

Erilaisten kasviöljylisien vaikutus maidon rasvahappokoostumukseen puhtaaseen puna-apilasäilörehuun pohjautuvassa ruokinnassa

Anni Halmemies^{1,3)}, Marjo Karasti¹⁾, Tuomo Kokkonen¹⁾, Seija Jaakkola¹⁾, Anna-Maija Lampi²⁾, Vesa Toivonen³⁾, Kevin J. Shingfield³⁾ ja Aila Vanhatalo¹⁾

¹⁾ HY, Kotieläintieteen laitos, PL 28, 00014 Helsingin yliopisto, etunimi.sukunimi@helsinki.fi

²⁾ HY, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto, etunimi.sukunimi@helsinki.fi

³⁾ MTT, Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

Tiivistelmä

Maitorasvan koostumusta voidaan muuttaa ihmisterveydelle suotuisammaksi lehmien ruokintaa muuttamalla. Puna-apilasäilörehun tiedetään lisäävän monitydyttymättömien rasvahappojen, erityisesti α -linoleenihapon (18:3n-3), osuutta maitorasvassa. Kasviöljyt ovat heinäkasvi- ja maissisäilörehuun perustuvassa ruokinnassa tyypillisesti vähentäneet maitorasvan tyydyttyneiden ja lisänneet tyydyttymättömien rasvahappojen pitoisuuksia. Rypsiöljy sisältää runsaasti öljyhappoa (18:1n-9), auringonkukkaöljy linolihappoa (18:2n-6) ja camelinaöljy α -linoleenihappoa. Camelinapuriste vastaa raakarasva- ja valkuaispitoisuudeltaan rypsipuristetta, mutta sen käytöstä märehitijöiden rehuna on olemassa niukasti tutkimustietoa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maltillisen kasviöljylisäyksen (rypsiöljy, auringonkukkaöljy, camelinaöljy ja camelinaapuriste) vaikutus maidon rasvahappokoostumukseen puna-apilaan pohjautuvassa ruokinnassa.

Koe tehtiin Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimustilan navetassa keväällä 2008. Kokeessa oli viisi kaksi kertaa poikinuutta ay-lehmää ja se toteutettiin 5 x 5 latinalaisena neliönä. Koejakson pituus oli 21 päivää. Kokeen alkaessa lehmien poikimisesta oli kulunut keskimäärin $115 \pm 5,0$ päivää ja ne lypsivät $33,5 \pm 1,62$ kg maitoa/pv. Koekäsittelyinä olivat väkirehut, jotka kontrollia lukuun ottamatta sisälsivät lipidilisän (29 g/kg väkirehua) rypsiöljystä, auringonkukkaöljystä, camelinaöljystä tai camelinaapuristeesta. Lehmät saivat väkirehua 12 kg/pv ja apilasäilörehua vapaasti.

Lehmät söivät koko väkirehuannoksensa. Lipidilisä ei vaikuttanut säilörehun syöntiin, maitotuotokseen eikä maidon rasva- tai valkuaispitoisuuteen. Lipidilisä vähensi maitorauhasen *de novo* -synteesistä peräisin olevien lyhytketjuisten, tyydyttyneiden rasvahappojen pitoisuutta ja lisäsi tyydyttymättömien pitoisuutta maitorasvassa. Rypsiöljyruokinta lisäsi maitorasvan öljyhappopitoisuutta, kun taas linolihappopitoisuus oli suurempi ja α -linoleenihappopitoisuus pienempi auringonkukkaruokinnassa camelinaruokintoihin nähden, muutosten heijastaessa lipidilisien rasvahappokoostumusta. Lipidilisä, erityisesti camelinaapuriste, lisäsi *trans*-rasvahappojen osuutta maitorasvassa. Camelinaöljyn antotavalla oli suuri vaikutus maitorasvan koostumukseen. Alfa-linoleenihapon pitoisuus oli suurempi annettaessa camelinan lipidit öljynä kuin puristeena. Camelinaöljyn antaminen puristeena lisäsi kaksin-kolminkertaisesti C18-rasvahappojen biohydrogenaation välituotteiden pitoisuuksia maitorasvassa öljyruokintaan verrattuna (*trans*-10 ja *trans*-11 18:1, *cis*-9,*trans*-11 CLA ja *trans*-11,*cis*-15 18:2) ja vähensi steariinihapon (18:0) ja öljyhapon pitoisuuksia. Tämä viittaa rasvahappojen epätäydellisempään tyydyttymiseen pötsissä, kun camelinan lipidit annetaan puristeena eikä öljynä. On mahdollista, että murskattu camelinankuori suojaaa siemenen sisällä olevia rasvahappoja pötsin biohydrogenaatiolta ja/tai camelinan siemenessä oleva jokin muu ainesosa inhiboi biohydrogenaatiota.

