

## Mikrolevät lypsylehmien ruokinnassa: 1. Maidontuotanto

Anni Halmemies-Beauchet-Filleau, Marjukka Lamminen, Tuomo Kokkonen, Seija Jaakkola ja Aila Vanhatalo

Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos, PL 28, 00014 Helsingin yliopisto, etunimi.sukunimi@helsinki.fi

### TIIVISTELMÄ

Mikrolevät ovat mikroskooppisen pieniä yksisoluisia eliöitä. Ne kasvavat nopeasti muuntaen valon energiaa ja hiilidioksidia runsaasti valkuaisista ja välttämättömiä omega-rasvahappoja sisältäväksi biomassaksi. Mikrolevistä lypsylehmien valkuaisrehuna on vähän tutkimustietoa. Tässä tutkimuksessa selvitettiin mikrolevien vaikutusta lypsylehmien rehun syöntiin, maidontuotantoon ja maidon rasvahappokoostumukseen rypsiin ja soijaan verrattuna. Viikin opetus- ja tutkimustilan navetassa tehtiin kaksi ruokintakoetta osana EAKR:n rahoittamaa Algae Foods –projektia. Kokeessa 1 oli 8 ay-lehmää, joiden poikimisesta oli kokeen alkaessa 186 pv. Koemallina oli toistettu 4x4 latinalainen neliö. Kontrolliruokinnassa lehmät saivat väkirehuna vilja-leikeseosta ilman valkuaislisää. Isonitrogeenisinä vilja-leikkeen valkuais täydennyksinä olivat rypsirouhe, *Spirulina platensis*-leväjauho tai näiden seos vastaten 2,5 kg:n rypsirouheannosta/pv. Väkirehuannos oli 12 kg/pv. Kokeessa 2 oli 4 ay-lehmää, joiden poikimisesta oli 112 pv. Koemallina oli 4x4 latinalainen neliö. Isonitrogeenisinä vilja-leikeseoksen valkuais täydennyksinä olivat soijarouhe, *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* sekä *Chlorella vulgaris* ja *Nannochloropsis gaditanan* seos vastaten 1,8 kg:n soijarouheannosta/pv. Väkirehuannos oli 12,5 kg/pv. Molemmissa kokeissa lehmät saivat nurmisäilörehua vapaasti. Valkuais täydennys lisäsi suuntaa-antavasti eläinten säilörehun syöntiä (+0,80 kg ka/pv) ja energiakorjattua maitotuotosta (+0,97 kg/pv; koe 1). Mikrolevät, etenkin *Nannochloropsis*, heikensivät väkirehun maittavuutta perinteisiin valkuaisrehuihin verrattuna. Lehmät kuitenkin kompensoivat vähäisempää väkirehun syöntiä lisäämällä säilörehun syöntiä, joten koko dieetin kuiva-aineen syönneissä ei ollut eroa koeruokintojen välillä (koe 1 keskimäärin 23,0 kg ka/pv, koe 2 keskimäärin 21,5 kg ka/pv). Rypsin tai soijan korvaaminen mikrolevällä ei vaikuttanut maitotuotokseen (koe 1 keskimäärin 27,3 kg/pv, koe 2 keskimäärin 30,6 kg/pv). Rypsi- ja *Spirulina*-ruokintojen välillä ei ollut eroa maidon rasvapitoisuudessa eikä rasvatuotoksessa (koe 1). Sen sijaan soijan korvaaminen mikrolevällä lisäsi maidon rasvapitoisuutta (+0,19 %-yksikköä; koe 2). *Spirulina*-ruokinta lisäsi maidon rasvapitoisuutta ja -tuotosta *Chlorella*-ruokintoihin verrattuna (+0,32 %-yksikköä, +210 g/pv; koe 2). Rypsin lipidit sisälsivät runsaasti *cis*-9 18:1-rasvahappoa (43 % rasvahapoista), soijan 18:2n-6 (50 %), *Spirulinan* 16:0 ja 18:3n-6 (46 %, 20 %), *Chlorellan* 18:2n-6 (49 %) ja *Nannochloropsiksen cis*-9 16:1 ja 20:5n-3 (EPA) (36 %, 19 %). Erot mikrolevien rasvahappokoostumuksessa heijastuivat maitorasvaan. *Spirulina* lisäsi maitorasvan 18:3n-6-pitoisuutta ja *Chlorella* 18:2n-6-pitoisuutta. *Nannochloropsiksen* lisääminen *Chlorella*-ruokintaan kolminkertaisti maitorasvan EPA-pitoisuuden (0,07 vs. 0,21 % rasvahapoista). Kaiken kaikkiaan muutokset maitorasvan koostumuksessa olivat kuitenkin pieniä, sillä tutkitut valkuaisrehut sisälsivät suhteellisen vähän lipidejä (alle 40 g/kg ka rasvahappoja). Tulosten perusteella mikrolevien maidontuotanto-ominaisuudet vastaavat rypsiä ja soijaa lypsylehmien nurmisäilörehu-viljapohjaisessa ruokinnassa.

