapautuu kalsiumia ja fosfaattia. Luun pinnan lamelliin syntyy resorptiokolo, johon luunrakentajasolut alkavat muodostaa perusainetta, jonka jälkeen luusolut muodostuvat ja alkavat mineralisoitua noin 1–2 viikon kuluessa. Hohkaluusta (nikamat, lantion litteät luut) uusiutuu vuodessa 30–60 %, mutta kortikaalisesta luusta (esim. raajojen putkiluut) uusiutuu vain 3 % (Aro et al. 1993).

Aikuisen ihmisen elimistössä on 1000–1200 g kalsiumia, josta 99 % on luustossa. Kalsiumin aineenvaihduntaa säätelevät lisäkilpirauhasten erittämä lisäkilpirauhashormoni (PTH) ja kalsitrioli (D-vitamiinin aktiivinen muoto). Lisäkilpirauhashormoni suurentaa seerumin kalsiumpitoisuutta lisäämällä kalsiumin vapautumista luusta ja vähentämällä sen erittymistä virtsaan. Lisäkilpirauhashormoni lisää myös kalsitriolin muodostumista munuaisissa ja lisää sen välityksellä sekä kalsiumin että fosfaatin imeytymistä ohutsuoletta. Jos kalsiumia ei saada riittävästi ravinnosta, seerumin ja solunsisäisen kalsiumtasapainon säilyttämiseksi tarvittava kalsium mobilisoidaan luustosta. Tasapainotilassa virtsaan erittyy kalsiumia saman verran kuin mitä sitä imeytyy suoletta eli keskimäärin 150–200 mg/vrk. Luuston soluihin vaikuttavat kalsiumin ohella myös sukuhormonit (androgeenit, estrogeenit, progesteroni), kortikosteroidit, tyroksiini, prostaglandiinit ja kasvutekijät (Aro et al. 1993).

Kalsiumin yhdeksi profylaktiseksi (sairauksia ehkäiseväksi) ominaisuudeksi on mainittu osteoporoosi eli luukadon ehkäisy (Renner 1995). Osteoporoosi on tila, jossa luun sekä orgaanisen peruskudoksen että mineraalin määrä tilavuusyksikössä on vähentynyt. Luun määrä vähenee ikääntyessä, mutta sairaudeksi luukato luokitellaan silloin, kun se johtaa luunmurtumiin, lisää huomattavasti niiden riskiä tai ilmenee nuorella henkilöllä. Sitä esiintyy erityisesti vaihdevuodet ohittaneilla naisilla. Osteopo-

roosia voidaan ehkäistä sillä, että pyritään kasvattamaan luun määrä eli luumassa kasvuiässä mahdollisimman suureksi. Luumasaan voidaan vaikuttaa aina 25–30 vuoden ikään asti nauttimalla riittävästi kalsiumia sisältäviä elintarvikkeita. Tämän jälkeen luumassa ei enää lisäännä vaan vähenee: naisilla 1 % ja miehillä 0,5 % vuodessa (Shills et al. 1994, Renner 1995). Ravinnosta saatava kalsium korreloi luun kuorikeroksen määrään ja lisäämällä kalsiumin saantia voidaan pienentää luun vaihdun-
tanopeutta, mikä hidastaa ikääntymiseen liittyvää luukatoa (Renner 1995).

2.1.2 Kalsiumin muita profylaktisia ominaisuuksia

Osteoporoosin ehkäisemisen lisäksi kalsiumin on esitetty ehkäisevän verenpainetauti, suolistosyöpä, sydän- ja verisuonitautteja ja munuais kivien syntyä. Eläinko-
keissa kalsiumin on havaittu laskevan verenpainetta sellaisilla rottayksilöillä, joilla verenpaine on luonnostaan korkea (Renner 1995). Korkeasta verenpaineesta kärsivien ihmisten verenpaineen on havaittu laskevan kalsiumsuoloja käyttämällä 5–10 mmHg, mutta maidon kalsiumin oletetaan alentavan verenpainetta kalsiumsuoloja tehokkaammin, koska maidossa on lisäksi kaliumia ja magnesiumia, jotka saattavat edesauttaa verenpaineen laskua (Brussaard et al. 1991). Erityisesti raskauden aikaisen verenpaineen nousun ehkäisemistä tutkittaessa havaittiin, että runsaasti maitotuotteita käyttävien naisten verenpaine ei noussut raskauden aikana siinä suhteessa kuin vähän maitotuotteita käyttävien naisten verenpaine nousi (Marcoux et al. 1991).

Kalsiumin suolistosyöpää estävien ominaisuuksien oletetaan perustuvan kalsiumfosfaatin kykyyn sitoa sappihappoja, jolloin se estää sappihappojen toksisen vaikutuksen suolistoon (Meer & Lapr 1991). Tutkimustulokset ovat kuitenkin vielä ristiriitaisia ja vaativat lisätutkimuksia (Renner 1995).

Kalsiumin sydän- ja verisuonitautia estävä vaikutus henkilöillä, joilla on korkea seerumin kolesterolipitoisuus, perustuisi tutkimusten mukaan siihen, että lisättäessä kalsiumia vähärasvaiseen ruokavalioon se saa aikaan LDL-kolesterolin laskun ja hyvän HDL-kolesterolin nousun (Bell et al. 1992).

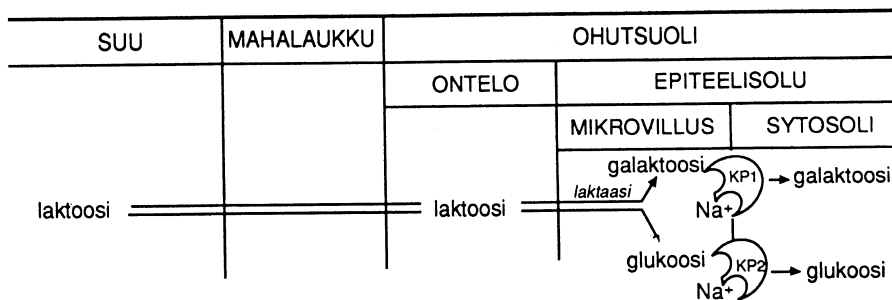
Munuaiskivet koostuvat pääasiassa kalsiumoksalaatista ja siitä kärsivät henkilöt erittävät liikaa kalsiumia elimistöstään virtsan mukana. Useimmiten hoitona käytetään kalsiumin saannin rajoittamista vähentämällä maidon ja maitovalmisteiden osuutta ruokavaliossa. Uusien tutkimusten mukaan kalsium kuitenkin voi vähentää munuais kivien syntyä siten, että se sitoo elimistössä olevaa oksalaattia, jonka nyt oletetaan olevan kalsiumia olennaisempi munuais kivien synnyssä (Renner 1995).

2.2 Maito vitamiinien, seleenin ja jodin lähteenä

Maito ja maitovalmisteet ovat olennaisia B₂-, B₁₂- ja A-vitamiinien sekä seleenin ja jodin lähteitä (Aro et al. 1993). Maidosta saadaan A-vitamiinin lisäksi myös rasvaliukoista E-vitamiinia (α-tokoferolia, α-tokotrienolia) sekä D-vitamiinia (kolekalsiferolia ja 25-hydroksikolekalsiferolia). Riboflaviinin (B₂-vitamiinin) suositeltava saanti on miehillä 1,7 mg/vrk ja naisilla 1,3 mg/vrk.

B₁₂-vitamiinin suositeltava saanti on aikuisille 2,0 µg/vrk (Food and Nutrition Board 1989). Maito sisältää riboflaviinia 0,19 mg/100 g ja B₁₂-vitamiinia 0,42 µg/100 g (Rastas et al. 1993).

A-vitamiinin suositeltava saanti miehillä on 1000 µg/vrk ja naisilla 800 µg/vrk (Food and Nutrition Board 1989). Suomessa A-vitamiinin saannista 13 % saadaan ravintorasvoista ja 15 % maitotuotteista ja kananmunista (Heinonen 1989). Maito ja maitovalmisteet sisältävät E-vitamiiniyhdisteistä pääasiassa α-tokoferolia, jonka pitoisuudet vaihtelevat rasvapitoisuuden mukaan välillä 0,01–0,71 mg/100 g. Lisäksi



Kuva 1. Laktoosin hajotus ihmisen ohutsuolessa (KP=kuljettajaproteiini) (Aro et al. 1993).

α -tokoferolipitoisuuksissa on selvää vuodenaikaisvaihtelua. Maidossa ja maitovalmisteissa on myös pieniä määriä (<0,01–0,04 mg/100 g) α -tokotrienolia (Piironen 1986). Maidosta ja maitovalmisteista suomalaiset saavat α -tokoferolia keskimäärin 0,60 mg vuorokaudessa, mikä on 7 % α -tokoferolin kokonaissaannista ja a-tokotrienolia 0,01 mg vuorokaudessa, mikä on a-tokotrienolin kokonaissaannista 0,8 % (Piironen 1986). D-vitamiiniyhdisteistä maidossa ja maitovalmisteissa on vähäisiä määriä kolekalsiferolia, <0,02–0,21 μ g/100 g, ja 25-hydroksikolekalsiferolia, <0,11 μ g/100 g (Mattila 1995). Aikuisten suositeltava päivittäinen saanti on 5 μ g/vrk (Food and Nutrition Board 1989). Maito sisältää seleeniä 2,2 μ g/100 g ja jodia 17 μ g/100 g (Rastas et al. 1993). Miesten seleenin saantisuositus on 70 μ g/vrk ja naisten 55 μ g/vrk. Aikuisten jodin saantisuositus on 150 μ g/vrk (Food and Nutrition Board 1989). Maito ja maitotuotteet kattavat Suomessa seleenin saannista noin 20 % (Alftan 1993) ja jodin saannista noin 40 % (Ekholm 1993).