Asiasanat: lypsylehmä, apilasäilörehu, kasviöljyt, camelina, maitorasva, tyydyttymättömät rasvahapot, CLA, *trans*-rasvahapot

Johdanto

Rasva on tärkeä maidon ainesosa, sillä se vaikuttaa olennaisesti maidon ja maitotuotteiden rakenteeseen, makuun ja säilyvyyteen sekä pehmeeseen suussa. Maidon rasvapitoisuus vaikuttaa myös tuottajahintaan. Maito ja maitotuotteet ovat suomalaisten suurin tyydyttyneiden ja toiseksi suurin *trans*-rasvahappojen lähde (Hulsof ym. 1999). Kyseisten rasvahappojen runsas saanti lisää riskiä sairastua sepelvaltimo- ja kolesterolitautiin. Toisaalta maitorasva sisältää myös ihmisterveyttä edistäviä rasvahappoja, kuten voihiappoa (4:0), haaraketjuisia rasvahappoja, *cis*-kertatyydyttymättömiä rasvahappoja, konjugoitunutta linolihiappoa (CLA) ja α -linoleenihappoa (18:3n-3) (Williams 2000; Shingfield ym. 2008).

Maitorasvan koostumusta voidaan muokata muuttamalla lehmien ruokintaa. Puna-apilasäilörehun tiedetään lisäävän monitydyttymättömien rasvahappojen, erityisesti α -linoleenihapon, osuutta maitorasvassa heinäkasvisäilörehuun verrattuna (Dewhurst ym. 2003; Vanhatalo ym. 2008). Kasviöljylisät ovat heinäkasvi- ja maissisäilörehuun perustuvissa ruokinnoissa tyypillisesti vähentäneet tyydyttyneiden ja lisänneet steariinihapon (18:0) sekä tyydyttymättömien rasvahappojen, erityisesti öljyhapon (*cis*-9 18:1), *trans*-rasvahappojen, CLA:n ja monitydyttymättömien rasvahappojen pitoisuutta maitorasvassa. Rypsiöljy sisältää runsaasti öljyhappoa, auringonkukkaöljy linolihiappoa (18:2n-6) ja camelinaöljy α -linoleenihappoa. Öljynpuristuksen sivutuotteena saatava camelinapuriste vastaa raakarasva- ja valkuaispitoisuudeltaan rypsipuristetta, mutta sen käytöstä märehitijöiden rehuna on niukasti tutkimustietoa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää maltillisen kasviöljylisäyksen (rypsiöljy, auringonkukkaöljy, camelinaöljy ja camelinapuriste) vaikutus maidon rasvahappokoostumukseen puna-apilaan pohjautuvassa ruokinnassa. Tavoitteena oli asettaa kasviöljylisäys tasolle, jolla maitorasvan koostumus muuttuisi, mutta säilörehun syönti ei vielä vähenisi.

Aineisto ja menetelmät

Koe tehtiin Helsingin yliopiston Viikin opetus- ja tutkimustilan navetassa keväällä 2008. Kokeessa oli viisi kaksi kertaa poikinutta ay-lehmää ja se toteutettiin 5 x 5 latinalaisena neliönä. Koejakson pituus oli 21 päivää. Kokeen alkaessa lehmien poikimisesta oli kulunut keskimäärin $115 \pm 5,0$ päivää, ne lypsivät $33,5 \pm 1,62$ kg maitoa/pv ja painoivat $607 \pm 30,3$ kg. Koekäsittelyinä olivat väkirehut, jotka kontrollia lukuun ottamatta sisälsivät lipidilisän (29 g/kg väkirehua) rypsiöljystä (RÖ), auringonkukkaöljystä (AÖ), camelinaöljystä (CÖ) tai camelinapuristeesta (CP). Lehmät saivat viljapohjaista väkirehua 12 kg/pv neljänä yhtä suurena annoksena klo 6.15, 10.00, 16.45 ja 20.00 sekä puna-apilasäilörehua vapaasti. Puna-apilakasvusto (lajike Ilte) oli niitetty 2. sadosta 13.8.2007 ja paalattu pyöröpaaleihin 14. - 15.8.2007. Säilöntäaineena oli muurahaishappopohjainen AIV 2 Plus (6,5 l/t rehua; Kemira Oyj). Paalaus keskeytyi ukkoskuuron vuoksi, mikä vaikutti säilörehun lopulliseen laatuun (Taulukko 1).

Lehmien syönti ja maitotuotos mitattiin päivittäin koko kokeen ajan. Lehmät lypsettiin klo 6.30 ja 17.00. Suhteelliset maitonäytteet maidon valkuais-, rasva- ja ureapitoisuuden sekä rasvahappokoostumuksen määrittämiseksi otettiin jokaisen jakson viimeisellä viikolla neljältä peräkkäiseltä lypsykerralta. Valkuais-, rasva- ja ureapitoisuuden määrittämistä varten maitonäytteet säilöttiin Bronopol-tableteilla ja näytteet analysoitiin infrapuna-analysoittorilla (Valio, Seinäjoen aluelaboratorio). Rasvahappomäärittämistä varten maidot (500 ml) pakastettiin (-20°C) ilman säilöntäainetta.

