

Áhrif fóðrunar á efnainnihald mjólkur með sérstaka áherslu á fitu

Hrafnhildur Baldursdóttir og Jóhannes Sveinbjörnsson



Áhrif fóðrunar á efnainnihald mjólkur með sérstaka áherslu á fitu

Hrafnhildur Baldursdóttir og Jóhannes Sveinbjörnsson

Verkefnið var fjármagnað af;
Framleiðnisjóði (þróunarsjóði nautgriparæktarinnar)
Samtökum afurðastöðva í mjólkuriðnaði
Búnaðarsambandi Suðurlands
Landbúnaðarháskóla Íslands

Mynd á kápu:
Sigríður Ólafsdóttir

Efnisyfirlit

Ágrip.....	2
Markmið verkefnisins.....	3
Fyrri rannsóknir.....	3
Innlendar rannsóknir.....	3
Efnafræði mjólkurfitunnar – nokkur grunnatriði.....	5
Almennt um efnasamsetningu mjólkur	6
Skortur á samhengi fódurefna við efnasamsetningu mjólkur.....	7
Helstu áhrifaþættir á efnasamsetningu mjólkur.....	8
Uppruni fitusýra í mjólk.....	8
Fituinnihald mjólkur- helstu kenningar	9
Lækkun á fituhlutfalli mjólkur vegna skorts á hráefnum (edikssýru, smjörsýru)	9
Glucogenic-insulin kenningin	9
Biohydrogenation kenningin	9
Samspil trénis og fjölómattaðra fitusýra.....	9
Magn og virkni trénis	10
Jafnvægi efna í heildar fódurskammti	10
Fóðurframsetning	10
Notkun viðbótarfitu í fódri til að hafa áhrif á fituinnihald mjólkur.....	10
Efni og aðferðir	14
Fóður – hráefni og efnasamsetning	14
Fóðuráætlun- tilraunaeðferðir- fóðrun.....	16
Gripir og tilraunaskipulag	17
Mælingar og sýnataka	18
Tölfræðileg úrvinnsla	19
Niðurstöður.....	20
Umræður og ályktanir	23
Þakkir	24
Heimildaskrá	25

Ágrip

Markaður fyrir mjólk og mjólkurvörur er breytingum háður og mikilvægt fyrir bændur að geta brugðist við breyttum þörfum með aðstoð nýjustu þekkingar. Aukin eftirspurn hefur verið eftir mjólk og þá sérstaklega fituríkum mjólkurvörum síðustu misserin. Fóðrun er einn af þeim þáttum sem hefur áhrif á efnainnihald mjólkur og fitan er sá efnabáttur í mjólkinni sem auðveldast er að hafa áhrif á með fóðrun. Hins vegar getur það gerst að þegar fituinnihaldi mjólkur er breytt með fóðrun komi fram neikvæð áhrif á fóðurát, nyt, próteininnihald og fleira. Því er mikilvægt að greina þá þætti í fóðri sem geta skilað auknu fituinnihaldi mjólkur án þess að hafa um of neikvæð áhrif á aðra mikilvæga þætti.

Verkefnið „Áhrif fóðrunar á efnainnihald í mjólk, með sérstaka áherslu á fitu“ sem hér er sagt frá hafði þann tilgang að skilgreina helstu þætti í fóðrun sem áhrif hafa á efnahlutföll í mjólk, með sérstakri áherslu á fituhlutfallið og þar með einnig hlutfallið fita/prótein. Sú skýrsla um verkefnið er hér gefur að líta er tvíþætt; annars vegar nokkuð ítarlegur kafli um fyrri rannsóknir en þar á eftir er sagt frá tilraun sem gerð var á tilraunabúinu á Stóra-Ármóti fyrri hluta árs 2016.

Í kaflanum um fyrri rannsóknir eru fyrst rifjaðar upp íslenskar rannsóknir er tekið hafa sérstaklega fyrir áhrif fóðrunar á efnainnihald mjólkur. Því næst er farið yfir nokkur grunnatriði varðandi efnafræði mjólkurfitunnar, fjallað almennt um efnasamsetningu mjólkur og áhrif fóðrunar í því sambandi. Þar á eftir kemur nánari umfjöllun um uppruna fitusýra í mjólkinni og helstu kenningar um áhrif fóðrunar á fituinnihald mjólkur. Að lokum er svo greint frá ýmsum nýlegum erlendum rannsóknum varðandi áhrif sérstakrar fituviðbótar í fóðri á efnainnihald mjólkur.

Tilraunin á Stóra-Ármóti var sett upp með það fyrir augum að prófa á íslenskum gróffóðurgrunni fituviðbót í kjarnfóðri með tvennum hætti, annars vegar í gegnum kjarnfóðurlöndu og hins vegar með beinni íblöndun þurrfitu í heilfóður. Tilraunin heppnaðist vel og skilar niðurstöðum sem svara rannsóknasurningunum, sem voru um það hvort umræddar tilraunameðferðir hefðu áhrif á át, nyt og efnahlutföll mjólkur.

Fituviðbót í fóðri, hvort sem er úr þurrfitu eða kjarnfóðurlöndu, leiddi til breytingar á efnainnihaldi mjólkurinnar, þannig að fituhlutfall mjólkurinnar hækkaði og próteinhlutfallið lækkaði, alfarið vegna lækkunar á kaseinhluta próteinsins. Hærra hlutfall var af fríum fitusýrum í mjólkinni hjá kúm sem fengu fituviðbót. Allt er þetta í samræmi við niðurstöður erlendra rannsókna, og sýnir að jafnvel þegar tréni úr gróffóðri uppfyllir kröfur um magn og gæði sem ættu að forða frá óeðlilegri lækkun mjólkurfitu, er hægt að fara frá „eðlilegum“ hlutföllum mjólkurefna upp í hærra hlutfall fitu á kostnað próteins, með því að bæta í fóðrið fitu sem er að uppistöðu pálmasýra (16:0). Breyting um 5% á fitu/prótein hlutfalli mjólkurinnar eins og kom fram í þessu verkefni, er umtalsverð og ætti að vera þýðingarmikið fyrir bændur og mjólkuriðnaðinn að vita af þessum möguleika til að stilla af jafnvægi milli framboðs og eftirspurnar á þessum tveimur verðefnum mjólkurinnar.

Markmið verkefnisins

Markaður fyrir mjólk og mjólkurvörur er breytingum háður og mikilvægt er fyrir bændur að geta brugðist við breyttum þörfum með aðstoð nýjustu þekkingar. Aukin eftirspurn hefur verið eftir mjólk og þá sérstaklega fituríkum mjólkurvörum síðustu misserin. Til að bregðast við þessu var skipulagt rannsóknaverkefni með það meginmarkmið að rannsaka og skilgreina áhrif ýmissa þátta í fóðri á efnainnihald mjólkur, með sérstakri áherslu á fituinnihald. Eftirfarandi undirmarkmið voru sett:

1. Að skilgreina og skýra út frá fyrirbyggjandi þekkingu viðmið um innihald fóðurs af mismunandi kolvetnum (sykur/sterkja/tréni) og ómettuðum fitusýrum, með tilliti til áhrifa á fituinnihald mjólkur.
2. Að rannsaka áhrif sérstakrar fituviðbótar í fóðri á fituinnihald mjólkur og aðra þætti framleiðslunnar (át, nyt, próteininnihald, o.s.frv.).
3. Að bera saman tvær aðferðir við það að bæta inn fitunni; annars vegar í gegnum kjarnfóðurlöndu og hins vegar með beinni íblöndun í heilfóður.

Seinni tvö undirmarkmiðin voru hluti af tilraunaskipulaginu en það fyrsta er tekið fyrir með skoðun á ýmsum erlendum og innlendum rannsóknum, en þetta tvinnast þó allt saman í umræðukafla aftast í þessari skýrslu. Áður en sagt verður frá þeirri tilraun sem er uppistaða þessa verkefnis kemur kafla um fyrri rannsóknir þar sem fræðilegur bakgrunnur er kynntur.

Fyrri rannsóknir

Hér verða fyrst rifjaðar upp íslenskar rannsóknir er tekið hafa sérstaklega fyrir áhrif fóðrunar á efnainnihald mjólkur. Því næst verður farið yfir nokkur grunnatriði varðandi efnafræði mjólkurfítunnar, fjallað almennt um efnasamsetningu mjólkur og áhrif fóðrunar í því sambandi. Þar á eftir kemur nánari umfjöllun um uppruna fitusýra í mjólkinni og helstu kenningar um áhrif fóðrunar á fituinnihald mjólkur. Að lokum er svo greint frá ýmsum nýlegum erlendum rannsóknum varðandi áhrif sérstakrar fituviðbótar í fóðri á efnainnihald mjólkur.

Innlendar rannsóknir

Efnainnihald mjólkur stjórnast bæði af erfðum og fóðrun, eins og nokkuð ítarlega var tekið fyrir í sérstöku rannsóknáttaki um og uppúr aldamótunum síðustu. Að verkefninu stóðu Rannsóknastofnun landbúnaðarins, Landbúnaðarháskólinn á Hvanneyri, Tæknisjóður Rannís, Framleiðnisjóður landbúnaðarins og Búnaðarsamband Suðurlands. Verkefnisstjóri var Bragi Líndal Ólafsson. Nokkrar greinar sem út úr því átaki komu er að finna á greinasafni landbúnaðarins, á www.landbunadur.is

Til að vísa fróðleiksfúsum lesendum veginn í að kynna sér þær greinar, er hér örstutt yfirlit (1. tafla) um hvað er tekið fyrir í þeim. Rétt er að geta þess að á þessum árum var verið að leita leiða til að auka próteinhlutfallið í mjólkinni en ekki fituhlutfallið eins og nú.

Áður höfðu komið fram í tilraun á Stóra-Ármóti (Gunnar Ríkharðsson, 1990) mikil neikvæð áhrif af hertu loðnulýsi í kjarnfóðri mjólkurkúa á fitu- og próteinhlutfall mjólkurinnar. Íblöndun í kjarnfóðri í þeirri tilraun var 0, 4 eða 8% hert loðnulýsi. Í annari tilraun (Einar Gestsson og Gunnar Ríkharðsson, 1996) voru rannsökuð áhrif af 3% íblöndun af hertu

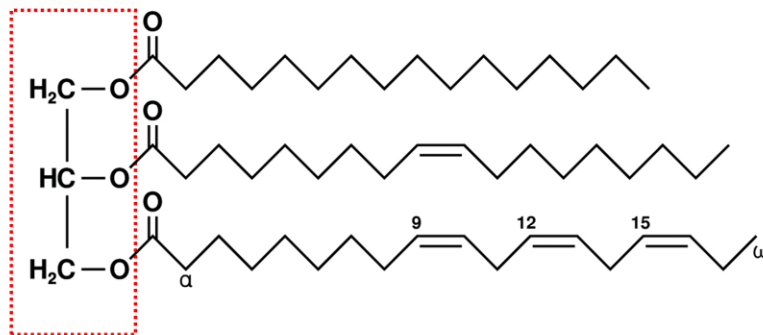
loðnulýsi í kjarnfóður mjólkurkúa. Loðnulýsið hafði neikvæð áhrif á át kúnna á vothegi en ekki á þurrhegi, neikvæð áhrif á próteinhlutfall mjólkurinnar en ekki marktæk áhrif á fituhlutfallið né framleiðslu orkuleiðréttrar mjólkur. Áhrif 3% loðnulýsisinnblöndunar á fitusýrusamsetningu mjólkurfitunnar voru helst þau að hlutfall fitusýra með keðjur C-20 og lengri tvö- til þrefölduðust og hlutfall ómettaðra fitusýra hækkaði heldur.

