

HÄRKÄPAVUN ANNOSTUSTASON VAIKUTUS LYPSYLEHMÄN MAITOTUOTOKSEEN

Krista Hämäläinen
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kotieläinten ravitsemustiede
2016

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Krista Hämäläinen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Härkäpavun annostustason vaikutus lypsylehmän maitotuotokseen			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kotieläinten ravitsemustiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year Huhtikuu 2016	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 63 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract Tämän maisterintutkielman tavoitteena oli tutkia, miten härkäpavun kaksi eri annostustasoa vaikuttavat lypsylehmien maitotuotokseen rypsirouheeseen verrattuna, kun karkearehuna käytetään heinäkasvisiälörehua. Koe tehtiin keväällä 2013 Viikin opetus- ja tutkimustilan navetassa osana Kotipalko-hanketta. Kokeessa oli 12 ayrshire-lehmää, joista kuusi oli poikunut vähintään kaksi kertaa ja loput olivat ensimmäisen kerran poikineita hiehoja. Lehmien poikimisesta oli kulunut keskimäärin 115 päivää kokeen alussa. Koe järjestettiin cyclic change over –koemallin mukaisesti. Kokeessa oli kaksi blokkia, joista toisen blokin muodostivat vähintään kaksi kertaa poikineet lehmät ja toisen blokin ensimmäisen kerran poikineet hiehot. Kokeen väkirehuista muodostettiin kuusi erilaista koekäsittelyä 2x3 faktoriaalisen asetelman mukaisesti. Kokeessa oli väkirehun raakavalkuaistasoina 154 g/kg ka ja 190 g/kg ka ja valkuaislähteinä rypsi, rypsin ja härkäpavun seos ja härkäpapu, niin että raakavalkuaisen saanti oli yhtä suuri kaikista vaihtoehdoista. Karkearehuna käytettiin 1.sadon timoteinurminatasäilörehua. Lehmien säilörehun syönti vähentyi, kun rypsiä korvattiin härkäpavulla ja syönti vähentyi enemmän, kun valkuaisrehujen määrä oli suurempi ruokinnassa. Orgaanisen aineen, NDF:n ja raakavalkuaisen saannit vähentyivät myös, kun rypsiä korvattiin härkäpavulla. Raakavalkuaisen saanti ja pötsin valkuaisase lisääntyivät, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin. Ohutsuoletta imeytyvän valkuaisen hyväksikäyttö heikkeni, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuus oli 190 g/kg ka. Myös lehmien maito-, valkuais- ja laktoosituotokset vähentyivät, kun rypsiä korvattiin härkäpavulla. Maidon ureapitoisuus ja virtsassa erittyvän typen määrä lisääntyivät, kun rypsiä korvattiin härkäpavulla ja ruokinnan raakavalkuaispitoisuus lisääntyi. Tulosten perusteella rypsiä ei voi korvata härkäpavulla ilman lehmien rehun syönnin ja maitotuotoksen vähentymistä. Osa rypsistä voidaan korvata härkäpavulla ilman, että lehmien rehun syönti tai maitotuotos vähentyvät niin paljon kuin rypsin korvaamisella kokonaan härkäpavulla. Rypsin ja härkäpavun seoksella voidaan myös varmistaa paremmin lehmien riittävä aminohappojen saanti kuin pelkällä härkäpavulla.			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords härkäpapu, rypsi, raakavalkuainen, annostustaso, maitotuotos, lypsylehmä			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasivat Seija Jaakkola, Laura Puhakka ja Aila Vanhatalo.			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Krista Hämäläinen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The effect of faba bean feeding level on dairy cow milk production			
Oppiaine — Läroämne — Subject Animal nutrition			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year April 2016	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 63 p.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The aim of the experiment was to study the effect of two feeding levels of faba bean on milk production as compared to rapeseed meal in grass silage based diet. The experiment was carried out as a part of Kotipalko-project at the Viikki research farm of the University of Helsinki during spring 2013.</p> <p>Twelve Ayrshire cows were used in the experiment. Six of them were multiparous and the other six were primiparous. The cows were 115 days in milk at the beginning of the experiment. Experiment was arranged according to a cyclic change –over design with two blocks of cows (multiparous and primiparous) and with six dietary treatments. Dietary treatments in a 2x3 factorial arrangement consisted of six concentrates with two crude protein levels of 154 and 190 g/kg DM, respectively, and rapeseed meal, a mixture of rapeseed meal and faba bean and faba bean as the three crude protein sources. The amount of crude protein was the same from all the protein supplements. The forage was first cut timothy-meadow fescue silage.</p> <p>Silage dry matter intake decreased when rapeseed meal was replaced with faba bean and the intake reduced more when the feeding level of the protein supplements was high. Organic matter, NDF and crude protein intakes also decreased when rapeseed meal was replaced with faba bean. Crude protein intake and rumen nitrogen balance increased when concentrate crude protein level was high. Utilization of metabolizable protein decreased when the amount of protein supplement was increased. Also milk, protein and lactose yields reduced when rapeseed meal was replaced with faba bean. Milk urea nitrogen and urine nitrogen increased when rapeseed meal was replaced with faba bean and when concentrate crude protein level was increased.</p> <p>The study showed that rapeseed meal cannot be replaced with faba bean entirely. Part of rapeseed meal can be replaced with faba bean with lower decrease in dry matter intake and the milk yield as compared with total replacement of rapeseed meal with faba bean. The mixture of rapeseed meal and faba bean can also ensure better amino acid supply from the feed compared with faba bean alone.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords faba bean, rapeseed meal, crude protein, feeding level, lactation, dairy cow			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisors Seija Jaakkola, Laura Puhakka ja Aila Vanhatalo			

SISÄLLYS

LYHENTEET JA SYMBOLIT

1 JOHDANTO	2
2 HÄRKÄPAVUN SIEMENET LYPSYLEHMÄN REHUNA	3
2.1 Ruokinnalliset ominaisuudet.....	3
2.2 Vaikutukset maidontuotannossa	6
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA HYPOTEESEIT	10
4.1 Koejärjestelyt ja eläimet.....	10
4.2 Rehut ja ruokinta	11
4.3 Elopaino ja kuntoluokitus.....	13
4.4 Maitotuotos ja maidon koostumus	13
4.5 Virtsa- ja sontanäytteet	14
4.6 Verinäytteet.....	14
4.7 Näytteiden analysointi	15
4.8 Tulosten laskenta ja tilastollinen analyysi	18
5 TULOKSET	18
5.1 Rehujen kemiallinen koostumus.....	21
5.2 Rehujen syönti ja ravintoaineiden saanti	22
5.3 Maitotuotos ja maidon koostumus	26
5.4 Typen hyväksikäyttö	28
5.5 Plasman aineenvaihduntatuotteet	31
6 TULOSTEN TARKASTELO	33
6.1 Rehujen kemiallinen koostumus.....	33
6.2 Rehujen syönti ja ravintoaineiden saanti	35
6.3 Maitotuotos ja maidon koostumus	39
6.4 Typen hyväksikäyttö	44
6.5 Plasman aineenvaihduntatuotteet	46
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	48
8 KIITOKSET	49
LÄHTEET.....	49

LYHENTEET JA SYMBOLIT

AIA	happoon liukenematon tuhka
BHBA	β -hydroksivoihappo
D-arvo	sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa
EKM	energiakorjattu maitotuotos
iNDF	sulamaton kuitu
ka	kuiva-aine
ME	muuntokelpoinen energia
NDF	neutraalidetergenttikuitu
NEFA	vapaat rasvahapot
OIV	ohutsuolesta imeytyvä valkuainen
PVT	pötsivalkuaiastase
RV154	väkirehun raakavalkuaispitoisuus 154 g/kg ka
RV190	väkirehun raakavalkuaispitoisuus 190 g/kg ka

1 JOHDANTO

Kiinnostus uusia kasvipöytäisiä valkuaislähteitä kohtaan on kasvanut viime vuosina lypsylehmien ruokinnassa niin Suomessa kuin muuallakin Euroopassa. Tämä johtuu tavoitteista parantaa Euroopan valkuaisomavaraisuutta, joka on tällä hetkellä heikko. Vuonna 2010 EU:n alueella käytettiin 20 miljoonaa tonnia valkuaisrehuja, mutta niistä tuotettiin EU:n alueella ainoastaan 6 miljoonaa tonnia (Blair 2011). Suurin osa kotieläintuotannossa käytettävästä valkuaisrehusta perustuu soijaan, joka tuodaan Eurooppaan muualta maailmasta (PROLEA La filière français des huiles et protéines végétales 2013).

Suomessa käytetään valkuaisrehuina maidontuotannossa paljon rypsiä ja rapsia ja rypsin vaikutuksia maidontuotantoon on tutkittu paljon niin Suomessa kuin maailmankin (Huhtanen ym. 2011). Rypsin ja rapsin tuotantomäärät eivät kuitenkaan riitä yksinään takaamaan Suomen valkuaisomavaraisuutta. Kasvipöytäisten valkuaislähteiden tarvetta lypsylehmien ruokinnassa lisää myös lihaluujauhon käytön kieltäminen Euroopassa vuonna 1994 löytyneen hullun lehmän taudin seurauksena (Ramos-Morales ym. 2010). Ratkaisuna Suomen ja Euroopan valkuaisomavaraisuuden kasvattamiseen voisivat olla proteiinipitoiset palkokasvit, kuten härkäpapu (*Vicia faba* L.), herne (*Pisum sativum* L.) ja lupiini (*Lupinus angustifolius*).

Härkäpapua hyödynnetään yhä enemmän sekä ihmisten ravintona että eläinten rehuna (Crépon ym. 2010). Sen käytöstä lypsylehmien tai muiden kotieläinten rehuna ja vaikutuksista tuotantotuloksiin ei kuitenkaan ole vielä saatavilla paljon kotimaisia tutkimustuloksia. Ulkomaisten tutkimustulosten mukaan härkäpapu voisi soveltua hyvin lypsylehmien valkuaisrehuksi (Ingalls ym. 1980, Volpelli ym. 2010, Volpelli ym. 2012, Tufarelli ym. 2012).

Valkuaislisän merkitys on kasvanut ruokinnassa lehmien tuotantopotentiaalın parantuksessa, jolloin perusrehujen valkuainen ei riitä takaamaan lehmän riittävää valkuaisen saantia. Silloin lehmät eivät pysty saavuttamaan parasta mahdollista tuotospotentiaaliaan. Liiallinen valkuaisen syöttäminen on myös hyödytöntä ja

jopa haitallista lehmille, koska sitä ei pystytä hyödyntämään ja se poistetaan elimistöstä sonnan ja virtsan mukana ympäristöön (Wilkins ja Jones 2000). Se ei ole kannattavaa taloudellisesti ja se on myös haitallista ympäristön kannalta (Wilkins ja Jones 2000).

Härkäpavun avulla voidaan monipuolistaa myös tilan viljelykiertoa ja vähentää riskiä erilaisista kasvitaudeista, tuholaisista ja vähentää rikkaruohojen määrää (Peoples ym. 1995). Lisäksi härkäpavun juurista löytyvät typensitobakteerit voivat sitoa ilmasta typpeä maaperään ja vähentää näin typpilannoitteiden tarvetta tilalla ja parantaa tilan kannattavuutta (Peoples ym. 1995, Stoddard ym. 2009).

Härkäpapu voi olla myös tärkeä valkuaisen lähde luomutuotannossa. Siinä rehujen tulisi olla pääasiassa tuotettu tilan alueella tai luonnonmukaisen tuotantoon kuuluvalla toisella tilalla tai yrityksessä (Blair 2011, Evira 2016). Lisäksi puhtaiden aminohappojen käyttö on kielletty luomutuotannossa (Blair 2011, Evira 2016).

2 HÄRKÄPAVUN SIEMENET LYPSELEHMÄN REHUNA

2.1 Ruokinnalliset ominaisuudet

Härkäpavun siemenissä on raakavalkuaista kotimaisten rehutaulukoiden mukaan 300 g/kg ka, mikä on vähemmän kuin rypsirouheessa (379 g/kg ka), mutta enemmän kuin rehuherneessä (230 g/kg ka) (Luke 2016). Aminohapoista härkäpavussa on vähemmän tryptofaania, metioniinia ja kystiiniä verrattuna viljoihin (Crépon ym. 2010). Histidiiniä härkäpavussa on suunnilleen saman verran kuin rypsirouheessa, mutta metioniinia härkäpavussa on vähemmän kuin rypsirouheessa (Luke 2016). Härkäpavussa on suunnilleen saman verran histidiiniä ja metioniinia kuin rehuherneessä (Luke 2016). Histidiini on yleensä ensimmäinen rajoittava aminohappo maidontuotannossa, kun ruokinta perustuu nurmisäilörehuruokintaan (Vanhatalo ym. 1999). Rikkipitoisten aminohappojen riittävään saantiin tulee kiinnittää huomiota lypsylehmien ruokinnassa, koska härkäpavun haitta-aineista proteaasi-inhibiittorit ovat usein osana rikkipitoisia aminohappoja (Dixon ja Hosking 1992). Tämä voi olla esteenä rikkipitoisten aminohappojen

hyödyntämisessä. Ruokinnan suunnittelussa eläinten aminohappotarpeet saadaan parhaiten turvattua, kun härkäpapua syötetään dieetissä yhdessä jonkun muun valkuaislähteen kanssa (Crépon ym. 2010).

Härkäpavun raakavalkuainen hajoaa suuressa määrin pötsissä (Dixon ja Hosking 1992, Crépon ym. 2010). Rehutaulukoiden mukaan härkäpavun raakavalkuaisen sulavuus on 0,85 ja hajoavan valkuaisen osuus (hvo) on 0,80 (Luke 2016). Rypsirouheen raakavalkuaisen sulavuus on 0,84 ja hajoavan valkuaisen osuus on 0,63, joka on pienempi kuin härkäpavulla (Luke 2016). Reherneen raakavalkuaisen sulavuus on 0,82 ja hajoavan valkuaisen osuus on 0,81, jotka ovat samaa luokkaa kuin härkäpavulla (Luke 2016). Jos rehun valkuainen hajoaa liian suurissa määrin pötsissä, siitä ei välttämättä riitä tarpeeksi pötsin ohi kulkeutuvaa, ohutsuoletta imeytyvää valkuaista (Cros ym. 1991). Silloin korkeatuottoinen lehmä ei saa riittävästi valkuaista sekä ylläpitoon että maidon synteesiin. Toisaalta raakavalkuaisen hyvän hajoavuuden ansioista härkäpapu voi soveltua valkuaisrehuksi karkearehujen kanssa, joissa on vähän valkuaista tai karkearehun laatu ei ole muuten hyvä (Dixon ja Hosking 1992, Tufarelli ym. 2012). Lisäksi rehuteknologian menetelmillä voidaan vaikuttaa härkäpavun raakavalkuaisen hajoavuuteen pötsissä (Masoero ym. 2005, Melicharová ym. 2009). Masoero ym. (2005) tutkivat erilaisten rehujen lämpökäsittelyjen vaikutusta härkäpavun ja reherneen raakavalkuaisen hajoavuuteen pötsissä. Valkuaisen hajoavuus saatiin vähenemään yli 70 %:sta noin 19–20 %:iin, joka oli samaa luokkaa kuin soijalla. Lisäksi härkäpavun ohitusvalkuaisen määrää saatiin lisättyä 37 %:a, joka oli kaksinkertainen määrä verrattuna herneeseen. Erot härkäpavun ja herneen ohitusvalkuaisen määrässä voivat johtua härkäpavun suuremmista neutraalidetergenttikuidun (NDF) ja sulamattoman kuidun (iNDF) pitoisuuksista lämpökäsittelyn jälkeen verrattuna herneeseen.

Härkäpavussa on rehutaulukoiden mukaan tärkkelystä 380 g/kg ka, mikä on huomattavasti enemmän kuin rypsirouheessa (45 g/kg ka), mutta vähemmän kuin reherneessä (480 g/kg ka) (Luke 2016). Rypsirouheen hiilihydraateista suurin osa on tärkkelyksen sijaan NDF:ä (Bach Knudsen 1997). Rypsirouheen NDF:n pitoisuus on 270 g/kg ka ja härkäpavun 160 g/kg ka (Luke 2016). Suuren raaka-

valkuais- ja tärkkelyspitoisuuden vuoksi härkäpapua voidaan hyödyntää kotieläinten ruokinnassa sekä valkuaisen että energian lähteenä (Bach Knudsen 1997).

Härkäpavun sekä rehuherneen tärkkelyksen sulavuus pötsissä ei ole yhtä hyvä kuin viljojen tärkkelyksen sulavuus (Larsen ym. 2009). Palkokasvien syöttäminen lypsylehmille saattaa siirtää tärkkelyksen hajotusta pötsistä ohutsuoleen (Offner ym. 2003). Tämä saattaisi parantaa lehmien ravintoaineiden saantia laktaatio-kauden alussa, jolloin ravintoaineiden tarve lisääntyy huomattavasti ummessa-olokauteen verrattuna. Larsenin ym. (2009) tutkimuksessa härkäpavun ja herneen litistämällä saatiin tärkkelyksen hajoavuus pötsissä lisääntymään, mutta ohutsuolessa sillä ei ollut merkittävää eroa. Lisäksi viljojen tärkkelyksen sulavuus oli edelleen parempi verrattuna palkokasveihin.

Härkäpavun hyödyntämistä eläinten rehuna voi haitata sen sisältämät haitta-aineet eli sekundaarimetaboliitit. Ne saattavat esimerkiksi haitata ravintoaineiden sulatusta elimistössä tai vähentää eläinten rehujen syöntiä (D'Mello 2000). Haitta-aineet saattavat aiheuttaa eläimille myös terveydellisiä ongelmia, kuten heikentää hedelmällisyyttä tai immuunivastetta (D'Mello 2000, Melicharová ym. 2009). Härkäpavusta löytyviä haitta-aineita ovat esimerkiksi proteaasi-inhibiittorit, lektiinit, tanniinit, visiini ja konvisiini (Melicharová ym. 2009, Jezierny ym. 2010). Haitta-aineiden pitoisuuksiin voidaan kuitenkin vaikuttaa erilaisilla rehuteknologian menetelmillä. Erilaisten lämpöön perustuvien käsittelymenetelmien on todettu vähentävän esimerkiksi proteaasi-inhibiittorien määrää sekä lisäävän pötsin ohittavan valkuaisen määrää (Focant ym. 1990, Walhain ym. 1992, Masoero ym. 2005). Tanniinien määrää on pystytty myös vähentämään härkäpavussa ekstruuderin avulla ja härkäpavun siementen kuorien poistamisella (van der Poel ym. 1991, Ferruzzi ym. 2009). Härkäpavun haitta-aineista ei kuitenkaan ole todennäköisesti niin paljon haittaa märehitijöille kuin yksimahaisille eläimille (Dixon ja Hosking 1992, Crépon ym. 2010). Melicharován ym. (2009) tutkimuksessa eri haitta-aineet ja niiden eri pitoisuudet eivät vaikuttaneet runsastuottoisten lehmien terveyteen.