Rehunäytteet analysoitiin Helsingin yliopiston kotieläintieteen laitoksen laboratoriossa standardimenetelmin. Rasvan uutto, triglyseridien transmetylaatio ja vapaiden rasvahappojen metylaatio rasvahappojen metyyliesteriksi (FAME) rehuista ja maidosta tehtiin Shingfieldin ym. (2003) mukaan MTT Kotieläintuotannon tutkimuksen laboratoriossa. Rasvahappojen metyyliesterit eroteltiin kaasukromatografissa CP-Sil 88 kapillaarikolonilla, käyttäen vetyä kantajakaasuna (Shingfield ym. 2003). Rasvahapot tunnistettiin pääasiassa vertaamalla niiden retentioaikoja metyloitujen rasvahappojen standardeihin (GLC 463 ja 606, N-21/23/24-M, U-37/39/43/54/64/85/87-M, Nu-Check-Prep, Elysian, MN; L-8404, H-6389/6639 ja O-4129 Sigma-Aldrich, Helsinki, Finland). Tulosten laskennassa käytettiin teoreettisia vastekertoimia (Wolff ym. 1995).

Konjugoidun linolihiapon isomeerit määritettiin nestegromatografilla, jossa oli neljä peräkkäistä ChromSpher Lipids-kolonnia. Ajoliuoksena käytettiin 0.1 % asetonitriiliä (ACN) heptaanissa virtausnopeudella 1 ml/min (Shingfield ym. 2003). Isomeerit tunnistettiin vertaamalla näytteiden kromatogrammeja metyloitujen CLA-isomeeristandardien kromatogrammeihin (Shingfield ym. 2005).

Tulokset analysoitiin tilastollisesti SAS Mixed –proseduuria käyttäen mallilla, jossa jakso ja ruokinta olivat kiinteinä ja eläin satunnaisena tekijänä. Virhetekijälle jäi mallissa vapausasteita 12. Testattavat ortogonaaliset kontrastit olivat i) lipidilisän vaikutus (kontrolli vs. RÖ, AÖ, CÖ ja CP), ii) kerta- vs.

monityydyttyneet lipidit (RÖ vs. AÖ, CÖ ja CP), iii) 18:2 vs. 18:3 (AÖ vs. CÖ ja CP) ja iv) lipidilisan antotapa (öljy vs. puriste; CÖ vs. CP).

Tulokset ja tulosten tarkastelu

Lehmät söivät koko väkirehuannoksensa. Puna-apilasäilörehun keskinkertaisesta säilönnällisestä laadusta huolimatta (Taulukko 1) säilörehun syönti oli hyvä (Taulukko 2). Lipidilisa ei vaikuttanut ($P>0,05$) säilörehun syöntiin, maitotuotokseen eikä maidon rasva- tai valkuaispitoisuuteen.

Maidon rasvahappokoostumus on esitetty taulukoissa 2-4. Maitorasvan α -linoleenihappopitoisuus oli suhteellisen suuri kaikilla koeruokkinnoilla verrattuna aikaisempiin rypsi-, auringonkukka- ja camelina-kokeisiin (Dewhurst ym. 2006; Hurtaud ja Peyraud 2007; Glasser ym. 2008), johtuen todennäköisesti puna-apilapohjaisesta ruokinnasta (Dewhurst ym. 2003, Vanhatalo ym. 2007). Lipidilisa vähensi maitorauhasen *de novo* -synteesistä peräisin olevien lyhytketjuisten, tyydyttyneiden rasvahappojen pitoisuutta ja lisäsi tyydyttymättömien pitoisuutta maitorasvassa. Maitorasvan C4-14 ja palmitiinihappo(16:0)-pitoisuudet vähenivät keskimäärin 2,6 ja 5,5 %-yksikköä, vastaavasti lipidilisan myötä. Pitkäketjuisten rasvahappojen saanti oli huomattavasti suurempi lipidiruokinnossa ja niiden tiedetään vähentävän tyydyttyneiden rasvahappojen synteesiä maitorauhasessa (Barber ym. 1997). Lipidilisa lisäsi steariinihapon, *cis*-12/15 18:1:n ja *trans*-rasvahappojen, erityisesti *trans*-18:1 -rasvahappojen, pitoisuutta maitorasvassa. Kyseisiä rasvahappoja muodostuu pötsissä, kun rehun tyydyttymättömät C18-rasvahapot biohydrogenoituvat. Biohydrogenaatiossa tyydyttymättömät rasvahapot pelkistyvät, kun kaksoissidoksiin liittyy vetyä (H_2). Rehun linoli- ja α -linoleenihaposta keskimäärin jopa 87 % biohydrogenoituu pötsissä (Glasser ym. 2008). Monityydyttymättömät rasvahapot olisivat suurina määrinä myrkyllisiä etenkin kuitua sulattaville bakteereille (Maia ym. 2007).