### ASIASANAT

Lypsylehmä, mikrolevä, valkuainen, rypsi, soija, maitorasva, omega-3

## JOHDANTO

Eläinten ruokinnassa käytettävien perinteisten valkuaisrehujen saatavuus ja hinta ovat tulevaisuudessa yhä epävarmempia maailman väestön lisääntyessä, luonnonvarojen ehtyessä ja ilmastonmuutoksen edessä. Mikrolevät ovat mikroskooppisen pieniä, yksisoluisia eliöitä. Ne kasvavat nopeasti muuntaen valon energiaa ja hiilidioksidia runsaasti valkuaista ja välttämättömiä omega-rasvahappoja sisältäväksi biomassaksi (Becker 2007, Lang ym. 2011). Mikroleviä voidaan myös tuottaa alueilla, jotka eivät sovellu rehu- ja ruokakasvien viljelyyn (Mata ym. 2010). Mikrolevävalkuainen sisältää kuitenkin tyypillisesti soija- ja rypsi Valkuaista vähemmän histidiiniä (Becker 2007, Luke 2015), joka on lypsylehmien maidontuotantoa ensimmäisenä rajoittava aminohappo viljaan ja nurmisäilörehuun pohjautuvassa ruokinnassa (Vanhatalo ym. 1999, Huhtanen ym. 2002). Lisäksi mikrolevien maittavuus saattaa olla perinteisiä rehuja huonompi, mikä voi vähentää kuiva-aineen syöntiä (Franklin ym. 1999, Drewery ym. 2012). Sen sijaan rypsi- tai soijatäydennys tyypillisesti lisää lypsylehmien kuiva-aineen syöntiä nurmisäilörehupohjaisessa ruokinnassa (Huhtanen ym. 2011). Mikrolevistä lypsylehmien rehuna on vähän tutkimustietoa. Tässä tutkimuksessa selvitettiin mikrolevien vaikutusta lypsylehmien rehun syöntiin, ravintoaineiden sulavuuteen, maidontuotantoon ja maidon rasvahappokoostumukseen rypsiin ja soijaan verrattuna. Hypoteesina oli, että lypsylehmien kuiva-aineen syönti ja maitotuotos ovat pienempiä, kun valkuaisäydennyksenä on mikrolevä rypsin tai soijan sijaan.

## AINEISTOT JA MENETELMÄT

Viikin opetus- ja tutkimustilan navetassa tehtiin samanaikaisesti kaksi ruokintakoetta. Kokeessa 1 oli 8 ay-lehmää, joiden poikimisesta oli kokeen alkaessa keskimäärin 186 pv. Koemallina oli toistettu 4x4 latinalainen neliö. Kontrolliruokinnassa lehmät saivat väkirehuna vilja-melassileikeseosta ilman valkuaislisää. Isonitrogeenisinä valkuaisäydennyksinä olivat rypsirouhe, *Spirulina platensis*-leväjauho tai näiden seos vastaten 2,5 kg:n rypsirouheannosta/pv. Väkirehuannos oli 12 kg/pv sisältäen kivennäis- ja vitamiinilisän. Kokeessa 2 oli 4 ay-lehmää, joiden poikimisesta oli keskimäärin 112 pv. Koemallina oli 4x4 latinalainen neliö. Isonitrogeenisinä vilja-melassileikeseoksen valkuaisäydennyksinä olivat soijarouhe, *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* sekä *Chlorella vulgariksen* ja *Nannochloropsis gaditanan* seos vastaten 1,8 kg:n soijarouheannosta/pv. Väkirehuannos oli 12,5 kg/pv sisältäen kivennäis- ja vitamiinilisän. Molemmissa kokeissa väkirehut jaettiin viidesti päivässä (klo 6, 10.30, 14.30, 17, 19.30) ja lehmät saivat nurmiheinäsäilörehua vapaasti. Nurmisäilörehu oli korjattu 2. sadosta pyöröpaaleihin lyhyen esikuivauksen jälkeen käyttäen muurahaishappopohjaista säilöntäainetta (6 l/tn rehua, AIV 2 Plus, Kemira, Helsinki, Suomi). Rypsi- ja soijarouheeseen lisäksi pieniä määriä melassileikettä ja seosmelassia, mikä kompensoitiin mikroleväruokinnoissa lisäämällä niitä väkirehun sekaan vastaava määrä. Vilja-melassileikeseos sekä rypsi- ja soijarouhe olivat A-rehu Oy:n (Varkaus, Suomi), melassileike ja seosmelassi Hankkija Oy:n (Suomen rehu, Hyvinkää, Suomi) sekä kivennäis- ja vitamiiniseos Raisioagro Oy:n (Pihatto-Melli Plus, Raisio, Suomi) valmistamia. Mikrolevät hankittiin Duplaco B.V.:n (Hengalo, Alankomaat) kautta. Lehmät olivat kytkettyinä parsiin, jotka oli varustettu vaa'allisin RIC-rehukupein (Insentec B.V., Marknesse, Alankomaat). Lehmät lypsettiin kahdesti päivässä klo 6.00 ja 17.00.