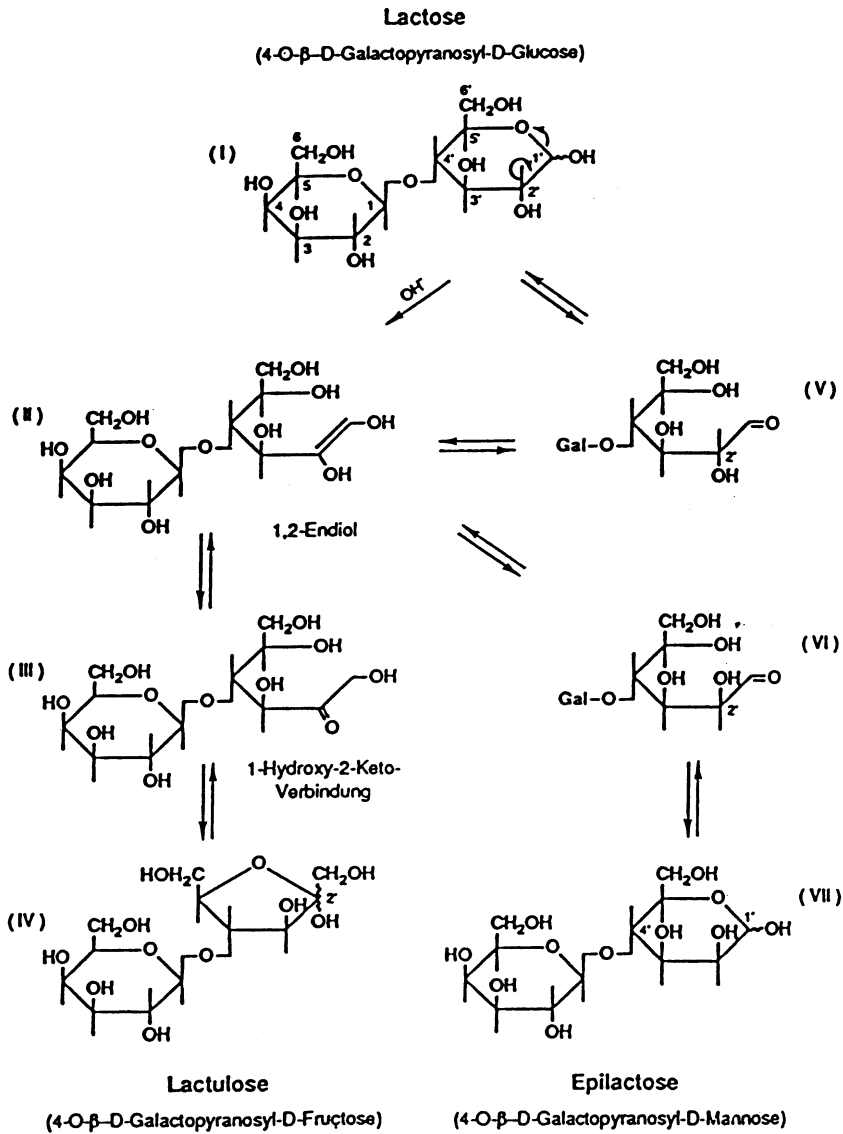
3 Maidon laktoosi

3.1 Laktoosin ravitsemuksellinen merkitys

Maito sisältää laktoosia 4,7–4,8 g/100 g (Rastas et al. 1993). Laktoosi edesauttaa maidon kalsiumin imeytymistä. Laktoosi on disakkaridi, joka on rakentunut kahdesta monosakkaridista: galaktoosista ja glukoosesta. Disakkaridit pilkkoutuvat hyvin tehokkaasti ohutsuolen villuksen ontelon puoleisessa osassa olevien aktiivisten entsyymien, disakkaraasin, ansiosta. Pilkkoutumisessa muodostuneet monosakkaridit imeytyvät elimistössä hyvin. Laktoosin pilkkoo galaktoosiksi ja glukooseksi laktaasientsyymi. Ohutsuolen solukalvolla on kullekin monosakkaridille oma kuljettajaproteiini, joka kuljettaa ne kuvan 1 mukaisesti soluun (Aro et al. 1993).

3.2 Laktoosi-intoleranssi

Laktoosi ei siis voi imeytyä sellaisenaan, vaan se on ensin hajotettava glukooseksi ja galaktoosiksi laktaasientsyymien avulla. Ihminen on ainoita nisäkkäitä, joilla tämä entsyymi säilyy aikuisikään. Maailman väestöstä kuitenkin valtaosa menettää lapsuutensa laktaasientsyymien. Laktaasin puutteen eli hypolaktasiasta kärsii 17 % suomalaisista (Aro et al. 1993, Korhonen & Korpela



Kuva 2. Laktoosin isomeroituminen Lobry de Bruyn-Alberda van Ekenstein -transformaation kautta (Haarnoja 1997).

1994). Laktoosi-intoleranssin oireita ovat ilmavaivat, vatsan murina, ripuli, turvotus ja vatsakivut. Hypolaktasiapotilailla 30–75 % laktoosista jää imeytymättä. Laktoosi-intoleranssin hoitona on laktoosia sisältävien ravintoaineiden vähentäminen ruokavalios- ta. Suomalaisen ravinnon kalsiumista valta- osa tulee kuitenkin maidosta ja maitotuot-

teista, joten täysin maidoton dieetti ei ole perusteltu, vaan riittävä kalsiumin saanti olisi laktoosi-intoleranssista huolimatta turvattava käyttämällä kypsytettyjä juusto- ja vähän laktoosia sisältäviä maitotuotteita (Aro et al. 1993).

3.3 Laktoosin isomeroituminen kuumennusprosesseissa

Maidon kuumennuksessa osa laktoosista isomeroituu laktuloosiksi Lobry de Bruyn-Alberda van Ekenstein (LA) -transformaation kautta (kuva 2). Laktoosi ja laktuloosi reagoivat edelleen maidon proteiinien lyssyylitähteen kanssa, jolloin muodostuu lakto- ja laktulosyylilyysiiniä (Maillard-reaktion ensivaihe) ja näin maidon proteiinien ravitsemuksellinen laatu heikkenee (kohta 4.5.1). Osa laktoosista hajoaa LA -transformaatioissa galaktoosiksi ja muurahaishapoksi (Haarvoja 1997).

Elimistön laktaasi ei pysty pilkkomaan laktuloosia. Laktuloosi on laksatiivinen eli voi aiheuttaa ripulia, mitä voidaan pitää sen haitallisena puolena. Toisaalta sillä on positiivisia fysiologisia vaikutuksia paksunsuolen mikrobiflooraan ja erityisesti bifidobakteereihin. Sitä voidaan laksatiivisten ominaisuuksiensa vuoksi käyttää ummetuslääkkeenä (Korhonen & Korpela 1994). Laktuloosi voi kuitenkin myös edistää kaasua tuottavien mikrobien kuten *E. coli* kasvua, mistä aiheutuu ilmavaivoja (Modler 1994).

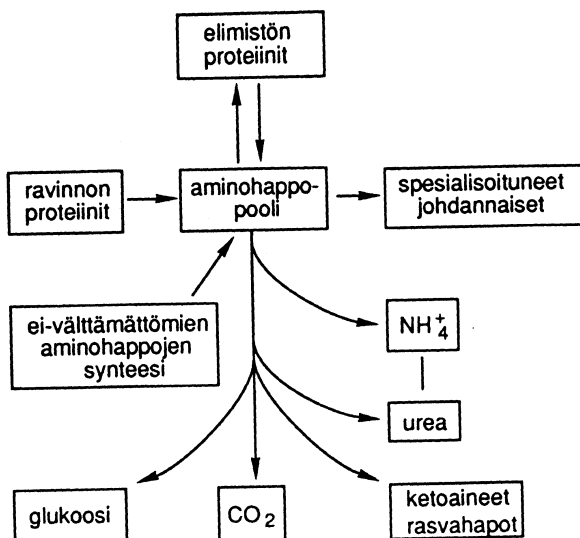
Laktuloosia muodostuu erityisesti UHT-kuumennuksessa: 370–528 mg/l epäsuorassa UHT-prosessissa ja 88–128 mg/l suorassa UHT-prosessissa (Clawin-Rädecker et al. 1992, Pellegrino 1994, Resmini & Pellegrino 1994). Isomeroituminen tapahtui herkemmin rasvattomassa maidossa kuin kokomaidossa (Pellegrino 1994). Laktuloosipitoisuuden katsotaan korreloivan hyvin lämpökäsittelyn voimakkuuden kanssa (Berg & Boekel 1994, Pellegrino 1994, Resmini & Pellegrino 1994). Laktuloosipitoisuutta on esitetty maitojen kuumennuskäsittelyn voimakkuuden mittariksi Euroopan unionin ja Saksan maidontutkimuslaitoksen toimesta (Buchheim et al. 1994).