1. tafla. Yfirlit um greinar sem er að finna í greinasafni á www.landbunadur.is og fjalla um rannsóknir er gerðar voru á efnainnihaldi íslenskrar kúamjólkur í upphafi 21. aldarinnar.

<p>Bragi Línadal Ólafsson; Jóhannes Sveinbjörnsson og Emma Eyþórsdóttir, 2000. Efnainnihald í mjólk. Ráðunautafundur 2000: bls. 158-170.</p>	<p>Farið yfir fyrirliggjandi þekkingu á áhrifum erfða og fóðrunar á efnainnihald mjólkur. Erfðafræði mjólkurpróteina er tekin ítarlega fyrir, og samanburður milli kúakynja (íslenskar, NRF, Holstein o.fl. kyn) varðandi tíðni erfðavísa er stýra helstu próteingröðum.</p>
<p>Bragi Línadal Ólafsson, Eiríkur Þórkelsson, Jóhannes Sveinbjörnsson, Tryggvi Eiríksson, Grétar Hrafn Harðarson, Emma Eyþórsdóttir. Áhrif fóðrunar á efnainnihald í mjólk. Ráðunautafundur 2002: bls. 55-59.</p>	<p>Sagt frá niðurstöðum fóðurtilraunar á Stóra-Ármóti þar sem borin voru saman tvö stig orkufóðrunar og tvö stig próteinfóðrunar, auk sérstaks samanburðar á byggi og maís sem kolvetnagjafa. Orkustyrkur í fóðri hafði lítil áhrif á efnahlutföll í mjólk, en vegna aukningar í nyt jókst fitu- og próteinframleiðsla á dag lítilla. Vegna áhrifa próteinstyrks í fóðri til hækunar á próteinhlutfalli og lækkunar á fituhlutfalli í mjólk varð prótein-fitu hlutfall mun herra (0,84 á móti 0,77). Samanburður á maís og byggi sýndi tölfræðilega marktækan mun á prótein-fitu hlutfalli maísnum í vil (0,82 á móti 0,79).</p>
<p>Bragi Línadal Ólafsson, Emma Eyþórsdóttir, Helga Björg Hafberg, 2003. Erfðabreytileiki mjólkurpróteina í íslenskum kúm. Ráðunautafundur 2003: bls. 111-117.</p>	<p>Gerð grein fyrir niðurstöðum erfðafræðilegra rannsókna á mjólkurpróteinum. Megin efniviðurinn voru 443 mjólkursýni úr kúm undan 32 völdum nautum. Niðurstöður rannsókna sýndu ótvírætt að samsetning mjólkurpróteina hjá íslenskum mjólkurkúm er að mörgu leyti sérstök borin saman við önnur kúakyn. Mesta athygli vakti há tíðni kappa-kaseins B hjá íslenskum kúm og alfa-s1 - kaseins C, sem er nánast óþekkt í algengustu mjólkurkúakynjum á Vesturlöndum. Samsetning mjólkurpróteins hjá íslenskum kúm skv. þessari rannsókn var talin ákjósanleg bæði með tilliti til vinnslueiginleika mjólkurinnar og hollustu mjólkurafurða.</p>
<p>Bragi Línadal Ólafsson, 2005. Fita dýra og hollusta. Fræðapung landbúnaðarins, 2005: bls. 47-56</p>	<p>Greinin fjallar um fituefni með tilliti til hollustu hjá dýrum og mönnum. Þar á meðal lífsnauðsynlegar fitusýrur og hlutfall omega-6 og omega-3 fitusýra, trans-fitusýrur, virkni CLA fitusýra, mettaða fitu. Rætt er um bæði jákvæð og neikvæð tengsl ýmissa af þessum þáttum við krabbamein, hjartasjúkdóma, sykursýki o.fl. Fram kemur að tveir þættir eru hagstæðir í fóðrun jörturdýra á Íslandi með tilliti til hollustu fitu í afurðum jörturdýra. Gras er uppistaða í gróffóðri og fiskimjöl er notað með einum eða öðrum hætti fyrir nautgripi og sauðfé. Hvort tveggja ætti að stuðla að heppilegu hlutfalli CLA og omega-3 fitusýra í afurðum jörturdýra.</p>

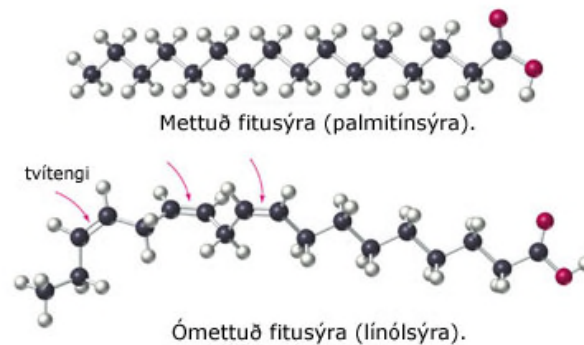
Efnafræði mjólkurfitunnar – nokkur grunnatriði

Mjólkurfitan er aðallega (97-98%) þríglyseríð, sem samanstanda hvert um sig af glyseróli sem tengt er þremur fitusýrum.



1. mynd. Þríglyseríð. Þau eru algengustu form fitu í dýrum (líkamsfita, mjólkurfitu) og í plöntum. Þau eru gerð úr glyseróli og þremur fitusýrum. Glyserólllutinn er lóðrétt vinstra megin á myndinni (innan rauða ferhyrningsins) en fitusýrurnar þrjár liggja frá glyserólinu lárétt frá vinstri til hægri á myndinni. Þríglyseríðið á þessari mynd inniheldur þrjár ólíkar fitusýrur: efst er palmitic sýra (pálmásýra) sem er ómettuð og er 16 kolefnisatóm að lengd (16:0); í miðjunni er oleic sýra (ólínsýra) sem er einómettuð og 18 kolefnisatóm að lengd (18:1) og neðst er α -linolenic sýra (linólínsýra) sem er þríómettuð og 18 kolefnisatóm að lengd (18:3)

Á 1. mynd eru fitusýrurnar teiknaðar fremur gróft en 2. mynd sýnir nákvæmara dæmi um byggingu fitusýra. Allar eru þær gerðar úr kolefniskeðjum (C) sem vetni (H) og súrefni (O) tengjast við. Lengd fitusýrana og metnun (fjöldi og staðsetning tvítengja) eru þeir þættir sem mestu ráða um eiginleika þeirra, þar á meðal bræðslumark og hlutverk í efnaskiptum bæði hjá plöntum og dýrum. Eins og 2. mynd sýnir hafa tvítengi mikil áhrif á byggingu fitusýrana. Mettaðar fitusýrur eru beinar keðjur og geta því þakast þétt saman, en ómettaðar fitusýrur eru hlykkjóttari og þakast ekki eins þétt, verða linari.



2. mynd. Dæmi um byggingu mettaðra og ómettaðra fitusýra. Svart=kolefni (C); grátt=vetni (H), rautt=súrefni (O). Sjá nánar: <http://www.visindavefur.is/svar.php?id=4713>

Lengd fitusýru er mæld í fjölda kolefnisatóma í fitusýrukeðjunni, **mettun** er gefin til kynna með fjölda tvítengja. Dæmi:

- Fitusýra sem er táknuð 18:0 er 18 kolefnisatóm að lengd og með 0 tvítengi, mettuð.
- Fitusýran 18:1 er 18 kolefnisatóm að lengd en með 1 tvítengi, einómettuð.
- Fitusýran 18:3 er 18 kolefnisatóm að lengd en með 3 tvítengi, þríómettuð, þær fitusýrur sem eru með fleiri en eitt tvítengi eru einu nafni kallaðar fjölómettaðar.

Ómettaðar fitusýrur eru stundum auðkenndar með tákningu ω sem er grískri stafurinn omega. Í daglegu tali er þá talað um **omega fitusýrur** (ω -fitusýrur). Útgangspunkturinn í þessu nafngiftakerfi (sem er eitt af nokkrum fyrir fitusýrur) er að atómið á þeim enda fitusýrunnar sem í þríglyseríði snýr frá glyserólinu (metýl-endi) er kallað omega (ω) – kolefnisatómið. Fjölmöttuðu fitusýrunnar eru stundum flokkaðar í „fjölskyldur“. Er þá byggt á oleic (ω -9-18:1), linoleic (ω -6,9-18:2) og α -linolenic (ω -3,6,9-18:3) fitusýrunum sem „mæðrum“. Fjölskyldurnar kallast þá ω -9, ω -6 og ω -3, sem vísar til staðsetningar þess tvítengis sem er næst omega-kolefnisatóminu.