Koejaksojen kaksi ensimmäistä viikkoa olivat totutusviikkoja ja kolmas viikko keruuviikko. Keruuviikon aikana syötetyistä rehuista (koejakson päivät 15-21), sonnasta (17-20), maidosta (18-20), pötsinesteestä (20, koe 1) sekä häntäsuonen verestä (21) otettiin näytteet. Säilörehun ja väkirehun syönti sekä maitotuotos kirjattiin ylös päivittäin. Ravintoaineiden sulavuus laskettiin happoon liukenemattoman tuhkan (AIA) avulla. Rehut, sonta, pötsineste, plasma ja maidon peruskoostumus analysoitiin Ylisen (2015) kuvaamien menetelmien mukaan. Rehujen ja maidon rasvahapot analysoitiin kaasukromatografisesti 100 m CP-Sil 88-kolonnia (Chromopack 7489, Middelburg, Alankomaat) käyttäen (Stamm 2015).

Tulosten analysointiin käytettiin SAS-ohjelmiston (versio 9.3, SAS Institute Inc., Cary, Yhdysvallat) Mixed-proseduurin varianssianalyysiä. Kokeen 1 tilastollisessa mallissa kiinteinä muuttujina olivat koeruokinta, neliö ja jakson vaikutus neliössä sekä satunnaismuuttujana eläin neliössä. Kokeen 2 tilastollisessa mallissa kiinteinä muuttujina olivat koeruokinta ja jakso ja satunnaismuuttujana eläin.

## TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Koerehujen koostumus on taulukossa 1. Kokeissa käytetty säilörehu oli säilönnälliseltä laadultaan hyvää. Se sisälsi kuitenkin suhteellisen vähän raakavalkuaista (135 g/kg kuiva-ainetta (ka)) ja sen D-arvo oli kohtalainen (656 g/kg ka). *Spirulina* ja *Chlorella* sisälsivät runsaasti raakavalkuaista. *Nannochloropsis* raakavalkuaispitoisuus oli muita mikroleviä pienempi sijoittuen rypsi- ja soijatiivisteiden väliin. *Spirulina* ja *Chlorella* eivät sisältäneet lainkaan neutraalidetergenttikuitua (NDF) ja myös *Nannochloropsis* sisälsi muita mikroleviä enemmän tuhkaa. Mikrolevien rasvahappopitoisuus oli suhteellisen pieni (29-33 g/kg ka), mutta niiden rasvahappokoostumukset poikkesivat suuresti toisistaan. *Spirulinan* lipidien runsaimmat rasvahapot olivat 16:0, 18:2n-6 ja 18:3n-6, *Chlorellan* 16:0, 16:2 ja 18:2n-6 ja *Nannochloropsis* 16:0, cis-9 16:1 ja 20:5n-3. Säilörehun lipidien runsain rasvahappo oli 18:3n-3, rypsin cis-9 18:1 ja soijan sekä vilja-melassileikeseoksen 18:2n-6.

Taulukko 1. Koerehujen koostumus

	Säilörehu <sup>1</sup>	Vilja-melassileikeseos	Melassileike	Seosmelassi	Rypsi-tiiviste	Soija-tiiviste	Mikrolevät		
							Spirulina	Chlorella	Nannochloropsis
Kuiva-aine, g/kg	377	900	879	706	866	878	946	948	962
Kuiva-aineessa, g/kg									
Tuhka	81,7	34,3	66,8	103	66,1	75,5	71,8	51,4	158
NDF <sup>2</sup>	496	362	339	-	272	145	-	-	76,8
Raakavalkuainen	135	122	112	13,0	311	439	697	586	385
Rasvahapot	15,8	25,2	5,51	1,08	25,2	9,86	28,8	33,1	28,9
Rasvahappokoostumus, g/100g									
14:0	0,72	0,20	0,21	1,17	0,17	0,13	0,16	0,06	3,00
16:0	16,8	19,6	23,1	18,3	8,27	14,7	45,7	15,8	24,3
cis-9 16:1	0,24	0,14	0,27	-	0,90	0,16	2,76	0,49	35,6
16:2	-	-	-	-	-	-	-	26,4	-
18:0	2,02	1,40	0,73	3,59	2,65	2,95	1,05	0,16	0,72
cis-9 18:1	5,06	20,5	13,7	31,5	43,1	20,5	2,70	2,47	5,39
cis-11 18:1	0,70	0,98	1,39	1,29	9,23	2,22	0,62	0,74	0,59
18:2n-6	18,6	50,4	49,2	34,6	25,1	50,5	23,5	48,5	1,40
18:3n-3	48,0	4,93	8,78	7,81	8,05	7,45	0,37	2,31	0,03
18:3n-6	-	0,03	-	-	0,03	-	19,9	0,03	0,22
20:5n-3	-	-	-	-	0,04	-	-	0,02	19,2

<sup>1</sup>Säilörehun käymislaatu (g/kg kuiva-ainetta): maitohappo 27,2, etikkahappo 6,8, propionihappo 0,8, voihiappo 0,2 ja vesiliukoiset hiilihydraatit 136, pH 4,24, ammoniumtyppi 19,6 g/kg N. D-arvo 656 g/kg kuiva-ainetta.