Maitorasvan öljyhappopitoisuus lisääntyi keskimäärin 3,1 %-yksikköä lipidilisan myötä. Steariini- ja/tai öljyhapon virtaus pötsistä on todennäköisesti ollut suurempi lipidiruokinnossa kontrolliin verrattuna. Lisäksi merkittävä osa steariinihaposta desaturoituu maitorauhasessa öljyhapoksi (Chilliard ym. 2000). Maitorasvan *cis*-9,*trans*-11 CLA-pitoisuus lisääntyi keskimäärin 0,3 %-yksikköä lipidilisan myötä. Rehun monityydyttymättömien rasvahappojen biohydrogenaation seurauksena maitorauhasessa osittain *cis*-9,*trans*-11 CLA:ksi desaturoituvan *trans*-11 18:1:n (Griinari ja Bauman 1999) saatavuus on todennäköisesti ollut maitorauhasessa suurempi lipidiruokinnossa. *Cis*-9,*trans*-11 CLA on myös yksi linolihapon biohydrogenaation päävälituotteista (Harfoot ja Hazlewood 1998). Lipidiruokinta vähensi tai sillä ei ollut vaikutusta parittomien ja haaraketjuisten rasvahappojen pitoisuuksiin maitorasvassa, mikä viittaa vähäisiin muutoksiin pötsin mikrobipopulaatiossa. Maitorasvan paritonhiiliset ja haaraketjuiset rasvahapot ovat peräisin pötsimikrobien rasvahapposynteesistä (Vlaeminck ym. 2006).

Rypsiöljyruokinta lisäsi maitorasvan öljyhappopitoisuutta, kun taas linolihappopitoisuus oli suurempi ja α -linoleenihappopitoisuus pienempi auringonkukkaruokinnalla camelinaruokintoihin nähden, muutosten heijastaessa lipidilisien omaa rasvahappokoostumusta. Auringonkukkaöljy lisäsi camelinaan verrattuna linolihapon biohydrogenaation välituotteiden, *trans*-8,*trans*-10 ja *trans*-10,*trans*-12 CLA:n (Chilliard ym. 2007; Shingfield ym., 2008b) pitoisuutta maitorasvassa. Maitorasvan *cis/trans*-12,*cis*-15 ja *trans*-11,*cis/trans*-15 18:2:n sekä *cis/trans*-11,*trans*-13 CLA:n pitoisuudet olivat suuremmat camelinaruokinnossa auringonkukkaruokintaan verrattuna. Collomb ym. (2004) sekä Rego ym. (2009) ovat havainneet samankaltaisia muutoksia maitorasva 18:2-koostumuksessa verratessaan linolihappo- ja α -linoleenihappolisiä toisiinsa. Maitorasvan α -linoleenihappo- sekä *cis/trans*-15 18:1-pitoisuus oli suurempi camelina- kuin auringonkukkaruokinnassa, heijastaen α -linoleenihapon pienempää saantia auringonkukkaruokinnassa, sillä *cis/trans*-15 18:1 muodostuu pötsissä α -linoleenihapon biohydrogenoituaessa (Harfoot ja Hazlewood 1988; Chilliard ym. 2007; Doreau ym. 2009). Camelinaöljy sisältää huomattavia määriä *cis*-11 20:1 (taulukko 1), mikä selittää C20-rasvahappojen suurempaa pitoisuutta maitorasvassa syötettäessä camelinaa kuin auringonkukkaöljyä.

Camelinaöljyn antotavalla oli suuri vaikutus maitorasvan koostumukseen. Alfalinoleenihapon pitoisuus oli suurempi annettaessa camelinan lipidit öljynä kuin puristeena. Camelinaöljyn antaminen puristeena lisäsi kaksin-kolminkertaisesti C18-rasvahappojen biohydrogenaation välituotteiden pitoisuuksia maitorasvassa (*trans*-10 ja *trans*-11 18:1, *cis*-9,*trans*-11 ja *trans*-11,*cis*-15 18:2) ja vähensi steariinihapon ja öljyhapon pitoisuuksia, mikä viittaa epätäydellisempään rasvahappojen tyydyttymiseen pötsissä. Mihhejev ym. (2007) sekä Hurtaud ja Peyraud (2007) ovat saaneet samansuuntaisia tuloksia maissi- ja heinäkasvisäilörehun perustuvilla ruokkinnoilla. On mahdollista, että murskattu camelinankuori suoja

siemenen sisällä olevia rasvahappoja pötsin biohydrogenaatiolta tai että camelinan siemenessä oleva jokin muu ainesosa inhiboi biohydrogenaatiota.

Johtopäätökset

Maltillinen kasviöljylinä (240 g rasvahappoja/pv) puna-apilasäilöhupohjaisessa ruokinnassa muutti maidon rasvahappokoostumusta vähentämällä toivotusti tyydyttyneiden, lähinnä 12:0, 14:0 ja 16:0, rasvahappojen pitoisuutta maidossa ja lisäämällä kerta- ja monitydyttymättömien rasvahappojen pitoisuutta. Kasviöljylinä ei vaikuttanut säilörehun syöntiin tai maitotuotokseen. Rasvalisät muovasivat suuresti maitorasvan C18-rasvahappokoostumusta. Rypsiöljy lisäsi maitorasvan öljyhappopitoisuutta, auringonkukkaöljy linolihappopitoisuutta, camelinaöljy α -linoleenihappopitoisuutta ja camelinapuriste *cis-9,trans-11* CLA:ta, muutosten heijastaessa rasvalisien rasvahappokoostumusta. Camelinan antaminen puristeena lisäsi huomattavasti maitorasvan tyydyttymättömien rasvahappojen, etenkin *trans*-rasvahappojen ja CLA:n, pitoisuutta vastaavaan öljylinään verrattuna. Murskattu camelinankuori saattaa suojata siemenen sisällä olevia rasvahappoja pötsin biohydrogenaatiolta ja/tai camelinan siemenessä oleva jokin muu ainesosa inhiboi rasvahappojen biohydrogenaatiota pötsissä.