Rehuerne on haitta-aineiden suhteen samankaltainen kuin härkäpapu. Myös siitä löytyviä haitta-aineita ovat proteaasi-inhibiittorit, lektiinit sekä tanniinit (Jezierny ym. 2010). Visiiniä ja konvisiiniä ei löydy rehuerneestä merkittäviä määriä verrattuna härkäpapuun (Jezierny ym. 2010). Samoin kuin härkäpavun myös rehuerneen haitta-aineiden pitoisuuksiin voidaan vaikuttaa erilaisilla rehukäsittelyillä. Käsittelyt voivat vaikuttaa myös rehuerneen valkuaisen rakenteeseen, jonka jälkeen sen sulavuus on parempi (van der Poel ym. 1991, Canibe ja Eggum 1997).

Tarkasteltaessa muuten härkäpavun koostumusta siinä on vähemmän raakarasvaa, tuhkaa ja sokeria kuin rypsiroheessa (Luke 2016). Rehuerneeseen verrattaessa härkäpavun raakarasvan, tuhkan ja kuidun määrät ovat samaa luokkaa.

2.2 Vaikutukset maidontuotannossa

Härkäpavun ja muiden valkuaislisien vaikutusta maidontuotantoon ei ole vielä verrattu paljon keskenään. Suurimmassa osassa näistä tutkimuksista, härkäpapua on verrattu soijaan. Ingalls ja McKirdy (1974) tutkivat ensimmäisten joukossa soijan korvaamista härkäpavulla tai rypsilä. Kokeessa oli neljä erilaista ruokintaa, joissa lehmät saivat väkirehua maksimissaan 16 kilogrammaa. Ruokinnoissa oli joko 14,5 % soijaa, 19 % rypsiä, 17 % härkäpapua ja 7,5 % soijaa tai 35 % pelkkää härkäpapua. Karkearehuna lehmät saivat vapaasti maissisäilörehua sekä sinimailasheinää. Kokeessa ei huomattu merkitseviä eroja lehmien rehun syönissä, maitotuotoksessa tai maidon valkuaispitoisuudessa. Ainoastaan maidon rasvapitoisuus oli suurempi muihin valkuaislisiin verrattuna, kun ruokinnassa oli 35 % härkäpapua.

Ingalls ym. (1980) korvasivat kokeissaan soijan kokonaan härkäpavulla. Ensimmäisessä kokeessa käytettiin seosrehua, jossa oli karkearehuna kattaraheinää ja maissisäilörehua ja väkirehuna oli soijaa tai härkäpapua. Seosrehussa oli karkearehujaa ja väkirehua suhteessa 1:1:2. Toisessa kokeessa oli kaksi eri väkirehutasoa, 50 % tai 70 %, jossa oli joko soijaa tai härkäpapua. Karkearehuna kokeessa oli kattaraheinä sekä soijaruokinnoissa käytettiin kuitulisänä 10 % olkea.

Väkirehutasen nosto lisäsi lehmien kokonaiskuiva-aineen syöntiä. Kummassakaan kokeessa ei silti ollut tilastollisesti merkitseviä eroja lehmien kokonaiskuiva-aineen syönnissä. Lisäksi soijan korvaaminen härkämpavulla ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi lehmien kokonaiskuiva-aineen syöntiin. Kummassakaan kokeessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja lehmien maitotuotoksen välillä. Toisessa kokeessa maidon valkuaispitoisuus vähentyi härkämpapuruokinnalla molemmilla väkirehutasoilla. Valkuaispitoisuus oli soijaruokinnalla 34,1 g/kg ja härkämpapuruokinnalla 33,1 g/kg väkirehun osuuden ollessa ruokinnassa 70 %. Maidon valkuaispitoisuus oli soijaruokinnalla 33,1 g/kg ja härkämpapuruokinnalla 31,4 g/kg, kun väkirehun osuus oli ruokinnassa 50 %.

Myös Volpelli ym. (2010) ja Tufarelli ym. (2012) vertailivat soijan ja härkämpavun vaikutuksia maidontuotantoon. Volpelli ym. (2010) kahdessa kokeessa käytettiin kahta erilaista väkirehuruokintaa. Toinen oli kontrolliruokinta, jonka valkuaislähteenä oli soijarouhetta 12,0 %. Koeväkirehussa osa soijarouheesta korvattiin härkämpavulla, jota väkirehussa oli 10,0 %. Koeväkirehussa oli soijaa 7,5 % eli härkämpavulla korvattiin 4,5 % soijasta. Kontrolliruokinnan raakavalkuaispitoisuus oli ensimmäisessä ja toisessa kokeessa 162 g/kg ka ja 158 g/kg ka. Koeruokintojen raakavalkuaispitoisuudet olivat 169 g/kg ka ja 162 g/kg ka.

Tufarellin ym. (2012) kokeessa kontrolliruokinnassa käytettiin soijarouhetta väkirehussa 150 g/kg ka ja koeruokinnassa soijarouhe korvattiin härkämpavulla 345 g/kg ka. Ruokinnoissa oli myös mukana muita valkuaisen lähteitä kuten aurin gonkukan siemenrouhetta. Tufarellin ym. (2012) kokeen väkirehun raakavalkuaispitoisuudet olivat 170 g/kg ka kontrolliruokinnalla ja 169 g/kg ka koeruokinnalla. Volpelli ym. (2010) kokeen väkirehun raakavalkuaispitoisuus oli keskimäärin 160 g/kg ka kontrolliruokinnassa ja 166 g/kg ka koeruokinnalla eli ne olivat samaa luokkaa Tufarellin ym. (2012) kokeen väkirehun raakavalkuaispitoisuuksien kanssa.

Volpelli ym. (2010) ja Tufarellin ym. (2012) kokeiden tulokset olivat samankaltaiset. Soijarouheen korvaaminen härkämpavulla ei vaikuttanut lehmien rehujen syöntiin eikä maitotuotokseen tai maidon koostumukseen. Tufarellin ym. (2012)

kokeessa soijan korvaamisella härkävavulla ei ollut vaikutusta myöskään lehmien elopainoon tai kuntuokkaan. Molemmissa kokeissa maidon sekä veren ureapitoisuudet vähentyivät tilastollisesti merkitsevästi. Sekä Volpellin ym. (2010) että Tufarellin ym. (2012) kokeissa ureapitoisuuksien vähentymisen syyksi arveltiin härkävavun valkuaisen heikompaa hajoavuutta pötsissä. Molemmissa kokeissa härkävavun lämpökäsiteltiin, minkä arveltiin vaikuttaneen härkävavun valkuaisen hajoavuuteen pötsissä.

Volpelli ym. (2012) korvasivat kahdessa kokeessa soijan lypsylehmien ruokinnassa kokonaan härkävavun ja herneen seoksella. Kontrolliruokinnassa oli soijarouhetta 110 g/kg ja koeruokinnassa soija korvattiin kokonaan härkävavulla 100 g/kg ja herneellä 150 g/kg. Pelkän härkävavun raakavalkuaisen pitoisuus oli 259 g/kg ka ja herneen 206 g/kg ka. Kontrolliruokinnan väkirehun raakavalkuaispitoisuus oli 155 g/kg ka ja koeruokinnan väkirehun 154 g/kg ka.

Volpellin ym. (2012) kokeessa ruokinnat eivät aiheuttaneet merkitseviä eroja lehmien rehun syönnissä, maitotuotoksessa tai maidon koostumuksessa. Veren ureapitoisuus lisääntyi koeruokinnalla, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ja fysiologisesta näkökulmasta arvot pysyivät koko ajan viitearvojen sisällä. Tutkimuksen perusteella soijarouhe voitaisiin korvata kokonaan lehmien ruokinnassa härkävavun ja herneen seoksella.

Huhtanen ym. (2011) teki meta-analyysin rypsiä ja soijaa vertailevista kokeista. Meta-analyysissä käytettiin 122 kokeen tuloksia, joissa erilaisia käsittelyitä oli yhteensä 292. Kaikissa kokeissa ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin korvaamalla ruokinnan energialisää valkuaislisällä. Tilastollisen analyysin avulla vertailtiin eri valkuaislähteiden vaikutusta lehmien maitotuotokseen. Rypsin ja soijan vertailussa molemmat valkuaisen lähteet lisäsivät lehmien rehun syöntiä, mutta syöntiä lisäsi tilastollisesti merkitsevästi enemmän rypsi kuin soija. Myös lehmien maitotuotos ja valkuaisuotosto lisääntyivät enemmän syötettäessä rypsiä kuin soijaa. Huhtasen ym. (2011) yhteenvedossa valkuaislähteiden vaikutusten erot lehmien kokonaiskuiva-aineen syönnissä ja tuotoksessa liittyvät eroihin lehmien ravintoaineiden saannissa.

Khalili ym. (1999) vertailivat kokeessaan rypsin ja rehuherneen tuotantovaikutuksia luomumaidontuotannossa. Kokeessa oli neljä erilaista ruokintaa. Kontrolliruokinta muodostui kauran ja ohran seoksesta (1:1) ja kolmessa muussa ruokinnassa osa kaurasta ja ohrasta korvattiin kolmella erilaisella valkuaislisällä. Valkuaislisiä olivat rypsirouhe, murskattu rehuherne ja rehuherneen sekä murskatun rypsin seos. Rypsirouhetta ruokinnassa oli 218 g/kg ka, rehuhernettä 452 g/kg ka ja rypsin sekä rehuherneen seoksessa oli rehuhernettä 321 g/kg ka ja rypsiä 155 g/kg ka. Lehmät saivat syödä kokeessa vapaasti toisen sadon puna-apilanurmis-äilörehua.

Khalilin ym. (1999) kokeessa ruokinnan valkuaislisistä ohutsuoletta imeytyvän valkuaisen määrä oli suurin rypsirouheella. Orgaanisen aineen ja NDF:n sulavuudet olivat alhaisimmat myös syötettäessä rypsirouhetta. Ohutsuoletta imeytyvien aminohappojen määrä vähentyi ja rasvan sulavuus parantui, kun osa rehuherneestä korvattiin rypsillä verrattuna pelkkää rehuhernettä sisältäneeseen ruokintaan. Rypsirouhe lisäsi maitotuotosta, energiakorjattua maitotuotosta, valkuais- tuotosta ja maidon ureapitoisuutta enemmän verrattuna kontrolliruokintaan. Ty- pen hyödyntäminen vähentyi syötettäessä rypsirouhetta verrattuna kontrolliruokintaan. Valkuaistuotos oli suurempi käytettäessä rypsirouhetta verrattuna muihin valkuaislisiin. Energiakorjattu maitotuotos ja maidon rasvapitoisuus lisääntyivät, kun osa herneestä korvattiin rypsillä. Samalla myös rehuhyötysuhde parantui, mutta valkuaisuus ja maidon ureapitoisuus vähentyivät, kun osa rehuherneestä korvattiin rypsillä.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET JA HYPOTEESIT

Tämän maisterintutkielman tavoitteena oli tutkia, miten härkäpavun kaksi eri anostustasoa vaikuttavat lypsylehmien maitotuotokseen rypsirouheeseen verrattuna, kun karkearehuna käytetään heinäkasvisäilörehua. Hypoteesina oli, että härkäpavulla ei voi korvata kokonaan rypsiä ilman maitotuotoksen vähentymistä, mutta rypsin osittainen korvaaminen härkäpavulla on mahdollista ilman maitotuotoksen vähentymistä. Lisäksi oletettiin, että korkeammalla valkuaistasolla rypsin korvaamisen vaikutukset ovat suuremmat kuin matalammalla valkuaistasolla. Härkäpavun käyttöä voi rajoittaa lehmien ruokinnassa myös sen vähäinen metioniinin määrä verrattuna rypsiin.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Koejärjestelyt ja eläimet

Koe tehtiin 5.1.2013–9.3.2013 Viikin opetus- ja tutkimustilan navetassa osana Kotipalko-hanketta. Kokeessa oli mukana yhteensä kaksitoista ayrshire-rotuista lehmää, joista kuusi oli poikunut vähintään kaksi kertaa. Loput kuusi lehmää olivat ensimmäisen kerran poikineita hiehoja. Kokeen ajan lehmät olivat kytkettyinä parteen.

Koe järjestettiin cyclic change over –koemallin mukaisesti (Davis ja Hall 1969) (taulukko 1). Kokeessa oli kaksi kuuden lehmän blokkia. Blokin yksi muodostivat vähintään kaksi kertaa poikineet lehmät ja blokin kaksi muodostivat ensimmäisen kerran poikineet hiehot. Kokeen alussa lehmien poikimisesta oli kulunut keskimäärin 115 päivää (keskihajonta 19,7). Lehmien elopaino oli kokeen alussa keskimäärin 629 kg (74,9) ja kokeen lopussa 612 kg (64,4). Lehmien kuntoluokan keskiarvo oli kokeen alussa sekä lopussa 3,25.

Kokeen väkirehuista muodostettiin kuusi erilaista koekäsittelyä 2 x 3 faktoriaalisen asetelman mukaisesti eli kokeessa oli kaksi valkuaistasoa (matala ja korkea) ja kolme valkuaislähdettä (rypsirouhe, rypsirouheen ja härkäpavun seos sekä

härkäpapu). Koe muodostui kolmesta jaksosta. Jokainen jakso kesti kolme viikkoa. Jakson kaksi ensimmäistä viikkoa olivat totutusruokintaa (14 vrk) ja kolmas viikko oli keruuviikko (7 vrk).

Taulukko 1. Koekaavio

	Blokki 1						Blokki 2					
Eläin	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jakso I	RM ¹	RHM ²	HM ³	RK ⁴	RHK ⁵	HK ⁶	RM	RHM	HM	RK	RHK	HK
Jakso II	RK	RHK	HK	RM	RHM	HM	HK	RM	RHM	HM	RK	RHK
Jakso III	RHK	HK	RM	RHM	HM	RK	RHM	HM	RK	RHK	HK	RM

¹Rypsi, matala valkuaistaso ²Rypsin ja härkäpavun seos, matala valkuaistaso ³Härkäpapu, matala valkuaistaso ⁴Rypsi, korkea valkuaistaso ⁵Rypsin ja härkäpavun seos, korkea valkuaistaso ⁶Härkäpapu, korkea valkuaistaso

4.2 Rehut ja ruokinta

Kokeessa käytetty karkearehu oli ensimmäisen sadon timotei-nurminatasäilörehua, joka oli säilötty laakasiiloon. Säilöntäaineena oli muurahaishappopohjainen säilöntäaine (AIV 2 Plus 5 l/t, Kemira Oyj), joka sisälsi 760 g/kg muurahaishappoa ja 55 g/kg ammoniumformiaattia. Säilörehusta määritettiin kuiva-aine (ka) ja pH kerran viikossa koko kokeen ajan. Lisäksi keruuviikoilla kerättiin erikseen säilörehunäytettä jokaisen rehunjaon yhteydessä rehuanalyysiä ja erikoisanalyysiä varten. Näyte kerättiin jokaisen säilörehun jaon yhteydessä niin, että päivän aikana kerättiin näytettä yhteensä kahden kilogramman verran. Saman keruuviikon rehunäytteet yhdistettiin ja ne säilytettiin pakkasessa.

Lehmät saivat syödä säilörehua vapaasti siten, että annetusta säilörehusta jäi jätettä vähintään 5 prosenttia. Säilörehu jaettiin käsin kolme kertaa vuorokaudessa (klo 10:30, 15:00, 18:00) yksilöllisiin, punnitseviin rehukuppeihin (Rouhage Intake Control, Insentec, Marknesse, Alankomaat). Säilörehua jaettaessa rehukuppien syöntiesteet nostettiin yläasentoon. Lehmillä oli myös vettä tarjolla vapaasti sekä pääsy suolakiville halutessaan koko kokeen ajan.

Väkirehut olivat teollisesti valmistettuja ja pelletöityjä väkirehujä (taulukko 2). Useamman kerran poikineet lehmät saivat väkirehua 12 kg/pv ja ensikot 10 kg/pv. Matalan ja korkean valkuaistason ruokinnassa ensikot saivat härkäpapua 1,3 ja

3,1 kg ka/pv ja useamman kerran poikineet lehmät saivat 1,6 ja 3,7 kg ka/pv. Rypsirouhetta ensikot saivat 1,1 ja 2,7 kg ka/pv ja useamman kerran poikineet lehmät 1,4 ja 3,2 kg ka/pv. Ruokinnat muodostettiin niin, että rypsiä ja härkävavusta saatava raakavalkuaisen määrä oli sama. Rypsirouheen ja härkävavun seoksessa puolet raakavalkuaisesta tuli rypsirouheesta ja puolet härkävavusta. Matalan valkuaispitoisuuden ruokinnan (RV154) väkirehujen raakavalkuaispitoisuus oli 154 g/kg ka ja korkean valkuaispitoisuuden ruokinnan (RV190) raakavalkuaispitoisuus oli 190 g/kg ka.

Taulukko 2. Koeväkirehujen koostumus

Raaka-aine, %	Ma- tala ¹ R ³	Matala R/HP	Matala HP ⁴	Korkea ² R	Korkea R/HP ⁵	Korkea HP
Rypsirouhe	12,9	6,46	-	30,4	15,2	-
Härkävavu	-	7,51	15,0	-	17,5	35,0
Melassileike	20,3	20,0	19,7	15,9	15,3	14,6
Vehnä	19,9	19,6	19,3	15,7	15,1	14,5
Ohra	19,9	19,6	19,3	15,7	15,1	14,5
Kaura	19,9	19,6	19,3	15,7	15,1	14,5
Seosmelassi	3,79	3,76	3,73	3,51	3,44	3,37
Kalsiumkarbonaatti	0,96	1,04	1,12	0,77	0,95	1,14
Kasviöljy (rypsi)	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Magnesiumoksidi	0,39	0,42	0,45	0,30	0,37	0,45
Natriumvetykarbonaatti	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Natriumkloridi	0,43	0,44	0,45	0,46	0,48	0,51
Nauta-hivenaineseos K/Y	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Nauta-vitamiiniseos K/Y	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Nauta-biotiiniseos R/A/Y(sika)	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20

¹Ruokinnan raakavalkuaispitoisuus oli 154 g/kg ka ²Ruokinnan raakavalkuaispitoisuus oli 190 g/kg ka ³Rypsi

⁴Härkävavu ⁵Rypsin ja härkävavun seos

Väkirehuannos jaettiin viisi kertaa päivässä (klo 6:00, 8:30, 12:30, 17:00 ja 19:30) rehukuppeihin erikseen ripustettavista kupeista. Väkirehusta otettiin jokaisen jakson viimeisellä viikolla eli keruuviikolla päivittäin näytettä kuiva-ainemääritystä ja rehuanalyysiä varten. Väkirehua jaettaessa rehukuppien syöntiesteet nostettiin yläasentoon.