4 Maidon proteiinit ja niiden merkitys ravitsemuksessa

Maito sisältää proteiinia 3–3,5 g/100 g (Rastas et al. 1993). Suomalaiset saivat maidosta ja maitovalmisteista FINMONICA tutkimuksen mukaan 31 % koko proteiinin saannistaan vuonna 1982 (miehet noin 33 g/vrk ja naiset noin 24 g/vrk). Proteiinien osuus energiansaannista oli tällöin keskimäärin 15 % (Aro et al. 1993). FINRAVINTO-tutkimuksen mukaan proteiineina saatiin vuonna 1992 ravinnon energiasta 16 % (Ravistemuskertomus 1995). Maidon pääproteiinit ovat kaseiinit (α -kaseiinit, β -kaseiinit ja κ -kaseiinit, n. 80 % maidon proteiineista), β -laktoglobuliinit ja α -laktalbumiini (Korhonen & Korpela 1994). Maidon kaseiinin sulavuus on hyvä, yli 95 % (FAO 1991).

4.1 Proteiinien ravitsemuksellinen merkitys

FAO/WHO (1985) ja Food and Nutrition Board (1989) ovat arvioineet päivittäiset proteiinin tarpeet eri ikäryhmissä seuraavasti: imeväiset 1,73 g/kg, 2-vuotiaat 1,1 g/kg, 10–12-vuotiaat 0,99 g/kg ja aikuiset 0,75 g/kg. Raskaana olevien naisten proteiinien tarve on ensimmäisen kolmanneksen aikana lisääntynyt 1,3 g/vrk, toisen kolmanneksen aikana 6,1 g/vrk ja viimeisen kolmanneksen aikana 10,7 g/vrk. Imetyksen aikana proteiinien tarve kasvaa ensimmäisen puolen vuoden aikana 14,7 g/vrk ja toisen vuosipuoliskon aikana 11,8 g/vrk. Miesten proteiinien saantisuositus on 63 g/vrk ja naisten 50 g/vrk (Food and Nutrition Board 1989). Suomessa aikuisten proteiinin saantisuositus on 45–55 g/vrk (Valtion ravitsemusneuvottelukunnan mietintö 1987).



Kuva 3. Aminohappojen lähteet ja metabolia (Aro et al. 1993)

Ravinnosta saatava proteiini hajotetaan elimistössä ja sen sisältämät aminohapot käytetään n. 75-prosenttisesti hyväksi proteiinien uudelleensynteesissä (Colby 1985, Shills 1994). Ihmisellä proteiinin perustarve ruuasta aiheutuu valtaosin elimistön rakenneproteiinien ja funktionaalisten proteiinien synteesiin käytettävien aminohappojen tarpeista. Proteiinien tarve perustuu keskeisesti välttämättömien aminohappojen saatavuuteen. Jos jonkin välttämättömän aminohapon saanti ruuasta ei nosta sen pitoisuutta elimistössä proteiinien synteesin minimitasolle, tämä aminohappo rajoittaa proteiinien synteesiä eli se on rajoittava aminohappo ruuassa. Proteiinien ylimäärä ei varastoidu soluihin vaan se muutetaan rasvaksi. Entsyymi- ja kudosproteiinien synteesin lisäksi aminohappoja käytetään hormonaalisten ja hermostollisten välittäjäaineiden synteesiin. Aminohappojen normaali katabolia johtaa elimistössä typpihävikkiin, joka vastaa terveellä aikuisella noin 30–55 g proteiinia päivittäin. Suurin osa tyypestä eritetään virtsa-aineena (noin 37 g/vrk). Myös ulosteiden, hien, muiden eritteiden, kuolleiden ihosolujen, hiusten ja kynsien mukana elimistöstä poistuu tyyppiä noin 2 g/vrk (Pellett 1990). Tämä määrä täytyy korvata ravinnon avulla, jotta elimistön proteiinimäärä pysyisi vakiona (kuva 3).

Aminohapoista jää niiden kataboliassa jäljelle hiilirunkoja, joista muodostetaan sitruunahappokiertoon liittyviä yhdisteitä, kuten asetyyli-koentsyymi A:ta, pyryvaattia, α -ketoglutaraattia jne. käytettävissä olevasta aminohaposta riippuen. Aminohapot käytetään energiaksi seuraavilla tavoilla (Shills et al. 1994):

- ne käytetään suoraan tai epäsuoraan sitruunahappokierron ATP-synteesiin maksassa
- maksa voi syntetisoida niistä glukoosia veren glukoositasapainon ylläpitämiseksi paastotilassa (glukoneogeneesi)
- maksa voi muodostaa ketogeenisistä aminohapoista ketoaineita (asetoasettaattia ja b-hydroksibutyraattia) (=ketogeneesi), joita lähinnä aivo- ja lihas-solut voivat käyttää vaihtoehtoisina energianlähteinä
- aminohapot voidaan ohjata rasvahapposynteesiin ja sitä kautta varastoenergiaksi.

Mikäli ylimääräisiä aminohappoja ei ole tarpeen suoraan hapettaa, eikä käyttää glukoneogeneesiin tai ketogeneesiin, ne ohjataan rasvahapposynteesiin ja sitä kautta varastoenergiaksi. Useimmiten aterian jälkeen sekä glukoosia että aminohappoja on

glykogeeniset	glykogeeniset ja ketogeeniset	ketogeeniset
alaniini asparagiini aspartaatti kysteiini glutamiini glutamaatti glysiini proliini seriini	tyrosiini	
	EI-VÄLTÄMÄTTÖMÄT	
arginiini histidiini metioniini treoniini valiini	VÄLTÄMÄTTÖMÄT isoleusiini lysini fenylalaniini tryptofaani	leusiini

Kuva 4. Aminohappojen jaotteleminen välttämättömiin ja ei välttämättömiin sekä glykogeeneisiin ja ketogeenisiin aminohappoihin (Aro et al. 1993).

ylimäärin, jolloin niiden hiiliketjut muunnetaan rasvahapoiksi ja varastoidaan rasvakudokseen triglyserideinä yhdessä ravinnosta tulleiden rasvahappojen kanssa. Tarpeen vaatiessa (esim. nälkätilassa) rasvahappoja vapautetaan rasvakudoksesta, jolloin useiden kudosten solut voivat käyttää niitä glukoosin ohella energian lähteenään. Rasvahapposynteesin lähtöaineena on asetyyli-koentsyymi A, jota muodostuu glukoosista aminohappometaboliassa. Asetyyli-koentsyymi A:n muodostuminen, aminohappojen hajoaminen ja sitruunahappokierto tapahtuvat solun mitokondriossa, rasvahapposynteesi taas sytoplasmassa. Hiiliatomit siirtyvät rasvahapposynteesiin sitruunahappokierrosta sitraattina, joka siirtyy sytoplasmassa ja muunnetaan rasvahapposynteesin lähtöaineeksi, asetyyli-koentsyymi A:ksi.

4.2 Maidon aminohappokoostumus

Kulutusmaidon, kevytmaidon ja rasvattoman maidon aminohappokoostumukset on esitetty taulukossa 1. Maidon aminohappoja noin puolet on välttämättömiä amino-

happoja ja välttämättömien aminohappojen ja muiden aminohappojen välinen suhde on lähes optimaalinen.

4.3 Aminohappokoostumuksen ravitsemuksellinen merkitys

Ihmisellä proteiinien synteesiin tarvitaan 20 aminohappoa, joista 10 on elimistölle välttämättömiä eli näitä aminohappoja elimistö ei pysty syntetisoimaan vaan ne on saatava ruuan mukana. Ihmiselimistö pystyy syntetisoimaan kokonaan alaniinia, asparagiinia, asparagiinihappoa, glutamiinia, glutamiinihappoa, glysiiniä, proliinia ja seriiniä ja osittain arginiinia, kysteiiniä ja tyrosiinia muttei ollenkaan isoleusiinia, leusiinia, lysiniä, metioniinia, fenyyialaniinia, treoniinia, tryptofaania, valiinia ja histidiiniä (Passmore & Eastwood 1986, Friedman 1989, Shills et al. 1994).

Aminohapot jaotellaan välttämättömyytensä lisäksi joko glykogeeneisiin tai ketogeenisiin aminohappoihin kataboliatuotteidensa mukaisesti (kuva 4). Välttämättömien aminohappojen tarve milligrammoina painokiloa kohti vuorokaudessa on ilmoi-

Taulukko 1. Maidon aminohappokoostumus kulutus-, kevyt- ja rasvattomassa maidossa (Salo-Väänänen 1996).

Aminohappo	Kulutus- maito	Kevyt- maito	Rasvaton maito
	mg/100g		
Isoleusiini	140	140	150
Leusiini	300	290	290
Lysiini	250	250	240
Metioniini	120	120	120
Kysteiini	120	140	130
Fenyylialaniini	150	160	140
Tyrosiini	150	160	150
Treoniini	130	120	130
Tryptofaani	45	43	46
Valiini	180	180	180
Histidiini	89	89	86
Arginiini	120	100	130
Alaniini	97	90	95
Asparagiinihappo	220	210	220
Glutamiinihappo	670	640	660
Glysiini	59	55	56
Proliniini	310	390	290
Seriini	170	160	170

tettu taulukossa 2. Taulukossa 3 on sen sijaan ilmoitettu välttämättömien aminohappojen tarve jakamalla se suositellulla proteiinin tarpeella. Vertailuelintarvikkeina ovat äidinmaito, kananmuna, lehmänmaito ja naudanliha, joiden välttämättömien aminohappojen pitoisuudet on myös ilmoitettu taulukossa 3. Vertailuelintarvikkeiden proteiinipitoisuus on laskettu kokonaistypen määrästä käyttämällä typenmuuntokertoimena 6,25. Maidon proteiinin hyvä laatu ilmenee myös siitä, että ne on luokiteltu vertailuproteiineiksi (high-quality protein), joihin välttämättömien aminohappojen tarvetta verrataan (Taulukko 3).