Kirjallisuus

- Barber, M.C., Clegg, R.A., Travers, M.T. & Vernon, R.G.** 1997. Lipid metabolism in the lactating mammary gland. *Biochem. Biophys. Acta* 1347:101–126.
- Chilliard, Y., Ferlay, A., Mansbridge, R.M. & Doreau, M.** 2000. Ruminant milk fat plasticity: nutritional control of saturated, polyunsaturated, *trans* and conjugated acids. *Ann. Zootech.* 49:181-205.
- Chilliard, Y., Glasser, F., Ferlay, A., Bernard, L., Ruel, J. & Doreau, M.** 2007. Diet, rumen biohydrogenation and nutritional quality of cow and goat milk. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109:826-855.
- Collomb, M., Sieber, R. and Bütikofer, U.** 2004. CLA isomers in milk fat from cows fed diets with high levels of unsaturated fatty acids. *Lipids* 39:355–364.
- Dewhurst, R.J., Fisher, W.J., Tweed, J.K.S. & Wilkins, R.J.** 2003. Comparison of grass and legume silages for milk production. 1. Production responses with different levels of concentrate. *J. Dairy Sci.* 86:2598-2611.
- Dewhurst, R.J., Shingfield, K.J., Lee, M.R.F. & Scollan, N.D.** 2006. Increasing the concentrations of beneficial fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131:168-206.
- Doreau, M., Laverroux, S., Normand, J., Chesneau, G. and Glasser, F.** 2009. Effect of linseed fed as seeds, extruded seeds or oil on fatty acid rumen metabolism and intestinal digestibility in cows. *Lipids* 44:53-62.
- Glasser, F., Schmidely, P., Sauvante, D. & Doreau, M.** 2008b. Digestion of fatty acids in ruminants: a meta-analysis of flows and variation factors. 2. C18 fatty acids. *Anim.* 2:691-704.
- Griinari, J.M. & Bauman, D.E.** 1999. Biosynthesis of Conjugated Linoleic Acid and Its Incorporation into Meat and Milk in Ruminants. Teoksessa: *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*. Vol. 1. M.P. Yurawech, M.M. Mossoba, J.K.G. Kramer, M.W. Pariza, and G.J. Nelson, (toim.). AOCS Press. Champaign, Illinois. ss 180-200.
- Harfoot, C.G. & Hazlewood, G.P.** 1988. Lipid metabolism in the rumen. Teoksessa: *The Rumen Microbial Ecosystem*. P.N. Hobson (toim.). Elsevier Applied Sci. Publ., London, United Kingdom. ss 285-322.
- Hulsof, K.F.A.M., Van Erp-Baart, M.A., Anttolainen, M., Becker, W., Church, S.M., Couet, C., Hermann-Kunz, E., Kesteloot, H., Leth, T., Martins, I., Moreiras, O., Moschandreas, J., Pizzoferrato, L., Rimstad, A.H., Thorgeirsdottir, H., Van Amelsvoort, J.M.M., Aro, A., Kafatos, A.G., Lanzmann-Petithory, D. & Van Poppel, G.** 1999. Intake of fatty acids in Western Europe with emphasis on *trans* fatty acids. The TRANSFAIR study. *European Journal of Clinical Nutrition* 53: 147-157.
- Hurtaud, C. & Peyraud, J. L.** 2007. Effects of feeding Camelina (seeds or meal) on milk fatty acid composition and butter spreadability. *J. Dairy Sci.* 90:5134-5145.
- Maia, M.R.G., Chaudhary, L.C., Figueres, L., & Wallace, R.J.** 2007. Metabolism of polyunsaturated fatty acids and their toxicity to the microflora of the rumen. *Ant. Leeuw.* 91:303–314.
- Mihhejev, K., Henno, M., Ots, M., Rihma, E., Elias, P., Kuusik, S. & Kärt, O.** 2007. Effects of fat-rich oil cakes on cheese fatty acid composition, and on cheese quality. *Vet. Zootech.* 40:55-61.
- Rego, O.A., Alves, S.P., Antunes, L.M.S., Rosa, H.J.D., Alfaia, C.F.M., Prates, J. A.M., Cabrita, A.R.J., Fonseca, A.J.M. & Bessa, R.J.B.** 2009. Rumen biohydrogenation-derived fatty acids in milk fat from grazing dairy cows supplemented with rapeseed, sunflower, or linseed oils. *J. Dairy Sci.* 92:4530-4540.
- Shingfield, K.J., Ahvenjärvi, S., Toivonen, V., Ärölä, A., Nurmela, K.V.V., Huhtanen, P. & Griinari, J.M.** 2003. Effect of dietary fish oil on biohydrogenation of fatty acids and milk fatty acid content in cows. *Anim. Sci.* 77:165-179.
- Shingfield, K.J., Reynolds, C.K., Lupoli, B., Toivonen, V., Yurawecz, M.P., Delmonte, P., Griinari, J.M., Grandison, A.S. & Beever, D.E.** 2005. Effect of forage type and proportion of concentrate in the diet on milk fatty acid composition in cows given sunflower oil and fish oil. *Anim. Sci.* 80:225-238.