<sup>2</sup>Neutraalidetergenttikuitu

### **Koe 1. Valkuaistäydennys sekä rypsirouheen korvaaminen Spirulinalla**

Valkuaistäydennys lisäsi suuntaa-antavasti ( $P < 0,10$ ) eläinten säilörehun syöntiä ja paransi ( $P < 0,01$ ) orgaanisen aineen ja NDF:n sulavuutta (Taulukko 2). Huhtasen ym. (2011) kirjallisuuskatsauksen ja meta-analyysin mukaan valkuaistäydennyksen (rypsi, soija) kuiva-aineen syöntiä lisäävä vaikutus johtuu todennäköisesti kuidun nopeammasta sulatuksesta pötsissä sekä käytettävissä olevien aminohappojen sekä energian tasapainoisemmasta suhteesta kudoksissa. Tässä kokeessa valkuaistäydennys lisäsi plasman välttämättömien aminohappojen pitoisuutta (Lamminen ym. 2016), mutta se ei vaikuttanut ( $P > 0,10$ ) plasman glukoosi- ja etikkahappopitoisuuksiin (keskimäärin 3,59 ja 1,54 mmol/l, vastaavasti, plasmadataa ei esitetty taulukoissa). Valkuaistäydennys lisäsi suuntaa-antavasti ( $P < 0,10$ ) energiakorjattua maitotuotosta (EKM) heijastaen lisäystä aminohappojen saannissa, säilörehun syönnissä ja ravintoaineiden sulavuudessa ja täten energian saannissa. Rypsirouheella saatu lisäys maitotuotokseen (+1,99 kg EKM per kg rypsin valkuaista) oli kuitenkin pieni verrattuna aikaisempiin tuloksiin (keskimäärin +3,71 kg EKM per kg rypsin valkuaista, Huhtanen ym. 2011). Dieetin orgaanisen aineen ja NDF:n sulavuudet olivat tässä kokeessa suhteellisen alhaisella tasolla johtuen todennäköisesti säilörehun kohtalaisen pienestä D-arvosta. Täten energian saanti saattoi rajoittaa lisävalkuaisten täysimääräistä hyväksikäyttöä mikrobivalkuaisten sekä maidon tuotantoon tässä kokeessa. Huhtasen ym. (2011) mukaan ohutusolesta imeytyvän valkuaisten (OIV) hyväksikäyttö paranee energian saannin lisääntyessä.

Valkuaistäydennyksen sisältämät lipidit muuttivat jonkin verran maidon rasvahappokoostumusta. Ne vähensivät ( $P < 0,001$ ) maitorasvan monitydyttymättömien rasvahappojen 18:2n-6 ja 18:3n-3 pitoisuutta ja lisäsivät ( $P < 0,10$ ) biohydrogenaation välituotteiden (Shingfield ym. 2010) *trans*-11 18:1, *cis*-9, *trans*-11 18:2 ja *trans*-11,*cis*-15 18:2 pitoisuuksia maitorasvassa. Vilja-melassileikeseoksen rasvapoista suurin osa oli 18:2n-6:a ja sen osuus väkirehusta oli suurempi kontrolliruokinnassa kuin rypsiä ja *Spirulinaa* sisältävissä ruokinnoissa (väkirehun määrä tasattiin muuttamalla vilja-melassileikeseoksen osuutta koeväkirehuissa). Tämä selittää valkuaisruokintojen pienempää ( $P < 0,001$ ) 18:2n-6:n saantia ja maitorasvan 18:2n-6-pitoisuutta kontrolliruokintaan verrattuna. Sen sijaan 18:3n-3:n saanti oli suurempi ( $P < 0,10$ ), mutta pitoisuus maitorasvassa pienempi valkuais- kuin kontrolliruokinnassa. Alhaisen pötsin pH:n (alle 6) tiedetään vähentävän tyydyttymättömien rasvahappojen biohydrogenaatiota pötsissä (Troegeler-Meynadier ym. 2003) johtuen todennäköisesti muutoksista lipolyytisten ja biohydrogenoivien pötsimikrobien määrässä ja aktiivisuudessa (Fuentes ym. 2009). Pötsinesteen keskimääräisessä pH:ssa (6,20) tai pötsinesteen pH:ssa eri näytteenottoaikoina (1,5 h välein alkaen klo 6 aamulla, n=8, pH:n vaihteluväli 5,69-6,90) ei kuitenkaan ollut eroa koeruokintojen välillä ( $P > 0,10$ , pötsikäymisdataa ei esitetty taulukossa). On kuitenkin mahdollista, että muutokset pötsin pH:ssa heti väkirehun jaon jälkeen olivat pienempiä ja hitaampia valkuaisruokinnoissa, joiden väkirehut sisälsivät vähemmän tärkkelystä ja enemmän valkuaista, kuin kontrolliruokinnassa. Väki-rehun osuus dieetistä oli myös hieman pienempi valkuais- kuin kontrolliruokinnassa (44 vs. 47% kuiva-aineesta,  $P < 0,05$ ).