Edellä esitettyjä Food and Nutrition Boardin (1989) suosituksia on tosin kritisoitu riittämättömiksi. Young (1987) laski, että

tämän hetkisten suositusten (FAO/WHO 1985, Food and Nutrition Board 1989) perusteella imeväisten proteiinien tarvesuosituksissa välttämättömien aminohappojen osuus on 43 %, 2–5 -vuotiaiden 32 %, 10–12 -vuotiaiden 22 % ja aikuisten 11 %. Hänen tutkimustensa mukaan eräiden aminohappojen, kuten leusiinin, valiinin, lysiinin ja treoniinin, tarve on arvioitu näissä suosituksissa liian pieneksi. Samaan tulokseen päätyivät myös mm. Inoue et al. (1988) ja Millward ja Rivers (1988). Young (1987) esittää, että aikuisten ruuastaan saamien proteiinien aminohapoista tulisi olla n. 1/3 välttämättömiä.

Välttämättömien aminohappojen riittävä määrä ja tasapainoiset suhteet elintarvikkeessa ovat ravitsemuksellisen arvon mitta-

Taulukko 2. Välttämättömien aminohappojen tarve eri ikäryhmissä (Food and Nutrition Board 1989).

Aminohappo	Lapset 3 - 4 kk	Lapset 2 vuotta	Lapset 10-12 v	Aikuiset
	mg/kg/vrk			
Histidiini	28	?	?	8-12
Isoleusiini	70	31	28	10
Leusiini	161	73	42	14
Lysiini	103	64	44	12
Metioniini + kystiini	58	27	22	13
Fenyylialaniini + tyro- siini	125	69	22	14
Treoniini	87	37	28	7
Tryptofaani	17	12,5	3,3	3,5
Valiini	93	38	25	10

ri. Toisaalta proteiinien laatua voidaan tarkastella niiden aminohappokoostumuksen avulla. Välttämättömien aminohappojen pitoisuuksien lisäksi tulisi ottaa huomioon myös välttämättömien aminohappojen pitoisuuksien suhde muiden aminohappojen pitoisuuksiin, koska muut aminohapot toimivat välttämättömiä aminohappoja säästävänä (Mercer et al. 1989, Young 1987).

Aminohapoille on esitetty myös tarkempia luokituksia. Young (1987) ja Mercer (1989) esittivät, että aminohapot olisi jaettava välttämättömyytensä perusteella kolmeen ryhmään: välttämättömiin (sisältävät arginiinin), semivälttämättömiin (kysteiini ja tyrosiini) ja muihin aminohappoihin. Tällöin kaikkien aminohappojen osuus ihmisen aineenvaihdunnassa tulisi huomioiduksi.

Aminohapoilla on merkittävä rooli aineenvaihdunnan säätelyssä yksinään tai aktiivisten metaboliittien kanssa toimiessaan. Aminohapot ovat myös sekä peptidi- että proteiinihormonien prekursoreina (esim. kilpirauhashormonien muodostuminen tyrosiinista). Sivuketjuisista aminohapoista leusiini aloittaa lihaksessa proteiinien synteesin. Tryptofaanilla on hormonaalista aktiivisuutta, koska se saa aikaan proteiinisynteesin kiihtymisen. Se toimii myös niasiinin

prekursorina. Arginiini ja metioniini ovat polyamiinien, putreskiinin, spermiidiinin ja spermiinin prekursoreita (Smith et al. 1989).

Indoliamiinit ja katekoliamiinit ovat aminohapoista muodostuneita hermovälittäjiä. Niiden synteesiä säädellään säättämällä prekursorien määrää aivoissa. Indoliamiineista serotoniini (5-hydroksi-tryptamiini) syntetisoidaan aivoissa tryptofaanista (Smith et al. 1989). Katekoliamiinien synteesi on paremmin säädelty kuin indoliamiinien, mutta myös niiden kohdalla prekursorien määrä säätelee muodostumista aivoissa. Aivojen hermosolut voivat syntetisoida katekoliamiineja (dopamiini, norepinefriini ja epinefriini) tyrosiinista (Smith et al. 1989).

4.4 Maitoallergia

Maitoallergian aiheuttavat elimistön immuunisysteemille vieraat proteiinit. Maidon proteiineista kaseiinit, β -laktoglobuliini, α -laktalbumiini, seerumin albumiini ja immunoglobuliinit ovat potentiaalisia allergeeneja. Toistaiseksi minkään maidon yksittäisen proteiinifraktion ei ole havaittu olevan syyppää allergisiin reaktioihin. Tällä

Taulukko 3. Välttämättömien aminohappojen tarve laskettuna vertailuproteiinia¹ ja vertailuelin-
tarvikkeiden välttämättömien aminohappojen määriä² käyttämällä (Food and Nutrition Board
1989).

Aminohappo	Tarve mg/g				Pitoisuus mg/g			
	Lapset 3 -4 kk	Lapset 2 vuotta	Lapset 10-12 v	Aikuiset	Äidin- maito	Kanan- muna	Lehmän- maito	Naudan- liha
Histiidiini	16	(19)	(19)	(11)	26	22	27	34
Isoleusiini	40	28	28	13	46	54	47	48
Leusiini	93	66	44	19	93	86	95	81
Lysiini	60	58	44	16	66	70	78	89
Metioniini + Kystiini	33	25	22	17	42	57	33	40
Fenyyliala- niini + tyrosiini	72	63	22	19	72	93	102	80
Treoniini	50	34	28	9	43	47	44	46
Tryptofani	10	11	(9)	5	17	17	14	12
Valiini	54	35	25	13	55	66	64	50

¹ Aminohappojen tarvemalli on laskettu jakamalla aminohappojen tarve (FAO/WHO 1985) suositellulla vertailuproteiinin tarpeella. Imeväisten proteiinin tarve oli 1,73 g/kg, 2-vuotiaiden 1,1 g/kg, 10-12 vuotiaiden lasten 0,99 g/kg ja aikuisten 0,75 g/kg (FAO/WHO1985).

² Vertailuproteiinin (High-Quality Protein) koostumukset (FAO WHO1985).

hetkellä tutkimus on keskittynyt siihen, millä teknologisilla keinoilla (esim. entsyymaattiset reaktiot, lämpökäsittely, fraktiointi) näitä allergisoivia ominaisuuksia voitaisiin vähentää (Korhonen & Korpela 1994).

4.5 Maidon proteiinien ravintoarvon heikkeneminen prosessoinnin aikana

Proteiinien laatu heikkenee, mikäli niiden välttämättömät aminohapot reagoivat prosessoitaessa esim. hiilihydraattien kanssa (Maillard-reaktio). Maidossa ja maitotuotteissa erityisesti maidon proteiinien lysiinin hyväksikäytettävyys vähenee, mikäli sen reaktiivinen ϵ -aminoryhmä reagoi kuumennettaessa pelkistävien hiilihydraattien, kuten laktoosin, laktuloosin tai glukoosin kanssa. Tällöin lysiini muuttuu ravitsemuksellisesti käyttökelttomiksi muodoiksi (Belitz & Grosch 1987).

4.5.1 Maillard-reaktiot maidon kuumennuksessa: laktulosyyli-lysiinin synty ja sen määrittäminen furosiinina

Maidon kuumennuksessa tapahtuu sen sokereiden ja aminohappojen välisiä reaktioita eli Maillard-reaktioita. Siinä laktoosi ja laktuloosi reagoivat maidon proteiinin lysyyliähteen kanssa muodostaen lakto- ja laktulosyyliysiiniä, jolloin samalla käyttökelpoisen lysiinin määrä vähenee. Lakto- ja laktulosyyliysiinin synty maidon kuumennuksessa noudattavat yleistä Maillard-reaktiota. Maillard-reaktiotuotteina syntyy myös mm. hydroksimetyyllifurfuraalia, furfuraalia ja furfurolia (Berg & Boekel 1994).

Laktulosyyliysiinin pitoisuus voidaan määrittää mittaamalla analysointia edeltävässä happohydrolyysissä muodostuneen furosiinin pitoisuus. Furosiini määritetään useimmiten nestekromatografisesti (Resmini & Pellegrino 1994, Henle et al. 1995). Sen pitoisuudet vaihtelivat Resminin ja Pellegrinon (1994) mukaan maidossa seuraa-

vasti: raakamaidossa välillä 3–5 mg/100 g proteiinia, pastöroidussa maidossa välillä 5–7 mg/100 g proteiinia, suoraan UHT-kuumennetussa maidossa välillä 50–170 mg/100 g proteiinia ja epäsuorasti UHT-kuumennetussa maidossa välillä 250–450 mg/100 g proteiinia. Furosiinin osalta tulisi tarkastella myös sen lisääntymistä säilytyksen aikana. Corzon et al. (1994) mukaan furosiinipitoisuudet kasvoivat ajan ja säilytyslämpötilan (20, 30 ja 40 °C) mukaan jopa lähes 5-kertaisiksi 90 vuorokaudessa maidossa, jonka UHT-käsittelylämpötila oli 144 °C ja -aika 6 sekuntia. Euroopan unioni on asettanut pastöroidun maidon furosiinipitoisuuden ylärajaksi 8,5 mg/ 100 g proteiinia (Korpela 1996).