Rehunkulutusta seurattiin kirjaamalla jaettavan säilörehun määrä jokaisella jakokerralla. Säilörehujäännös kirjattiin joka päivä klo 10 ennen kuin rehukupit tyhjenettiin säilörehujätteestä. Aamuruokinnan jälkeen kirjattiin myös mahdollinen väkirehujäännös kerran päivässä. Lehmien päivittäinen karkearehun ja väkirehun kulutus laskettiin vähentämällä jäännösrehun määrä jaetusta säilörehun tai väkirehun määrästä.

4.3 Elopaino ja kuntoluokitus

Kokeen lehmät punnittiin eläinvaa'alla (CV 9600 Scale, Solotop Oy, Helsinki, Suomi) ennen kokeen alkua ja sen jälkeen kahtena peräkkäisenä päivänä samaan aikaan. Peräkkäisten päivien punnitustuloksista laskettiin keskiarvo.

Lehmät kuntoluokitettiin ennen kokeen alkua ja jokaisen jakson viimeisenä päivänä. Kuntoluokitukset suorittivat kaksi eri henkilöä ja he luokittivat kaikki koe-eläimet. Tulosten käsittelyssä käytettiin näiden luokitusten keskiarvoa. Kuntoluokituksessa arvioitiin kahdeksan kohtaa asteikolla 1-5 ja 0.25 pisteen tarkkuudella. Annetuista pisteistä laskettiin keskiarvona koe-eläimen kuntoluokka (Edmonson ym. 1989).

4.4 Maitotuotos ja maidon koostumus

Lehmät lypsettiin kaksi kertaa päivässä klo 6:00 ja 17:00 putkilypsykoneella (DeLaval, Tumba, Ruotsi). Lypsetty maitomäärä mitattiin jokaisella lypsykerralla (WB Auto Sampler, Tru-Test, Auckland, Uusi-Seelanti). Jokaisen jakson lopussa keruuviikolla otettiin maitonäytteet neljältä peräkkäiseltä lypsykerralta päivinä 17-19. Ensimmäinen maitonäyte otettiin 17. päivän illalla ja viimeinen otettiin 19. päivän aamulla. Maitonäytteet säilöttiin Bronop ol-pillerillä ja lähetettiin Valio Oy:n

aluelaboratorioon analysoitavaksi Seinäjoelle. Laboratoriossa maitonäytteistä analysoitiin rasva, valkuainen, laktoosi, urea ja solut. Näytteet analysoitiin lypsykerroittain ja jokaisen koe-eläimen näyte analysoitiin erikseen.

Samalla muiden maitonäytteiden kanssa otettiin myös suhteellinen maitonäyte jokaiselta lehmältä jokaisella keruuviikolla. Maitonäytettä otettiin 100 ml, minkä jälkeen ne laitettiin pakkaseen -20 °C ilman säilöntäpilleriä. Näytteistä analysoitiin maidon rasvahapot.

4.5 Virtsa- ja sontanäytteet

Virtsanäytteet otettiin kaikilta koe-eläimiltä kaksi kertaa jokaisen jakson keruuviiikon aikana. Ensimmäinen näyte kerättiin 17. päivänä klo 18:30–20:30 ja toinen näyte kerättiin 18. päivänä klo 5:30–7:30. Virtsanäytteitä kerättiin 300 millilitraa ämpäreihin. Keräyksen jälkeen virtsanäytteisiin lisättiin vahvaa rikkihappoa 10 ml, jotta saavutettaisiin pH 3 tai alle. Tämän jälkeen näytteet laimennettiin vielä suhteessa 1:10 tislamalla vedellä ja laitettiin pakkaseen -20 °C säilytykseen.

Sontanäytteet kerättiin kokeen jokaiselta koe-eläimeltä jokaisen jakson keruuviiikolla viitenä peräkkäisenä päivänä jakson päivinä 15–20. Sontanäytteiden avulla määritettiin rehujen kokonaissulavuus käyttämällä merkkiaineena happoon liukenematonta tuhkaa (AIA) (Van Keulen ja Young 1977). Sontanäytteet kerättiin kahdesti päivässä klo 8:00 ja 18:00 suoraan peräsuolesta. Näytteitä otettiin kerrallaan noin kolme desilitraa. Sontanäytteet laitettiin jokaisella keruuviikolla lehmäkohtaisesti astioihin ja niitä säilytettiin pakastimessa. Jokaisen keruuviiikon jälkeen kunkin jakson näytteet sulatettiin ja sekoitettiin huolellisesti. Sen jälkeen niistä otettiin näytteet kuiva-aineen ja typen määrittystä varten sekä analyysinäyte.

4.6 Verinäytteet

Verinäytteet otettiin jokaisen jakson keruuviiikon viimeisenä päivänä häntäsuonesta. Verinäytteet otettiin kolme kertaa päivässä klo 5:30, 8:30 ja 11:30. Näyt-

teitä otettiin kolme kymmenen millilitran vakuumputkellista jokaisella näytekeralla. Kaksi vakuumputkista oli EDTA-putkia ja yksi oli hepariiniputki, jonka näytteestä määritettiin veren etikkahapon pitoisuus. Näytteiden oton jälkeen putket pidettiin jäissä näytteiden jatkokäsittelyyn saakka. Eri näytteidenottoaikojen verinäytteistä yhdistettiin plasmanäytteet, joista määritettiin glukoosi, insuliini, vapaat rasvahapot (NEFA), betahydroksivoihappo (BHBA), etikkahappo ja aminohapot.

4.7 Näytteiden analysointi

Säilö- ja väkirehunäytteistä analysoitiin primäärinen ja sekundäärinen kuiva-aine, tuhka, raakavalkuainen, aminohapot, NDF, iNDF ja AIA. Säilörehusta määritettiin myös pH, maitohappo, haihtuvat rasvahapot, etanoli, vesiliukoiset hiilihydraatit, ammoniuntyppi ja *in vitro* -sulavuus. Väkirehuista tehtiin aiemmin mainittujen määritysten lisäksi HCl-rasva ja tärkkelys. Sontanäytteistä määritettiin primäärinen ja sekundäärinen kuiva-aine, tuhka, typpi, tärkkelys, NDF, iNDF ja AIA.

Primäärinen kuiva-aine määritettiin kuivaamalla näytteitä 20–24 tunnin ajan lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) 103 °C:ssa. Pakastetut näytteet sulatettiin ja kuivattiin analyysinäytteiksi ensin lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) 103 °C:ssa tunnin ajan. Sen jälkeen niitä kuivattiin vielä kahden vuorokauden ajan 50 °C:ssa. Kuivatut näytteet jauhettiin vasaramyllyllä (sakomylylly KT-3100, Koneteollisuus Oy, Helsinki, Suomi). Kuivatut rehunäytteet jauhettiin 1 mm:n seulalla ja sontanäytteet 1,5 mm:n seulalla.

Sekundäärinen kuiva-aine määritettiin kuivattamalla jauhettuja rehu- ja sontanäytteitä lämpökaapissa (Memmert, Memmert GmbH, Schwabach, Saksa) 103 °C:ssa 17 tunnin ajan. Tuhka määritettiin näytteistä polttamalla näytteitä muhveliunissa (Heraeus termicon T, Heraeus, Hanau, Saksa) 600 °C:ssa 20–24 tunnin ajan. Näytteiden typpipitoisuus määritettiin Kjeldahl –menetelmällä (AOAC 1995), jossa käytettiin Tecator –polttolaitetta (Tecator Digestion Auto ja Tecator Scubber) sekä tislauksen ja titrauslaitteistoa (FOSS Kjeltex Auto 2300, Foss, Hillerød, Tanska). Rehu- ja sontanäytteiden NDF määritettiin kuuma- ja kylmäuuttolaitteella (Tecator Fibertec System 1020/1021, Foss, Hillerød, Tanska) Van

Soestin ym. (1991) mukaan. NDF:n määrittämisessä käytetään natriumsulfaattia. NDF-tulokset on ilmaistu jäännöstuhkan kanssa. iNDF-pitoisuudet määritettiin 12 vuorokauden nailonpussiuitolla kahden lehmän pötsissä (Ahvenjärvi ym. 2000).

Säilörehunäytteistä määritettiin maitohappo kolorimetrisellä menetelmällä (Barker ja Summerson 1941) ja spektrofotometrillä (Shimadzu UV-VIS minin1240, Shimadzu Europa, GmbH, Duisburg, Saksa). Haihtuvat rasvahapot määritettiin nestekromatografisesti (Waters Acquity UPLC, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat) ja kolonnilla (186004097, Waters MassTrak AAA, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat). Rehunäytteiden aminohappojen määrittämiseksi näytteet hydrolysoitiin Korhosen ym. (2002) kuvaamalla tavalla noudattaen direktiiviä 98/64/EC (European Commission, 1998). Hydrolysoidut näytteet analysoitiin UPLC-laitteella (Waters Acquity UPLC, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat), jossa käytettiin BEH C18 kolonnia (100 x 2.1 mm) valmistajan ohjeiden mukaisesti. Etanoli määritettiin säilörehunäytteistä kolorimetrisellä menetelmällä entsyymikittiä käyttäen (cat. No 176290, R-Biopharm AG, Darmsatdt, Saksa) spektrofotometrisesti (Shimadzu UV-VIS minin1240, Shimadzu Europa, GmbH, Duisburg, Saksa). Vesiliukoiset hiilihydraatit määritettiin spektrofotometrisesti (Shimadzu UV-VIS minin1240, Shimadzu Europa, GmbH, Duisburg, Saksa) (Somogyi 1945, Salo 1965). Ammoniumtyppi määritettiin McCulloughin menetelmällä (1967) spektrofotometrisesti (Shimadzu UV-VIS minin1240, Shimadzu Europa, GmbH, Duisburg, Saksa). Väikirehunäytteiden tärkkelys määritettiin Salon ja Salmen (1968) kolorimetrisen menetelmän mukaan spektrofotometrisesti (Shimadzu UV-VIS minin1240, Shimadzu Europa, GmbH, Duisburg, Saksa). HCl-rasva määritettiin eetteriuutolla HCl-hydrolyysin jälkeen (Hydrolysis Unit, FOSS Soxtec 8000, FOSS Analytical, Hilleroed, Tanska).

Säilörehun *in vitro* -sulavuus määritettiin sellulaasi-pepsiini-menetelmällä (Friedel 1990) käyttäen Nousiaisen ym. (2003) muunnelmaa. Säilörehun pH mitattiin pH-mittarilla (S20 SevenEasy™ pH, Mettler-Toledo Ltd, Leicester, Iso-Britannia) heti rehunäytteen keräämisen jälkeen näytteestä puristetusta nesteestä.

Virtsanäytteistä määritettiin virtsan typpipitoisuus ja puriinijohdannaiset eli allantoiini, kreatiniini ja virtsahappo. Virtsan typpipitoisuus määritettiin Kjeldahl -menetelmällä (AOAC 1995). Puriinit määritettiin nestekromatografilla (Waters Acquity UPLC, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat) kolonnilla (186003540, Acquity UPLC HSS T3, Waters Corporation Milford, MA, Yhdysvallat) Georgen ym. (2006) menetelmän mukaan. Siihen tehtiin tarvittavat muutokset virtauksen alentamiseksi 0,6 ml/min.

Verinäytteistä analysoitiin plasman glukoosi-, NEFA- ja insuliinipitoisuus Salinin ym. (2012) kuvaamalla menetelmillä. Glukoosipitoisuuden määrittämiseen käytettiin kittiä (Glucose GOD-POD kit, terho Fisher Scientific Oy, Vantaa, Suomi) ja KONEPro Selective Chemistry Analyzer (Thermo Electron Oy, Vantaa, Suomi) –analysaattoria valmistajan kuvailemalla menetelmällä. NEFA-pitoisuuden määrittämiseen käytettiin kittiä (NEFA-HR(2) kit, Wako Chemicals GmbH, Neuss, Saksa) ja samaa laitetta kuin glukoosipitoisuuden määrittämiseen. BHBA-pitoisuuden määrittämisessä käytettiin entsyymikittiä (Ranbut kit, Randox Laboratories, Crumlin, Iso-Britannia) ja samaa laitetta kuin glukoosin ja NEFA:n pitoisuuksien määrittämiseen. Insuliinipitoisuuden määrittämiseen käytettiin kittiä (RIA kit, GL-32K; Millipore Oy, Espoo, Suomi). Verinäytteiden etikkahappopitoisuus määritettiin valmistajan esittämällä menetelmällä entsyymikitin avulla (10148261035, R-Biopharm AG, Darmstadt, Saksa) ja spektrofotometrisesti (Shimadzu UV-VIS mini 1240, Shimadzu Europa GmbH, Duisburg, Saksa). Plasman aminohapot määritettiin verinäytteistä nestekromatografilla (Waters Acquity UPLC, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat) ja kolonnilla (186004097, Waters MassTrak AAA, Waters, Milford, MA, Yhdysvallat) sen jälkeen, kun näytteet oli ensin saostettu 10 %:lla sulfosalisyylilihapolla.

Suhteellisten maitonäytteiden rasvahapot määritettiin liekki-ionisaattorilla varustetulla kaasukromatografilla (Shimadzu QP, Shimadzu, Kyoto, Japani) Stammin (2015) kuvaaman menetelmän mukaan. Kaasukromatografissa käytetyn silikonisen kapillaarikolonnin (pituus 100 m, halkaisija 0,25 mm) sisäpinta oli päällystetty 0.2 µm syaanipropyli-polysiloksaanikalvolla (CP-SIL 88, Agilent J&W, Santa Clara, Kanada) ja kantajakaasuna käytettiin heliumia. Kaasukromatogrammien piikit tunnistettiin vertaamalla niiden retentioaikoja standardien (GLC463, Nu-

Chek Prep, Elysian, MN; 10-2800-7, 10-2100-9, 10-2600-12, 21-1600-8, 21-1412-7, 21-1614-7, 21-1413-7, 21-1615-7 Larodan, Malmö, Ruotsi) retentioaikoihin.

4.8 Tulosten laskenta ja tilastollinen analyysi

Säilörehun primäärisen kuiva-aineen tulokset korjattiin haihtuvien yhdisteiden osalta Huidan ym. (1986) mukaan. Säilörehun, väkirehujen ja sonnan orgaaninen aine laskettiin kuiva-aineen ja tuhkan erotuksena. Säilörehun muuntokelpoinen energia (ME) laskettiin rehun sisältämän sulavan orgaanisen aineen (D-arvo) avulla kertomalla D-arvo luvulla 0,016 (Luke 2016). Väkirehujen muuntokelpoinen energia laskettiin hyödyntämällä kotimaisten rehutaulukoiden (Luke 2016) arvoja väkirehujen raaka-aineille. Energiakorjattu maitotuotos (EKM) laskettiin Sjaunjan ym. (1990) mukaan

Säilörehun ohutsuolesta imeytyvä valkuainen (OIV) ja pötsin valkuaisosa (PVT) laskettiin rehujen kemiallisen koostumuksen ja rehutaulukoiden vakioiden avulla (Luke 2016).

Lehmien muuntokelpoisen energian saanti (ME MJ/pv) korjattiin seuraavan yhtälön mukaan (Luke 2016):

$$\text{Korjattu ME-saanti (MJ/pv)} = \text{Korjaamaton ME-saanti (MJ/pv)} - (-56,7 + 6,99 * \text{MEyp} + 1,621 * \text{ka-syönti} - 0,44595 * \text{rv-pit} + 0,00112 * \text{rv-pit}^2)$$

jossa

ka-syönti = kuiva-aineen syönti, kg/pv

MEyp = rehuannoksen korjaamaton ME-pitoisuus, MJ/kg ka

rv-pit = rehuannoksen raakavalkuaispitoisuus, g/kg ka

Lehmien korjattua ME-saantia käytettiin lehmien energiataseen laskentaan. Energiatase laskettiin vähentämällä korjatusta ME-saannista lehmien ME:n

tarve ylläpitoon ja maidontuotantoon. Lehmien ME:n ja OIV:n tarve ylläpitoon ja maidontuotantoon laskettiin kotimaisten rehutaulukoiden suositusten mukaan (Luke 2016).

Kuiva-aineen näennäinen sulavuus laskettiin seuraavan kaavan mukaan:

$$\text{sulavuus ka} = \frac{\text{rehu ka (kg)} - \text{sonta ka (kg)}}{\text{rehun ka (kg)}}$$

Saman kaavan avulla laskettiin myös orgaanisen aineen ja raakavalkuaisen näennäinen sulavuus sekä NDF:n ja tärkkelyksen sulavuus.

Typen hyväksikäyttö maidontuotantoon laskettiin seuraavan kaavan mukaan:

$$\text{typen hyväksikäyttö} = \frac{\text{maidon typpi}}{\text{typen saanti}}$$

Muuntokelpoisen energian hyväksikäyttö laskettiin seuraavan kaavan mukaan:

$$\text{energian hyväksikäyttö} = \frac{\text{maidon energia}}{\text{ME:n saanti} - \text{ME:n tarve ylläpitoon}}$$

OIV:n hyväksikäyttö laskettiin seuraavasti:

$$\text{OIV:n hyväksikäyttö} = \frac{\text{maidon valkuaistuotos}}{\text{OIV:n saanti} - \text{OIV:n tarve ylläpitoon}}$$

Typpitase laskettiin seuraavasti:

$$\begin{aligned} \text{typpitase (g/pv)} &= \text{N syönti (g/pv)} - (\text{N maito (g/pv)} + \text{N sontra (g/pv)} \\ &+ \text{N virtsa (g/pv)}) \end{aligned}$$

Rehun kuiva-aineen hyväksikäyttö laskettiin jakamalla energiakorjattu maitotuos kokonaiskuiva-aineen syönnillä. Rehusta saatavan typen hyväksikäyttö laskettiin jakamalla maidosta erittyvän typen määrä rehusta saatavan typen määrällä.

Päivittäinen virtsan määrä arvioitiin Valadaresin ym. (1999) menetelmän mukaan päivittäisestä virtsan kreatiinin pitoisuudesta. Poikkeuksena oli se, että kreatiinin eritysnopeus oli 25 mg/kg elopaino. Se määritettiin aiemman kokeen kokonaisvirtsan keruun perusteella (Puhakka ym. julkaisematon). Arvioitua virtsan eritystä käytettiin, kun laskettiin päivittäinen kokonaistypen erityys, virtsassa erittyvä typen määrä ja puriinijohdannaiset allantoiini ja virtsahappo. Virtsan puriinin johdannaisen eritystä käytettiin, kun laskettiin mikrobitypen virtausta pötsistä (Chen ja Gomez 1992).