- Shingfield, K.J., Ahvenjärvi, S., Toivonen, V., Vanhatalo, A., Huhtanen, P. & Griinari, J.M.** 2008a. Effect of incremental levels of sunflower-seed oil in the diet on ruminal lipid metabolism in lactating cows. *Br. J. Nutr.* 99:971-983.
- Shingfield, K.J., Chilliard, Y., Toivonen, V., Kairenius, P. and Givens, D.I.** 2008b. *Trans* fatty acids and bioactive lipids in ruminant milk. Teoksessa: Bioactive components of milk, *Advances in Experimental Medicine and Biology*. Vol. 606. Z. Bösze, (toim.). Springer, New York, NY. ss 3-65.
- Vanhatalo, A., Kuoppala, K., Toivonen, V. & Shingfield, K.J.** 2007. Effects of forage species and stage of maturity on bovine milk fatty acid composition. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 109:856-867.
- Vlaeminck, B., Fievez, V., Cabrita, A.R.J., Fonseca, A.J.M. & Dewhurst, R.J.** 2006. Factors affecting odd- and branched-chain fatty acids in milk: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131:389-417.
- Williams, C.M.** 2000. Dietary fatty acids and human health. *Ann. Zootech.* 49:165-180.
- Wolff, R.L., Bayard, C.C. & Fabien, R.J.** 1995. Evaluation of sequential methods for the determination of butterfat fatty acid composition with emphasis on trans-18:1 acids. Application to the study of seasonal variations in french butters. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 72:1471-1483.

Kiitokset

Tämä tutkimus on osa Omegamaitoa puna-apilasta ja camelinasta –hanketta. Tutkimusta ovat tukeneet Tekes, Valio Oy, Rehuraisio Oy ja Kemira Oyj.

Taulukko 1. Koerhujen kemiallinen koostumus.

	Apila-säilörehu ¹	Väkirehut				
		Kontrolli	Rypsiöljy	Auringonkukkaöljy	Camelinaöljy	Camelina-puriste
<i>Kuiva-aine, g/kg</i>	239	874	881	882	886	882
<i>Kuiva-aineessa, g/kg</i>						
Orgaaninen aine	881	930	934	932	932	912
Raakavalkuainen	181	165	158	157	170	164
NDF-kuitu	400	225	216	217	220	227
Rasvahapot	19,2	31,4	57,2	54,8	56,4	49,0
<i>Rasvahappokoostumus, g/100 g rasvahappoja</i>						
16:0	19,0	15,8	9,85	11,1	13,6	14,0
18:0	3,74	1,48	1,47	2,37	2,01	2,02
<i>cis</i> -9 18:1	3,00	25,3	40,3	25,3	23,5	23,7
<i>cis</i> -11 18:1	0,57	4,24	3,91	2,95	3,27	2,18
18:2n-6	14,9	39,6	31,5	48,4	29,5	31,1
18:3n-3	33,8	6,98	8,13	4,46	15,0	14,3
20:0	5,44	0,41	0,46	0,37	0,85	0,81
<i>cis</i> -11 20:1	0,17	1,31	0,96	1,15	6,14	5,32

¹ Käymislaatu: pH 4,95, kuiva-aineessa (g/kg) maitohappo (67,4), etikkahappo (29,7) propionihappo (0,8), voi-happo (7,6), kokonaistypestä (g/kg) ammoniumtyppi (161), in vitro OA:n sulavuus 63,4 %

Taulukko 2. Kasviöljyjen ja camelinapuristeen vaikutus syöntiin, maitotuotokseen ja maidon koostumukseen puna-apilapohjaisessa ruokinnassa.