4.5.2 Aminohappojen välisten ristosidosten muodostuminen

Aminohappojen välille voi muodostua kuumennuskäsittelyssä uusia ristosidoksia, jolloin muodostuu esim. lysinoalaniinia tai histidinoalaniinia. Yhdisteet muodostuvat kaksivaiheisessa reaktiossa: ensimmäisessä vaiheessa muodostuu dehydroalaniinitähde (DHA) kysteiinin, fosfoseriinin, glykosyyli-seriinin tai seriinin emäksen indusoimassa b-1-eliminaatioreaktiossa. Tämän jälkeen reaktiiviseen DHA:in liittyy nukleofiilinen tioli- tai aminoryhmä. Syntyneet ristosidokset laskevat proteiinin ravitsemuksellista arvoa.

Lysinoalaniinin (LAL) on todettu aiheuttavan hiirille tai rotille nefrosytomegaliaa ja inhiboivan voimakkaasti metalloentsyymejä (Henle et al. 1993). Henle et al. (1993) havaitsivat uuden nihydriini-positiivisen yhdisteen muodostumisen kuumennetussa rasvattomassa maidossa. He tunnistivat tämän yhdisteen histidinoalaniiniksi (HAL). Käytetyssä koejärjestelyssä maitoa oli kuumennettu 100 °C:ssa 120 minuuttia. Wal-

ter et al. (1994) havaitsivat UHT-maidon sisältävän 120 ja 350 mg HAL/kg proteiinia, kun vastaavat näytteet sisälsivät 20 ja 50 mg LAL/kg proteiinia. Histidinoalaniinin toksisuudesta ei ole tällä hetkellä näyttöä.

Näiden yhdisteiden pitoisuudet maitotuotteissa eivät ole suuria, mutta toisaalta niillä saattaa olla haitallisia vaikutuksia ihmiselimistön toimintaan, minkä vuoksi niiden pitoisuuksista lämpökäsitellyissä tuotteissa olisi hyvä olla tietoa.

4.5.3 Aminohappojen rasemisoituminen kuumennuskäsittelyssä

Aminohapot esiintyvät proteiineissa pääsääntöisesti L-muodossa, mutta sekä lämpö- että emäskäsittely saavat aikaan aminohappojen muuttumisen eli rasemisoitumisen D-muotoon. Toisaalta mikrobien soluseinien peptidoglykaanit sisältävät näitä aminohappomuotoja (Bruckner et al. 1992). D-aminohapot eivät ole ihmiselimistössä, D-fenyylialaniinia lukuunottamatta, hyväksikäytettävissä, koska ihmiselimistössä ei ole sellaista entsyymiä, joka voisi pilkkoa D-aminohappoja sisältävän peptididoksen. D-aminohapoista D-seriinin on todettu eläinkokeissa olevan toksinen munuaisille ja hermosoluille, mutta täsmällisesti ei tiedetä voiko D-seriini aiheuttaa solumuutoksia (Masters & Friedman 1980). Tällä hetkellä tutkimukset ovat keskittyneet vapaiden D-aminohappojen tutkimiseen.

Kuumennuskäsitellyjen maitojen (pastöroitu ja UHT-käsitelty) vapaita aminohappoja on pieniä määriä myös D-muodossa. D-asparagiinihappoa, D-glutamiinihappoa ja D-alaniinia oli 2–7 % vapaiden aminohappojen kokonaismäärästä (Zagon et al. 1991). Märehtijöiden maidossa on myös luontaisesti D-aminohappoja pötsin mikrobitoiminnan seurauksena (Bruckner et al. 1992).

5 Maidon rasva ja sen merkitys ravitsemuksessa

Maidossa on luontaisesti rasvaa noin 4,2 g/100 g. Kuluttajamaitojen rasvapitoisuus oli Rastaan et al. (1993) mukaan 0,08–3,9 g/100 g. Suomalaisen naisten rasvan kokonaissaanti oli vuonna 1982 FINMONICA-tutkimuksen mukaan 87 g/vrk ja miesten 126 g/vrk. Tästä määrästä saatiin maidosta ja maitovalmisteista 26 %. Rasvan osuus energiansaannista oli tutkimuksen mukaan 36–40 % (Aro et al. 1993). FINRAVINTO-tutkimuksen mukaan vuonna 1992 suomalaiset saivat rasvoista 34 % energiansaannistaan. Maidon ja maitotuotteiden osuus energianlähteenä pieneni sekä niiden käytön vähenemisen myötä että vähärasvaisten ja rasvattomien maitotuotteiden käytön lisääntymisen myötä (Ravitsemuskertomus 1995).

5.1 Maidon rasvahappokoostumus ja rasvahappojen imeytyminen

Täysmaidon rasvahapoista noin 67 % on tyydyttyneitä rasvahappoja, noin 24 % on kertatyydyttymättömiä ja alle 3 % on monityydyttymättömiä rasvahappoja (Rastas et al. 1993). Maidon keskeisimmät rasvahapot ovat voihappo (C_4) 4 %, kapronihappo (C_6) 2 %, kapryylihappo ($C_{8:0}$) 1 %, kapriinihappo ($C_{10:0}$) 3 %, lauriinihappo ($C_{12:0}$) 3 %, myristiinihappo ($C_{14:0}$) 11 %, palmitiinihappo ($C_{16:0}$) 28 %, steariinihappo ($C_{18:0}$) 10 %, öljyhappo ($C_{18:1(n-9)}$) 26 % ja linolihappo ($C_{18:2(n-6)}$) 3 % (Renner 1995). Maitorasvassa on pieniä määriä konjugoitunutta linolihappoa, linolihapon *cis,trans*-isomeerejä, γ - ja α -linoleenihappoa ($C_{18:3(n-6)}$, $C_{18:3(n-3)}$), arakidonihappoa ($C_{20:0}$) ja gondoiinihappoa ($C_{20:1n-9}$), mutta näistä kunkin määrät ovat alle 1 % (Hyvönen et al. 1993).

Ravinnon rasvahapoista ja monoglyserideistä imeytyy noin 95–99 %. Elimistössä rasvojen kuljetuksesta ohutsuolen, maksan ja muiden elinten välillä vastaavat lipoproteiinit: kylomikronit, VLDL (very low density), IDL (intermediate low density), LDL (low density) ja HDL₂ ja HDL₃ (high density) lipoproteiinit. Seerumin kolesteroliasta 60–70 % kuljetetaan LDL-lipoproteiinien avulla ja 30–40 % HDL-lipoproteiinien avulla ja pieni osa VLDL-lipoproteiinien avulla (Mensink 1992). Lipoproteiinien sisäosan muodostavat poolittomat lipidit (triglyseridit ja kolesteroliesterit) ja pinnan puolestaan pooliset lipidit (fosfolipidit ja esteröitymätön kolesteroli) (Aro et al. 1993).

5.2 Rasvahappokoostumuksen, lipoproteiinien ja kolesterolin merkitys ihmisen terveydelle

Seerumin kolesterolin määrällä ja eri lipoproteiinien määrällä ja niiden keskinäisellä suhteella on havaittu olevan merkitystä sydän- ja verisuonitautien syntyyn. Seerumin LDL-kolesteroli lisää sydän- ja verisuonitautien vaaraa, kun taas HDL-kolesterolin on todettu suojaavan sepelvaltimotautilta (Aro et al. 1993). HDL-kolesterolin suhde kokonaiskolesteroliin, samoin kuin HDL/LDL -suhde vaikuttavat sairastumisriskiin (Renner 1995). Ravinnon rasvahappojen vaikutus lipoproteiineihin perustuu niiden kemialliseen rakenteeseen, kaksoissidosten määrään ja niiden isomeriaan sekä hiiliketjun pituuteen (Aro et al. 1993).

Tyydyttyneistä rasvahapoista 10–16 hiiliatomia sisältävät kapriini-, lauriini-, myristiini- ja palmitiinihapot lisäävät LDL-kolesterolin määrää, mutta jossain määrin myös HDL-kolesterolin määrää. Edellä mainituista rasvahapoista LDL-kolesteroliin vaikuttavat voimakkaimmin myristiini- ja palmitiinihappo. Alle 10 hiiliatomia sisältävät rasvahapot eivät vaikuta seerumin kokonaiskolesteroliin (Mensink 1992, Renner 1995). Steariinihapon merkityksestä on ristiriitaisia tietoja. Aron et al. (1993) ja Mensin-

kin (1992) mukaan steariinihappo ei vaikuta seerumin kolesterolitasoon, eikä sillä ole olennaista merkitystä sydän- ja verisuonitautien riskin lisääntymisessä. Tholstrupin et al. (1994) mukaan steariinihappo alentaa LDL-kolesterolin ja kokonaiskolesterolin määrää ja pitää HDL-kolesterolin määrän ennallaan, jolloin LDL/HDL-suhde paranee ja tautiriski vähenee. Tyydyttyneiden rasvahappojen LDL-kolesterolipitoisuutta suurentava vaikutus johtuu maksasolujen LDL-reseptoreiden aktiivisuuden vähenemisestä, minkä seurauksena veressä kiertävien LDL-partikkeleiden määrä lisääntyy.

Monityydyttymättömien n-6-rasvahappojen *cis*-isomeerit vähentävät VLDL:n määrää ja saattavat pienentää seerumin triglyseridipitoisuutta (Derr et al. 1993, Kris-Etherton et al. 1993). Runsas n-6-monityydyttymättömien rasvahappojen käyttö saattaa vähentää VLDL- ja HDL-kolesterolin määrää. Linolihapon oletetaan pienentävän hieman LDL-kolesterolin määrää (Mensink 1992). Monityydyttymättömien n-3-rasvahappojen vaikutus seerumin lipoproteiineihin ei ole Aron et al. (1993) mukaan merkittävä, ellei niitä nautita hyvin suuria määriä.