Tulosten tilastollisessa analyysissä käytettiin kokeen jaksojen viimeisten viikkojen eli keruuviikkojen tuloksia. Tulosten tilastollinen käsittely tehtiin SAS 9.4:n Mixed –proseduuria käyttäen.

$$y_{ijklm} = \mu + S_i + A(S)_{ij} + P_k + D_l + (S * D)_{il} + F_{ijklm}$$

jossa

μ = keskiarvo

S = neliön vaikutus

A(S) = eläimen vaikutus blokin sisällä

P = jakson vaikutus

D = ruokinnan vaikutus

(S *D) = blokin ja ruokinnan yhdysvaikutus

F = virhetermi

Ortogonaalisia kontrasteja hyödynnettiin käsittelyjen tilastollisten erojen testaamiseen. Kokeessa muodostettiin yhteensä viisi ortogonaalista kontrastia. Ensimmäisen kontrastin avulla vertailtiin matalan ja korkean valkuais-tason vaikutusta. Toisella kontrastilla vertailtiin valkuaislähteen eli rypsin ja härkävun vaikutusta.

Kolmannella ortogonaalisella kontrastilla testattiin rypsin ja härkäpavun yhdysvaikutusta. Neljännellä kontrastilla testattiin onko ensimmäisellä ja toisella kontrastilla yhdysvaikutusta eli onko valkuaistasolla ja valkuaislähteellä yhdysvaikutusta. Viidennellä kontrastilla testattiin ensimmäisen ja kolmannen kontrastin yhdysvaikutusta eli onko valkuaistasolla yhteyttä valkuaislähteiden yhdysvaikutukseen.

Tilastollisissa analyyseissä pidettiin merkitsevän eron rajana P-arvoja, joissa $P < 0,001$ on erittäin merkitsevä, $P < 0,01$ on hyvin merkitsevä ja $P < 0,05$ on merkitsevä ja $P < 0,1$ on suuntaa antava.

5 TULOKSET

5.1 Rehujen kemiallinen koostumus

Säilörehu oli melko märkää kuiva-ainepitoisuuden ollessa 222 g/kg ka (taulukko 3). Säilörehun laatu oli hyvä, koska pH oli 3,79 eikä rehussa ollut virhekäymistä. Ammoniumtyypen määrä oli 46,7 g/kg N. Säilörehun D-arvo oli 719 g/kg ka.

Väkirehujen tärkkelyspitoisuus vaihteli eri ruokinnoissa ollen rypsirehun RV154-ruokinnalla 312 g/kg ka ja RV190-ruokinnalla 267 g/kg ka. Härkäpapurehun tärkkelyspitoisuudet olivat vastaavasti 352 g/kg ka ja 361 g/kg ka. NDF:n ja iNDF:n pitoisuudet olivat suuremmat rypsirehua sisältäneissä väkirehuissa kuin pelkkää härkäpapurehua sisältäneissä väkirehuissa. Lisäksi rypsirehun HCl-rasvan pitoisuudet olivat suuremmat kuin härkäpapurehun. Väkirehujen energiapitoisuus vaihteli välillä 12,3-12,6 MJ/kg ka. Härkäpapurehun ME-pitoisuus oli hie-man suurempi kuin rypsirehun.

Histidiinin pitoisuus rypsirehussa oli RV154- ruokinnalla 2,1 g/100 g RV ja RV190-ruokinnalla 2,2 g/100 g RV. Metioniinin pitoisuus rypsirehussa oli RV154-ruokinnalla 1,5 g/100 g RV ja RV190-ruokinnalla 1,6 g/100 g RV. Härkäpapurehussa histidiiniä oli yhtä paljon kuin rypsirehussa sekä RV154-ruokinnassa että RV190-ruokinnassa. Metioniinia härkäpapurehussa oli puolestaan RV154-ruokinnalla 1,3 g/100 g RV ja RV190-ruokinnassa 1,2 g/ 100 g RV.

Taulukko 3. Rehujen kemiallinen koostumus ja laskennallinen rehuarvo

	Säilörehu	Matala ¹ R ³	Matala R/HP	Matala HP ⁴	Korkea ² R	Korkea R/HP ⁵	Korkea HP
Kuiva-aine g/kg	222	874	874	874	875	875	875
pH	3,79						
Kuiva-aineessa, g/kg							
Tuhka	69,1	63,3	61,4	59,5	67,00	62,6	58,2
Raakavalkuainen	171	154	154	154	190	190	189
Tärkkelys		312	332	352	267	314	361
NDF ⁶	529	215	207	198	223	203	184
iNDF ⁷	74,0	73,9	65,3	56,6	86,1	65,8	45,5
Veteen liukenevat hiilihydraatit	61,9	125	126	126	123	124	126
Maitohappo	59						
Etikkahappo	18						
Propionihappo	0,09						
Voihappo	0,46						
HCl-rasva		28,0	26,4	24,9	34,4	30,7	26,9
D-arvo ⁸	719						
ME ⁹ , MJ/kg ka	11,5	12,5	12,6	12,6	12,3	12,4	12,6
OIV ¹⁰	87,9	106	105	105	119	117	115
PVT ¹¹	40,2	1,8	1,4	0,9	33,1	31,9	30,6
Ammoniumtyppi	46,7						
Aminohapot, g/100 g RV ¹²							
Arginiini	4,3	4,9	5,4	5,9	5,2	6,2	7,1
Histidiini	1,5	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2
Isoleusiini	3,5	3,2	3,2	3,2	3,4	3,4	3,5
Leusiini	6,1	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,2
Lysiini	3,9	3,4	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3
Metioniini	1,8	1,5	1,4	1,3	1,6	1,4	1,2
Fenyylialaniini	4,3	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	4,0
Tryptofaani	3,4	3,2	3,1	3,0	3,5	3,3	3,2
Valiini	4,4	4,1	4,1	4,0	4,3	4,2	4,1
ΣEAA ¹³	34	33	33	34	35	35	36
ΣNEAA ¹⁴	45	46	46	46	45	46	46
ΣTAA ¹⁵	69	78	79	80	80	81	83

¹Ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 154 g/kg ka ²Ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 190 g/kg ka ³Rypsi ⁴Härkäpuru ⁵Rypsin ja härkäpavun seos ⁶Neutraalidetergenttikuitu ⁷Sulamaton kuitu ⁸Sulava orgaaninen aine ⁹Muuntokelpoinen energia ¹⁰Ohutsuolesta imeytyvä valkuainen ¹¹Pötsin valkuaisaste ¹²Raakavalkuainen ¹³Välttämättömien aminohappojen summa (Arg, His, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr ja Val) ¹⁴Ei-välttämättömien aminohappojen summa (Ala, Asp, Cys, Glu, Gly, Pro, Ser, ja Tyr) ¹⁵Kaikkien aminohappojen summa

5.2 Rehujen syönti ja ravintoaineiden saanti

Korvattaessa rypsiä härkävavulla lehmien säilörehun syönti ja kokonaissyönti vähentyivät lineaarisesti, mutta vähemmän RV154-ruokinnalla kuin RV190-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,01$) (taulukko 4). RV154-ruokinnalla säilörehun syönti vähentyi 0,9 kg ka/pv ja RV190-ruokinnalla 2,2 kg ka/pv, kun rypsi korvattiin kokonaan härkävavulla.

Orgaanisen aineen ja NDF:n saannit vähentyivät lineaarisesti, kun rypsiä korvattiin härkävavulla, mutta vähemmän RV154-ruokinnalla kuin RV190-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,05$). Orgaanisen aineen saanti laski RV154-ruokinnalla 0,8 kg/pv ja RV190-ruokinnalla 2,0 kg/pv. NDF:llä vastaavat luvut olivat 0,6 kg/pv ja 1,6 kg/pv. Rypsin korvaaminen härkävavulla vähensi raakavalkuaisen saantia, mutta vähemmän RV154-ruokinnalla kuin RV190-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,01$). RV154-ruokinnalla raakavalkuaisen saanti väheni 0,1 kg/pv ja RV190-ruokinnalla 0,4 kg/pv, kun rypsi korvattiin härkävavulla. RV190-ruokinnoilla raakavalkuaisen saanti oli keskimäärin 0,3 g/kg ka suurempi kuin RV154-ruokinnoilla ($P < 0,001$).

Tärkkelyksen saanti lisääntyi lineaarisesti korvattaessa rypsiä härkävavulla ja lisäyksen määrä oli suurempi RV190-ruokinnalla kuin RV154-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,001$). RV154-ruokinnalla tärkkelyksen saanti lisääntyi 0,3 kg/pv ja RV190-ruokinnalla 0,9 kg/pv. Tärkkelyksen saanti oli myös suurempaa RV154-ruokinnoilla kuin RV190-ruokinnoilla ($P < 0,001$). Tärkkelyksen saanti oli keskimäärin 3,3 kg/pv RV154-ruokinnoilla ja 3,1 kg/pv RV190-ruokinnoilla.

ME:n ja OIV:n saanti vähenivät lineaarisesti korvattaessa rypsiä härkävavulla ja vähennys oli suurempi RV190-ruokinnalla kuin RV154-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,05$). ME:n saanti vähentyi RV154-ruokinnalla 8 MJ/pv ja RV190-ruokinnalla 21 MJ/pv, kun rypsi korvattiin härkävavulla. Vastaavat luvut OIV:lle olivat 90 g/pv ja 231 g/pv. OIV:n saanti oli lisäksi suurempaa kaikilla RV190-ruokinnoilla kuin RV154-ruokinnoilla ($P < 0,001$). RV154-ruokinnoilla OIV:n saannin keskiarvo oli 1921 g/pv ja RV190-ruokinnoilla 2026 g/pv. PVT:n pitoisuus vähentyi, kun ryp-

siä korvattiin härkäpavulla ($P < 0,001$). PVT oli myös suurempi kaikilla RV190-ruokinnolla kuin RV154-ruokinnolla ($P < 0,001$). RV154-ruokinnolla PVT:n pitoisuuden keskiarvo oli 21,5 g/kg ka ja RV190-ruokinnolla 36,1 g/kg ka.

Kuiva-aineen ja orgaanisen aineen sulavuuteen rypsin korvaaminen härkäpavulla ei vaikuttanut RV154-ruokinnalla, mutta RV190-ruokinnalla sulavuudet paranivat (yhdysvaikutus $P < 0,05$). Raakavalkuaisen sulavuus lisääntyi, kun rypsiä korvattiin härkäpavulla, mutta vähemmän RV154-ruokinnalla kuin RV190-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,05$). Raakavalkuaisen sulavuus oli myös keskimäärin suurempi RV190-ruokinnolla (0,702) kuin RV154-ruokinnolla (0,676) ($P < 0,001$). Samoin tärkkelyksen sulavuus lisääntyi, kun rypsiä korvattiin härkäpavulla, mutta vähemmän RV154-ruokinnalla kuin RV190-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,001$). Tärkkelyksen sulavuus oli suurempi RV154-ruokinnolla (0,951) kuin RV190-ruokinnolla (0,946) ($P < 0,05$).

Taulukko 4. Syönti, ravintoaineiden saanti ja sulavuus.

	RV154 ¹			RV190 ²			SEM ⁷	Ortogonaaliset kontrastit ³				
	R ⁴	R/HP	HP ⁵	R	R/HP ⁶	HP		1	2	3	4	5
Syönti ja ravintoaineiden saanti												
Säilörehu, kg ka/pv	10,7	10,5	9,8	11,3	10,4	9,0	0,36	0,641	<0,001	0,246	0,009	0,923
Väkirehu, kg ka/pv	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	0,003					
Yhteensä, kg ka/pv	20,3	20,1	19,4	20,9	20,0	18,7	0,36	0,657	<0,001	0,240	0,009	0,924
Orgaaninen aine, kg/pv	19,0	18,8	18,2	19,5	18,7	17,5	0,34	0,609	<0,001	0,234	0,011	0,922
Raakavalkuainen, kg/pv	3,31	3,27	3,17	3,76	3,60	3,37	0,06	<0,001	<0,001	0,345	0,007	0,951
NDF ⁸ , kg/pv	7,74	7,53	7,11	8,11	7,44	6,56	0,19	0,386	<0,001	0,271	0,002	0,969
Tärkkelys, kg/pv	3,06	3,28	3,44	2,58	3,06	3,48	0,03	<0,001	<0,001	0,099	<0,001	0,893
ME ⁹ MJ/pv	226	224	218	232	224	211	3,6	0,771	<0,001	0,238	0,014	0,917
OIV ¹⁰ g/pv	1960	1933	1870	2135	2040	1904	32,1	<0,001	<0,001	0,254	0,004	0,929
PVT ¹¹ g/kg ka	21,9	21,6	21,0	36,9	36,2	35,3	0,27	<0,001	<0,001	0,305	0,146	0,945
Sulavuus												
Kuiva-aine	0,728	0,730	0,726	0,722	0,727	0,738	0,00411	0,708	0,058	0,903	0,030	0,260
Orgaaninen aine	0,742	0,746	0,741	0,738	0,743	0,753	0,0043	0,646	0,075	0,741	0,040	0,269
Raakavalkuainen	0,682	0,665	0,681	0,693	0,694	0,719	0,0059	<0,001	0,028	0,006	0,0243	0,609
NDF	0,624	0,647	0,608	0,632	0,627	0,607	0,0114	0,648	0,082	0,052	0,6974	0,213
Tärkkelys	0,948	0,951	0,954	0,931	0,946	0,961	0,0021	0,017	<0,001	0,907	<0,001	0,943

¹Matalan valkuaiaston ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 154 g/kg ka ²Korkean valkuaiaston ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 190 g/kg ka ³Tilastolliset vertailut, 1 = matala vs. korkea valkuaiastaso, 2 = rypsi vs. härkäpapu, 3 = rypsin ja härkäpavun yhdysvaikutus, 4 = yhdysvaikutus 1x2, 5 = yhdysvaikutus 1x3 ⁴Rypsi ⁵Härkäpapu ⁶Rypsin ja härkäpavun seos ⁷Keskiarvon keskivirhe ⁸Neutraalidetergenttikuitu ⁹Muuntokelpoinen energia ¹⁰Ohutsuoletta imeytyvä valkuainen ¹¹Pötsin valkuaiastase

5.3 Maitotuotos ja maidon koostumus

Maitotuotos vähentyi, kun rypsi korvattiin härkävavulla ($P < 0,001$) (taulukko 5). RV154-ruokinnalla maitotuotos oli 30,8 kg/pv syötettäessä pelkkää rypsiä ja 29,5 kg/pv syötettäessä pelkkää härkävavua. RV190-ruokinnalla vastaavat luvut olivat puolestaan 32,0 kg/pv syötettäessä rypsiä ja 28,9 kg/pv syötettäessä härkävavua. Energiakorjattu maitotuotos vähentyi myös lineaarisesti härkävavun korvauksessa rypsiä ($P < 0,001$).

Valkuais- ja laktoosituotokset vähenivät lineaarisesti, kun rypsiä korvattiin härkävavulla ($P < 0,01$). Rasvatuotokseen vaikutus oli suuntaa-antava, kun rypsi korvattiin härkävavulla ($P < 0,1$). Valkuaistuotos oli rypsihullalla 1040 g/pv RV154-ruokinnalla ja 1076 g/pv RV190-ruokinnalla. Härkävavulla valkuaistuotos oli 965 g/pv RV154-ruokinnalla ja 933 g/pv RV190-ruokinnalla.

Korvattaessa rypsi härkävavulla maidon valkuaispitoisuus vähentyi ($P < 0,001$). Maidon valkuaispitoisuus oli rypsiä syötettäessä 33,9 g/pv RV154-ruokinnalla ja 33,7 g/pv RV190-ruokinnalla. Härkävavua syötettäessä vastaavat luvut olivat 32,7 g/kg RV154-ruokinnalla ja 32,2 g/kg RV190-ruokinnalla.

Maidon valkuais/rasva-suhde vähentyi ja maidon ureapitoisuus lisääntyi, kun rypsi korvattiin härkävavulla ($P < 0,05$). Lisäksi maidon ureapitoisuus oli suurempi kaikilla RV190-ruokinnoilla verrattuna RV154-ruokintoihin ($P < 0,001$). RV190-ruokinnoilla maidon ureapitoisuus oli keskimäärin 35,7 mg/dl ja RV154-ruokinnoilla pitoisuuden keskiarvo oli 29,5 mg/dl.

OIV:n hyväksikäyttö oli suurempi RV154-ruokinnoilla kuin RV190-ruokinnoilla ($P = 0,001$). OIVtase oli myös pienempi RV154-ruokinnoilla kuin RV190-ruokinnoilla ($P < 0,001$).

Taulukko 5. Maitotuotos, maidon koostumus ja rehun hyväksikäyttö maidontuotantoon

	RV154 ¹			RV190 ²			SEM ⁷	Ortogonaaliset kontrastit ³				
	R ⁴	R/HP	HP ⁵	R	R/HP ⁶	HP		1	2	3	4	5
Tuotokset												
Maito, kg/pv	30,8	30,3	29,5	32,0	31,1	28,9	0,89	0,344	<0,001	0,368	0,101	0,638
EKM ⁸ , kg/pv	31,3	30,8	29,9	31,9	31,3	29,4	1,03	0,609	<0,001	0,241	0,260	0,450
Rasva, g/pv	1283	1275	1247	1286	1295	1230	53,7	0,932	0,065	0,258	0,687	0,484
Valkuainen, g/pv	1040	1002	965	1076	1019	933	33,4	0,695	<0,001	0,661	0,100	0,624
Laktoosi, g/pv	1413	1393	1352	1462	1423	1330	45,5	0,445	0,003	0,401	0,209	0,707
Maidon koostumus												
Rasva, g/kg	41,9	42,0	42,3	40,3	41,6	42,3	1,29	0,455	0,246	0,878	0,436	0,805
Valkuainen, g/kg	33,9	32,9	32,7	33,7	32,8	32,2	0,66	0,240	<0,001	0,216	0,582	0,656
Laktoosi, g/kg	45,9	46,0	45,8	45,6	45,8	46,0	0,40	0,553	0,540	0,776	0,280	0,830
Valk./rasva suhde	0,81	0,80	0,78	0,83	0,79	0,77	0,026	0,989	0,015	0,713	0,355	0,721
Urea, mg/dl	29,0	29,2	30,3	31,9	36,3	38,9	1,65	<0,001	0,011	0,875	0,071	0,578
EKM kg/kg ka	1,54	1,54	1,54	1,52	1,56	1,56	0,040	0,628	0,362	0,658	0,257	0,451
Energiatase, g/pv	0,97	1,61	-0,12	3,26	-1,29	-3,31	4,036	0,553	0,108	0,984	0,258	0,510
ME ⁹ hyväksikäyttö	0,61	0,61	0,61	0,60	0,62	0,62	0,015	0,720	0,173	0,823	0,252	0,503
OIV ¹⁰ hyväksikäyttö	0,71	0,70	0,70	0,66	0,66	0,65	0,018	0,001	0,379	0,818	0,953	0,600
OIVtase, g/pv	-16,7	10,0	3,8	96,4	92,3	98,7	35,38	0,001	0,630	0,781	0,713	0,577

¹Matalan valkuaispitoisuuden ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 154 g/kg ka ²Korkean valkuaispitoisuuden ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 190 g/kg ka ³Tilastolliset vertailut, 1 = matala vs. korkea valkuaispitoisuus, 2 = rypsi vs. härkäpapu, 3 = rypsin ja härkäpavun yhdysvaikutus, 4 = yhdysvaikutus 1x2, 5 = yhdysvaikutus 1x3 ⁴Rypsi ⁵Härkäpapu ⁶Rypsin ja härkäpavun seos ⁷Keskiarvon keskivirhe ⁸Energiakorjattu maitotuotos ⁹Muuntokelpoinen energia ¹⁰Pötsin valkuaispitoisuus

5.4 Typen hyväksikäyttö

Korvattaessa rypsiä härkäpavulla typen saanti vähentyi lineaarisesti, mutta vähemmän RV154-ruokinnalla kuin RV190-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P > 0,01$) (taulukko 6). RV154-ruokinnalla typen saanti vähentyi 24 g/pv ja RV190-ruokinnalla 63 g/pv, kun rypsi korvattiin härkäpavulla. Lisäksi typen saanti oli pienempi kaikilla RV154-ruokinnoilla kuin RV190-ruokinnoilla ($P < 0,001$). Typpitase pienentyi, kun rypsi korvattiin härkäpavulla ($P < 0,05$).