	Dieetti ¹					SEM	Tilastollinen merkitsevyys ²			
	Kontrolli	RÖ	AÖ	CÖ	CP		Lipidit	MUFA vs. PUFA	18:2 vs. 18:3	Öljy vs. puriste
<i>Syönti, kg/d</i>										
Säilorehu ka	12,9	12,8	12,4	12,7	12,2	0,44				o
Dieetti ka	23,3	23,4	23,0	23,3	22,7	0,46				o
<i>Saanti, g/d</i>										
<i>cis</i> -9 18:1	95,4	256	161	153	134	1,38	***	***	***	***
18:2n-6	177	233	330	221	204	1,8	***	***	***	***
18:3n-3	114	138	113	181	161	3,3	***	***	***	***
Σ Rasvahapot	609	876	857	877	782	11,1	***	***	**	***
<i>Tuotos</i>										
Maito, kg/d	31,1	32,3	32,3	31,2	32,2	2,65				
EKM, kg/d	30,5	31,3	30,6	30,5	30,4	2,63				
Rasva, g/d	1225	1255	1178	1234	1192	117,5				
Valkuainen, g/d	1013	1027	1050	992	1014	71,6				o
<i>Pitoisuus maidossa</i>										
Rasva, g/kg	39,6	38,6	36,4	39,3	36,7	1,70				
Valkuainen, g/kg	33,0	32,0	32,6	32,3	31,5	0,90	o			
Urea, mg/100 ml	40,6	36,5	36,6	38,1	34,2	2,20	o			
<i>Maitorasvan koostumus g/100 g rasvahappoja</i>										
4:0	3,35	3,54	3,58	3,57	3,67	0,085	**			
6:0	1,76	1,72	1,71	1,69	1,69	0,034	*			
8:0	1,23	1,14	1,14	1,14	1,09	0,044	***		o	*
10:0	3,19	2,75	2,76	2,72	2,57	0,169	***		o	o
12:0	3,91	3,24	3,24	3,20	3,08	0,214	***			
14:0	13,0	11,8	11,7	11,6	11,9	0,29	***			*
Σ C15	2,22	2,01	1,98	1,92	1,98	0,077	***	*		o
16:0	32,4	27,3	26,5	27,1	26,8	1,38	***			
Σ <i>cis</i> 16:1	1,60	1,38	1,34	1,36	1,52	0,032	***		o	**
Σ <i>trans</i> 16:1	0,29	0,31	0,28	0,31	0,41	0,020	***	**	***	***
Σ 16:1	1,89	1,68	1,62	1,67	1,93	0,032	***		***	***
Σ C17	1,21	1,11	1,12	1,11	1,23	0,042	**	*	*	**
18:0	7,63	10,4	10,9	9,86	7,33	0,468	***	***	***	***
Σ <i>cis</i> 18:1	14,5	18,7	18,1	18,1	15,7	0,62	***	**	**	***
Σ <i>trans</i> 18:1	4,02	5,20	5,55	4,91	8,28	0,267	***	**	**	***
Σ 18:1	18,5	23,9	23,7	23,0	24,0	0,72	***			*
Σ 18:2 ³	2,96	2,97	3,50	3,23	4,14	0,128	***	***	**	***
Σ CLA ⁴	0,59	0,77	0,83	0,79	1,33	0,052	***	***	***	***
18:3n-3	1,10	1,02	0,99	1,17	1,06	0,049		o	**	**
20:0	0,42	0,40	0,41	0,77	0,57	0,036	***	***	***	***
<i>cis</i> -9 20:1	0,33	0,30	0,29	0,58	0,49	0,023	***	***	***	***
Σ <i>cis</i> 20:1	0,50	0,45	0,45	1,24	1,20	0,052	***	***	***	
Σ <i>trans</i> 20:1	0,08	0,07	0,07	0,23	0,29	0,015	***	***	***	*
Σ 20:1	0,58	0,52	0,53	1,47	1,49	0,065	***	***	***	
<i>Yhteenveto</i>										
Σ C4 - C14	28,6	26,2	26,0	25,9	25,8	0,65	***			
Σ <i>Trans</i> -rasvahapot	5,98	7,43	7,77	7,45	12,4	0,375	***	***	***	***
Σ Tyydyttyneet	71,0	66,1	65,9	65,4	62,6	1,01	***	**	***	***
Σ Kertatyydyttymättömät	23,2	28,1	27,7	28,2	29,7	0,78	***		**	**
Σ Monityydyttymättömät	5,33	5,40	5,99	5,93	7,27	0,240	***	***	***	***

¹Viittaa puna-apilasäilöhupohjaisiin ruokintoihin: rasvalisätön kontrolli, rypsiöljy (RÖ), auringonkukkaöljy (ÄÖ), camelinaöljy (CÖ) ja camelinapuriste (CP).

²Ortogonaaliset kontrastit i) lipidilisän vaikutus (lipidit; kontrolli vs. RÖ, AÖ, CÖ ja CP), ii) kerta- vs. monityydyttyneet lipidit (MUFA vs. PUFA; RÖ vs. AÖ, CÖ ja CP), iii) 18:2 vs. 18:3 (AÖ vs. CÖ ja CP) ja iv) lipidilisän antotapa (öljy vs. puriste; CÖ vs. CP). * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001, o P<0,10, jos tyhjä P>0,10.

³Energiakorjattu maitotuotos; ⁴Ilman konjugoitua linolihappoa; ⁵Konjugoitu linolihappo

Taulukko 3. Kasviöljyjen ja camelinapuristeen vaikutus maitorasvan paritonhiilisten ja haaraketjuisten rasvahappojen koostumukseen (mg/100g rasvahappoja) puna-apilapohjaisessa ruokinnassa.