Bræðslumark fitusýra hækkar eftir því sem þær eru lengri og lækkar með auknum fjölda tvítengja. Dæmi:

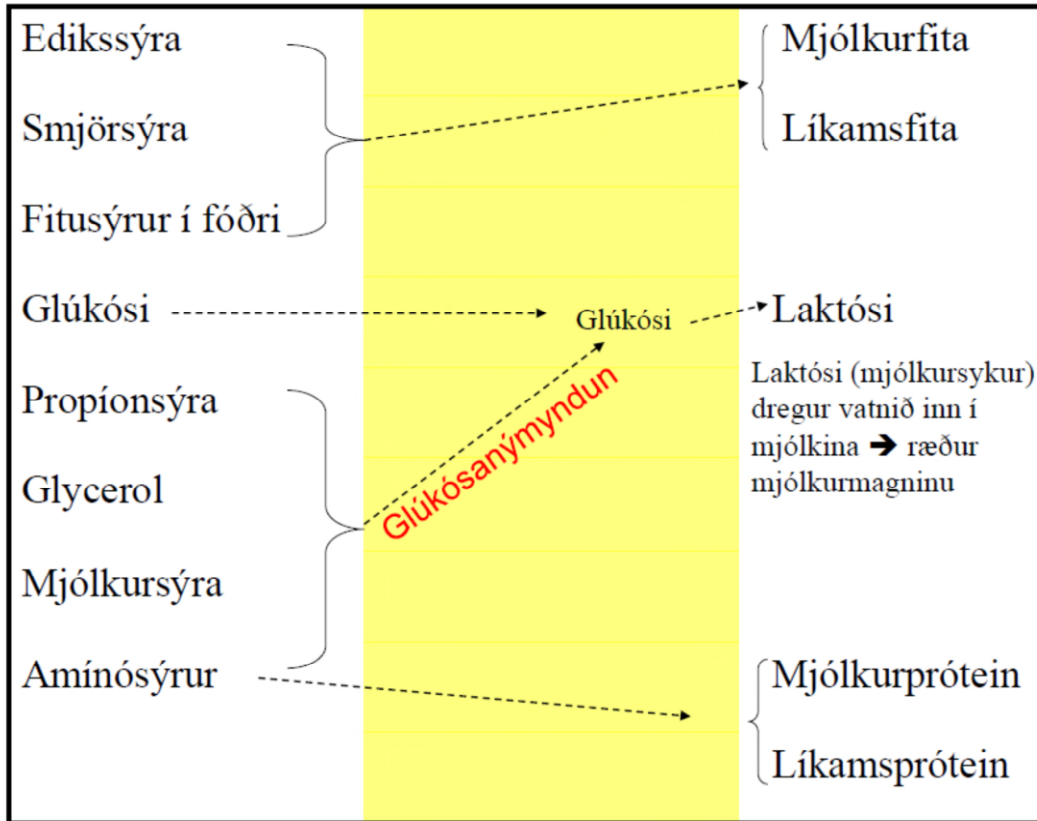
Caprylic sýra (8:0) hefur bræðslumark 16,3°C en palmitic sýra (16:0) bráðnar við 62,7°C. Eitt tvítengi breytir því að hin einómettaða palmitoleic sýra (16:1) hefur bræðslumark á pari við vatn, 0°C. Arachidonic sýra (20:4) hefur bræðslumark -49,5°C.

Fitusýrur með 4 til 8 kolefnisatóm eru kallaðar stuttkeðja (stuttar) fitusýrur, ef kolefnisatómin eru 10 til 14 er talað um miðlungslangar fitusýrur og ef kolefnisatómin eru 16 eða fleiri er talað um langar fitusýrur. Það er þó örlítið á reiki eftir heimildum hvar mörkin eru látin liggja en hér höldum við okkur við framangreint.

Almennt um efnasamsetningu mjólkur

Stærstur hluti mjólkur er vatn, en þurrefni mjólkurinnar er um 12-13% hjá flestum kúakynjum. Það samanstendur að stærstum hluta af fitu, próteini og mjólkursykri, auk steinefna og annarra efna í smærri stíl. Hlutfall mjólkursykurs (laktósa) í mjólkinni er mjög stöðugt, enda er það hann ásamt ýmsum söltum sem dregur vökvann inn í mjólkina og ræður þar með magni mjólkur sem framleidd er. Meiri mjólkursykurframleiðsla þýðir því meiri mjólk en ekki hækkað hlutfall mjólkursykurs. Meiri framleiðsla mjólkursykurs án tilsvareandi aukningar í framleiðslu mjólkurfitu og/eða mjólkurpróteins hefur í för með sér þynningaráhrif, þannig að hlutfall fitu og/eða próteins verður mögulega lægra, án þess að áhrifin á heildarmagn þessara efna séu neikvæð.

3. mynd sýnir í grófum dráttum sambandið milli helstu hráefna og afurða í meltingu, efnaskiptum og mjólkurframleiðslu kýrinnar. Stærstur hluti efnaskiptanna fer fram í lifrinni og júgrinu sjálfu. Til mjólkursykurmyndunar þarf glúkósa. Amínósýrur eru grunneiningar mjólkurpróteins. Aðalhráefnin í mjólkurfitu auk fitusýra úr fóðri eru edikssýra og smjör-sýra, sem ásamt própíónsýru verða til við gerjun örvera í vömb á fóðrinu, og eru sogaðar upp að mestu í gegnum vambarvegginn. Própíónsýran hefur þá sérstöðu að vera hráefni til glúkósaframleiðslu. Vegna þess hve kolvetnasambönd gerjast í miklum mæli í vömbinni verða jörturdýr að mynda upp á nýtt megnið af þeim glúkósa sem þau þurfa. Sterkja, sem kemst ómelt gegnum vömb, er þó melt og tekin upp sem glúkósi frá smáþörmum. Önnur hráefni en própíónsýra til glúkósaframleiðslu eru glyseról (hluti fitu), mjólkursýra og amínósýrur (McDonald o.fl., 2011).



3. mynd. Leið fóðurefna til afurða í gegnum meltingu og efnaskipti kýrinnar.

Skortur á samhengi fóðurefna við efnasamsetningu mjólkur

Miðað við framangreinda kortlagningu á sambandinu milli uppsogaðra næringarefna og mjólkurefna (3. mynd), mætti ætla að fremur einfalt væri að stýra efnainnihaldi mjólkur með fóðrun. Ýmis ljón eru þó í veginum, og skulu nokkur nefnd hér:

- Skortur á öðrum hráefnum í glúkósa (og þar með mjólkursykur) ýtir undir notkun á amínósýrum til þeirra nota. Mjólkursykurinn og mjólkurpróteinið eru því í samkeppni um hráefni. Þetta þýðir t.d. að ekki er sjálfgefið að aukinn próteinstyrkur í fóðri leiði til hækkunar á próteininnihaldi mjólkur.
- Lífeðlisfræðilegir ferlar stjórna því hvert hráefnunum er beint hverju sinni, og þar með hver nyt og samsetning mjólkur verður. Hormón á borð við vaxtarhormón og insúlín gegna þar lykilhlutverkum (Bauman & Mackle 1997).
- Hráefnin í mjólkurfituna (edikssýra, smjörssýra, fitusýrur í fóðri) hafa ekki önnur hlutverk í mjólkurmynduninni, en eru hins vegar einnig notuð til að standa undir brennslu og annarri almennri líkamsstarfsemi.
- Auk þess er líkamsfita kýrinnar ýmist í uppbyggingu eða niðurbroti eftir því hvar á mjaltaskeiðinu kýrin er stödd og hvert orkujafnvægið er. Þeir ferlar eru undir hormónastjórn. Mikið framboð af própíonsýru, glúkósa og amínósýrum hvetur til fitusöfnunar í forðavef og minnkar framboð af hráefnum til framleiðslu mjólkurfitu.
- Ómettaðar fitusýrur í fóðri ganga í gegnum herslu/mettun í vömbinni svo að fitusýrusamsetning mjólkurinnar endurspeglar ekki fitusýrusamsetningu fóðursins.

Helstu áhrifaþættir á efnasamsetningu mjólkur

Það varð snemma ljóst að mjólkurfitan er sá efnaþáttur í mjólkinni sem auðveldast er að hafa áhrif á með fódrun, þá bæði á heildarmagn mjólkurfitunnar og fitusýrusamsetningu. Á 9. áratugnum var það mat manna í USA að mjólkurfitu mætti hafa áhrif á á skala upp á 3 prósentueiningar, mjólkurpróteinið uppá 0,5 prósentueiningar og mjólkursykurinn væri lítil áhrif hægt að hafa á (Jenkins & McGuire 2006).

Helstu þættir sem áhrif hafa á efnasamsetningu mjólkur eru: erfðir, umhverfi, staða á mjaltaskeiði, aldur (mjaltaskeið) og fódrun. Ef við einblínum á áhrif fódrunarinnar, þá felast þau ekki eingöngu í að stjórna efnasamsetningu fódurs m.t.t. meltra næringarefna, heldur skiptir ekki minna máli í hvaða hlutföllum næringarefnin eru uppsöguð, flutt til júgurs og nýtt þar sem hráefni í mjólkina og/eða til að stjórna magni framleiddrar mjólkur. Kenningar um hvaða þættir í fódri það eru sem geta stýrt fitu- og próteininnihaldi mjólkurinnar hafa tekið breytingum samhliða aukinni þekkingu á öllum þessum ferlum (Jenkins & McGuire 2006). Áður en farið verður í helstu kenningarnar um áhrif fódrunar á fituinnihald mjólkur er nauðsynlegt að átta sig á hvaðan fitusýrurnar í mjólkinni koma.

Uppruni fitusýra í mjólk

Fitusýrur í mjólkurfitu eiga sér tvenns konar uppruna:

- Júgur: Nýmyndaðar fitusýrur, eru byggðar upp frá grunni í júgrinu, aðalhráefni er edikssýra (2 C-atóm), en einnig smjörkýra (4 C-atóm).
- Blóðrás: Fitusýrur sem eru teknar upp úr blóðrás, komnar úr fódri, örverumassa og forðafitu en sá hluti er breytilegur eftir stöðu á mjaltaskeiði.

Eins og meðfylgjandi yfirlit (2. tafla) sýnir eru stuttar og meðallangar fitusýrur nýmyndaðar í júgrinu en hinar lengri teknar upp úr blóðrásinni. Fitusýrur með 16 C-atóm hafa blandaðan uppruna, eru að hluta nýmyndaðar í júgri og að hluta teknar upp úr blóðrás. Þetta gildir raunar um öll spendýr en fyrir hverja tegund spendýra má gera sér nokkra grein fyrir mikilvægi hvorrar þessara tveggja uppsprettna út frá fitusýrusamsetningunni. Þannig má til dæmis ljóst vera að hjá filnum er meginhluti fitusýranna nýmyndaður í júgrinu en hjá selnum eru fitusýrurnar nær eingöngu teknar upp úr blóðrásinni (Bauman & Griinari 2003).

2. tafla. Hlutföll helstu fitusýra og uppruni þeirra í mjólk ólíkra spendýra (Bauman & Griinari 2003).

Fitusýra	Kýr	Maður	Rotta	Fíll	Selur	
4:0	12					Framleiddar í júgri, aðalhráefni er edikssýra (2 C-atóm), en einnig smjörkýra (4 C-atóm)
6:0	5	<1	<1	1		
8:0	2	<1	4	8		
10:0	4	2	12	49		
12:0	4	4	11	21		
14:0	11	6	13	3	7	
16:0	24	21	28	7	23	Bæði framleiddar í júgri og teknar upp frá blóðrás.
16:1	3	6	2	2	11	
18:0	7	3	3	<1	2	Teknar upp frá blóðrás, komnar úr fódri og örverumassa, þó að meðaltali <10% úr forðafitu (breytilegt eftir stöðu á mjaltaskeiði)
18:1	24	45	16	7	33	
18:2	3	13	10	2	2	
18:3	1	1	1	<1	8	
>18:3	<1	<1	<1		15	

Fituinnihald mjólkur- helstu kenningar

Lækkun á fituhlutfalli mjólkur vegna skorts á hráefnum (edikssýru, smjörssýru)

Rannsóknir á áhrifum fóðrunar á mjólkurfituhlutfall hafa m.a. verið drifnar áfram af vandamáli sem á ensku kallast **milk fat depression** (hér eftir skammstafað MFD). MFD er mikil lækkun á fituhlutfalli mjólkur sem á sér stað við vissar aðstæður í fóðrun. Áður fyrr var þetta vandamál oft rakið beint til mikillar kjarnfóðurnotkunar. Þá var því kennt um að kjarnfóður með mikilli sterkju leiddi til þess að vambargerjun þróaðist á þann veg að gerjunin gæfi af sér minna af hráefnum til mjólkurfitumyndunar (edikssýru, smjörssýru) en meira af hráefnum til mjólkursýkursmyndunar (própíonsýra). Þetta leiddi þá til þynningaráhrifa, þ.e. mikillar framleiðslu á fitusnaðri mjólk. Þessi kenning var þó smám saman hrakin og sýnt fram á að lágt fituinnihald mjólkur við svona aðstæður væri ekki skorti á hráefnum að kenna (Bauman & Griinari 2003).