Öljyhappo (kertatyydyttymätön rasvahappo, *cis*-isomeeri) ei vaikuta VLDL:n, LDL:n eikä HDL:n aineenvaihduntaan. Korvattaessa öljyhapolla 12–16 hiiliatomia sisältäviä rasvahappoja, vähenee LDL-kolesterolin määrä ja HDL-kolesterolin määrä pysyy muuttumattomana.

Märehtijöillä pötsin bakteerien vaikutuksesta ja toisaalta rasvateollisuudessa kemiallisen kovettamisen seurauksena syntyy *trans*-rasvahappoisomeerejä. Maidossa on pääasiassa 11-*trans*-elaidiinihappoa, mutta siinä on myös *trans*-C_{14:1}- ja C_{16:1}- ja C_{17:1}-rasvahappoja (Becker 1991). Maito- ja voirasvassa sekä nautanrasvassa on *trans*-rasvahappoja 1,5–3 % ja useimmissa margariineissa keskimäärin 10 % (Aro et al. 1993). Useimpien tutkimusten mukaan kertatyydyttymättömät *trans*-rasvahapot lisäävät LDL-kolesterolin määrää, mutta kuitenkin vähemmän kuin tyydyttyneet rasvahapot. HDL-kolesterolin määrä joko pysyy vakio-

na tai laskee hieman (Mensink 1992, Aro et al. 1993). Suomalaisten *trans*-rasvahappojen saannin arvioitiin vuonna 1980 olevan 4,5 % rasvahappojen saannista ja vuonna 1989 *trans*-rasvahappojen osuuden arvioitiin olevan keväällä 2,2 % ja syksyllä 1,8 % rasvahappojen saannista (Hyvönen 1991).

Rennerin (1995) mukaan 45 % maitorasvan rasvahapoista on kolesterolia alentava vaikutus, 14 % sitä nostava vaikutus ja 41 % maitorasvan rasvahapoista ei ole vaikutusta kolesterolipitoisuuteen.

Ohutsuolessa oleva kolesterolia on joko eksogeenista (n. 50 %) tai endogeenista (n. 50 %). Endogeenisesta kolesterolista suurin osa on peräisen sapesta ja pieni määrä siitä on ohutsuolen solujen syntetisoimaa. Ravinnon kolesterolista on arvioitu imeytyvän 25–80 %. Toisaalta mitä enemmän kolesterolia ravinto sisältää, sitä huonompi on sen suhteellinen imeytymistehokkuus. Eläinkunnasta peräisin olevassa ruuassa on kolesterolia, joka lisää seerumin LDL-kolesterolin määrää ilmeisesti samalla mekanismilla kuin tyydyttyneet rasvahapot. Suurella osalla suomalaista väestöä ravinnon kolesterolin määrän vaihtelut vaikuttavat vain vähän tai ei ollenkaan lipoproteiineihin, kun taas osalla väestöä vaikutukset ovat selkeät. Ravinnon kolesterolin imeytymistehokkuuden ja siten elintarvikkeiden kolesterolitasojen merkityksen seerumin kolesteroliarvoihin tiedetään riippuvan osittain perinnöllisestä ominaisuudesta, apoproteiini E-fenotyypistä. Suomalaisessa väestössä fenotyyppi, jolla kolesterolin imeytyminen on suhteellisesti tehokkaampaa muihin fenotyyppisiin verrattuna, on huomattavasti runsaammin edustettuna verrattuna esim. muihin Euroopan maihin. Tästä syystä suomalaisilla ravinnon rasvan laadun, suuren tyydyttyneen rasvan määrän ja myös sen kolesterolipitoisuuden on esitetty nostavan veren kolesteroliarvoja. Yleisesti ottaen kolesterolia imeytyy parhaiten runsasrasvaisesta ravinnosta. Monityydyttymättömät rasvahapot tosin pienentävät ravinnon kolesterolin aiheuttamaa LDL-kolesterolin nousua (Aro et al. 1993). Maidon ja maitotuotteiden osuus suomalaisten ko-

lesterolin saannista on noin 40 % kokonaiskokolesterolin saannista (Heinonen et al. 1992).

5.3 Maitorasvan pysyvyys

Rasvahappokoostumuksella on suuri merkitys rasvan pysyvyyteen. Monityydyttymättömät rasvahapot hapettuvat helpommin kuin kertatytydyttymättömät rasvahapot (Frankel 1991). Tutkittaessa voiöljyn ja rypsiöljyn seoksia havaittiin, että hapettuminen oli sitä hitaampaa mitä enemmän seoksissa oli voiöljyn triasyyliglyseroleja (Lampi 1994).

Eläinten ravinnon koostumuksella on huomattava merkitys rasvan pysyvyyteen. Ruokittaessa karjaa soijapavuilla, jotka sisältävät runsaasti monityydyttymättömiä rasvahappoa, havaittiin maidossa hapettunut maku. Tutkijoiden mukaan nautan pötsin hydrauskyky ei riittänyt muuttamaan kaikkia monityydyttymättömiä rasvahappoja tyydyttyneiksi vaan osa kulkeutui ruuansulatuksen läpi siirtyen maitoon (Charmley & Nicholson 1994). Hyvin pienet muutokset maitorasvan koostumuksessa vaikuttavat makuun. Barreforsin ja Everittin (1995) mukaan linolihappopitoisuuden lisääntyminen 1,9 %:sta 2,3 %:iin aiheutti maitoon sivumakua.

5.4 Maidon anti- ja pro-oksiantit

Maidossa esiintyy yhdistetyypiltään hyvin erilaisia antioksidantteja: proteiinit ja tyydydyttymättömät rasvahapot, entsyymit, fosfolipidit ja vitamiinit. Toisaalta antioksidantit voidaan yleisesti luokitella niiden reaktiomekanismien mukaisesti viiteen eri luokkaan (Pokorny 1991):

- 1) antioksidantit eli hapettumisen estäjät, jotka reagoivat vapaiden radikaalien kanssa keskeyttäen ketjureaktion etenemisen
- 2) hidastajat, jotka pelkistävät hydroper-

oksiedeja ilman, että samalla muodostuu vapaita radikaaleja

- 3) metallien sieppaajat tai kelatoijat, jotka vähentävät raskasmetallien kykyä katalysoida vapaiden radikaalien syntyä
- 4) singlettihapen vaimentajat, jotka inaktivoivat singlettihapen
- 5) synergistit, jotka lisäävät antioksidantin aktiivisuutta

Maidon proteiinit, peptidit ja aminohapot toimivat antioksidatiivisesti. Aivan tarkat reaktiomekanismit ovat kuitenkin vielä selvittämättä. Eräänä tärkeänä ominaisuutena saattaa olla niiden kyky kelatoida prooksidatiivisia metalleja, kuten kuparia tai rautaa (Himberg 1995).

E-vitamiiniyhdisteet ja karotenoidit toimivat maidossa rasvaliukoisina antioksidantteina. Toisaalta vesiliukoisen riboflavinin (sekä vapaan että proteiineihin sitoutuneen) oletetaan olevan luonteeltaan antioksidatiivinen (Toyosaki et al. 1987, Toyosaki & Mineshita 1988, 1989), mutta reaktiomekanismeja ei ole vielä tarkkaan selvitetty. Maidossa esiintyvän konjugoidun linolihapon on esitetty olevan antioksidantti malliainesysteemeissä (Shantha et al. 1995). Fosfolipidit voivat olla joko anti- tai prooksidatiivisia riippuen ympäristön happamuudesta. Toisaalta antioksidantteina toimissaan niiden oletetaan käyttäytyvän synergistisesti muiden antioksidanttien, kuten esim. tokoferolien kanssa (Chen & Nawar 1991).

α -Tokoferoli on tärkeä maidon antioksidantti. Sen määrään vaikuttaa lehmien ravinnon koostumus. Laidunkaudella tokoferolipitoisuuksien on todettu kaksinkertaistuvan. Talvimaidossa α -tokoferolia oli 14,3 $\mu\text{g/g}$ rasvaa ja kesämaidossa 26,2 $\mu\text{g/g}$ rasvaa (Piironen 1986). Barreforsin ja Everittin (1995) mukaan maidon tokoferolipitoisuudet vaihtelivat välillä 5–50 $\mu\text{g/g}$ rasvaa. Heidän mukaansa 50 μg α -tokoferolia grammassa rasvaa esti rasvan hapettumisen. Toisaalta a-tokoferoli ei välttämättä siirry lehmän ravinnosta maitoon siinä määrin, että se estäisi maitorasvan hapettumista

Taulukko 4. Euroopan unionin ja Saksan maidontutkimuslaitoksen (FDRC) ehdotukset uusiksi maidon kuumennusta kuvaaviksi mittareiksi (Buchheim et al. 1994).