*Spirulina* heikensi hieman väki-rehun maittavuutta rypsiin verrattuna. Kun *Spirulinan* osuus väki-rehun valkuaisesta lisääntyi, lehmät kompensoivat vähäisempää väki-rehun syöntiään säilörehun syönnillä ( $P < 0,05$ ), joten koko dieetin kuiva-aineen syönneissä ei ollut eroa koeruokintojen välillä ( $P > 0,10$ , Taulukko 2). Rypsin korvaaminen *Spirulinalla* ei vaikuttanut ( $P > 0,10$ ) maitotuotokseen eikä maidon rasvapitoisuuteen tai -tuotokseen. Myöskään aikaisemmassa kokeessa, jossa rypsin valkuaista korvattiin asteittain *Spirulina*- ja *Chlorella*-levien seoksella, mikroleväruokinta ei vaikuttanut kuiva-aineen kokonaissyöntiin eikä maidon pitoisuuksiin (Ylinen 2015). Maitotuotos oli kuitenkin suuntaa-antavasti suurempi, kun leväseos korvasi puolet rypsistä puhtaaseen rypsi- tai levävalkuaisruokintaan verrattuna (Ylinen 2015). Kun *Spirulinan* osuus väki-rehun valkuaisesta lisääntyi, maitorasvan 16:0- ja 18:3n-6-pitoisuudet suurenivat lineaarisesti ( $P < 0,001$ ) heijastaen *Spirulinan* rasvahappokoostumusta. Vaikka *cis*-9 18:1 saanti pieneni lineaarisesti ( $P < 0,001$ ) *Spirulinan* korvatessa rypsiä, se ei vaikuttanut ( $P > 0,10$ ) maitorasvan *cis*-9 18:1-pitoisuuteen. Rypsin korvaaminen *Spirulinalla* kuitenkin vähensi lineaarisesti ( $P < 0,01$ ) maitorasvan 18:0-, *trans*-11 18:1- ja *cis*-9,*trans*-11 18:2-pitoisuutta. Tämä viittaa rypsin lipidien tehokkaaseen, osin epätäydelliseen biohydrogenaatioon pötsissä.

## **Koe 2. Soijarouheen korvaaminen eri mikrolevillä**

Mikrolevät, etenkin *Nannochloropsis*, heikensivät väki-rehun maittavuutta perinteisiin valkuaisrehuihin verrattuna. Tämä oli odotettavaa aikaisempien tutkimustulosten perusteella (Franklin ym. 1999, Drewery ym. 2012). Eläinkohtaiset erot mikrolevien maittavuudessa olivat kuitenkin suuria. Lehmät kompensoivat mikroleväruokinnoissa vähäisempää väki-rehun syöntiä säilörehun syönnillä ( $P < 0,10$ ), joten koko dieetin kuiva-aineen syönneissä ei ollut eroa ( $P > 0,10$ ) koeruokintojen välillä (Taulukko 3). Soijan korvaaminen mikrolevällä ei vaikuttanut ( $P > 0,10$ ) maitotuotokseen. Levälajien väliset erot maidontuotannossa olivat kuitenkin numeerisesti suuria. Energiakorjattu maitotuotos oli noin 4 kg/pv suurempi *Spirulina*-ruokinnassa muihin ruokintoihin verrattuna. Soijan korvaaminen mikrolevällä lisäsi ( $P < 0,10$ ) etikkahapon pitoisuutta plasmassa ja sen ottoa maitorauhaseen ( $P < 0,05$ , plasmadataa ei esitetty taulukoissa) sekä maidon rasvapitoisuutta ( $P < 0,10$ ). Etikkahappo on yhdessä  $\beta$ -hydroksivoihapon kanssa maitorauhasen rasvahappojen synteesin esiaine. *Spirulina*-ruokinta lisäsi maidon rasvapitoisuutta ( $P < 0,05$ ) ja -tuotosta ( $P < 0,10$ ) *Chlorella*-ruokintoihin verrattuna. Tämä selittyy ainakin osittain plasman suuremmalla etikkahapon pitoisuudella (2,6 vs. 1,4 mmol/l,  $P < 0,01$ ) ja etikkahapon suuremmalla otolla maitorauhaseen *Spirulina*-ruokinnassa *Chlorella*-ruokintoihin verrattuna (16 vs. 10 mol/pv,  $P < 0,01$ ). Erot mikrolevien rasvahappokoostumuksessa heijastuivat maitorasvaan. *Spirulina* lisäsi maitorasvan 18:3n-6-pitoisuutta ja *Chlorella* 18:2n-6-pitoisuutta. *Nannochloropsis*in lisääminen *Chlorella*-ruokintaan kolminkertaisti maitorasvan EPA-pitoisuuden ( $P < 0,05$ ). Kaiken kaikkiaan muutokset maitorasvan koostumuksessa olivat kuitenkin melko pieniä (Taulukko 3), sillä tutkitut valkuaisrehut sisälsivät suhteellisen vähän lipidejä (Taulukko 1).