Glucogenic-insulin kenningin

Önnur kenning (glucogenic-insulin kenningin) snerist um að fóður sem gæfi af sér mikið af sykri og/eða própíonsýru (sterkjuríkt fóður) og þar með hækkað insúlín í blóði, stýrði næringarefnum frá júgrinu og til annarra vefja líkamans. Kenningin hefur verið prófuð með beinni inndælingu í blóð á bæði própíonati og glúkósa og niðurstöðurnar hafa ekki stutt við kenninguna. Upptaka júgurs á glúkósa virðist t.d. lítt háð insúlíni (Bauman & Griinari 2003).

Biohydrogenation kenningin

Þó að tvær fyrrgreindar kenningar hafi verið meira og minna afsannaðar voru þær þó ekki til einskis því rannsóknir þeim tengdar færðu menn áfram um mörg skref varðandi þekkingu á þeim ferlum er stýra efnainnihaldi mjólkur. Transfitusýrur sýndu sig í að gegna þar lykilhlutverki og upp kom s.k. transfitusýrukenning sem síðar leiddi af sér biohydrogenation kenninguna. Það er sú kenning sem vísindamenn hafa mesta trú á í dag. Hún gengur út á að lækkað fituhlutfall í mjólk sé afleiðing beinna neikvæðra áhrifa á mjólkurfituframleiðslu í júgrinu af sérstökum fitusýrum sem verða til við mettun (biohydrogenation) fjölómattaðra fitusýra (poly-unsaturated fatty acids= PUFA) í vömbinni. Sú fitusýra sem fyrst var sannað að hefði slík áhrif var trans-10- cis-12 CLA (CLA=conjugated linoleic acid) (Jenkins & McGuire 2006).

Samspil tréni og fjölómattaðra fitusýra

Kýrin virðist hafa meiri möguleika en menn höfðu trú á áður til þess að framleiða mjólk með eðlilegu efnainnihaldi þó að ójafnvægi sé í hráefnum til framleiðslu einstakra mjólkurefna. Hæfileikar gripanna til að miðla efnum milli ferla og af holdum eru miklir. Hins vegar er lykilatriði að koma í veg fyrir þær aðstæður í fóðrun sem leiða til myndunar á umræddu efni/efnum sem trufla mjólkurfituframleiðsluna. Ákveðnar fóðursamsetningar eru líklegri en aðrar til að leiða til slíkra aðstæðna. Dæmigerðast er þegar saman fer lítið/lélegt tréni í fóðri og hátt hlutfall fjölómattaðra fitusýra. Slík samsetning leiðir til truflunar á jafnvægi vambarinnar m.t.t. örverusamsetningar og fleiri þátta sem leiðir af sér myndun á trans-10- cis-12 CLA og þ.a.l. neikvæð áhrif á mjólkurfituframleiðslu í júgrinu. Einnig hefur komið fram í rannsóknum að fita úr fiski og sjávarspendýrum er inniheldur mikið af fjölómettuðum fitusýrum getur framkallað þessar óæskilegu aðstæður í vömbinni og það jafnvel án þess að fóðrið sé sérstaklega lágt í tréni (Bauman & Griinari 2003).

Magn og virkni trénis

Hvað trénið sjálft varðar skiptir ekki eingöngu máli magn þess, sama vandamál getur verið uppi þó trénisinnihaldið sé tiltölulega hátt ef fóðrið er malað/köggláð (Bauman & Griinari 2003). Þá hefur trénið ekki sömu virkni og ella til að viðhalda eðlilegri vambarstarfsemi með lagskiptingu innihaldsins, vambarhreyfingum, jórtrun, stuðpúðavirkni og hæfilegu sýrustigi (pH). Í löndum þar sem maísvothey er grunnhráefni og stór hluti af tréni fóðursins kemur úr maísnum, eru meiri vandamál með lágt mjólkurfituinnihald en í löndum þar sem gras er grunnhráefni í gróffóðrið. Virkni trénisins er því lykilatridi, fremur en magn þess. Til eru ýmis hugtök sem mæla virkni trénisins, svo sem tyggítími sem notaður er í Norfor-kerfinu sem mælikvarði á þetta. Þegar eðlilegt hlutfall af góðu íslensku gróffóðri er í heildarfóðrinu ætti lítið eða lélegt tréni ekki að þurfa að vera vandamál hérlendis, nema í jaðartilvikum. Helst er hætta á að slík staða komi upp þegar heygæði eru léleg og mjólkurframleiðsla er keyrð upp með mjög háu kjarnfóðurhlutfalli.

Jafnvægi efna í heildar fóðurskammti

Eins og ráða má af framangreindu er ekki alltaf hægt að kenna röngu hlutfalli af einu efni í fóðri um lágt mjólkurfituhlutfall, þó nefndir séu til sögunnar mögulegir sökudólgar eins og lágt tréni, of mikil sterkja, hátt hlutfall fjölómattaðra fitusýra o.s.frv. Fremur er rétt að horfa á heildarjafnvægi allra efna í fóðurskammti og niðurbrotseiginleika einstakra kolvetnaflokka í vömbinni. Hægt er að ná meira jafnvægi í fóðrunina með því að hafa gróffóðrið hæfilega saxað þannig það ýti undir jórtrun og munnvatnsframleiðslu sem stuðlar að betra vambarumhverfi sem leiðir svo til meiri mjólkurfitumyndunar (Greco & Santos 2014). Mikilvægt er við notkun á votverkuðu byggi, eins og þekkist víða hérlendis, að gæta þess að nota ekki of mikið af byggi nema að vera með jafnvægi í fóðruninni þ.e. gott tréni á mótí auðgerjanlegu sterkjunni sem er í bygginu.

Fóðurframsetning

Framsetning fóðurs skiptir máli til að stjórnun á innihaldi fóðurs sé ekki eingöngu í tölvunni heldur skili sér alla leið í gegnum fóðrun, meltingu og efnaskipti kýrinnar. Forðast þarf ójafnar gjafir til þess að allar kýrnar hafi jafnt aðgengi að fóðrinu. Þegar lítið pláss er við fóðurgang éta kýrnar hraðar og meiri samkeppni myndast. Varast ber að hafa framsetningu fóðursins þannig að kýrnar sorteri fóðrið og skilji eftir lengri stráin. Það þarf jafnframt að passa að lengri stráin í heyinu séu ekki lengri en munnstærð kúnna. Þegar fóðrað er með heilfóðri er mikilvægt að blandan sé hæfilega blaut svo að ekki sé of auðvelt fyrir kýrnar að sortera fóðrið (Greco & Santos 2014).

Notkun viðbótarfitu í fóðri til að hafa áhrif á fituinnihald mjólkur

Helstu fóðurtegundir fyrir jórturdýr, gróffóður og korn, er kolvetnafóður með mjög lágt fituinnihald. Fituefnaskipti kýrinnar, þ.m.t. mjólkurfitumyndunin, byggjast því að verulegu leyti á nýmyndun fitusýra úr afurðum kolvetnagerjunar, edikssýru og smjör-sýru. Það hefur hins vegar lengi þótt freistandi að auka afurðamyndun með því að bæta við fitu í fóðrið. Fitusýrur hafa meira en tvöfalt orkuinnihald á við kolvetni, prótein og glyseróllhuta fitunnar. Algengt hlutfall fitusýra af heildarfitu í nokkrum fóðurtegundum er eftirfarandi: gróffóður 65%, korn/kornafurðir og olúfræ-hýði 70%, olúfræ-kaka 80%, plöntuolíur 90%. Eftir því sem þetta hlutfall fitusýranna er hærra munar sem sagt meira um tiltekna fituviðbót hvað varðar orkuinnihald heildarfóðursins.

Áhrif viðbótarfitu í fódri á át, nyt og efnasamsetningu mjólkur má draga svona saman: ↑fita í fódri → ↓ heildarátt; ↑ orkuleiðrétt mjólk (OLM); ↑ ↓ fitu%; ↓ prótein %

Aukinn orkustyrkur fódursins gerir yfirleitt betur en að veða á móti minnkuðu áti, sbr. hækkun á OLM. Áhrif fituviðbótar á mjólkurfituhlutfall eru oftast jákvæð en neikvæð. Áhrif fituviðbótar á mjólkurpróteinhlutfall eru oftast neikvæð, og skýrast aðallega af lækkuðu hlutfalli kaseins. Í byrjun mjaltaskeiðs eru neikvæð áhrif á át fremur lítil, á þeim tíma nýtist fituviðbót því best (Chilliard 1993).

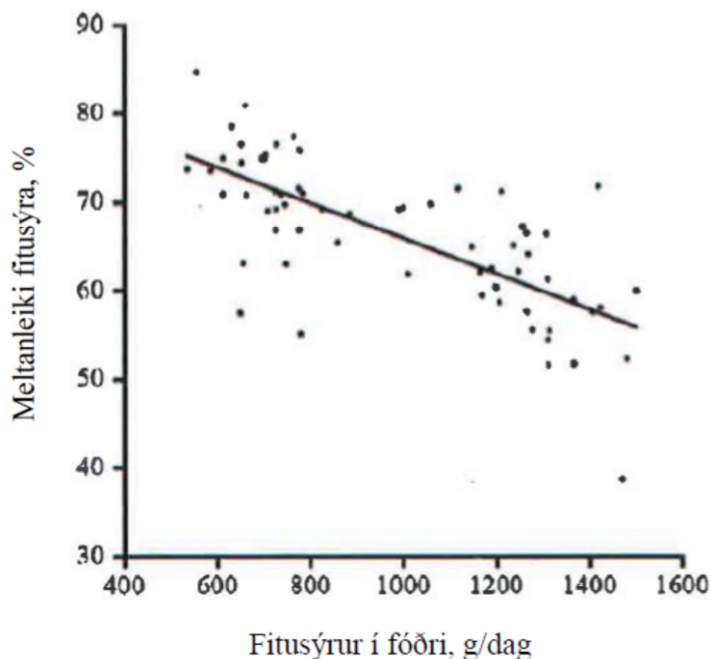
Dýrafita og önnur mikið mettuð fita hefur komið best út, þar sem hún dregur lítið eða ekki úr áti og hefur minni áhrif á vambarstarfsemina en ómettuð fita, sbr. umfjöllun um biohydrogenation kenninguna hér að framan. Dýrafita hefur verið bönnuð í fódri jörturdýra vegna sjúkdómahættu (príonsjúkdómar o.fl.). Hérlendis er fiskifita leyfð en hún er mun minna mettuð en fita landdýra. Samantekt úr (aðallega) dönskum tilraunum sýndi að nyt (OLM) jókst við stígandi fitusýruinnihald fódurs upp í 4-5% af þurrefni, eftir það ekki nema viðbótarfitan væri meira mettuð. Próteinhlutfall mjólkurinnar lækkaði, þar sem nytin jókst á meðan próteinframleiðslan breyttist lítið (Börsting *et al.* 2003).