Maitotyyppi	Lämpökäsittelyn raja-arvot	EU:n ehdotus	FDRC:n ehdotus
Steriloitu maito	Alaraja	> 600 mg laktuloosia/l	-
	Alaraja	< 50 mg β -laktoglobuliinia/l	-
	Yläraja	-	< 1200 mg laktuloosia/l
UHT-maito	Alaraja	> 100 mg laktuloosia/l	-
	Yläraja	> 50 mg β -laktoglobuliinia/l	< 400 mg laktuloosia/l
	Alaraja	peroksidaasinegatiivinen	peroksidaasinegatiivinen
Korkeapastöroitu Maito	Alaraja	< 50 mg laktuloosia/l	-
	Yläraja	> 2000 mg β -laktoglobuliinia/l	> 2000 mg β -laktoglobuliinia/l
	Alaraja	fosfataasinegatiivinen	fosfataasinegatiivinen
Pastöroitu maito	Yläraja	peroksidaasiposiitiivinen	peroksidaasiposiitiivinen
	Yläraja	Laktuloosia ei havaittavissa	-
	Yläraja	> 2000 mg β -laktoglobuliinia/l	> 2000 mg β -laktoglobuliinia/l
	Yläraja	> 2000 mg β -laktoglobuliinia/l	> 2000 mg β -laktoglobuliinia/l

(Charmley & Nicholson 1994). Ravinnon mukana annettu 8000 IU tokoferoliase-taattia ei vähentänyt maitorasvan hapettumislaittiutta (Charmley & Nicholson 1994), mutta eläimeen injektioitu 3000 IU:n määrä α -tokoferolia esti hapettumista ja nosti myös maidon α -tokoferolitasoa (Charmley & Nicholson 1993). β -karoteeni kuuluu maidon antioksidantteihin. Barreforsin ja Everittin (1995) mukaan maidossa oli hapettunut maku, jos β -karoteenipitoisuus oli pieni (3,5 μ /g rasvaa).

Maidossa monet yhdisteet ovat pro-oksidatiivisia. Näistä voidaan mainita ksantiinioksidaasi, peroksidaasit, kupari, rauta, hemiproteiinit ja pH:sta riippuen fosfolipidit. Peroksidaasipitoisuus onkin eräs EU:n esittämä laatukriteeri maidolle (Buchheim et al. 1994). Hapetusasteestaan riippuen metalli-ionit, kuten kupari tai rauta, ovat pro-oksidatiivisia ja niiden kelatoituminen esim. proteiinien tai aminohappojen avulla on yksi hapettumista estävä tekijä (Chen & Nawar 1991).

6 Maitotuotteiden kuumennuskäsittelyjen voimakkuuden osoittaminen

Maitotuotteiden kuumennuskäsittelyjen voimakkuutta ja samalla maidon aitoutta voidaan tarkastella esimerkiksi laktuloositai furosiinipitoisuuksien avulla, mutta myös tiettyjen entsyymien tai proteiinien denaturaatioasteen avulla (Taulukko 4). Euroopan unionissa käydään parhaillaan keskusteluja maitotuotteiden kuumennuskäsittelyjen voimakkuuden osoittajayhdisteistä ja niiden suositeltavista pitoisuuksista. Saksa (Saksan maidontutkimuslaitos, FDRC) on esittänyt EU:ssa laktuloosille aikaisempaa alhaisempaa pitoisuuden ylärajaa, 400 mg/l (Clawin-Rädecker et al. 1992, Buchheim et al. 1994). Pastöroidun maidon furosiinipitoisuuden ylärajaksi on EU:ssa asetettu 8,5 mg/100 g proteiinia. UHT-kuumennetuille tuotteille ollaan myös pohdimassa furosiinipitoisuuden raja-arvoa (Korpela 1996). Suomalaisista maitotuotteista ei ole tällä hetkellä julkaistuja tietoja laktuloosipitoisuuksista, eikä maitotuotteiden furosiinipitoisuuksia ole kartoitettu (Korpela 1996).

- Alftan, G.** 1993. Seleenin. In: Elintarvikkeiden ravintoaineilla täydentäminen. Helsinki: Elintarvikkeiden tutkimussäätiö. Julkaisu N:o 23. 120 p.
- Aro, A., Mutanen, M., Nuutinen, L. & Uusitupa, M.** 1993. Kliininen ravitsemus. Helsinki: Duodecim. 504 p.
- Barrefors, P. & Everitt, B.** 1995. The increased problem of oxidaton taste in milk: experiences from a field study in Sweden. In: Mantere-Alhonen, S. & Majjanen, K. (eds.). Milk in nutrition, effects of production and processing factors. Proceedings of NJF/NMR-seminar no. 252. Helsinki: University Printing House. p. 135–148.
- Becker, W.** 1991. Food sources and human intake of trans fatty acids. In: Trans fatty acids. Analysis and metabolism. Lipidforum, International Seminar Helsinki, 21–22.10.1991, p. 89–92.
- Belitz, H.D. & Grosch, W.** 1987. Food Chemistry. Berlin: Springer-Verlag. 774 p.
- Bell, L., Halstenson, C.E., Halstenson, C.J., Macres, M. & Keane, W.F.** 1992. Cholesterol-lowering effects of calcium carbonate in patients with mild to moderate hypercholesterolemia. Archives of International Medicine 142: 244–2444.
- Berg, H.E. & Boekel, M.A.J.S. van** 1994. Degradation of lactose during heating milk. I. Reaction pathways. Netherlands Milk & Dairy Journal 48: 157–175.
- Bruckner, H., Jaek, P., Langer, M. & Godel, H.** 1992. Liquid chromatographic determination of D-amino acids in cheese and cow milk. Implication of starter cultures, amino acid racemases, and rumen microorganisms on formation, and nutritional considerations. Amino Acids 2: 271–284.
- Brussaard, J.H., Beresteijn, E.C.H. van & Schaafsma, G.** 1991. Calcium and blood pressure. Bulletin of the IDF 255: 51–54.
- Buchheim, W., Heeschen, W. & Schlimme.** 1994. Definition and differentiation of heat treatments of milk. European Dairy Magazine 1: 42–44.
- Cerami, A.** 1994. The role of the Maillard reaction in vivo. In: Labuza, T.P., et al. (eds.). Maillard Reactions in Chemistry, Food, and Health. Bodmin: Hartnolls Ltd. p. 1–10.
- Charmley, E. & Nicholson, J.W.G.** 1993. Injectable alpha-tocopherol for control of oxidized flavor in milk from dairy cows. Canadian Journal of Animal Science 73: 381–392.
- & **Nicholson, J.W.G.** 1994. Influence of dietary fat source on oxidative stability and fatty acid composition of milk from cows receiving a low or high level of dietary vitamin E. Canadian Journal of Animal Science 74: 657–664.
- Chen, Z.Y. & Nawar, W.W.** 1991. Prooxidative and antioxidative effects of phospholipids on milk fat. Journal of American Oil Chemists Society 68: 938–940.
- Chuyen, N. van., Utsunomiya, N. & Kato, H.** 1994. Antioxidative mechanism of Maillard reaction products *in vivo*. In: Labuza, T.P. et al. (eds.). Maillard Reactions in Chemistry, Food, and Health. Bodmin: Hartnolls Ltd. p. 421–422.
- Clawin-Rädecker, I., Kuhlmann, B., Weiss, G., Klostermeyer, H. & Schlimme, E.** 1992. Lactulosegehalt in UHT- Milchen des Handels. Kieler-Milchwirtschaftliche-Forschungsberichte 44: 129–141.
- Colby, D.S.** 1985. Biochemistry: A synopsis. Lange Medical Publications 314 p.
- Corzo, N., Lopez-Fandino, R., Delgado, T., Ramos, M. & Olano, A.** 1994. Changes in furosine and proteins of UHT-treated milks stored at high ambient temperatures. Zeitschrift fur Lebensmittel Untersuchung und Forschung 198: 302–306.
- Derr, J., Kris-Etherton, P.M., Pearson, T.A. & Seligson, F.H.** 1993. The role of fatty acid saturation on plasma lipids, lipoproteins and apolipoproteins. 3. The plasma total and low-density lipoprotein cholesterol response of individual fatty acids. Metabolism 42: 130–134.
- Ekholm, P.** 1993. Jodi. In: Elintarvikkeiden ravintoaineilla täydentäminen. Elintarvikkeiden tutkimussäätiö. Julkaisu N:o 23. Helsinki: Elintarvikkeiden tutkimussäätiö. 120 p.
- FAO/WHO. 1985. Energy and protein requirements. Technical Report Series no. 724. Rome: FAO. 177 p.
- FAO. 1991. Protein Quality. Report no. 51. Rome: FAO. 66 p.
- Food and Nutrition Board. 1989. Recommended dietary allowances. 10th ed. National Research Council. Washington. D.C: National Academy Press. 284 p.