Taulukko 2. Koe 1: syönti, sulavuus, maidontuotanto ja maidon koostumus

	Koeruokinta				SEM	P-arvo <sup>1</sup>		
	Kontrolli	Rypsi	Rypsi + Spirulina	Spirulina		Valkuais- lisä	Spirulina lineaarinen	Spirulina 2. aste
<i>Syönti, kg/pv</i>								
Säilörehun kuiva-aine	12,2	12,9	12,8	13,3	0,57	o		
Dieetin kuiva-aine	22,8	23,4	23,0	22,8	0,49			
Orgaaninen aine	21,2	21,6	21,3	21,2	0,45			
Neutraalidetergenttikuitu	9,61	9,66	9,44	9,36	0,244			
16:0, g/pv	82,0	76,1	82,4	87,4	1,27		***	
<i>cis</i> -9 18:1, g/pv	62,7	76,9	65,4	52,9	0,76	*	***	
<i>cis</i> -11 18:1, g/pv	3,51	8,84	6,02	3,32	0,057	***	***	
18:2n-6, g/pv	165	150	150	147	1,91	***		
18:3n-3, g/pv	98,4	105	102	104	3,9	o		
18:3n-6, g/pv	0,08	0,08	3,17	5,83	0,118	***	***	
Rasvahapot, g/pv	441	449	441	432	7,1		*	
<i>Syödyn dieetin koostumus, g/kg kuiva-ainetta</i>								
Väkirehun osuus dieetissä	466	451	449	422	15,2	*	*	
Orgaaninen aine	930	926	926	927	0,3	***	**	
Raakavalkuainen	125	146	149	151	0,6	***	***	
Neutraalidetergenttikuitu	421	413	409	409	2,4	***		
<i>Sulavuus, g/kg</i>								
Orgaaninen aine	646	660	657	661	5,5	**		
Neutraalidetergenttikuitu	441	481	475	494	11,3	***		
<i>Tuotos ja maidon pitoisuudet</i>								
Maito, kg/pv	26,7	28,0	27,3	27,3	1,02			
EKM <sup>2</sup> , kg/pv	28,7	30,3	29,1	29,6	1,39	o		
Rasva, g/pv	1230	1299	1258	1288	75,1			
Laktoosi, g/pv	1109	1178	1123	1132	56,2			
Valkuainen, g/pv	999	1045	997	1002	31,5		o	
Rasva, g/kg	46,2	46,5	45,8	46,9	1,83			
Laktoosi, g/kg	41,4	41,9	40,7	41,2	0,74			o
Valkuainen, g/kg	37,5	37,5	36,7	36,9	0,83			
EKM <sup>2</sup> , kg / kuiva-aineen syönti, kg	1,26	1,29	1,25	1,29	0,52			*
<i>Maidon rasvahapot, g/100g</i>								
4:0	3,58	3,56	3,64	3,68	0,048		*	
6:0	2,41	2,40	2,42	2,42	0,041			
8:0	1,60	1,55	1,54	1,52	0,051			
10:0	3,47	3,57	3,56	3,42	0,077			
12:0	3,90	4,14	4,10	3,96	0,084			
14:0	11,8	12,1	12,0	12,0	0,14			
16:0	28,5	27,5	28,4	29,5	0,55		***	
<i>cis</i> -9 16:1	0,94	0,92	0,96	1,09	0,039		***	
18:0	11,6	11,6	11,5	10,7	0,35		**	
<i>cis</i> -9 18:1 + <i>trans</i> -15 18:1	17,3	17,4	17,0	17,0	0,45			
<i>cis</i> -11 18:1	0,39	0,53	0,46	0,41	0,019	**	***	
<i>trans</i> -10 18:1	0,23	0,23	0,21	0,21	0,010			
<i>trans</i> -11 18:1	1,10	1,35	1,25	1,17	0,065	***	***	
18:2n-6	2,41	1,95	2,02	1,90	0,118	***		
<i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 18:2	0,36	0,57	0,51	0,51	0,028	***	***	*
<i>trans</i> -11, <i>cis</i> -15 18:2	0,14	0,16	0,15	0,16	0,012	o		o
18:3n-3	0,54	0,51	0,50	0,49	0,002	***	o	
18:3n-6	0,04	0,03	0,05	0,06	0,003	***	***	
Tyydyttyneet	71,0	70,7	71,5	71,5	0,70			
Kertatyydyttymättömät	24,0	24,5	23,8	23,9	0,55			
Monitydyttymättömät	3,95	3,57	3,59	3,50	0,167	***		