Ýmsar tilraunir hafa verið gerðar með að meðhöndla fitu þannig að hún sé varin fyrir vambargerjuninni. Ein aðferðin er að setja fituna inn í formalínmeðhöndlaða próteinkápu. Önnur er að láta fitusýrur og kalsíum (Ca) mynda s.k. Ca-sápur. Báðar þessar aðferðir hafa í flestum tilvikum gefið jákvæðari niðurstöðu varðandi nyt (OLM) og fituhlutfall mjólkur heldur en sama fita ómeðhöndluð (Börsting *et al.* 2003). Þróaðar hafa verið fódurvörur sem innihalda blöndur af mettuðum fitusýrum sem eru að mestu „óvirkar“ í vömbinni. Chilliard (1993) dró saman niðurstöður úr 50 tilraunamedferðum með mettaða fitu, varða dýrafitu og Ca-sápur og var niðurstaðan að mettaða fitan gaf mesta viðbót í framleiðslu orkuleiðrétrar mjólkur (0,56 kg OLM á hvert viðbótarprósent af fitu í fódurþurrefni) og að þetta var jafnframt eina fitutýpan sem ekki dró úr þurrefnisáti.

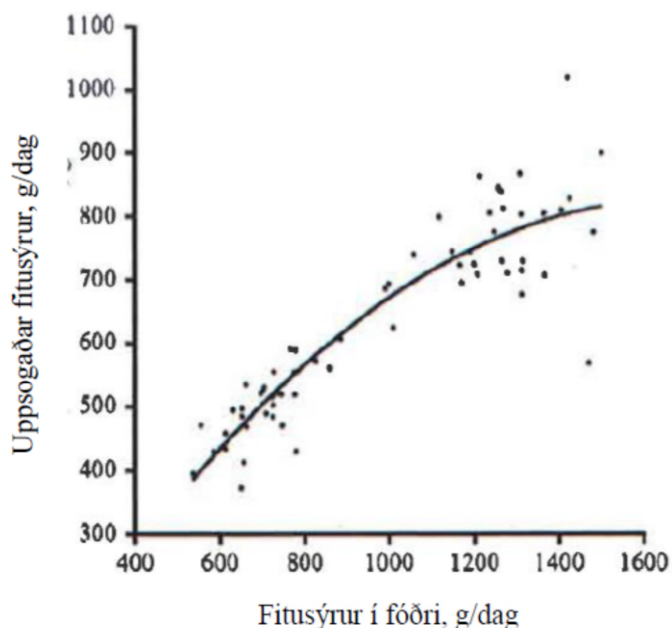
Margar tilraunir hafa verið gerðar í USA á síðustu árum þar sem prófuð hafa verið áhrif fituviðbótar í fódri á mjólkurframleiðslu og þá ekki síst fituhlutfall mjólkur og hlutföll milli einstakra fitusýra. Fituviðbótin í þessum tilraunum hefur gjarnan verið að uppistöðu til pálmasýra (16:0) og/eða sterínsýra (18:0). Lock *et al.* (2013) prófuðu áhrif fituviðbótar sem nam 2% af þurrefni fódurs. Af þessari fituviðbót var 86% pálmasýra (16:0). Grunnfóðrið í þessari tilraun byggði á maísvothei (32%) og þurrkuðu, möluðu maískorni (16%), sem þó var skipt út í 4 daga í lok hvernar 25 daga tilraunalotu fyrir votverkað maískorn (high moisture corn grain), en sterkjan í því gerjast mun hraðar í vömbinni en sterkjan í þurrkaða, malaða maískorninu. Hraðgerjanleg sterkja er oft nefnd sem mögulegur orsakavaldur fyrir lækkuðu fituhlutfalli í mjólk en í þessari tilraun var samspil slíkra áhrifa sterkjugjafa og áhrifa fituviðbótar í fódri í fyrsta skipti metin. Skemmst er frá því að segja að engin marktæk áhrif voru af sterkjugjafanum á át, nyt né fitu- og próteinhlutföll mjólkurinnar. Áhrif af fituviðbótinni voru hins vegar jákvæð bæði á fituhlutfall (3,88% vs. 4,16%) og mjólkurfituframleiðslu á dag (1,23 kg vs. 1,32 kg), engin áhrif á nyt, próteinhlutfall né próteinframleiðslu. Fituviðbótin dró nokkuð úr áti (um 6%) en þar sem mjólkurfituframleiðslan jókst á sama tíma var mældist fódurnýting 8,6% betri með fituviðbótinni. Aukning á mjólkurfituframleiðslunni var nánast eingöngu vegna 27% meiri framleiðslu á pálmasýru (16:0), sem greinilega skilaði sér að mestu milliliðalaust úr fituviðbótinni.

Í framhaldi af þessari rannsókn gerði sami rannsóknahópur, við Michigan háskóla (Rico *et al.* 2014) samanburð á fituviðbót (2% af þurrefni fóðurs) sem var að uppistöðu til (97-98%) annars vegar pálmásýra (16:0) og hins vegar sterínsýra (18:0). Kýrnar í tilrauninni spönnuðu allvitt svið í framleiðslu (38 til 65 kg mjólkur á dag). Pálmásýran (16:0) gaf herra mjólkurfituhlutfall (3,66 vs. 3,55%), meiri mjólkurfituframleiðslu (1,68 vs. 1,59 kg/dag) en aðeins lægra mjólkurpróteinhlutfall (3,24 vs. 3,29%) heldur en sterínsýran (18:0). Niðurstöðurnar reyndust óháðar framleiðslustigi kúnna. Munurinn í fituframleiðslunni skýrðist nánast alfarið af því að þegar fituviðbótin var á formi pálmásýru skilaði hún sér í verulegum mæli beint í mjólkurfituna, en sterínsýran gerði það aðeins að mjög litlu leyti.

Þrátt fyrir að rannsóknir sýni að fituviðbót í fóðri, og þá allra helst pálmásýra (16:0) skili sér að einhverju marki í mjólkurfituna, hefur líka lengi verið ljóst að þó nokkuð tapast á leiðinni. Rannsókn Piantoni *et al.* (2013) sem var undanfari þeirra tveggja sem getið hefur verið um hér á undan (Lock *et al.* 2013; Rico *et al.* 2014), kortlagði þetta að nokkru leyti. Í þeirri tilraun var fituviðbótin pálmásýra (16:0) sem nam 2% af þurrefni fóðurs og áhrif hennar á mjólkurframleiðsluþætti voru lík og í tilraun Lock *et al.* (2013), en þó vægari, t.d. hækkaði mjólkurfituhlutfall úr 3,29 í 3,40% miðað við samanburðarhóp án fituviðbótar í fóðri. En þarna voru gerðar mælingar til að meta hversu mikið af fitusýrum í fóðri voru í fyrsta lagi meltar (4. mynd); og í öðru lagi uppsogaðar (5. mynd).



4. mynd. Fallandi heildarmeltanleiki fitusýra með auknum styrk þeirra í fóðri skv. (Piantoni *et al.* 2013). Kýr sem innbyrtu meira en 950 g/dag af fitusýrum fengu fóður með fituviðbót á formi pálmásýru (16:0) en þær kýr sem innbyrtu minna en 950 g/dag af fitusýrum fengu fóður án fituviðbótar.



5. mynd. Samhengi magns uppsogaðra fitusýra við magn þeirra í fódri skv. (Piantoni *et al.* 2013). Kýr sem innbyrtu meira en 950 g/dag af fitusýrum fengu fódur með fituviðbót á formi pálmasýru (16:0) en þær kýr sem innbyrtu minna en 950 g/dag af fitusýrum fengu fódur án fituviðbótar.

Eins og myndirnar sýna nýtast fitusýrurnar hlutfallslega verr eftir því sem meira er af þeim í fóðrinu. Þetta var svo skoðað sérstaklega fyrir pálmasýru (16:0). Án sérstakrar fituviðbótar uppsoguðust að meðaltali 92 g af pálmasýru af þeim 136 g/dag sem var að finna af henni í fóðrinu. Þegar henni var bætt sérstaklega í fóðrið uppsoguðust að meðaltali 342 af þeim 687 g/dag sem voru af pálmasýru í fóðrinu. Nýting pálmasýrunnar fer sem sagt úr 68% niður í 50% við það að bæta henni í fóðrið í þeim mæli sem um var að ræða í þessari tilraun. Heildarmagn pálmasýru í mjólk var 450 g/dag hjá viðmiðunarhópnum en 539 g/dag hjá hópnum sem fékk fituviðbótina. Munurinn á daglegu magni pálmasýru milli hópanna er þá 89 g/dag í mjólkurfitu samanborið við 250 g/dag í uppsoguðu magni. Lesa má út úr þessum tölum að án sérstakrar viðbótar pálmasýru er nettó nýmyndun á henni en þegar pálmasýrunni er bætt í fóðrið er hluti þeirrar viðbótar (í þessu tilviki 2/3 hlutar) nýttir í aðrar þarfir en myndun pálmasýru í mjólkurfitu. Þetta er í samræmi við það sem áður kom fram (Bauman & Griinari 2003) um að fitusýrur með 16 C-atóm hafa þá sérstöðu meðal fitusýra mjólkurinnar að hafa blandaðan uppruna, koma bæði úr blóðrás (fóður- og forðafita) og frá nýmyndun í júgri.

Þegar fóðrun framkallar óeðlilega lækkun á fituhlutfalli mjólkur (MFD, sbr. áður) kemur það meira fram í lækkun á hlutföllum stuttra og meðallangra fitusýra sem eru nýmyndaðar í júgri, heldur en langra fitusýra sem eru teknar upp úr blóðrás (sbr. 2. töflu). Vyas *et al.* (2012) prófuðu þá kenningu að magn þessara stuttu og meðallöngu fitusýra (4 til 14 C-atóm) í fódri væru takmarkandi á mjólkurfituframleiðslu líka við „eðlilegar“ kringumstæður í fóðrun (ekki MFD). Í stuttu máli sagt voru jákvæð áhrif af fituviðbót af þessu tagi á mjólkurfituhlutfall, stigvaxandi með auknu magni þessarar fituviðbótar (0, 200, 400 og 600 g/dag). Áhrifin á aðra mikilvæga framleiðsluþætti voru lítil við lægsta skammtinn (200 g/dag) en neikvæð áhrif komu fram á át, nyt, próteinhlutfall, og mjólkurprótein- og mjólkurfituframleiðslu á dag við hærri skammtana.