- Frankel, E.N.** 1991. Recent advances in lipid oxidation. Review. *Journal of Science of Food and Agriculture* 54: 495–511.
- Friedman, M.** 1989. Absorption and utilization of amino acids. Vol. III. Boca Raton: CRC Press. 321 p.
- Haarnoja, J.** 1997. Laktuloosi ja sen määrittäminen nestemäisistä maitovalmisteista kapillaarikaasukromatografisesti. Pro-gradu -tutkielma. EKT-sarja 1084. Helsinki: Helsingin yliopisto. 58 p.
- Heinonen, M.** 1989. Carotenoids and retinoids in Finnish foods and the average diet. Väitöskirja. EKT-sarja 811. Helsinki: Helsingin yliopisto. Academic dissertation. 75 p.
- , **Lampi, A.-M., Hyvönen, L. & Homer, D.** 1992. The fatty acid and cholesterol content of the average Finnish diet. *Journal of food composition and analysis* 5: 198–208.
- Henle, T., Walter, A.W. & Klostermeyer, H.** 1993. Detection and identification of the cross-linking amino acids *N*- and *N*-2'-amino-2'-carboxy-L-histidine ("histidinoalanine", HAL) in heated milk products. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung* 197: 114–117.
- , **Zehetner, G. & Klostermeyer, H.** 1995. Fast and sensitive determination of furosine. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung* 200: 235–237.
- Himberg, M.-J.** 1995. Maitoproteiinien antioksidanttiominaisuuksien karakterisointi. Pro-gradu -tutkielma. EKT-sarja 993. Helsinki: Helsingin yliopisto. 61 p.
- Hyvönen, L.** 1991. Human intake of trans fatty acids in Finland. In: *Trans fatty acids. Analysis and metabolism*. Lipidforum. International Seminar, Helsinki, 21-22.10.1991. p. 85–88.
- Hyvönen, L., Lampi, A.-M., Varo, P. & Koivisto, P.** 1993. Fatty acid analysis, TAG equivalents as net fat value, and nutritional attributes of commercial fats and oils. *Journal of Food Composition and Analysis* 6: 24–40.
- Inoue, G., Komatsu, T., Kishi, K. & Fujita, Y.** 1988. Amino acid requirements of Japanese young men. In: Blackburn, G.L. et al. (eds.). *Amino Acids: Metabolism and Medical Applications*. Boston: Chapman & Hall. p. 55–62.
- Korhonen, H. & Korpela, R.** 1994. The effects of dairy processes on the components and nutritional value of milk. *Scandinavian Journal of Nutrition/Näringsforskning* 38: 166–172.
- Korpela, P.** 1996. Suullinen tiedonanto. Eläinlääkintä- ja elintarvikelaitos. Helsinki.
- Kris-Etherton, P.M., Mustad, V. & Derr, J.A.** 1993. Effects of dietary stearic acid on plasma lipids and thrombosis. *Nutrition Today* 5/6: 31–38.
- Lampi, A.-M.** 1994. Rypsi- ja voiöljyjen triasyyliglyserolifraktioiden sekä niiden seosten hapettumisen tutkiminen hapenkulutuksen ja haihtuvien aldehydien avulla. ETL-tutkielma. EKT-sarja 951. Helsinki: Helsingin yliopisto. 154 p.
- Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. 1996. Ravintotaseet 1993 ja 1994^e. Helsinki: MMM. 43 p.
- Marcoux, S., Brisson, J. & Fabia, J.** 1991. Calcium intake from dairy products and supplements and the risks of pre-eclampsia and gestational hypertension. *American Journal of Epidemiology* 133: 1266–1272.
- Masters, P.M. & Friedman, M.** 1980. Amino acid racemization in alkali-treated food. *Proteins-Chemistry, Toxicology, and Nutritional consequences*. American Chemical Society: Symposium Series 123: 165–194.
- Mattila, P.** 1995. Analysis of cholecalciferol, ergocalciferol and their 25-hydroxylated metabolites in foods by HPLC. EKT-sarja 995. Helsinki: Helsingin yliopisto. Academic dissertation. 81 p.
- Meer, R. van der & Lapr, J.A.** 1991. Calcium and colon cancer. *Bulletin of the IDF* 255: 55–59.
- Mensink, R.P.** 1992. Dietary fatty acids and serum lipoprotein cholesterol levels. In: *Ravinnon rasvat ja kuidut suomalaisten terveyden kannalta*. Turku: KELA. p. 93–102.
- Mercer, L.P., Dodds, S.J. & Smith, D.I.** 1989. Dispensable, indispensable and conditionally indispensable amino acid ratios in the diet. In: Friedman, M. (ed.). *Absorption and utilization of amino acids*. Vol. I. Boca Raton: CRC Press. p 1–14.
- Millward, D.J. & Rivers, J.P.W.** 1988. The nutritional role of indispensable amino acids and the metabolic basis for their requirements. *European Journal of Clinical Nutrition* 42: 367–393.
- Modler, H. W.** 1994. Bifidogenic factors-sources, metabolism and applications. *International Dairy Journal* 383–407.
- Passmore, R. & Eastwood, M.A.** 1986. Human nutrition and dietetics. 8th ed. Edinburgh: Churchill Livingstone. 666 p.
- Pellegrino, L.** 1994. Influence of fat content on

some heat-induced changes in milk and cream. *Netherlands Milk & Dairy Journal* 48: 71–80.

Pellet, P.L. 1990. Protein requirements in humans. *American Journal of Clinical Nutrition* 51: 723–737.

Piironen, V. 1986. Tokoferolit ja tokotrienolit elintarvikkeissa ja keskimääräisessä suomalaisessa ruokavaliassa. EKT-sarja 726. Helsinki: Helsingin yliopisto. Academic dissertation. 173 p.

Pokorny, J. 1991. Effect of nonlipid substances on rancid off flavor of lipids. *Lipids* 2: 475–480.

Pyörälä, K. 1992. Ravinnon rasvat ja sydän- ja verisuonitaudit epidemiologiselta kannalta. In: Järvisalo, J. & Rönnemaa, T. (eds.). Ravinnon rasvat ja kuidut suomalaisten terveyden kannalta. Kansaneläkelaitoksen julkaisuja ML: p. 115–126.

Rastas, M., Seppänen, R., Knuts, L-R., Karveti, R-L. & Varo, P. 1993. Ruoka-aineiden ravintosisältö. 4th ed. Helsinki: Kansaneläkelaitos. 461 p.

Ravitsemuskertomus 1995. Ravitsemuksen seuranta- ja järjestelmän asiantuntijaryhmä. Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B1/1996. Helsinki: Kansanterveyslaitos. 95 p.

Renner, E. 1995. Importance of milk and its different components for human nutrition and health. In: Mantere-Alhonen, S. & Maijala, K. (eds.). Proceedings of NJF/NMR-seminar no. 252. Milk in nutrition, effects of production and processing factors, Turku, 13-15.1.1995. Helsinki: University Printing House. p. 7–22

Resmini, P. & Pellegrino, L. 1994. HPLC of furo-sine for evaluating Maillard reaction damage in skimmed milk powders during processing and storage. *Bulletin of the IDF* 298: 31–36.

Salo-Väänänen, P. 1996. Elintarvikkeiden proteiini-pitoisuuden määrittäminen niiden typpi- ja aminohappopitoisuuksien avulla. EKT-sarja 1050. Helsinki: Helsingin yliopisto. Academic dissertation. 195 p.

Shantha, N.C., Ram, L.N., O'Leary, J., Hicks, C.L. & Decker, E.A. 1995. Conjugated linoleic acid concentrations in dairy products as affected by processing and storage. *Journal of Food Science* 60:

695–697.

Shills, M.E., Olson, J.A. & Shike, M. 1994. Modern nutrition in health and disease. 8th ed. Vol. 1. Philadelphia: Lea & Febiger. p. 3–35.

Smith, T.K., Cavan, K.R. & MacDonald, E.J. 1989. Dietary amino acids, eating behavior, and trichothecene mycotoxicoses. In: Friedman, M. (ed.). Absorption and utilization of amino acids. Vol. III Boca Raton: CRC Press. p. 55–66.

Tholstrup, T., Marckmann, P., Jespersen, J. & Sandström, B. 1994. Fat high in stearic acid favorably affects blood lipids and factor VII coagulant activity in comparison with fats high in palmitic acid or high in myristic and lauric acids. *American Journal of Clinical Nutrition* 59: 371–377.

Toyosaki, T., Yamamoto, A. & Mineshita, T. 1987. Partial purification of an antioxidizing component in raw cow milk. *Journal of Food Science* 52: 88–90.

– & **Mineshita, T.** 1988. Antioxidant effects of protein-bound riboflavin and free riboflavin. *Journal of Food Science* 53: 1851–1853.

– & **Mineshita, T.** 1989. Antioxidant effect of riboflavin in aqueous solution. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 37: 286–289.

Valtion ravitsemusneuvottelukunnan mietintö. 1987. Suositukset kansanravitsemuksen kehittämiseksi. Komiteamietintö 1987:3. Helsinki: Valtion painatuskeskus. 81 p.

Walter, A.W., Henle, T. & Klostermeyer, H. 1994. Histidinoalanin (HAL)- eine "neue" Grosslink-Aminosäure in Milchproteinen. *Deutsche Milchwirtschaft* 6: 284–286.

Young, V.R. 1987. McCollum Award Lecture. Kinetics of human amino acid metabolism: nutritional implications and some lessons. *American Journal of Clinical Nutrition* 46: 709–725.

Zagon, J., Dehne, L. I. & Bögl, K. W. 1991. Isomerisierung von Aminosäuren in Lebensmitteln. Teil II: D-Aminosäuren in Lebensmitteln und ihre physiologischen Eigenschaften. *Ernährungs-Umschau* 38: 324–328.

Julkaisija



31600 JOKIOINEN

Julkaisun sarja ja numero
Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja.
Sarja A 41

Julkaisuaika (kk ja vuosi)
Marraskuu 1998

Tekijä(t)
Marjatta Jokela et al.

Tutkimushankkeen nimi

Toimeksiantaja(t)
Maatalouden tutkimuskeskus

Nimike
Keskeisten alkutuotantotekijöiden ja prosessoinnin vaikutus maidon laatuun.
Kirjallisuuskatsaus

Tiivistelmä

Avainsanat

Toimintayksikkö
Maatalouden tutkimuskeskus, kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen

ISSN 1238-9935 ISBN 951-729-520-0

Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä

Myynti: MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN
Puhelin (03) 4188 7502
Telekopio (03) 4188 339

Sivuja
96 s.

Hinta
55,00 mk + alv

Vammalan Kirjapaino Oy 1998
ISBN 951-729-520-0
ISSN 1238-9935