<sup>1</sup> Valkuaislisän sekä rypsirouheen valkuaisen korvaaminen *Spirulinan* valkuaisella lineaarinen ja 2. asteen tilastollinen merkitsevyys \*\*\*( $P < 0,001$ ), \*\*( $P < 0,01$ ), \*( $P < 0,05$ ) ja o( $P < 0,10$ )

<sup>2</sup> Energia korjattu maitotuotos

Taulukko 3, Koe 2: syönti, sulavuus, maidontuotanto ja maidon koostumus

	Koeruokinta				SEM	P-arvo <sup>1</sup>		
	Soija	Spirulina	Chlorella	Chlorella + Nanno		Soija vs. mikrolevät	Spirulina vs. muut mikrolevät	Chlorella vs. Chlorella + Nanno
<i>Syönti, kg/pv</i>								
Säilörehun kuiva-aine	10,6	12,9	10,9	12,8	0,51	*		*
Dieetin kuiva-aine	21,5	22,0	20,9	21,6	1,29			
Orgaaninen aine	19,9	20,4	19,4	19,9	1,21			
Neutraalidetergenttikuitu	8,82	9,32	8,55	9,09	0,450			
16:0, g/pv	76,0	86,8	78,8	78,8	6,01	*	*	
cis-9 16:1, g/pv	0,76	1,12	1,16	7,36	0,765	*	*	**
16:2, g/pv	<0,01	<0,01	10,2	5,94	1,110	**	**	*
cis-9 18:1, g/pv	58,7	52,8	54,2	49,9	5,33	o		
18:2n-6, g/pv	154	145	159	141	14,3			
18:3n-3, g/pv	95,8	111	97,0	110	4,93	o		
18:3n-6, g/pv	0,06	5,40	0,16	0,10	0,451	*	**	
20:5n-3, g/pv	<0,01	<0,01	0,11	3,46	0,33	*	**	**
Rasvahapot, g/pv	416	437	432	431	30,7			
<i>Syödyn dieetin koostumus, g/kg kuiva-ainetta</i>								
Väkirehun osuus dieetissä	511	408	477	397	39,0	o		
Orgaaninen aine	926	926	928	923	0,7			**
Raakavalkuainen	154	153	154	150	1,5			o
Neutraalidetergenttikuitu	408	425	408	426	8,6			
<i>Sulavuus, g/kg</i>								
Orgaaninen aine	659	650	661	661	12,7			
Neutraalidetergenttikuitu	474	503	491	516	24,5			
<i>Tuotos ja maidon pitoisuudet</i>								
Maito, kg/pv	29,7	32,1	29,9	30,8	1,86			
EKM <sup>2</sup> , kg/pv	29,3	33,9	30,0	30,5	2,02			
Rasva, g/pv	1215	1484	1261	1287	98,2		o	
Laktoosi, g/pv	1320	1427	1324	1360	95,5			
Valkuainen, g/pv	952	1043	957	969	61,5			
Rasva, g/kg	41,0	45,0	41,4	42,2	1,57	o	*	
Laktoosi, g/kg	44,5	44,3	44,4	44,2	0,49			
Valkuainen, g/kg	32,2	32,2	31,6	31,5	1,34			
EKM <sup>2</sup> , kg / kuiva-aineen syönti, kg	1,37	1,55	1,48	1,43	0,130			
<i>Maidon rasvahapot, g/100g</i>								
4:0	3,60	3,74	3,70	3,69	0,050	*		
6:0	2,28	2,33	2,29	2,34	0,088	**	*	**
8:0	1,38	1,40	1,38	1,42	0,077			
10:0	3,07	3,10	2,97	3,06	0,265			
12:0	3,53	3,53	3,32	3,43	0,309			
14:0	11,6	11,5	10,7	11,1	0,660	*	*	o
16:0	30,6	29,7	27,9	28,7	0,867	*	o	
cis-9 16:1	1,04	1,16	1,12	1,65	0,206	o		*
16:2	0,01	<0,01	0,43	0,19	0,061	*	*	*
18:0	12,0	10,6	11,9	10,9	0,579			
cis-9 18:1 + trans-15 18:1	17,2	19,1	19,0	18,6	1,894	o		
trans-10 18:1	0,17	0,16	0,18	0,16	0,025			
trans-11 18:1	1,00	1,00	0,88	1,06	0,089			o
18:2n-6	2,14	1,92	3,41	2,41	0,310		*	*
cis-9,trans-11 18:2	0,40	0,44	0,39	0,45	0,030			
trans-11,cis-15 18:2	0,10	0,13	0,10	0,15	0,015	*		*
18:3n-3	0,43	0,46	0,56	0,53	0,052	o		
18:3n-6	0,03	0,06	0,03	0,03	0,006	o	**	
20:5n-3	0,05	0,04	0,07	0,21	0,029		*	*
Tyydyttyneet	72,2	70,3	68,2	68,7	2,085	*		
Kertatyydyttymättömät	23,4	25,5	25,5	25,9	2,246	o		
Monityyydyttymättömät	3,44	3,30	4,85	4,13	0,372	o	*	o