	Dieetti ¹					SEM	Tilastollinen merkitsevyys ²			
	Kontrolli	RÖ	AÖ	CÖ	CP		Lipidit	MUFA vs. PUFA	18:2 vs. 18:3	Öljy vs. puriste
13:0 iso	23,2	21,2	20,7	20,0	21,8	1,47	*			
13:0 anteiso	7,86	7,34	7,22	6,67	6,97	0,400	*			
14:0 iso	117	113	107	106	109	5,5	o			
15:0	1368	1233	1191	1688	1206	31,6	***	**		o
15:0 iso	185	165	162	158	159	8,3	***			
15:0 anteiso	479	434	441	423	433	40,1	***			
16:0 iso	266	238	269	242	265	17,4				
17:0	649	585	603	583	582	18,9	***		**	
17:0 iso ³	285	276	285	281	366	16,7		**	**	***

¹Viittaa puna-apilasäilörehupohjaisiin ruokintoihin: rasvalisätön kontrolli, rypsiöljy (RÖ), auringonkukkaöljy (ÄÖ), camelinaöljy (CÖ) ja camelinapuriste (CP).

²Ortogonaaliset kontrastit i) lipidilisan vaikutus (lipidit; kontrolli vs. RÖ, AÖ, CÖ ja CP), ii) kerta- vs. monityydyttyneet lipidit (MUFA vs. PUFA; RÖ vs. AÖ, CÖ ja CP), iii) 18:2 vs. 18:3 (AÖ vs. CÖ ja CP) ja iv) lipidilisan antotapa (öljy vs. puriste; CÖ vs. CP). * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001, o P<0,10, jos tyhjä P>0,10.

³Mukana *trans*-9 16:1

Taulukko 4. Kasviöljyjen ja camelinapuristeen vaikutus maitorasvan 18:1- ja 18:2-koostumukseen puna-apilapohjaisessa ruokinnassa.

	Dieetti ¹					SEM	Tilastollinen merkitsevyys ²			
	Kontrolli	RÖ	AÖ	CÖ	CP		Lipidit	MUFA vs. PUFA	18:2 vs. 18:3	Öljy vs. puriste
<i>18:1 koostumus, g/100g rasvahappoja</i>										
18:1n-9	13,2	17,3	16,6	16,5	13,5	0,59	***	***	***	***
<i>cis</i> -12 18:1	0,33	0,38	0,57	0,46	0,85	0,047	***	***	o	***
<i>cis</i> -15 18:1 ³	0,24	0,23	0,21	0,27	0,64	0,021	***	***	***	***
<i>trans</i> -10 18:1	0,36	0,51	0,56	0,42	0,96	0,045	***	**	*	***
<i>trans</i> -11 18:1	0,96	1,28	1,42	1,21	2,18	0,082	***	***	**	***
<i>trans</i> -15 18:1	0,48	0,53	0,53	0,57	0,79	0,024	***	***	***	***
<i>Ei-konjugoitu 18:2 koostumus, mg/100g rasvahappoja</i>										
<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12 18:2	2084	1985	2547	2095	1978	91,5		**	***	
<i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15 18:2	28,8	35,5	30,1	61,4	53,5	2,89	***	***	***	*
<i>trans</i> -11, <i>cis</i> -15 18:2	153	161	109	226	618	24,0	***	***	***	***
<i>trans</i> -12, <i>cis</i> -15 18:2 ⁴	70,7	69,7	62,8	82,7	128	3,5	***	***	***	***
<i>trans</i> -11, <i>trans</i> -15 18:2	34,3	39,2	36,9	49,6	102	4,19	***	***	***	***
<i>Konjugoitu 18:2 koostumus, mg/100g rasvahappoja</i>										
<i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 CLA	441	560	636	567	1020	43,9	***	***	***	***
<i>cis</i> -11, <i>trans</i> -13 CLA	1,58	1,28	1,33	2,20	2,79	0,196		**	***	*
<i>trans</i> -8, <i>trans</i> -10 CLA	3,09	3,81	6,28	3,99	4,31	0,275	***	***	***	o
<i>trans</i> -10, <i>trans</i> -12 CLA	4,27	6,18	11,87	6,68	9,34	0,617	***	***	***	***
<i>trans</i> -11, <i>trans</i> -13 CLA	18,1	23,8	19,7	36,1	51,3	2,80	***	***	***	***

¹Viittaa puna-apilasäilörehupohjaisiin ruokintoihin: rasvalisätön kontrolli, rypsiöljy (RÖ), auringonkukkaöljy (ÄÖ), camelinaöljy (CÖ) ja camelinapuriste (CP).

²Ortogonaaliset kontrastit i) lipidilisan vaikutus (lipidit; kontrolli vs. RÖ, AÖ, CÖ ja CP), ii) kerta- vs. monityydyttyneet lipidit (MUFA vs. PUFA; RÖ vs. AÖ, CÖ ja CP), iii) 18:2 vs. 18:3 (AÖ vs. CÖ ja CP) ja iv) lipidilisan antotapa (öljy vs. puriste; CÖ vs. CP). * P<0,05, ** P<0,01, *** P<0,001, o P<0,10, jos tyhjä P>0,10.

³Mukana 19:0

⁴Mukana *cis*-11 19:1