Typen erityis maidossa vähentyi korvattaessa rypsi härkäpavulla ($P < 0,001$). RV154-ruokinnalla typen erityis maidossa vähentyi 12 g/pv ja RV190-ruokinnalla 23 g/pv, kun rypsi korvattiin härkäpavulla. Myös typen erityis sonnassa vähentyi korvattaessa rypsi härkäpavulla ($P < 0,001$). RV190-ruokinnalla typen määrä sonnassa vähentyi 34 g/pv ja RV154-ruokinnalla 8 g/pv, kun rypsi korvattiin härkäpavulla. Typen erityis virtsassa oli suurempi RV190-ruokinnoilla verrattuna RV154-ruokintoihin ($P < 0,001$). RV190-ruokinnoilla typen erityis virtsassa oli keskimäärin 272 g/pv ja RV154-ruokinnoilla 205 g/pv.

Maidon typen ja rehun typen suhde oli pienempi kaikilla RV190-ruokinnoilla kuin RV154-ruokinnoilla ($P < 0,001$). Korvattaessa rypsiä härkäpavulla sonnan typen ja rehun typen suhde vähentyi, mutta vähemmän RV154-ruokinnalla kuin RV190-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,05$). Pelkällä rypsellä sonnan typen ja rehun typen suhde oli 0,32 RV154-ruokinnalla ja RV190-ruokinnalla 0,31. Pelkällä härkäpavulla sonnan typen ja rehun typen suhde oli 0,32 RV154-ruokinnalla ja 0,28 RV190-ruokinnalla. Lisäksi sonnan typen ja rehun typen suhde oli pienempi kaikilla RV190-ruokinnoilla verrattuna RV154-ruokintoihin ($P < 0,001$). RV154-ruokinnoilla sonnan typen ja rehun typen suhteen keskiarvo oli 0,32 ja RV190-ruokinnoilla keskiarvo oli 0,30.

Korvattaessa rypsiä härkäpavulla virtsan typen ja rehun typen suhde kasvoi lineaarisesti, mutta kasvu ei ollut yhtä suuri RV154-ruokinnalla kuin RV190-ruokinnalla (yhdysvaikutus $P < 0,05$). Pelkällä rypsellä virtsan typen suhde rehun tyypeen oli 0,38 RV154-ruokinnalla ja 0,42 RV190-ruokinnalla. Pelkällä härkäpavulla vastaavat luvut olivat 0,40 ja 0,59. Virtsan typen ja rehun typen suhde

oli lisäksi suurempi kaikilla RV190-ruokinnoilla verrattuna RV154-ruokintoihin ($P < 0,01$). RV154-ruokinnoilla virtsan typen ja rehun typen suhteen keskiarvo oli 0,39 ja RV190-ruokinnoilla keskiarvo oli 0,48.

Taulukko 6. Typpimetabolia

	RV154 ¹			RV190 ²			SEM ⁷	Ortogonaaliset kontrastit ³				
	R ⁴	R/HP	HP ⁵	R	R/HP ⁶	HP		1	2	3	4	5
Tyypen erityys ja tyypitase												
N ⁸ syönti, g/pv	530	523	506	602	576	539	10,2	<0,001	<0,001	0,345	0,007	0,951
Tyypitase, g/pv	-0,7	-16,0	-9,4	-11,1	-10,2	-72,8	16,40	0,105	0,035	0,430	0,109	0,114
N maito, g/pv	163	157	151	169	160	146	5,2	0,695	<0,001	0,661	0,100	0,624
N sonta, g/pv	170	177	162	185	177	151	4,6	0,752	<0,001	0,008	0,004	0,679
N virtsa, g/pv	204	210	200	257	247	311	16,5	<0,001	0,094	0,247	0,074	0,081
Maito N/Rehu N	0,31	0,30	0,30	0,28	0,28	0,27	0,008	<0,001	0,130	0,856	0,797	0,650
Sonta N/Rehu N	0,32	0,33	0,32	0,31	0,31	0,28	0,006	<0,001	0,032	0,007	0,025	0,593
Virtsa N/Rehu N	0,38	0,40	0,40	0,42	0,43	0,59	0,029	0,002	0,004	0,141	0,014	0,072
Mikrobitypen virtaus, g/d	380	391	384	388	375	347	13,5	0,169	0,138	0,415	0,082	0,930

¹Matalan valkuaistason ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 154 g/kg ka ²Korkean valkuaistason ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 190 g/kg ka ³Tilastolliset vertailut, 1 = matala vs. korkea valkuaistaso, 2 = rypsi vs. härkäpavu, 3 = rypsin ja härkäpavun yhdysvaikutus, 4 = yhdysvaikutus 1x2, 5 = yhdysvaikutus 1x3 ⁴Rypsi ⁵Härkäpavu ⁶Rypsin ja härkäpavun seos ⁷Keskiarvon keskivirhe ⁸Typpi

5.5 Plasman aineenvaihduntatuotteet

Plasman aineenvaihduntatuotteista glukoosin pitoisuus oli pienempi RV154-ruokinnoilla kuin RV190-ruokinnoilla ($P < 0,05$) (taulukko 7). Pitoisuus lisääntyi suuntaa-antavasti, kun rypsi korvattiin härkävavulla ($P < 0,1$). Plasman etikkahapon pitoisuus oli suurempi, kun rypsiä korvattiin härkävavulla ($P < 0,05$). Muihin plasman parametreihin eli NEFA:aan, BHBA:han tai insuliiniin rypsin korvaamisella härkävavulla tai ruokinnan eri raakavalkuaispitoisuuksilla ei ollut vaikutusta.

Välttämättömien aminohappojen yhteen laskettu pitoisuus veren plasmassa vähentyi, kun rypsi korvattiin härkävavulla ($P < 0,01$). RV154- ja RV190-ruokintojen välillä ero välttämättömien aminohappojen pitoisuudessa veren plasmassa oli suuntaa-antava ($P < 0,1$). Välttämättömien aminohappojen pitoisuus veressä oli rypsilä 961 $\mu\text{mol/l}$ RV154-ruokinnalla ja 1081 $\mu\text{mol/l}$ RV190-ruokinnalla. Härkävavulla määrät olivat 916 $\mu\text{mol/l}$ ja 902 $\mu\text{mol/l}$. Yksittäisistä välttämättömistä aminohapoista histidiinin pitoisuus veren plasmassa oli suurempi RV190-ruokinnoilla kuin RV154-ruokinnoilla ($P < 0,01$). Korvattaessa rypsiä härkävavulla metioniinin saanti vähentyi ($P < 0,05$).

Taulukko 7. Veriparametrit

	RV154 ¹			RV190 ²			SEM ⁷	Ortogonaaliset kontrastit ³				
	R ⁴	R/HP	HP ⁵	R	R/HP ⁶	HP		1	2	3	4	5
Plasman parametrit, mmol/l												
Glukoosi	3,97	3,99	4,04	4,08	4,06	4,16	0,072	0,016	0,063	0,242	0,882	0,582
NEFA ⁸	0,11	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,012	0,654	0,905	0,755	0,221	0,624
BHBA ⁹	0,90	0,87	0,90	0,86	0,84	0,98	0,059	0,870	0,183	0,150	0,215	0,533
Etikkahappo	1,48	1,44	1,62	1,47	1,41	1,61	0,075	0,771	0,043	0,049	0,990	0,848
Insuliini	11,9	9,7	10,7	11,8	13,5	11,8	1,33	0,149	0,592	0,982	0,608	0,114
Plasman aminohapot, µmol/l												
Arginiini	61,5	60,5	54,4	69,1	68,3	63,8	5,63	0,037	0,128	0,516	0,828	0,911
Histiidiini	46,8	43,9	39,8	52,9	53,8	50,0	4,77	0,008	0,110	0,562	0,516	0,700
Isoleusiini	137	148	135	152	147	131	8,0	0,571	0,083	0,138	0,168	0,518
Leusiini	125	127	115	151	141	118	7,0	0,018	0,003	0,199	0,090	0,996
Lysiini	94,9	93,1	89,9	101,4	97,4	83,6	4,77	0,696	0,022	0,462	0,179	0,572
Metioniini	22,7	21,8	20,4	23,1	22,3	18,2	1,50	0,704	0,012	0,382	0,340	0,516
Fenyylialaniini	45,1	47,9	46,0	47,6	55,7	43,4	3,22	0,342	0,596	0,037	0,436	0,161
Treoniini	120	118	119	130	124	106	7,2	0,724	0,009	0,488	0,020	0,329
Tryptofaani	49,2	51,5	49,0	50,1	49,9	45,9	1,74	0,300	0,127	0,083	0,177	0,826
Valiini	261	266	250	303	284	242	12,4	0,064	0,002	0,170	0,025	0,948
Alaniini	247	256	256	254	257	241	14,6	0,743	0,840	0,377	0,241	0,702
Asparagiini	68,2	68,3	70,0	70,4	69,0	62,0	3,92	0,608	0,411	0,784	0,222	0,607
Asparagiini-happo	20,5	26,1	17,5	20,8	25,1	15,0	4,16	0,759	0,301	0,069	0,740	0,988
Kysteiini	24,8	22,8	22,5	24,2	22,8	21,9	0,82	0,424	0,001	0,228	0,999	0,444
Glutamiini	270	257	243	242	250	254	10,6	0,304	0,364	0,864	0,037	0,911
Glutamiini-happo	130	117	122	115	122	134	4,8	0,896	0,270	0,125	0,010	0,403
Glysiini	389	407	426	390	379	370	19,9	0,071	0,599	0,958	0,093	0,990
Prolini	83,6	84,3	84,9	90,4	83,7	74,9	3,55	0,613	0,020	0,815	0,011	0,822
Seriini	118	115	125	121	119	119	7,2	0,885	0,565	0,398	0,329	0,505
Tyrosiini	41,3	41,5	34,7	42,2	40,7	34,0	3,33	0,916	0,003	0,099	0,704	0,777
ΣBCAA ¹⁰	523	541	499	606	572	490	25,7	0,080	0,005	0,146	0,052	0,846
ΣEAA ¹¹	961	979	916	1081	1044	902	42,9	0,085	0,006	0,136	0,078	0,833
ΣNEAA ¹²	1389	1396	1403	1374	1366	1324	36,4	0,125	0,525	0,729	0,277	0,728
ΣTAA ¹³	2347	2374	2326	2458	2409	2223	66,1	0,763	0,034	0,269	0,078	0,732

¹Matalan valkuaistason ruokinnan raakavalkuaispitoisuus 154 g/kg ka ²Korkean valkuaistason ruokinnan

raakavalkuaispitoisuus 190 g/kg ka ³Tilastolliset vertailut, 1 = matala vs. korkea valkuaistaso, 2 = rypsi vs. härkäpapu, 3 = rypsin ja härkäpavun yhdysvaikutus, 4 = yhdysvaikutus 1x2, 5 = yhdysvaikutus 1x3

⁴Rypsi ⁵Härkäpapu ⁶Rypsin ja härkäpavun seos ⁷Keskiarvon keskivirhe ⁸Vapaat rasvahapot ⁹β-hydrok-sivoihappo ¹⁰Haaraketjuisten aminohappojen summa (Ile, Leu ja Val) ¹¹Välttämättömien aminohappojen summa (Arg, His, Ile, Leu, Lys, Met, Phe, Thr ja Val) ¹²Ei-välttämättömien aminohappojen summa (Ala, Asp, Cys, Glu, Gly, Pro, Ser, ja Tyr) ¹³Kaikkien aminohappojen summa

6 TULOSTEN TARKASTELO

6.1 Rehujen kemiallinen koostumus

Säilörehun käymislaatu oli hyvä, sillä pH oli alle 4:n eikä säilörehussa ollut virhekäymistä. Säilörehun raakavalkuaispitoisuus oli suuri 171 g/kg ka. Esimerkiksi Khalilin ym. (1999) hernekokeessa säilörehun raakavalkuaispitoisuus oli 141 g/kg ka. Säilörehun käymislaatu oli hyvä. NDF:n pitoisuus (529 g/kg ka) oli hiukan matalampi esimerkiksi Khalilin ym. (1999) kokeen NDF:n pitoisuuteen 540 g/kg ka verrattuna, mutta pitoisuus oli silti hyvä. Säilörehun energiapitoisuus 11,5 MJ/kg ka oli hiukan suurempi kuin Khalilin ym. (1999) kokeen säilörehun energiapitoisuus 10,4 MJ/kg ka. Perälä (2008) tutki maisterintutkielmassaan hernetä lypsylehmien valkuaisrehuna. Herne soveltui hyvin lypsylehmien valkuaisrehuksi, mutta tuotantotulokset eivät olleet sillä niin hyvät kuin rypsilä, mikä johtui herneen valkuaisen laadusta. Herneen vaikutus lypsylehmien tuotantoon voisi tulla parhaiten esiin, kun typen saanti muista rehuista olisi niukkaa ja lehmät eivät tarvitse rehusta paljon pötsissä hajoamatonta valkuaista. Sama voi päteä myös härkäpapuun. Tässä kokeessa säilörehun raakavalkuaispitoisuus oli suuri, jolloin härkäpavun positiivinen vaikutus lypsylehmien tuotantoon ei välttämättä tullut niin hyvin esille kuin, jos säilörehusta ei olisi ollut saatavilla niin paljon typpeä.

Tärkkelyksen pitoisuus härkäpapua sisältävissä väkirehuissa oli oletetusti suurempi kuin rypsi-rehuissa, koska härkäpavun tärkkelyspitoisuus on rypsiä suurempi (Luke 2016). Koko ruokinnan tärkkelyspitoisuus oli RV154-ruokinnalla 177 g/kg ka ja RV190-ruokinnalla 186 g/kg ka pelkkää härkäpapua sisältäneissä ruokinnoissa. Rypsiä käytettäessä koko ruokinnan tärkkelyspitoisuus oli 151 g/kg ka RV154-ruokinnalla ja 123 g/kg ka RV190-ruokinnalla. Suuremmasta tärkkelyksen määrästä voi johtua myös pelkkää härkäpapua sisältäneiden ruokintojen suurempi ME:n määrä verrattuna rypsiä sisältäneisiin ruokintoihin. RV154-ruokinnalla rypsin ja härkäpavun ero oli 1,2 MJ/kg ka ja RV190-

ruokinnalla ero oli 3,0 MJ/kg ka. Suuren tärkkelyspitoisuutensa ansiosta härkäpapua voidaan pitää myös energiarehuna valkuaisrehun lisäksi (Bach Knudsen 1997).

Rypsirehun NDF-pitoisuuksien keskiarvo oli 219 g/kg ka ja härkäpapurehun keskiarvo oli 191 g/kg ka. Rypsirehussa NDF:ä oli siis keskimäärin 28 g/kg ka enemmän kuin härkäpapurehussa. Rehutaulukoiden (Luke 2016) mukaan rypsissä on enemmän NDF:ä kuin härkäpavussa. NDF:n pitoisuus myös lisääntyi, kun rypsin määrää lisättiin ruokinnassa. Härkäpavun määrää lisätessä NDF:n määrä puolestaan vähentyi. Rypsirehun iNDF:n pitoisuuksien keskiarvo oli 80 g/kg ka ja härkäpapurehun keskiarvo oli 51,05 g/kg ka. Kotimaisten rehutaulukoiden mukaan rypsirouheen NDF- ja iNDF-pitoisuudet ovat suuremmat kuin härkäpavun ja sama on havaittavissa kokeen rypsirehun ja härkäpapurehun NDF- ja iNDF-pitoisuuksissa (Luke 2016). Rypsirehun HCl-rasvan pitoisuudet olivat suuremmat (keskiarvo 31,20 g/kg ka) kuin härkäpapurehulla (keskiarvo 25,91 g/kg ka). Rehutaulukoiden mukaan rypsissä on enemmän raakarasvaa kuin härkäpavussa (Luke 2016). HCl-rasvan pitoisuus myös lisääntyi, kun rypsin määrä lisääntyi ruokinnassa ja vähentyi, kun härkäpavun määrää lisättiin ruokinnassa.

Härkäpavussa on välttämättömistä aminohapoista vähiten metioniinia ja se saattaa rajoittaa lehmien maitotuotosta (Crépon ym. 2010). Härkäpavuväkirehussa metioniinin pitoisuus oli alhaisempi verrattuna rypsirookintoihin. Metioniinin pitoisuuden keskiarvo pelkällä härkäpapurehulla oli 1,3 g/100 g RV. Pelkällä rypsirehulla keskiarvo oli 1,6 g/100 g RV. Metioniinin pitoisuus oli myös pienempi rypsin ja härkäpavun seosta sisältäneissä ruokinnoissa verrattuna rypsirookintoihin. Metioniinin pitoisuuden keskiarvo oli 1,4 g/100 g RV rypsin ja härkäpavun seoksessa. Rypsin ja härkäpavun seoksen metioniinin pitoisuus oli kuitenkin suurempi härkäpavurookintoihin verrattuna. Histidiinin pitoisuuksissa ei ollut eroja väkirehujen välillä eikä eri raakavalkuaistasoilla.

6.2 Rehujen syönti ja ravintoaineiden saanti

Säilörehun D-arvo 719 g/kg ka oli suuri eli rehun sulavuus oli hyvä. Säilörehun laadun ollessa hyvä, se tuskin rajoitti lehmien rehun syöntiä. Lehmien ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden lisääminen rypsilä lisäsi lehmien säilörehun syöntiä sekä kokonaiskuiva-aineen syöntiä. Huhtanen ym. (2011) vertailivat meta-analyysissä rypsiä ja soijaa keskenään. Myös he raportoivat yhteenvedossaan lehmien säilörehun syönnin lisääntyneen valkuaisrehujen määrän lisääntyessä ruokinnassa. Rypsin lisääminen ruokinnassa lisäsi säilörehun syöntiä enemmän kuin soijan määrän lisääminen. Kun koko ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin pelkän rypsin avulla, lisääntyi kuiva-aineen syönti 0,035 kg ka ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden noustessa 1 g/kg ka. Huhtasen ym. (2011) yhteenvedon vastaava tulos oli 0,026 kg ka ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden noustessa 1 g/kg ka, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta nostettiin rypsilä. Khalilin ym. (1999) hernekokeessa rypsirouhe lisäsi lehmien rehun syöntiä kontrolliin verrattuna, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä vaan suuntaa-antava. Kontrolliruokinnalla lehmien rehun syönti oli 19,6 kg ka/pv ja rypsiruoikinnalla 20,2 kg ka/pv. Khalilin ym. (1999) kokeen muut valkuaislisät eli murskattu rehuherne sekä rehuherneen ja murskatun rypsin seos lisäsivät myös lehmien rehun syöntiä ja se oli samaa luokkaa rypsirouheen kanssa kontrolliin verrattuna.