<sup>1</sup> \*\*\* (P<0,001), \*\* (P<0,01), \* (P<0,05) ja o (P<0,10)<sup>2</sup> Energia korjattu maitotuotos

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten perusteella mikrolevien maidontuotanto-ominaisuudet vastaavat soijarouhetta lypsylehmien vilja-nurmisaälöhöpohjaisessa ruokinnassa. Mikrolevistä *Spirulinan* maidontuotanto-ominaisuudet saattavat olla jopa soijarouhetta hieman paremmat vastaten lähes rypsirouhetta. Huono maittavuus voi kuitenkin vähentää yksittäisten eläinten mikroleväjauhon syöntiä etenkin, jos mikrolevä sisältää runsaasti pitkäketjuisia (20-hiilisiä), monitydyttymättömiä rasvahappoja. Tutkituista mikrolevistä *Spirulina* lisäsi maitorasvan 18:3n-6-pitoisuutta, *Chlorella* 18:2n-6-pitoisuutta ja *Nannochloropsis* EPA-pitoisuutta, joskin muutokset olivat melko pieniä.

## KIRJALLISUUS

- Becker, E.W.** 2007. Micro-algae as a source of protein. *Biotechnology Advances* 25:207–210.
- Drewery, M.L., Sawyer, J.E. & Wickersham, T.A.** 2012. Palatability of post-extraction algal residue as a protein supplement for cattle. *Journal of Dairy Science* 95(Suppl. 2):342. <http://www.jmtg.org/JAM/2012/abstracts.asp> Viitattu 3.12.2015.
- Franklin S.T., Martin, K.R., Baer, R.J., Schingoethe, D.J. & Hippen, A.R.** 1999. Dietary marine algae (*Schizochytrium* sp.) increases concentrations of conjugated linoleic, docosahexaenoic and transvaccenic acids in milk of dairy cows. *The Journal of Nutrition* 129:2048-2054.
- Fuentes, M.C., Calsamiglia, S., Cardozo, P.W. & Vlaeminck, B.** 2009. Effect of pH and level of concentrate in the diet on the production of biohydrogenation intermediates in a dual-flow continuous culture. *Journal of Dairy Science* 92:4456–4466.
- Huhtanen, P., Hetta, M. & Swensson, C.** 2011. Evaluation of canola meal as a protein supplement for dairy cows: A review and a meta-analysis. *Canadian Journal of Animal Science* 91:529–543.
- Huhtanen, P., Vanhatalo A. & Varvikko, T.** 2002. Effects of abomasal infusions of histidine, glucose, and leucine on milk production and plasma metabolites of dairy cows fed grass silage diets. *Journal of Dairy Science* 85:204–216.
- Lamminen, M., Halmemies-Beauchet-Filleau, A., Kokkonen, T., Jaakkola, S. & Vanhatalo, A.** 2016. Mikrolevät lypsylehmien ruokinnassa: 2. Valkuaisen hyväksikäyttö. Maataloustieteen Päivät 2016. [www.smts.fi](http://www.smts.fi)
- Lang, I., Hodac, L., Friedl, T. & Feussner, I.** 2011. Fatty acid profiles and their distribution patterns in microalgae: a comprehensive analysis of more than 2000 strains from the SAG culture collection. *BMC Plant Biology* 11:124-140.
- Mata, T.M., Martins, A.A. & Caetano, N.S.** 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:217-232.
- Luke 2015.** Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Verkojulkaisu. <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot> Viitattu 3.12.2015.
- Shingfield, K.J., Bernard, L., Leroux, C. & Chilliard, Y.** 2010. Role of trans fatty acids in the nutritional regulation of mammary lipogenesis in ruminants. *Animal* 4:1140–1166.
- Stamm, M.** 2015. Effects of different microalgae supplements on fatty acid composition, oxidation stability, milk fat globule size and phospholipid content of bovine milk. Maisterin tutkielma. Helsingin yliopisto, Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos. 86s. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:hulib-201510193736>
- Troegeler-Meynadier, A., Nicot, M.C., Bayourthe, C., Moncoulon, R. & Enjalbert, F.** 2003. Effects of pH and concentrations of linoleic and linolenic acids on extent and intermediates of ruminal biohydrogenation in vitro. *Journal of Dairy Science* 86:4054–4063.
- Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Toivonen, V. & Varvikko, T.** 1999. Response of dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone or in combinations with methionine and lysine. *Journal of Dairy Science* 82:2674–2685.
- Ylinen, V.** 2015. Mikrolevä lypsylehmien valkuaisrehuna – vaikutus syöntiin, aineenvaihduntaan ja maidontuotantoon. Maisterin tutkielma. Helsingin yliopisto, Maataloustieteiden laitos. 63s.