Efni og aðferðir

Fóður – hráefni og efnasamsetning

Grunnfóður í tilrauninni var rúlluverkað gróffóður (vallarfoxgras ríkjandi tegund), fyrsti sláttur, ásamt súrsuðu byggri ræktuðu á Stóra-Ármóti.

Þessar kjarnfóðurtegundir voru notaðar í tilrauninni: Bergafat þurrfitu og kjarnfóðurlöndurnar Feitur Róbót 20 og Róbót 20, sem eru próteinríkar blöndur líkar að samsetningu, nema hvað sú síðarnefnda inniheldur viðbót af fitu sem einmitt kemur úr Bergafat þurrfitu. Upplýsingar um efnasamsetningu kjarnfóðurs og byggs eru í 3. töflu.

3. tafla. Efnasamsetnings súrsaðs byggs, kjarnfóðurblandna og þurrfitu í tilrauninni

	Súrsað bygg	Feitur Róbót 20	Róbót 20	Bergafat þurrfitu
Þurrefni, %	42,7	88,0	88,0	99,0
Meltanleiki lífræns efnis, %	84,8	81,5	83,1	95,0
Samsetning þurrefnis				
Aska, g/kg þe	43	100	109	0
Tréni (NDF), g/kg þe	163	153	153	0
Hráprótein, g/kg þe	117	214	221	0
Sykrur, g/kg þe	87	78	75	0
Sterkja, g/kg þe	467	249	324	0
Lífrænar sýrur alls (TAF), g/kg þe	50			
Hráfita, g/kg þe	21	55	22	1000
Kolvetnaleif, g/kg þe	52	151	96	0
Annað				
Ómeltanlegt tréni (iNDF), g/kgNDF	164	114	130	0
Leysanlegt hráprótein (sCP), g/kg hráprót.	474	201	206	0

4. tafla. Fitusýrusamsetning Bergafat-100 þurrfitu.

Fitusýrusamsetning	%	Í 4. töflu má sjá fitusýrusamsetningu Bergafat þurrfitunnar, þar sem pálmasýra (16:0) er í miklum meirihluta. Þar sem Bergafat er það hráefni sem notað er til fituviðbótar í Feitum Róbót 20, á þessi fitusýrusamsetning við um viðbótarfituna í báðum fitumeðferðunum í tilrauninni.
C-14:0 Myristic sýra og styttri	~ 3	
C-16:0 Pálmasýra	≥ 85	
C-18:0 Sterínsýra	~ 3	
C-18:1 Ólínsýra	~ 6	
C-18:2 Línólsýra	~ 2	
C-20:0 Arachididónic sýra	~ 1	
Heildarhlutfall fitusýra	92 - 95	

Í 5. töflu er gerð grein fyrir hráefnasamsetningu kjarnfóðurs og í 6. töflu eru upplýsingar um meðalefnasamsetningu gróffóðurs og heilfóðurblandna í tilrauninni.

5. tafla. Hráefnasamsetning kjarnfóðurblandna í tilrauninni

	Róbót 20	Feitur Róbót 20
Hveiti, %	16,0	10,0
Maís, %	21,4	20,0
Bygg, %	11,2	6,5
Sojamjöl, %	31,0	31,0
Sykurrófumjöl, %	8,0	17,5
Þurrfiti (Bergafat F-100); %		3,5
Melassi, %	6,0	6,0
Íslenskir kalkþörungar, %		0,7
Kalk, %	2,5	
Mónókalsíumfosfat, %	1,5	1,2
Magníum fosfat, %	1,5	1,5
Kalk, %		1,2
Fóðursalt, %	0,7	0,7
FB302E (premix), %	0,3	0,25

6. tafla. Efnasamsetning gróffóðurs og heilfóðurblandna í tilrauninni, meðaltöl.

	Gróffóður	Heilfóður með Bergafat	Heilf.m. Feitum Róbót	Heilfóður án fituviðbótar
Þurrefni, %	33,4	45,4	44,4	45,8
Meltanleiki lífræns efnis, %	79,5	79,7	80,9	82,2
Samsetning þurrefnis				
Aska, g/kg þe	81	78	78	78
Tréni (NDF), g/kg þe	412	291	313	289
Hráprótein, g/kg þe	160	161	167	160
Sykrur, g/kg þe	84	94	87	69
Sterkja, g/kg þe	0	187	152	183
Lífrænar sýrur alls (TAF), g/kg þe	62	60	60	64
Hráfita, g/kg þe	36	39	36	28
Kolvetnaleif, g/kg þe	166	91	108	130
Trénisþættir:				
Ómeltanlegt tréni (iNDF), g/kg NDF	98	171	135	153
ADF, g/kg þe	241	192	197	193
Verkunarþættir:				
Leysanlegt hráprótein (sCP), g/kg hrápr.	728	383	464	505
Ammóníak (NH ₃ _N), g/kg N	126	56	64	62
Mjólkursýra (LAF), g/kg þe	41	49	49	54
Edikssýra (AAF), g/kg þe	16	11	11	11
Smjörssýra (BUF), g/kg þe	5			
Sýrustig, pH	4,6	4,8	4,7	4,7

Fóðuráætlun- tilraunameðferðir- fóðrun

Tilraunameðferðirnar voru þrjár, hannaðar með tilliti til markmiða verkefnisins, að bera saman „hefðbundið“ fóður (kontrólmeðferð) við tvær aðferðir til að bæta fitu sérstaklega í fóður, annars vegar með þurrfitu (Bergafat) og hins vegar með fituinnblöndun í kjarnfóðurlöndu (Feitur Róbót). Hér að framan var gerð grein fyrir hráefnum og efnasamsetningu þeirra, en nú skal sagt frá hvernig fóðuráætlun var stillt upp.

Grunnheilfóðurblandan var 5 kg bygg á móti 25 kg af gróffóðri til að byrja með en gróffóðurmagnið var stillt af síðar eftir þurrefnisinnihaldi þannig að það var 28,5 kg á móti hverjum 5 kg af byggi að meðaltali yfir alla tilraunina. Megnið af öðrum hráefnum var blandað í heilfóðrið, að undanskildu viðbótarkjarnfóðri Róbót 20 sem var notað til að stilla af kjarnfóðurgjöf með heilfóðurlöndunum. Áður en lengra er haldið í útskýringum á því og fleiru eru hér birtar tvær töflur, sú fyrri (7. tafla) sýnir hlutfallslega samsetningu fóðurs en sú síðari (8. tafla) meðalþurrefnisát af einstökum fóðurefnum og í heild. Í báðum tilvikum er um að ræða meðaltöl fyrir tilraunina alla.

7. tafla. Hlutfallsleg samsetning fóðurs á þurrefnisgrunni eftir tilraunameðferðum.

	Tilraunameðferð:		
	Bergafat	Feitur Róbót	Kontról
Í heilfóðri:			
Gróffóður	0,438	0,418	0,437
Bygg	0,106	0,101	0,106
Róbót 20	0,349		0,349
Feitur Róbót 20		0,362	
Bergafat	0,014		
Viðbótarkjarnfóður			
Róbót 20	0,094	0,119	0,108
Samtals	1,000	1,000	1,000

8. tafla. Meðalát í kg þurrefnis á dag eftir tilraunameðferðum.

	Tilraunameðferð:		
	Bergafat	Feitur Róbót	Kontról
Í heilfóðri:			
Gróffóður	8,22	7,69	8,32
Bygg	1,99	1,86	2,01
Róbót 20	6,55		6,63
Feitur Róbót 20		6,67	
Bergafat	0,26		
Viðbótarkjarnfóður			
Róbót 20	1,77	2,19	2,06
Samtals	18,78	18,41	19,03

Valmetal fódurblandari saxaði rúllurnar og heyið var flutt frá honum með færíbandi í fódurbönd sem fylgja Mullerup fódurkerfi staðarins. Þaðan fór það í Mixfeeder sem að blandar byggi og kjarnfóðri saman við. Í meðferðinni með Bergafatinu var það einnig sett handvirkt þar ofaní. Blöndurnar voru keyrðar út með skúffu framan á Schaffer liðlétting og dreift fyrir framan hvern fódurhóp. Mikilvægt var að blöndurnar væru vel aðskildar og því var notað tæki sem auðvelt var að halda hreinu milli meðferða. NorFor fódurmatskerfið (<http://www.norfor.info>) var notað til að stilla af kjarnfóðurgjöf með heilfóðurböndunum. Þær kýr sem mjólkuðu meira en heilfóðurblandan dekkjaði fengu ábót af kjarnfóðri, í sér fódurdalla fyrir framan sig, til að þær væru ekki undirfóðraðar sem gæti ef til vill skekktt rannsóknarniðurstöður. Ábótin var kjarnfóðrið Róbót 20, þ.e. „hlutlaust“ kjarnfóður m.t.t. þess að ekki væri breytilegt magn og samsetning af fitu í viðbótinni.

Gripir og tilraunaskipulag

37 íslenskar kýr á tilraunabúinu á Stóra-Ármóti komu til uppgjors í tilrauninni; 15 fyrsta kálfs kvígur, 11 kýr á öðru mjaltaskeiði og 11 kýr á þriðja mjaltaskeiði og eldri.

Tilraunaskipulagið var rómverskur ferningur (Latin square). Kúnum var skipt niður í þrjá hópa sem voru á tilraunafóðrinu í 21 dag. Þá var einn hópur á meðferð 1 (Bergafat), annar á meðferð 2 (Feitur Róbót) og sá þriðji á meðferð 3 (kontról). Eftir hverja 21 dags tilraunalotu komu tvær „hreinsunarvikur“ þar sem allar kýrnar voru fóðraðar á viðmiðunarfóðrinu, þ.e. á meðferð 3. Þar á eftir byrjaði næsta 21 dags tilraunalota, og þannig koll af kolli. Allar kýrnar fóru í gegnum allar þrjár tilraunameðferðirnar, en í mismunandi röð.

Kýrnar voru á breytilegum stað á mjaltaskeiðinu, þær báru á tímabilinu september 2015 til og með janúar 2016. Þær sem báru í janúar 2016 byrjuðu ekki í tilraun fyrr en í annari lotu (15. febrúar) og voru 4 lotur í tilrauninni svo að allar kýrnar næðu að prufa allar þrjár meðferðirnar. Tilraunaloturnar fjórar náðu yfir eftirfarandi tímabil:

1. lota: 11. janúar - 1. febrúar
2. lota: 15. febrúar - 7. mars
3. lota: 21. mars - 11. apríl
4. lota: 25. apríl – 16. maí

Mikilvægt var að milli tilraunameðferðanna þriggja væri sem allra best jafnvægi í breytileika hvað varðar aldur kúa og stöðu á mjaltaskeiði. Við upphaf hverrar lotu var kúum raðað í meðferðirnar út frá þessum sjónarmiðum. Það tókst mjög vel eins og 9. tafla sýnir.