Hyvästä säilörehusta huolimatta lehmien rehun syönti vähentyi, kun härkävun määrää lisättiin ruokinnassa. Kun härkävun määrää lisättiin, vähentyi kuiva-aineen syönti 0,044 kg ka ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden noustessa 1 g/kg ka. Huhtasen ym. (2011) yhteenvedossa, kun koko ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta nostettiin soijalla, lisääntyi kuiva-aineen syönti 0,011 kg ka ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden noustessa 1 g/kg ka. Kuiva-aineen syönti lisääntyi siten 0,015 kg ka vähemmän soijalla verrattuna rypsiin, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuus nousi 1 g/kg ka. Myös Ingallsin ja McKirdyn (1974) kokeessa lehmien rehun syönti oli suurempi rypsiä sisältäneellä ruokinnalla verrattuna kumpaankin härkävun sisältäneeseen ruokintaan. Rypsiä syötettäessä lehmien rehun syönti oli 18,8 kg ja syötettäessä härkävun 18,3 kg, kun sitä oli ruokinnassa 17 %:a ja 18,4 kg, kun härkävun oli ruokinnassa

35 %:a. Rypsi-ruokinnalla lehmät myös söivät enemmän rehua verrattuna soijaruokintaan, mutta soijan ja härkävavun välillä ei ollut suurta eroa. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä.

Lehmien rehun syönti vähentyi 0,004 kg ka ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden noustessa 1 g/kg ka rypsi-härkävavuruokinnalla. Verrattuna rypsi-ruokintaan rypsi-härkävavu-ruokinnalla lehmien rehun syönti vähentyi ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden noustessa. Puolestaan härkävavuruokintaan verrattuna lehmien rehun syönnin vähentyminen oli pienempi rypsi-härkävavuruokinnalla, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin.

Ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden lisääminen rypsilä lisäsi lehmien rehun syöntiä 0,038 kg ka enemmän verrattuna härkävavuun, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuus nousi 1 g/kg ka. Kokonaisuva-aineen syönnin lisääntyminen valkuaisrehujen pitoisuutta lisäämällä ruokinnassa voi johtua kuidun nopeammasta sulatuksessa pötsissä (Oldham 1984). Vielä ei tiedetä tarkastimistä erot lehmien rehun syönnin lisäyksessä rypsin ja härkävavun välillä voivat johtua. Huhtanen ym. (2011) arveli rypsin ja soijan eron yhdeksi mahdolliseksi selitykseksi aminohappojen saannin lisäystä ja/tai aminohappojen parempia suhteita, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisätään. Aminohappojen saannin lisäys ja/tai niiden paremmat suhteet voivat parantaa lehmien maitotuotosta, mikä lisää lehmien energiantarvetta ja lehmien rehun syönti lisääntyy. Huhtasen ym. (2011) yhteenvedon mukaan valkuaisrehujen erot aminohappojen pitoisuuksissa vaikuttavat myös lehmien rehun syöntiin. Khalili ym. (1999) arveli myös, että rypsilisä on voinut lisätä lehmien ohutsuoletta imeytyvän valkuaisen saantia ja parantanut sen laatua. Myös rehuherne sekä rehuherneen ja murskatun rypsin seos lisäsivät ohutsuoletta imeytyvän valkuaisen saantia, mutta eivät niin paljon kuin pelkkä rypsilisä. Edellä mainitut syyt voivat selittää myös rypsin ja härkävavun erot lehmien kokonaisuva-aineen syönnin välillä.

Suomessa käytetään härkävavun lajikkeista Kontua ja Ukkoa eläinten rehuna. Koivunen (2016) tarkasteli väitöstyössään härkävavun hyödyntämistä siipikarjan ruokinnassa. Härkävavun haitta-aineista Konnun tanniinipitoisuus oli suuri

13,7 g/kg ka. Visiiniä ja konvisiiniä härkäpavusta löytyi 10,6 g/kg ka ja 9,2 g/kg ka. Koivusen ym. (2016) kokeissa härkäpavun haitta-aineet vähensivät siipikarjan rehun syöntiä ja tuotosta. Yksimahaiset eläimet ovat märehittöitä herkempiä haitta-aineiden vaikutuksille (Dixon ja Hosking 1992, Crépon ym. 2010). Silti saattaa olla mahdollista, että lehmien rehun syönnin vähentymisen taustalla härkäpapuruokinnoilla oli härkäpavun haitta-aineet varsinkin ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden ollessa 190 g/kg ka. Silloin myös härkäpavun määrä ruokinnassa oli suurin. Tässä tutkimuksessa ei määritetty härkäpapurehun haitta-aineiden pitoisuutta, joten esimerkiksi vertailua muihin tutkimuksiin, joissa on määritetty härkäpavun haitta-aineiden pitoisuudet, on vaikea tehdä.

Melicharová ym. (2009) tutkivat kokeessaan härkäpavun Mistral- ja Merkur-lajikkeiden haitta-aineiden pitoisuuksien vaikutusta lehmien maidontuotantoon sekä aineenvaihduntaan. Mistral-lajikkeen haitta-ainepitoisuuksia on vähennetty kasvinjalostuksen avulla. Merkur-lajikkeen haitta-ainepitoisuudet sen sijaan voivat olla suuret, jos sitä ei ole käsitelty rehuteknologian menetelmillä. Kokeessa oli neljä erilaista koeruokintaa. Kontrolliruokinnassa ei ollut härkäpapua, toisessa koeruokinnassa oli pelkkää Mistral-lajikkeen härkäpapua ja kolmannessa oli härkäpapuna Merkur-lajiketta. Neljännessä koeruokinnassa oli härkäpapuna myös Merkur-lajiketta, mutta sen haitta-aineiden pitoisuutta oli vähennetty rehukäsittelyllä. Mistral-lajikkeen tanniinipitoisuus oli $0,41 \pm 0,02$ g/kg, visiinin pitoisuus oli $7,8 \pm 0,8$ mg/g ja konvisiinin pitoisuus oli $4,6 \pm 0,8$ mg/g. Merkur-lajikkeen tanniinipitoisuus oli $0,63 \pm 0,05$ g/kg, visiinipitoisuus $8,7 \pm 0,3$ mg/g ja konvisiinin pitoisuus $2,8 \pm 0,3$ mg/g. Käsitellyn Merkur-lajikkeen tanniinipitoisuus oli $0,21 \pm 0,02$ g/kg, visiinipitoisuus oli $8,6 \pm 0,9$ mg/g ja konvisiinipitoisuus $4,0 \pm 1,0$ mg/g. Melicharován ym. (2009) kokeessa lehmät saivat suurimmillaan ruokinnassa härkäpapua 1,8 kg/pv. Härkäpavun haitta-aineiden pitoisuudet eivät vaikuttaneet lehmien maitotuotokseen tai maidon koostumukseen. Maidon valkuais- ja rasvakoostumus vaihteli hiukan kokeiden aikana, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kun verrataan Koivusen (2016) väitöskirjassaan esittämiä haitta-aineiden pitoisuuksia Melicharován ym. (2009) kokeen haitta-aineiden pitoisuuksiin, voidaan todeta härkäpavun

Kontu-lajikkeen haitta-aineiden pitoisuuksien olleen suuremmat. Lisäksi Melicharován ym. (2009) kokeessa annettiin vähemmän härkäpapua verrattuna tähän tutkimukseen. Toisaalta lehmien rehun syönti oli hyvä tutkimuksesamme ja härkäpapurehu maistui hyvin kaikille lehmille eli niiltä ei jäänyt yhtään jäännösrehua väkirehuista.

Volpellin ym. (2009) ja Tufarellin ym. (2012) kokeissa ei ollut merkitseviä eroja lehmien rehun syönnissä, kun soijaa korvattiin härkäpavulla. Molemmissa kokeissa tosin härkäpavun määrät olivat verrattain pienet verrattuna tähän kokeeseen, jossa lehmät tai ensikot saivat ruokinnasta riippuen härkäpapua 1,3-3,7 kg ka/pv. Volpellin ym. (2009) kokeessa koeruokinnossa oli vain 0,781 kg/pv ja 0,764 kg/pv härkäpapua. Tufarellin ym. (2012) kokeessa härkäpapua oli koeruokinnassa 345 g/kg ka. Volpellin ym. (2009) ja Tufarellin ym. (2012) kokeiden härkäpavun määrät eivät tulosten perusteella vielä vaikuta lehmien rehun syöntiin.

Kun lehmien rehun syönti vähentyi korvattaessa rypsiä härkäpavulla, vähentyivät myös orgaanisen aineen, NDF:n ja raakavalkuaisen saannit. Ainoastaan tärkkelyksen saanti lisääntyi, kun rypsiä korvattiin härkäpavulla. Tämä johtuu härkäpavun suuremmasta tärkkelyspitoisuudesta verrattuna rypsiin (Luke 2016). Rypsin lisätessä lehmien säilörehun syöntiä myös muuntokelpoisen energian määrä lisääntyi. Muuntokelpoisen energian määrä myös vähentyi, kun lehmien säilörehun syönti vähentyi härkäpavun korvattaessa rypsiä.

Ohutsuoletta imeytyvän valkuaisen määrä oli pienempi härkäpapuruokinnalla verrattuna sekä rypsi-ruokintoihin että rypsi-härkäpapuruokintoihin. Tämän selityksenä voi olla härkäpavun raakavalkuaisen hajoavuus suurissa määrin pötsissä. Khalilin ym. (1999) hernekokeessa OIV:n saanti oli suurempi rypsi-ruokinnalla (1860 g/pv) verrattuna kontrolliruokintaan (1718 g/pv). Rypsi-ruokinnalla OIV:n saanti oli myös suurempi rehuherneruokintaan (1842 g/pv) ja rehuherne-rypsi-ruokintaan (1765 g/pv) verrattuna. Myös rehuherneen raakavalkuainen hajoaa suurissa määrin pötsissä, mikä voi selittää miksi OIV:n muodostuminen oli pienempi verrattuna rypsiin.

Rehuarvojen perusteella pötsin valkuaistase lisääntyi, kun valkuaisrehujen anosta lisättiin. RV154-ruokinnoilla pötsin valkuaistaseen keskiarvo oli 21,5 g/kg ka ja RV190-ruokinnoilla 36,1 g/kg ka. Pötsin valkuaistase vähentyi, kun rypsiä korvattiin härkämpavulla eli pötsin mikrobit eivät pystyneet hyödyntämään tehokkaasti kaikkea härkämpavusta saatavaa raakavalkuaista. Ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden ollessa 190 g/kg ka pötsin valkuaistase oli suurempi rypsi-ruokinnalla sekä rypsi-härkämpapuruokinnalla kuin härkämpapuruokinnalla. Pötsin mikrobeilla oli siis hyödynnettävänä enemmän rehusta saatavaa valkuaisa rypsi- ja rypsi-härkämpapuruokinnoilla kuin härkämpapuruokinnalla.

Raakavalkuaisen sulavuuden lisäksi paranivat myös kuiva-aineen, orgaanisen aineen ja tärkkelyksen sulavuudet, kun rypsiä korvattiin härkämpavulla. Valkuaislisä paransi ravintoaineiden sulavuuksia myös Huhtasen ym. (2011) yhteenvedossa, mutta valkuaislähteiden välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Khalilin ym. (1999) kokeessa rypsirouhe ei parantanut kuiva-aineen sulavuutta kontrolliin verrattuna ja rehuherneruokintaan sekä rehuherne-rypsiruokintaan verrattuna orgaanisen aineen ja NDF:n sulavuudet olivat huonommat rypsi-ruokinnalla. Thomas ja Rae (1988) totesivat kuiva-aineen sulavuuden lisääntyneen ruokinnan valkuaislisän ansiosta. Ravinto-aineiden sulavuutta voivat parantaa myös uudelleen muodostuneiden aminohappojen ja peptidien aktivoimat sellolyyttiset bakteerit (Hoover 1986).

6.3 Maitotuotos ja maidon koostumus

Maito-, valkuais- ja laktoosituotokset olivat suuremmat rypsi-ruokinnoilla verrattuna härkämpapuruokintoihin. Myös energiakorjattu maitotuotos oli suurempi, kun valkuaislisänä oli pelkkä rypsi. Energiakorjatun maitotuotoksen keskiarvo oli 31,6 kg/pv rypsi-ruokinnoilla, 31,1 kg/pv rypsi-härkämpapuruokinnoilla ja 29,7 kg/pv härkämpapuruokinnoilla. Ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden nostaminen rypsi-ruokinnalla lisäsi maitotuotosta 2,8 kg/pv per kg lisäraakavalkuaista. Huhtasen ym. (2011) yhteenvedossa maitotuotos, energiakorjattu maitotuotos ja valkuais- tuotos lisääntyivät, kun soijaa korvattiin rypsi-ruokinnalla. Maitotuotos lisääntyi vastaavasti rypsi-ruokinnalla 3,4 kg/pv per kg lisäraakavalkuaista. Ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden nostaminen härkämpavulla vähensi lehmien maitotuotosta 2,9

kg/pv per kg lisäraakavalkuaista. Huhtasen ym. (2011) yhteenvedossa soija lisäsi lehmien maitotuotosta 2,4 kg/pv per kg lisäraakavalkuaista eli vähemmän kuin rypsilä. Rypsi-härkäpapuruokinnalla lehmien maitotuotos lisääntyi 2,2 kg/pv per kg lisäraakavalkuaista eli vähemmän kuin rypsirookinnalla, mutta enemmän kuin härkäpapuruokinnalla. Maitotuotos on rypsiä syötettäessä todennäköisesti suurempi valkuaislisän aiheuttaman lisääntyneen syönnin ansiosta enemmän kuin lisääntyneen valkuaisen saannin vuoksi (Huhtanen ym. 2011).

Lehmien valkuais- ja laktoosituotokset ovat puolestaan yhteydessä lehmien maitotuotoksen määrään. Kun maitotuotos oli suurempi rypsirookinnalla ja rypsi-härkäpapuruokinnalla kuin pelkillä härkäpapuruokinnalla, oli myös valkuais- ja laktoosituotokset suuremmat kyseisillä ruokinnalla. Broderickin ym. (2015) kokeessa soijan korvaaminen rypsilä tai ruokinnan suurempi raakavalkuaispitoisuus eivät aiheuttaneet eroja lehmien laktoosituotoksessa. Tässä tutkimuksessa rasvatuotoksen määrä oli myös pienempi korvattaessa rypsiä härkäpavulla, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Myös Broderickin ym. (2015) kokeessa valkuaislähteen ja valkuaispitoisuuden vaikutus maidon rasvatuotokseen oli suuntaa-antava. Rypsi lisäsi muuntokelpoisen energian määrää enemmän ruokinnassa verrattuna härkäpavuun. Samoin Huhtasen ym. (2011) kokeessa muuntokelpoisen energian määrä lisääntyi enemmän rypsilä verrattuna soijaan. Tämä voi selittää valkuaisen suuremman tuotosvasteen rypsilä kuin soijalla (Huhtanen ym. 2011) tai härkäpavulla. Myös Shingfieldin ym. (2003) kokeessa rypsi lisäsi maito- ja valkuaisuotosta enemmän soijaan verrattuna.

Khalilin ym. (1999) hernekokeessa rypsirookie lisäsi maito- ja valkuaisuotosta kontrolliruokintaan verrattuna ja syyksi arveltiin myös lehmien lisääntyntä rehun syöntiä. Lisääntyneen maito- ja valkuaisuotoksen perusteella kontrolliruokinnan aminohappojen suhteet eivät olleet parhaat mahdolliset kontrolliruokinnalla, vaikka OIV:n saanti oli suurempi kuin lehmien tarve ylläpitoon ja maidontuotantoon. Khalilin ym. (1999) kokeessa maito- ja valkuaisuotokset olivat samaa luokkaa käytettäessä rypsirookie ja rehuhernettä sekä rehuherneen ja rypsin seosta valkuaislisinä. Volpellin ym. (2010) ja Tufarellin ym. (2012) kokeissa ei

ollut merkitseviä eroja maitotuotoksessa korvattaessa soijaa härkävavulla. Volpellin ym. (2009) kokeissa maitotuotokset olivat keskimäärin soijalla 22,4 kg/pv ja härkävavulla 20,2 kg/pv. Tufarellin ym. (2012) kokeessa maitotuotokset olivat puolestaan soijalla 27,2 kg/pv ja härkävavulla 27,1 kg/pv.

Maidon valkuaispitoisuus vähentyi korvattaessa rypsiä härkävavulla. Rypsi-ruokinnoilla valkuaispitoisuuden keskiarvo oli 33,8 g/kg, rypsi-härkävavuruokinnoilla 32,9 g/kg ja härkävavuruokinnoilla 32,5 g/kg. Maidon rasvapitoisuuden rypsin korvaamisella härkävavulla tai ruokinnan raakavalkuaispitoisuudella ei ollut vaikutusta. Huhtasen ym. (2011) yhteenvedossa kaikki valkuaislisät vähensivät maidon rasvapitoisuutta ja lisäsivät maidon valkuaispitoisuutta. Valkuaislisien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja vaikutuksessa maidon rasvapitoisuuteen, mutta soija lisäsi maidon valkuaisenpitoisuutta enemmän kuin rypsi. Khalilin ym. (1999) hernekokeessa maidon valkuaispitoisuus oli suurempi pelkällä rypsirouheella verrattuna kontrolliruokintaan sekä muihin valkuaislisiin.

Ingallsin ja McKirdyn (1974) kokeessa maidon valkuaispitoisuus oli 35,2 g/kg, kun ruokinnassa oli 17 % härkävavua ja 7,5 % soijaa. Maidon valkuaispitoisuus oli 34,4 g/kg, kun ruokinnassa oli härkävavua 35 % eli se oli 0,8 g/kg pienempi kuin rypsiä ja härkävavua sisältäneellä ruokinnalla. Ingallsin ym. (1980) kokeessa maidon valkuaispitoisuus vähentyi korvattaessa soijaa härkävavulla, riippumatta siitä oliko ruokinnan väkirehun pitoisuus 50 % tai 70 %. Maidon rasvapitoisuuteen soijan korvaamiselle härkävavulla ei ollut vaikutusta. Volpellin ym. (2010) kokeissa soijan korvaaminen härkävavulla ei vaikuttanut merkitsevästi maidon valkuaispitoisuuteen. Volpellin ym. (2010) kokeissa maidon valkuaispitoisuus oli keskimäärin soijalla 34,5 g/kg ja härkävavulla 33,8 g/kg.

Maidon ureapitoisuus lisääntyi, kun rypsiä korvattiin härkävavulla. Maidon ureapitoisuus oli keskimäärin rypsi-ruokinnoilla 30 mg/dl, rypsi-härkävavuruokinnoilla 33 mg/dl ja härkävavuruokinnoilla 35 mg/dl. Maidon pienempi ureapitoisuus rypsi-ruokinnalla verrattuna soijaruokintaan kertoo rehusta saatavan ty-

pen paremmasta hyödyntämisestä pötsissä ja/tai kehon kudoksissa (Shingfield ym. 2003, Huhtanen ym. 2011). Maidon ureapitoisuus myös lisääntyi molemmilla valkuaislisillä, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin, mutta enemmän härkäpavulla kuin rypsilä. Maidon ureapitoisuus lisääntyi härkäpapuruokinnalla 8,6 mg/dl, rypsirookinnalla 2,9 mg/dl ja rypsi-härkäpapuruokinnalla 7,1 mg/dl, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin. Ruokinnan raakavalkuaispitoisuus vaikuttaa maidon ureapitoisuuteen (Nousiainen ym. 2004). Myös lehmien rehun syönte vaikuttaa maidon ureapitoisuuteen (Huhtanen ym. 2015) ja plasman ureapitoisuus ja maidon ureapitoisuus ovat yhteydessä toisiinsa lypsävillä lehmillä (Broderick ja Clayton 1997). Ruokinnasta saatava valkuaisen määrä vaikuttaa plasman ureapitoisuuteen, joka on yhteydessä maidon ureapitoisuuteen (Oltner ja Wiktorsson 1983, Roseler ym. 1993). Lehmien syönnin lisääntymisen sekä ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden lisääntymisen ansioista pötsin mikrobeilla on hyödynnettävään enemmän valkuaista. Pötsissä hajoavan valkuaisen määrän lisääntyminen lisää pötsissä muodostuvan ammoniakkin määrää (Kauffman ja St-Pierre 2001). Ammoniakkin hyödyntäminen pötsissä ei välttämättä lisääntynyt, vaikka sitä on saatavilla enemmän (Kauffman ja St-Pierre 2001). Jos pötsin mikrobit eivät pysty käyttämään hyväkseen kaikkea rehusta saamaansa valkuaista, se eritetään pois ureana (McDonald 2011). Suurin osa ureasta eritetään elimistöä pois virtsassa, mutta osa erittyy myös maitoon.

Maidon ureapitoisuutta voidaan hyödyntää lypsylehmien typen hyödyntämisen sekä virtsassa erittyvän typen määrän arvioimiseen (Jonker ym. 1998, Kauffman ja St-Pierre 2001). Pötsin valkuaispitoisuuden lisääntyminen ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden lisäntyessä kertoo myös käytettävissä olevan raakavalkuaisen määrän lisääntymisestä. Pötsin valkuaispitoisuus oli kuitenkin pienempi pelkkää härkäpapua sisältäneillä ruokinnoilla ja samalla maidon ureapitoisuus oli korkeampi muihin ruokintoihin verrattuna. Tämän perusteella härkäpavun raakavalkuaisen hyödyntäminen oli heikompaa lehmillä verrattuna rypsiin tai rypsin ja härkäpavun seokseen.

Maitotuotos ja maidon ureapitoisuus ovat myös yhteydessä keskenään. Huhtasen ym. (2015) yhteenvedon mukaan lehmien maitotuotoksen ja energiakorjatun maitotuotoksen lisääntyessä lisääntyi myös lehmien maidon ureapitoisuus. Samalla myös maidon valkuaispitoisuus vähentyi. Kuitenkaan maito N/rehu N -suhteella tai virtsan typen erityksellä ei ollut yhteyttä maidon valkuaispitoisuuteen (Huhtanen ym. 2015). Syyt maidon valkuaispitoisuuden ja ureapitoisuuden yhteydelle eivät ole vielä selviä. Yksi selitys voi olla, että lisääntynyt maidon valkuaispitoisuus vähentää glukoosin tarvetta muiden maidon ainesosien synteesiin (Huhtanen ym. 2015).

Volpellin ym. (2010) ja Tufarellin ym. (2012) kokeissa maidon ureapitoisuus vähentyi, kun soijaa korvattiin härkävavulla. Volpellin ym. (2010) kokeessa maidon ureapitoisuuden keskiarvo oli koeruokinnalla 28,19 mg/dl ja kontrolliruokinnalla 30,97 mg/dl. Volpellin ym. (2010) kokeen pienemmät ureapitoisuudet voivat johtua siitä, että härkävavun määrä oli paljon pienempi heidän ruokunnoissa kuin meidän. Maidon ureapitoisuuden laskun arveltiin johtuvan härkävavulle tehdystä rehukäsittelystä. Se heikensi härkävavun sulavuutta pötsissä, jolloin pötsiin muodostui vähemmän ammoniakkia. Härkävavun rehukäsittelyn ansioista ohutsuolet imeytyvän valkuaisen määrä voi lisääntyä, jolloin rehun raakavalkuaisen hyödyntäminen on tehokkaampaa. Tämän seurauksena maidon ureapitoisuus voi myös vähentyä.

Ohutsuolet imeytyvän valkuaisen hyväksikäyttö oli tehokkaampaa matalammalla ruokinnan raakavalkuaisitasolla kuin korkeammalla. OIV:n hyväksikäyttö oli keskimäärin 0,70 RV154-ruokunnoilla ja 0,66 RV190-ruokunnoilla. Vaikka OIV:n saanti oli runsaampaa RV190-ruokunnoilla, lehmät eivät kuitenkaan pystyneet hyödyntämään sitä yhtä tehokkaasti kuin RV154-ruokunnoilla. Joko ohutsuolet imeytyvän valkuaisen aminohappojen määrä ja/tai suhteet eivät olleet enää yhtä hyvät kuin ruokinnan matalammalla raakavalkuaispitoisuudella, jolloin ohutsuolet imeytyvää valkuaisa meni enemmän hukkaan kuin hyödyksi maidontuotantoon ja ylläpitoon. Valkuaislähteellä ei ollut vaikutusta ohutsuolet imeytyvän valkuaisen hyväksikäyttöön.

6.4 Typen hyväksikäyttö

Rehusta saatavan typen määrä lisääntyi keskimäärin 72 g/pv rypsi-ruokinnalla, 53 g/pv rypsi-härkäpapuruokinnalla ja 33 g/pv härkäpapuruokinnalla, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin. Rehusta saatavan typen määrä oli myös suurempi rypsi-ruokinnalla ja rypsi-härkäpapuruokinnalla verrattuna härkäpapuruokintaan. Rehusta saatavan typen määrän lisäyksen taustalla on lehmien rehun syönnin lisääntyminen, kun rypsin määrää lisättiin ruokinnassa. Kauffman ja St-Pierre (2001) tutkivat virtsassa erittyvän typen yhteyttä maidon ureapitoisuuteen. Myös heidän kokeessaan lehmien typen saanti lisääntyi merkitsevästi, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin 13 prosentista 17 prosenttiin.

Typen hyväksikäyttöä maidontuotantoon voidaan kuvata arvolla maito N/rehu N. Se kuvaa rehussa syödyn typen hyväksikäyttöä maitoon. Ruokinnan liian suuri raakavalkuaispitoisuus on yleensä syynä pieneen maito N/rehu N arvoon (Huhtanen ym. 2015). Maito N/ rehu N oli pienempi, kun ruokinnan raakavalkuaistaso oli 190 g/kg ka eli rehussa syödyn typen hyväksikäyttö maidontuotantoon oli huonompi. Rypsin ja härkäpavun välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa rehun typen hyväksikäytössä maidontuotantoon, mutta numeerisesti suhde oli 0,01 yksikköä pienempi härkäpapuruokinnalla kuin rypsi-ruokinnalla molemmilla raakavalkuaistasoilla. Maito N/rehu N oli yhtä suuri härkäpapuruokinnalla ja rypsi- härkäpapuruokinnalla, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuus oli 154 g/kg ka. Kun raakavalkuaispitoisuus lisääntyi, maito N/rehu N oli 0,01 yksikköä pienempi härkäpapuruokinnalla verrattuna rypsi-härkäpapuruokintaan. Maidon N/rehun N on yhteydessä myös maidon ureapitoisuuteen. Huhtanen ym. (2015) ja Nousiaisen ym. (2004) yhteenvedossa maidon ureapitoisuuden lisääntyessä vähentyi maidon N/rehu N arvo. Sama tulos oli havaittavissa myös tässä kokeessa.

Typen erityis virtsassa lisääntyi, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin. RV190-ruokinnalla typen erityis virtsassa oli keskimäärin 272 g/pv ja RV154-ruokinnalla 205 g/pv. Typpeä erittyi enemmän virtsaan härkäpapuruo-

kinnoilla verrattuna rypsi-ruokintoihin tai rypsi-härkäpapuruokintoihin suuremmalla ruokinnan raakavalkuaispitoisuudella. Härkäpapuruokinnolla typpeä erittyi virtsaan päivässä 54 g/pv enemmän rypsi-ruokintoihin verrattuna ja 64 g/pv enemmän rypsi-härkäpapuruokintoihin verrattuna. Lisäksi RV190-ruokinnalla typen erityys virtsaan oli 10 g/pv suurempaa rypsi-ruokinnalla verrattuna rypsi-härkäpapuruokintaan. Erot typen erityksessä virtsaan olivat tilastollisesti kuitenkin vain suuntaa-antavia eri valkuaislähteiden välillä. Kauffmanin ja St-Pierren (2001) kokeessa typen erityys virtsassa lisääntyi, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin. Lisääntynyt typen saanti ruokinnassa lisää typen eritystä virtsassa (Kebreab ym. 2002). Typen määrä virtsassa on yhteydessä maidon ureapitoisuuteen (Jonker ym. 1998, Kauffman ja St-Pierre 2001, Huhtanen ym. 2015). Ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden lisääminen lisää lehmien rehusta saaman typen määrää. Tämä lisää plasman ureapitoisuutta, joka on yhteydessä virtsassa erittyvän typen määrään. Plasman ureapitoisuus on yhteydessä myös maidon ureapitoisuuteen. Näin ruokinnan raakavalkuaispitoisuus vaikuttaa maidon ureapitoisuuteen (Nousiainen ym. 2004) ja maidon ureapitoisuuden noustessa ruokinnan raakavalkuaispitoisuuden lisääntyessä, lisääntyy myös virtsassa erittyvän typen määrä.

Märehtijöiden typpimetabolian päälopputuote on plasmaan päätyvä urea (Huhtanen ym. 2015). Rehusta saatavasta tpeestä osa päätyy verenkiertoon pötsin ammoniakista ja osa imeytyy ohutsuoilesta aminohappoina ja peptideinä (Jonker ym. 1998). Osa näistä aminohapoista ja peptideistä käytetään lehmien maidontuotantoon ja ylläpitoon ja/tai kasvuun (Jonker ym. 1998). Ylimääräiset aminohapot ja peptidit deaminoidaan maksassa ja myös ylimääräinen ammoniakki muutetaan maksassa ureaksi (Beitz 2004). Urea siirtyy maksasta verenkierron mukana munuaisiin, joissa se eritetään pois virtsan mukana. Veren virtaus munuaisten läpi on jatkuvaa, jolloin urean poistaminen virtsan mukana on jatkuvaa riippumatta virtsan määrästä (Jonker ym. 1998). Jos virtsan määrä on pieni, urean pitoisuus on suuri virtsassa ja päinvastoin, jos virtsan määrä olisi suuri. Ureasta puhdistetun veren määrä silti on sama, riippumatta virtsan määrästä (Reece 2004). Vaikka ureapitoisuus veressä olisi korkea, saman verran verta puhdistettaisiin ureasta, mutta virtsan ureapitoisuus olisi vain suuri. Tämän takia urean eli typen erityys virtsassa on verrannollinen plasman

ureapitoisuuteen (Jonker ym. 1998). Maidon synteessin aikana maitorauhassa urea pystyy erittymään vapaasti verestä maitoon (Gustafsson ja Palmquist 1993). Tämän takia maidon ureapitoisuus on yhteydessä plasmaan ureapitoisuuden kanssa (Roseler ym. 1993) ja maidon ureapitoisuutta voidaan hyödyntää virtsan typen erityksen ennustamiseen (Ciszuk ja Gebregziabher 1994, Jonker ym. 1998, Kauffman ja St-Pierre 2001, Huhtanen ym. 2015).

6.5 Plasman aineenvaihduntatuotteet

Plasman glukoosin pitoisuus oli suurempi korkeammalla ruokinnan valkuaistassolla verrattuna matalampaan ruokinnan valkuaistasoon. Lisääntynyt lehmien kokonaiskuiva-aineen syönti voi edistää glukoosin synteesiä (Martineau ym. 2014). Lisääntynyt raakavalkuaisen saanti voi myös lisätä glukoneogeneesiä, koska aminohappoja on saatavilla yli tarpeiden (Martineau ym. 2014). Plasman glukoosin pitoisuus oli suuntaa-antavasti suurempi härkäpapuruokinnalla kuin rypsi-ruokinnalla tai rypsi-härkäpapuruokinnalla. Tufarelli ym. (2012) kokeessa plasman glukoosipitoisuudessa ei ollut merkitsevää eroa soijaruokinnalla verrattuna härkäpapuruokintaan. Härkäpapuruokinnalla plasman glukoosipitoisuus oli 50,3 mg/dl ja soijaruokinnalla 48,5 mg/dl. Myös M'Hamedin ym. (2001) ja Lawin ym. (2009) kokeissa ei ollut merkitsevää eroa plasman glukoosipitoisuudessa, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin. Lawin ym. (2009) kokeessa plasman glukoosipitoisuus oli suurimmillaan 3,34 mmol/l. Tosin Lawin ym. (2009) kokeessa valkuaislähteenä ei käytetty härkäpapua vaan soijaa ja rypsiä. Lisäksi Lawin ym. (2009) kokeessa plasman BHBA:n pitoisuus vähentyi, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuus lisääntyi.

Lawin ym. (2009) ja Tufarellin ym. (2012) kokeissa ruokinnan raakavalkuaispitoisuudella ei ollut vaikutusta plasman NEFA:n pitoisuuksiin. Molempien kokeiden NEFA:n pitoisuudet olivat myös suuremmat omiin tuloksiimme verrattuna. Tufarellin ym. (2012) kokeen NEFA:n pitoisuudet olivat kontrolliruokinnalla 0,32 mmol/l ja härkäpapuruokinnalla 0,33 mmol/l. M'Hamedin ym. (2001) kokeessa plasman NEFA:n pitoisuus oli puolestaan suurempi ruokinnan raakavalkuaislisän ollessa formaldehydillä käsitelty soija. Rypsi-ruokinnalla NEFA:n pitoisuus oli keskimäärin 0,12 mmol/l, rypsi-härkäpapuruokinnalla

0,12 mmol/l ja härkäpapuruokinnoilla 0,12 mmol/l. M'Hamedin ym. (2001) plasman NEFA:n pitoisuudet olivat matalalla valkuaispitoisuudella 0,11 mmol/l, korkealla valkuaispitoisuudella, käsittelemättömällä soijalla 0,12 mmol/l ja korkealla valkuaispitoisuudella, formaldehydillä käsitellyllä soijalla 0,20 mmol/l. Erot NEFA:n pitoisuuksissa voivat johtua kokeiden erilaisista rehuista. Tuloksissa plasman NEFA:n ja insuliinin pitoisuuksissa ei ollut merkitseviä eroja ruokinnan eri raakavalkuaispitoisuuksien välillä. Plasman insuliinin pitoisuus lisääntyi härkäpapuruokinnalla sekä rypsi-härkäpapuruokinnalla, kun ruokinnan raakavalkuaispitoisuutta lisättiin, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Lehmien energiansaanti oli riittävää, koska plasman insuliinin pitoisuus lisääntyi eikä vähentynyt, jolloin myös NEFA:n pitoisuus lisääntyisi. Alhainen plasman insuliinin pitoisuus stimuloi NEFA:n vapautumista rasvakudoksessa, jos lehmät eivät saa riittävästi energiaa sekä ylläpitoon sekä maidontuotantoon esimerkiksi poikimisen jälkeen (Salin ym. 2012).

Plasman histidiinin pitoisuus lisääntyi, kun ruokinnan valkuaispitoisuutta lisättiin, mutta rypsin korvaaminen härkäpavulla ei vaikuttanut histidiinin pitoisuuteen. Histidiinin pitoisuus oli keskimäärin 52,2 $\mu\text{mol/l}$ RV190-ruokinnoilla ja 43,5 $\mu\text{mol/l}$ RV154-ruokinnoilla. Kim ym. (2001) tutki histidiinin vaikutusta maidon tuotantoon, kun lehmille annettiin suonensisäisesti histidiinilisä. Histidiinilisän annoskoot vaihtelivat riippuen päivästä, jolloin ne annettiin. Lehmien maito- ja valkuaisuotokset eivät enää lisääntyneet, kun histidiinin pitoisuus plasmassa oli yli 37 $\mu\text{mol/l}$. Rypsi-ruokinnoilla histidiinin pitoisuus plasmassa oli pienemmillään 46,8 $\mu\text{mol/l}$ ja suurimmillaan 52,9 $\mu\text{mol/l}$, rypsi-härkäpapuruokinnoilla pienemmillään 43,9 $\mu\text{mol/l}$ ja suurimmillaan 53,8 $\mu\text{mol/l}$ ja härkäpapuruokinnoilla 39,8 $\mu\text{mol/l}$ ja 50,0 $\mu\text{mol/l}$. Kimin ym. (2001) kokeiden tulosten perusteella voidaan sanoa, että histidiini ei rajoittanut lehmien maidontuotantoa tässä tutkimuksessa.

Plasman metioniinin pitoisuus vähentyi, kun rypsiä korvattiin härkäpavulla. Rypsillä metioniinin pitoisuus oli 22,7 $\mu\text{mol/l}$ RV154-ruokinnalla ja 23,1 $\mu\text{mol/l}$ RV190-ruokinnalla. Härkäpapua käytettäessä vastaavat luvut olivat 20,4 $\mu\text{mol/l}$ ja 18,2 $\mu\text{mol/l}$. Rypsin ja härkäpavun seosta käytettäessä metioniinin pitoisuus oli 21,8 $\mu\text{mol/l}$ RV154-ruokinnalla ja 22,3 $\mu\text{mol/l}$ RV190-ruokinnalla.