9. tafla. Fjöldi kúa í tilraun eftir meðferðum, og innan meðferða eftir stöðu á mjaltaskeiði og aldri.

Meðferð	Kýr alls	Tímalengd frá burði ^{*)}			Aldursflokkur ^{**)}		
		1	2	3	1	2	3+
1	37	12	12	13	15	11	11
2	37	13	12	12	15	11	11
3	37	12	13	12	15	11	11

^{*)}Tímalengd frá burði: 1: 59-80 dagar frá burði, 2:94-115 dagar frá burði, 3: 129-150 dagar frá burði

^{**)}Aldursflokkur: 1: á 1. mjaltaskeiði, 2: á 2. mjaltaskeiði, 3+: á 3. mjaltaskeiði og eldri

Mælingar og sýnataka

Kýrnar voru í bundnar á bása, nema er þær voru mjólkaðar kvölds og morgna um kl.07:30 og 18:00 í 2 X 5 SAC mjaltabás. Sjálfvirkur aftökubúnaður tók mjaltatækin af kúnum. Nyt tilraunakúnna skráðist sjálfkrafa inni tölvu, tengda mjaltatækjum, allan tilraunatímunn bæði kvölds og morgna.

Í upphafi og lok hvernar tilraunalotu, þ.e. þegar kýr byrjuðu á tilraunafóðri, og í lokin áður en þær fóru á viðmiðunarfóðrið, voru kýrnar vigtaðar á gripavigt í lok mjalta að morgni á leið út úr mjaltabás og holdastigaðar.

Einstaklings átmælingar voru gerðar í 4 sólarhringa í lok hvernar tilraunalotu. Þá var vigtað fóður í kýrnar fyrir hvern sólarhring og aðgætt að leifar væru alltaf að lágmarki 10% umfram áætlað átmagn svo tryggt væri að aldrei vantaði fóður hjá neinum grip. Að morgni voru fóðurleifar frá hverjum grip vigtaðar og þannig fundið út át hvers grips á sólarhring. Fylgst var með þurrefnisprósentu leifanna svo að mismunandi þurrefnisprósenta skekkti ekki átmælingar.

Þegar átmælingar fóru fram voru sett spjöld á milli átsvæða kúnna til að tryggja að hver kýr hefði aðeins aðgengi að því fóðri sem vigtað var ofan í hana. Númeraspjöld voru sett á bás kúnna svo tryggt væri að þær væru alltaf settar á sama bás að mjöltum loknum á meðan átmælingar fóru fram. Þegar átmælingar voru ekki í gangi voru kýrnar í sömu meðferð hafðar saman í básaröð. Til að aðgreina tilraunahópana voru kýr sem ekki voru í tilraun hafðar á milli tilraunahópa eða auðir básar, væri þess kostur. Kýrnar voru svo teknar inni biðpláss og mjaltabás í sínum hóp svo ekki yrði ruglingur milli hópa í mjöltum. Þegar þeim hópi var lokið var næsti meðferðarhópur tekinn í biðplássið og mjólkaður og svo koll af kolli.

Þurrefnisprósenta fóðursins var mæld reglulega ásamt því að taka fóðursýni af öllum tegundum fóðurs þ.e. gróffóðri og heilfóðurlöndunum þremur ásamt byggi. Sýnin voru fryst og síðan send í lok tilraunar í efnagreiningu hjá Eurofins Agro í Hollandi. Fóðurefnagreiningar og framsetning þeirra var í samræmi við kröfur Norforfóðurmatskerfisins (Åkerlind *et al.* 2011).

Teknar voru 8 mjólkurprufur í lok hvers tímabils þ.e. fjögur kvöld og fjóra morgna úr hverri kú og greind af Rannsóknarstofu MS. Notaður var sýnatökubúnaðurinn sem var í fjósinu þ.e. SAC mjólkursýnatökubúnaður. Greind voru: frumutala, fita, prótein, kasein, fitusýrur, laktósi og úrefni. Einnig voru tekin mjólkursamsýni úr hverjum kúahóp síðasta daginn. Kvöld- og morgunsýnum síðasta dags hvers tímabils var blandað saman og send í greiningu til Matís til að greina fitusýrurnar í mjólkinni úr hverjum fóðrunarhóp fyrir sig. Þau voru geymd í frysti þar til að tilraunatímabili var lokið og þeim þá komið til Matís. Það voru því 9 mjólkursýni sem voru send í greiningu til Matís.

Tölfræðileg úrvinnsla

Gögn voru samþætt og skipulögð í töflureikninum Microsoft® Office Excel. Til tölfræðiúrvinnslu var notað tölfræðiforritið SAS Enterprise Guide 7.1.©

Eftirfarandi tölfræðilíkan var notað:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \varepsilon$$

Þar sem Y_{ijk} er breytan sem mæld er hverju sinni (háða breytan, þ.e. át, nyt, efnasamsetning mjólkur o.sfrv.) og gildi hennar samanstendur þá af eftirfarandi þáttum:

α_i : áhrif tilraunameðferða;

β_j : áhrif stöðu á mjaltaskeiði (tímabil 1, 2 og 3, sbr. töflu X hér að framan)

γ_k : áhrif einstakra gripa

ε : tilraunaskekkjan

Gott tilraunaskipulag í búfjártilraunum miðar m.a. að því að hafa stjórn á “náttúrulegum” breytileika tilraunadýranna þannig að hann hafi sem minnst áhrif á tilraunaniðurstöður, og breytileiki af völdum skipulagðra tilraunameðferða komi sem skýrast í ljós í tölfræðigreiningunni. Skipulag tilraunarinnar eins og lýst var hér að framan miðaði að því að hægt væri að einangra í tölfræðilíkaninu áhrif stöðu á mjaltaskeiði og áhrif af aldursflokki kúa (sjá 9. töflu hér að framan). Þar sem allar kýrnar sem komu til uppgjors í tilrauninni kláruðu allar meðferðir en í mismunandi röð, var hægt að ganga lengra og einangra áhrif einstakra gripa í uppgjörinu, í stað aldursflokka, en áhrif þeirra má þó greina sérstaklega ef ástæða þykir til. Með því að einangra áhrif einstakra gripa minnkar tilraunaskekkjan verulega og mat á áhrifum tilraunameðferða verður mun öruggara.

Niðurstöður

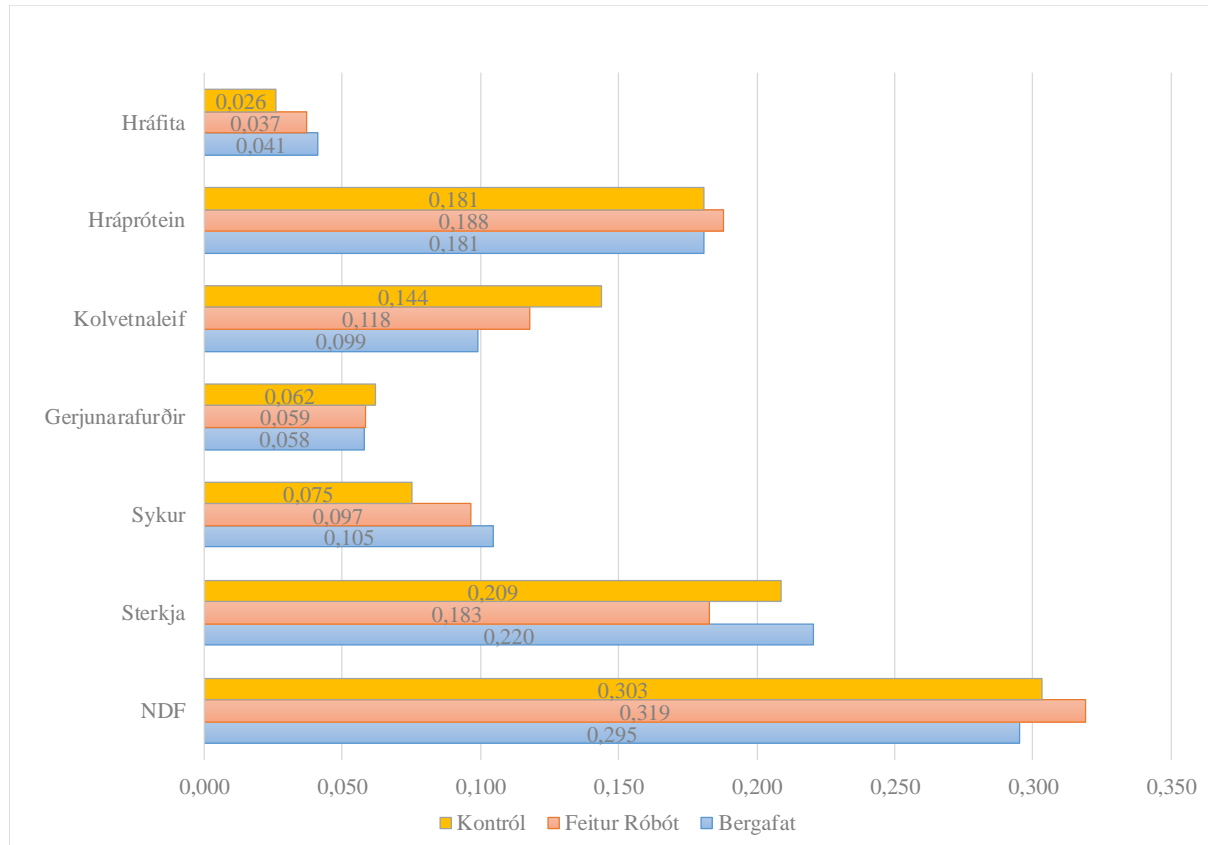
Í 10. töflu er yfirlit um framleiðslu og át, og tilraun gerð til að meta áhrif meðferða á fóðurnýtingu. Sá mælikvarði sem notaður er á fóðurnýtinguna er grófur en gefur vísbendingu um að meðferðirnar með fituviðbótinni, sérstaklega í kjarnfóðurblandunni (Feitur Róbót) gefi betri fóðurnýtingu en viðmiðunarmedferðin. Meðalsamsetningu fóðursins má sjá á 6. mynd.

10. tafla. Áhrif tilraunamedferða og tímalengdar frá burði á framleiðslu orkuleiðréttrar mjólkur (OLM), át á þurrefni, lífrænu efni og meltanlegu lífrænu efni, og fóðurnýtingu mælda sem kg framleiddrar OLM á hvert étið kg meltanlegs lífræns efnis.