Pisulewski ym. (1996) tutkivat pötsin jälkeen annetun metioniinilisän vaikutusta lehmien maitotuotantoon sekä plasman parametreihin. Maitotuotokseen, rasvatuotokseen tai rasvakoostumukseen metioniinilisällä ei ollut vaikutusta. Sen sijaan maidon valkuaistuotos ja valkuaispitoisuus lisääntyivät lineaarisesti, kun plasman metioniinin pitoisuus lisääntyi pitoisuudesta 15 µmol/l pitoisuuteen 37 µmol/l. Härkäpapuruokinnoilla plasman metioniinin pitoisuudet olivat suhteellisen alhaiset verrattuna Pisulewskin ym. (1996) kokeen tuloksiin. Metioniinin vähäinen määrä on siis voinut vähentää lehmien maito- ja valkuaistuotosta sekä valkuaispitoisuutta härkäpapuruokinnoilla. Lisäksi lehmien kokonaiskuiva-aineen syönnin vähentyminen härkäpapuruokinnoilla on voinut vähentää mikrobivalkuaisen muodostumista pötsissä, jolloin metioniinin ja muiden aminohappojen imeytyminen ohutsuoletta on voinut vähentyä. Mikrobivalkuaisen muodostumisen vähentymisen taustalla voi olla härkäpavun siementen raakavalkuaisen liian suuri hajoaminen pötsissä, jolloin pötsin ammoniakipitoisuus lisääntyy ja se lopulta eritetään elimistöä pois ureana virtsan ja sonnan mukana.

Shingfieldin ym. (2003) kokeessa metioniinin sekä histidiinin pitoisuudet lisääntyivät plasmassa, kun valkuaislisänä käytettiin rypsiä. Myös Shingfieldin ym. (2003) kokeessa rypsi lisäsi välttämättömien aminohappojen ja haaraketjuisten aminohappojen pitoisuuksia enemmän kuin soija. Nämä muutokset osaltaan selittävät suurempaa maidon valkuaistuotosta, kun valkuaislisänä on rypsi (Shingfield ym. 2003). Aminohappojen imeytymisen on todettu olevan suurempaa ohutsuolessa, kun valkuaislisänä käytetään soijan sijasta rypsiä (Huhtanen ym. 2011). Tulosten perusteella sama voi syy voi selittää erot myös rypsin ja härkäpavun välillä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä maisterintutkielmassa tutkittiin, miten härkäpavun kaksi eri annostusta-soa vaikuttavat lypsylehmien maitotuotokseen rypsirouheeseen verrattuna, kun säilörehuna käytettiin heinäkasvisäilörehua. Hypoteesina oli, että härkäpavulla ei voi korvata kokonaan rypsiä ilman maitotuotoksen vähentymistä,

mutta rypsin osittainen korvaaminen härkävavulla on mahdollista ilman maitotuotoksen vähentymistä. Lisäksi oletettiin, että korkeammalla ruokinnan valkuais- aistasolla rypsin korvaamisen vaikutukset ovat suuremmat kuin matalammalla ruokinnan valkuais- aistasolla. Härkävavun käyttöä voi rajoittaa lehmien ruokin- nassa myös sen vähäinen metioniinin määrä verrattuna rypsiin.

Tulokset vastasivat hypoteesia, jonka mukaan rypsiä ei voi korvata kokonaan härkävavulla ilman syönnin ja maitotuotoksen vähenemistä. Lehmien maito- tuotos vähentyi sekä matalammalla että korkeammalla ruokinnan raakavalku- aistasolla, kun rypsi korvattiin kokonaan härkävavulla. Myös rypsin osittainen korvaaminen heikensi tulosta, mutta vaikutukset lehmien rehun syöntiin tai maitotuotokseen olivat pienempiä kuin rypsin täydellisessä korvaamisessa. Rypsin ja härkävavun seoksen avulla voidaan varmistaa paremmin lehmien riittävä aminohappojen saanti pelkkään härkävavun verrattuna. Lehmien maitotuotos lisääntyi, kun härkävavua käytettiin korkeammalla valkuais- aistasolla yhdessä rypsin kanssa verrattuna matalaan tasoon. Härkävavun käyttö ai- noana valkuaisrehuna korkeammalla valkuais- aistasolla vähensi lehmien maito- tuotosta matalaan valkuais- aistasoon verrattuna.

8 KIITOKSET

Haluan esittää lämpimät kiitokset maisterintutkielmani ohjaajille sekä perheel- leni.

LÄHTEET

- AOAC. 1995. Official methods of analysis. 16. painos. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.
- Ahvenjärvi, S., Vanhatalo, A., Huhtanen, P. & Varvikko, T. 2000. Determination of reticulo-rumen and whole-stomach digestion in lactating cows by omasal canal or duodenal sampling. *British Journal of Nutrition* 83: 67-77.
- Bach Knudsen, K. E. 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and Technology* 67: 319-338.
- Barker, S. B. & Summerson, W. H. 1941. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *Journal of Biological Chemistry* 138: 535-554.
- Beitz, D. C. 2004. Protein and amino acid metabolism. Teoksessa: Reece, W.O. (toim.). *Dukes' physiology of domestic animals*. 12. painos. Ithaca: Cornell University Press. s. 535-553.
- Blair, R. 2011. Nutrition and feeding of organic cattle. 1. painos. Wallingford: CABI. 303 s.
- Broderick, G. A. & Clayton, M. K. 1997. A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science* 80: 2964-2971.
- Broderick, G. A., Faciola, A. P. & Armentano, L. E. 2015. Replacing dietary soybean meal with canola meal improves production and efficiency of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 98: 5672-5687.
- Canibe, N. & Eggum, B. O. 1997. Digestibility of dried and toasted peas in pigs. 2. Ileal and total tract digestibilities of amino acids, protein and other nutrients. *Animal Feed Science and Technology* 64: 311-325.

- Ciszuk, P. & Gebregziabher, T. 1994. Milk urea as an estimate of urine nitrogen of dairy cows and goats. *Acta Agriculturae Scandinavica A-Animal Sciences* 44: 87-95.
- Chen, X. B. & Gomez, M. J. 1992. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives: An overview of technical details. *Int. Feed Res. Unit, Occasional Publ.* Rowett Research Institute, Aberdeen, United Kingdom.
- Crépon, K., Marget, P., Peyronnet, C., Carrouée, B., Arese, P. & Duc, G. 2010. Nutritional value of faba bean (*Vicia faba* L.) seeds for feed and food. *Field Crops Research* 115: 329-339.
- Cros, P., Vernay, M. & Moncoulon, R. 1991. In situ evaluation of the ruminal and intestinal degradability of extruded whole horse beans. *Reproduction, Nutrition, Development* 31: 249-255.
- Davis, A. W. & Hall, W. B. 1969. Cyclic change-over designs. *Biometrika* 56: 283-293.
- Dixon, R. & Hosking, B. 1992. Nutritional value of grain legumes for ruminants. *Nutrition Research Reviews* 5: 19-43.
- D'Mello, J. P. F. 2000. Anti-nutritional factors and mycotoxins. *Teoksessa: D'Mello, J.P.F. (toim). Farm animal metabolism and nutrition.* Wallingford: CABI. 438 s.
- Edmonson, A., Lean, I., Weaver, L., Farver, T. & Webster, G. 1989. A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. *Journal of Dairy Science* 72: 68-78.
- European Commission. 1998. Commission Directive 98/64/EC. Community methods of analysis for the determination of amino acids, crude oils, and fats, and olaquinox in feeding stuffs and amending directive 71/393/EEC. *Teoksessa: Off. J. European Communities* L 257. s. 4-23.

- Evira. 2016. Luomutuotanto 2. Eläintuotannon ehdot. 8.korjattu painos. http://www.evira.fi/files/attachments/fi/evira/lomakkeet_ja_ohjeet/luomu/ohje_1821_luomutuotanto_2_versio_8_elaintuotannon_ehdot_fi.pdf. Viitattu 23.2.2016.
- Ferruzzi, G., Pistoia, A., Balestri, G., Casarosa, L. & Poli, P. 2009. Effect of different processing methods on the nutritional characteristics and tannin content of fababean seed (*Vicia faba minor*). *Italian Journal of Animal Science* 8: 298-300.
- Focant, M., Van Hoecke, A. & Vanbelle, M. 1990. The effect of two heat treatments (steam flaking and extrusion) on the digestion of *Pisum sativum* in the stomachs of heifers. *Animal Feed Science and Technology* 28: 303-313.
- George, S., Dipu, M., Mehra, U., Singh, P., Verma, A. & Ramgaokar, J. 2006. Improved HPLC method for the simultaneous determination of allantoin, uric acid and creatinine in cattle urine. *Journal of Chromatography B* 832: 134-137.
- Gustafsson, A. & Palmquist, D. 1993. Diurnal variation of rumen ammonia, serum urea, and milk urea in dairy cows at high and low yields. *Journal of Dairy Science* 76: 475-484.
- Hoover, W. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *Journal of Dairy Science* 69: 2755-2766.
- 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., Cabezas-Garcia, E. H., Krizsan, S. J. & Shingfield, K. J. 2015. Evaluation of between-cow variation in milk urea and rumen ammonia nitrogen concentrations and the association with nitrogen utilization and diet digestibility in lactating cows. *Journal of Dairy Science* 98: 3182-3196.

- Huida, L., Väättäinen, H. & Lampila, M. 1986. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. Comparison of dry matter contents in grass silages as determined by oven drying and gas chromatographic water analysis. *Annales Agriculturae Fenniae*: 215-230.
- Ingalls, J. & McKirdy, J. 1974. Faba bean as a substitute for soybean meal or rapeseed meal in rations for lactating cows. *Canadian Journal of Animal Science* 54: 87-89.
- Ingalls, J. R., McKirdy, J. A. & Sharma, H. R. 1980. Nutritive value of faba-beans in the diets of young Holstein calves and lactating dairy cows. *Canadian Journal of Animal Science* 60: 689-698.
- Jezierny, D., Mosenthin, R. & Bauer, E. 2010. The use of grain legumes as a protein source in pig nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology* 157: 111-128.
- Jonker, J., Kohn, R. & Erdman, R. 1998. Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 81: 2681-2692.
- Kauffman, A. & St-Pierre, N. 2001. The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science* 84: 2284-2294.
- Kebreab, E., France, J., Mills, J., Allison, R. & Dijkstra, J. 2002. A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. *Journal of Animal Science* 80: 248-259.
- Khalili, H., Kuusela, E. & Saarisalo, E. 1999. Use of rapeseed and pea grain protein supplements for organic milk production. *Agricultural and Food Science* 8: 239-252.

- Kim, C., Choung, J. & Chamberlain, D. G. 2001. Estimates of the efficiency of transfer of L-histidine from blood to milk when it is the first-limiting amino acid for secretion of milk protein in the dairy cow. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81: 1150-1155.
- Koivunen, E. 2016. Home-grown grain legumes in poultry diets. Doctoral Thesis. Doctoral Programme in Sustainable Use of Renewable Natural Resources Department of Agricultural Sciences (Animal Science). Publication no. 5/2016. 59 p.
- Korhonen, M., Ahvenjärvi, S., Vanhatalo, A. & Huhtanen, P. 2002. Supplementing barley or rapeseed meal to dairy cows fed grass-red clover silage: II. Amino acid profile of microbial fractions. *Journal of Animal Science* 80: 2188-2196.
- Larsen, M., Lund, P., Weisbjerg, M. & Hvelplund, T. 2009. Digestion site of starch from cereals and legumes in lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 153: 236-248.
- Law, R. A., Young, F. J., Patterson, D. C., Kilpatrick, D. J., Wylie, A. R. G. & Mayne, C. S. 2009. Effect of dietary protein content on animal production and blood metabolites of dairy cows during lactation. *Journal of Dairy Science* 92: 1001-1012.
- Luke. 2016. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. Luonnonvarakeskus, Jokioinen. Verkkojulkaisu:<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/Rehutaulukot>. Viitattu 12.2.2016.
- Martineau, R., Ouellet, D. & Lapierre, H. 2014. The effect of feeding canola meal on concentrations of plasma amino acids. *Journal of Dairy Science* 97: 1603-1610.
- Masoero, F., Pulimeno, A. M. & Rossi, F. 2005. Effect of extrusion, expansion and toasting on the nutritional value of peas, faba beans and lupins. *Italian Journal of Animal Science* 4: 177-189.

- McCullough, H. 1967. The determination of ammonia in whole blood by a direct colorimetric method. *Clinica Chimica Acta* 17: 297-304.
- McDonald, P. 2011. *Animal nutrition*. 7. painos. Harlow, England: Pearson. 692 s.
- Melicharová, V., Pechová, A., Dvorák, R. & Pavlata, L. 2009. Performance and metabolism of dairy cows fed bean seeds (*Vicia faba*) with different levels of anti-nutritional substances. *Acta Veterinaria Brno* 78: 57-66.
- M'hamed, D., Faverdin, P. & Verité, R. 2001. Effects of the level and source of dietary protein on intake and milk yield in dairy cows. *Animal Research* 50: 205-211.
- Nousiainen, J., Shingfield, K. & Huhtanen, P. 2004. Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *Journal of Dairy Science* 87: 386-398.
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2003. Prediction of the digestibility of primary growth and regrowth grass silages from chemical composition, pepsin-cellulase solubility and indigestible cell wall content. *Animal Feed Science and Technology* 110: 61-74.
- Offner, A., Bach, A. & Sauvant, D. 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology* 106: 81-93.
- Oldham, J.D. & Smith, T. 1982. Protein-energy interrelationships for growing and for lactating cow. Teoksessa: Miller, E.L. (toim.). Protein contribution of feedstuffs for ruminants. Butterworths, London. s. 103-130.
- Oldham, J. 1984. Protein-energy interrelationships in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 67: 1090-1114.
- Oltner, R. & Wiktorsson, H. 1983. Urea concentrations in milk and blood as influenced by feeding varying amounts of protein and energy to dairy cows. *Livestock Production Science* 10: 457-467.

- Peoples, M. B., Herridge, D. F. & Ladha, J. K. 1995. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? *Plant and Soil* 174: 3-28.
- Perälä, A. 2008. Herne lypsylehmien valkuaisrehuna. Kotieläinten ravitsemustieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos. 43 s.
- Pisulewski, P., Rulquin, H., Peyraud, J. & Verite, R. 1996. Lactational and systemic responses of dairy cows to postruminal infusions of increasing amounts of methionine. *Journal of Dairy Science* 79: 1781-1791.
- Puhakka, L., Jaakkola, S., Simpura, I., Kokkonen, T. & Vanhatalo, A. Effects of replacing rapeseed meal with faba bean at two isonitrogenous protein supplementation levels on feed intake, nutrient digestion and milk production in cows fed grass silage based diets. Unpublished manuscript.
- PROLEA La filière français des huiles et protéines végétales. 2013. De la production à la consommation. Edition 2012-2013. Verkojulkaisu: <http://www.prolea.com/fileadmin/internet/fichiers/chiffres/de-la-production-a-la-consommation-2012-2013.pdf>. Viitattu 14.4.2016.
- Ramos-Morales, E., Sanz-Sampelayo, M. R. & Molina-Alcaide, E. 2010. Nutritive evaluation of legume seeds for ruminant feeding. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 94: 55-64.
- Reece, W. O. 2004. Kidney function in mammals. Teoksessa: Reece, W.O. (toim.). *Dukes' physiology of domestic animals*. 12. painos. Ithaca: Cornell University Press. s. 73-107.
- Roseler, D., Ferguson, J., Sniffen, C. & Herrema, J. 1993. Dietary protein degradability effects on plasma and milk urea nitrogen and milk nonprotein nitrogen in Holstein cows. *Journal of Dairy Science* 76: 525-534.

- Salin, S., Taponen, J., Elo, K., Simpura, I., Vanhatalo, A., Boston, R. & Kokkonen, T. 2012. Effects of abomasal infusion of tallow or camelina oil on responses to glucose and insulin in dairy cows during late pregnancy. *Journal of Dairy Science* 95: 3812-3825.
- Salo, M. 1965. Determination of carbohydrate fractions in animal foods and faeces. *Acta Agralia Fennica* 105: 1-102.
- Salo, M. & Salmi, M. 1968. Determination of starch by the amyloglucosidase method. *The Journal of Scientific Agricultural Society of Finland* 40: 38-45.
- Sjaunja, L., Baevre, L., Junkkarinen, L., Pedersen, J. & Setälä, J. 1990. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. *Performance recording of animals: State of the Art* 50: 156-157.
- Somogyi, M. 1945. A new reagent for the determination of sugars. *Journal of Biological Chemistry* 160: 61-68.
- Stamm, M. 2015. Effects of different microalgae supplements on fatty acid composition, oxidation stability, milk fat globule size and phospholipid content of bovine milk. *Elintarviketeknologian maisteritutkielma*. Helsingin yliopisto, elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, EMFOL-ohjelma. 86 s.
- Stoddard, F. L., Hovinen, S., Kontturi, M., Lindstrom, K. & Nykänen, A. 2009. Legumes in Finnish agriculture: History, present status and future prospects (Review article). *Agricultural and Food Science* 18: 191-205.
- Tufarelli, V., Khan, R. U. & Laudadio, V. 2012. Evaluating the suitability of field beans as a substitute for soybean meal in early-lactating dairy cow: Production and metabolic responses. *Animal Science Journal* 83: 136-140.
- Thomas, C. & Rae, R.C. 1988. Concentrate supplementation of silage for dairy cows. *Teoksessa: Garnsworthy, P.C. (toim.). Nutrition and lactation in the dairy cow*. Butterworths, London. s. 327-354.

- Valadares, R., Broderick, G., Valadares Filho, S. & Clayton, M. 1999. Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives. *Journal of Dairy Science* 82: 2686-2696.
- van der Poel, A. F. B., Gravendeel, S. & Boer, H. 1991. Effect of different processing methods on tannin content and in vitro protein digestibility of faba bean (*Vicia faba* L.). *Animal Feed Science and Technology* 33: 49-58.
- Van Keulen, J. & Young, B. 1977. Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science* 44: 282-287.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B. & Lewis, B. A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74: 3583-3597.
- 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.
- Volpelli, L. A., Comellini, M., Gozzi, M., Masoero, F. & Moschini, M. 2012. Pea (*Pisum sativum*) and faba beans (*Vicia faba*) in dairy cow diet: effect on milk production and quality. *Italian Journal of Animal Science* 11: 40.
- Volpelli, L. A., Comellini, M., Masoero, F., Moschini, M., Lo Fiego, D. P. & Scipioni, R. 2010. Faba beans (*Vicia faba*) in dairy cow diet: Effect on milk production and quality. *Italian Journal of Animal Science* 9: 138-144.
- Walhain, P., Foucart, M. & Théwis, A. 1992. Influence of extrusion on ruminal and intestinal disappearance in sacco of pea (*Pisum sativum*) proteins and starch. *Animal Feed Science and Technology* 38: 43-55.

Wilkins, R. J. & Jones, R. 2000. Alternative home-grown protein sources for ruminants in the United Kingdom. *Animal Feed Science and Technology* 85: 23-32.