	Tilraunamedferð			Tímalengd frá burði ^{*)}		
	Bergafat	Feitur Róbót	Kontról	1	2	3
Heildarátt, kg þe/dag	18,8	18,4	19,0	19,0	19,6	17,7
Orkuleiðrétt mjólk (OLM), kg/dag	25,7	26,6	25,7	27,4	26,1	24,6
Étið lífrænt efni, kg/dag	17,3	16,9	17,5	17,4	18,0	16,2
Meltanleiki lífræns efnis, %	80,2	81,1	82,2	81,6	81,1	80,7
Meltanlegt lífrænt efni, kg/dag	15,1	14,9	15,6	15,5	15,9	14,3
Fóðurnýting, kg OLM/kg melt. lífr.efn.	1,72	1,77	1,64	1,76	1,64	1,73

^{*)}Tímalengd frá burði: 1: 59-80 dagar frá burði, 2: 94-115 dagar frá burði, 3: 129-150 dagar frá burði

Marktækni áhrifa: Áhrif gripa og tímalengdar frá burði voru marktæk ($P < 0,05$) fyrir allar breytur í þessari töflu. Áhrif meðferða voru marktæk ($P < 0,05$) eingöngu fyrir tvær síðustu breyturnar í töflunni.



6. mynd. Samantekt um meðalhutföll helstu fóðurefna í dagsfóðri kúnna eftir tilraunamedferðum.

11. tafla. Áhrif tilraunameðferða og tímalengdar frá burði á þunga- og holdabreytingar.

	Tilraunameðferð			Tímalengd frá burði		
	Bergafat	Feitur Róbót	Kontról	1	2	3
Holdastig í upphafi	3,29	3,24	3,29	3,13	3,28	3,40
Holdastig í lok	3,38	3,37	3,37	3,26	3,37	3,49
Holdabreyting	0,09	0,13	0,08	0,12	0,09	0,09
Lífbungi í upphafi	472,2	466,5	467,2	453,0	467,6	485,3
Lífbungi í lok	475,0	471,6	474,0	459,5	474,4	486,6
Lífbungabreyting	2,8	5,1	6,7	6,5	6,8	1,3

Marktækni áhrifa: Áhrif gripa og tímalengdar frá burði voru marktæk ($P < 0,05$) á lífbungabreytingar en ekki holdabreytingar. Áhrif meðferða á holda- og lífbungabreytingar voru ekki marktæk.

Eins og 11. tafla sýnir höfðu tilraunameðferðirnar engin marktæk áhrif á þunga- og holdabreytingar kúnna. Í 12. töflu má sjá að fituviðbót í fóðri, hvort sem er úr Bergafat eða Feitum Róbót leiddi til breytingar á efnainnihaldi mjólkurinnar, þannig að fituhlutfall mjólkurinnar hækkaði og próteinhlutfallið lækkaði, alfarið vegna lækkunar á kaseinhluta próteinsins. Hærra hlutfall var af fríum fitusýrum í mjólkinni hjá kúm sem fengu fituviðbót.

12. tafla. Áhrif tilraunameðferða og tímalengdar frá burði á nyt og efnainnihald mjólkur.

	Tilraunameðferð			Tímalengd frá burði		
	Bergafat	Feitur Róbót	Kontról	1	2	3
Nyt, kg/dag	25,6	26,3	25,5	28,1	25,7	23,7
Fita %	4,06	4,06	3,98	3,85	4,07	4,18
Prótein %	3,36	3,38	3,46	3,25	3,43	3,52
Kasein, %	2,56	2,58	2,65	2,47	2,64	2,68
Úrefni, mmól/ltr.	6,11	6,19	6,06	6,10	6,02	6,24
Fríar fitus., mmól/ltr.	0,62	0,64	0,59	0,57	0,62	0,67

Marktækni áhrifa: Áhrif gripa og tímalengdar frá burði voru marktæk ($P < 0,05$) fyrir allar breytur í töflunni nema hvað áhrif tímalengdar frá burði á úrefni voru ekki marktæk. Áhrif meðferða voru marktæk á alla þætti nema nyt og úrefni og fólust í því að fitumeðferðirnar skáru sig báðar marktækt frá kontrólmeðferðinni en voru ekki frábrugðnar innbyrðis.

Í 13. töflu eru upplýsingar um áhrif meðferða á framleiðslu verðefna í mjólkinni. Megin niðurstaðan þar er að fitu/prótein hlutfallið í mjólkinni er hærra í meðferðum með fituviðbót, sem nemur um 5 prósentum í samanburði við viðmiðunarhópinn. Jafnframt má sjá að fóðrun með feitum Róbót gefur mest magn fitu, próteins og verðefna samtals þó að munur sé ekki í öllum tilvikum marktækur. Í 14. töflu eru svo niðurstöður úr greiningum á hlutföllum fitusýra í mjólkinni. Helsti munurinn sem þar kemur fram milli meðferða er í hlutfalli pálmasýru, C16:0, sem er um 10% meira af í mjólkinni úr fitumeðferðunum heldur en hjá kontrólhópnum.

13. tafla. Áhrif tilraunameðferða og tímalengdar frá burði á framleiðslu verðefna í mjólk.

	Tilraunameðferð			Tímalengd frá burði		
	Bergafat	Feitur Róbót	Kontról	1	2	3
Fita, g/d	1030	1061	1013	1079	1040	985
Prótein, g/d	847	882	875	899	873	832
Verðefni samtals, g/d	1877	1943	1888	1979	1913	1816
Fita/prótein hlutfall	1,21	1,20	1,15	1,19	1,19	1,19

Marktækni áhrifa: Áhrif gripa og tímalengdar frá burði voru marktæk ($P<0,05$) fyrir allar breytur í töflunni nema hvað áhrif tímalengdar frá burði á fitu/prótein hlutfall voru ekki marktæk. Áhrif meðferða voru marktæk ($P<0,05$) á próteinframleiðslu og fitu/prótein hlutfall.

14. tafla. Áhrif fóðrunar á hlutföll fitusýra í mjólkurfitunni. *)

	Bergafat	Feitur Róbót	Kontról
C10:0	3,9	3,7	4,2
C12:0	5,0	4,7	5,4
C13:0	0,1	0,1	0,1
C14:0	14,0	13,4	14,8
C14:1	1,0	0,9	1,0
C15:0	1,0	1,0	1,1
C16:0	40,1	41,7	37,4
C16:1 ω7	1,7	1,8	1,6
C16:2 ω4	0,2	0,2	0,2
C17:0	0,5	0,5	0,5
C17:1	0,1	0,1	0,1
C18:0	7,8	7,6	8,3
C18:1 ω9	15,5	15,2	15,7
C18:1 ω7	1,0	1,2	1,1
C18:2 ω6	1,7	1,7	1,8
C18:3 ω6	0,1	0,1	0,1
C18:3 ω3	0,6	0,6	0,6
C18:4 ω3	0,3	0,4	0,4
Mettaðar fitusýrur alls (SFA)	72,5	72,6	71,9
Einómettaðar fitusýrur (MUFA)	19,3	19,1	19,5
Fjölómettaðar fitusýrur (PUFA)	2,8	3,0	3,1
Transfitusýrur (TFA)	0,0	0,0	0,0
Óþekktar	5,3	5,3	5,5

*) Meðaltöl þriggja sýna úr hverri tilraunmeðferð.

Umræður og ályktanir

Sú tilraun sem hér hefur verið sagt frá var sett upp með það fyrir augum að prófa á íslenskum gróffóðurgrunni fituviðbót í kjarnfóðri með tvennum hætti, annars vegar í gegnum kjarnfóðurblöndu og hins vegar með beinni íblöndun þurrfitu í heilfóður. Tilraunin heppnaðist vel og skilar niðurstöðum sem svara rannsóknasurningunum, sem voru um það hvort umræddar tilraunameðferðir hefðu áhrif á át, nyt og efnahlutföll mjólkur.

Fituviðbót í fóðri, hvort sem er úr þurrfitu eða kjarnfóðurblöndu, leiddi til breytingar á efnainnihaldi mjólkurinnar, þannig að fituhlutfall mjólkurinnar hækkaði og próteinhlutfallið lækkaði, alfarið vegna lækkunar á kaseinhluta próteinsins. Hærra hlutfall var af fríum fitusýrum í mjólkinni hjá kúm sem fengu fituviðbót. Allt er þetta í samræmi við niðurstöður erlendra rannsókna, og sýnir að jafnvel þegar tréni úr gróffóðri uppfyllir kröfur um magn og gæði sem ættu að forða frá óeðlilegri lækkun mjólkurfitu (MFD, sjá bls.9), er hægt að fara frá „eðlilegum“ hlutföllum mjólkurefna upp í hærra hlutfall fitu á kostnað próteins, með því að bæta í fóðrið fitu sem er að uppistöðu pálmasýra (16:0). Breyting um 5% á fitu/prótein hlutfalli mjólkurinnar eins og kom fram í þessu verkefni, er umtalsverð og ætti að vera þýðingarmikið fyrir bændur og mjólkuriðnaðinn að vita af þessum möguleika til að stilla af jafnvægi milli framboðs og eftirspurnar á þessum tveimur verðefnum mjólkurinnar. Viss atriði þarf þó að hafa í huga sem geta haft áhrif á ákvörðun um notkun þessa möguleika í fóðrun:

1. Magn frírra fitusýra hækkar með fituviðbót í fóðri. Sú breyting sem sást í þessari tilraun er þó lítil og gildin mun lægri en svo að nálgist verðfellingu, sem verður ef styrkur frírra fitusýra fer yfir 0,900 mmol/ltr. skv. reglum um flokkun og verðfellingu mjólkur (1210/15. desember 2016).
2. Fituviðbót í fóðri minnkar kaseinhluta próteinsins, þ.e. ostapróteinið.
3. Vert er að hafa í huga að fituviðbót á formi pálmasýru (16:0) er sums staðar umdeild vegna umhverfisáhrifa framleiðslu á pálmaolíu, sem er ein helsta uppspretta pálmasýru. Umhverfisvottun slíkra vara, sem sýnir fram á að þær séu framleiddar á umhverfislega sjálfbæran hátt, skiptir því miklu máli.

Ekki reyndist mikill munur á niðurstöðum fyrir þær tvær leiðir til fituviðbótar sem hér voru prófaðar. Þó hefur kjarnfóðurblandan (Feitur Róbót) aðeins vinninginn yfir þurrfituna (Bergafat), ef litið er á heildarframleiðslu verðefna og þar með OLM, og fóðurnýtingu.

Ef við metum þau jákvæðu áhrif á OLM sem Feitur Róbót gaf: $0,8 \text{ kg/dag} \times 87,40 \text{ kr/ltr}$ (afurðastöðvaverð mjólkur í ársbyrjun 2017) = 70 kr/dag meiri verðmæti hjá þeim sem fengu Feitan Róbót heldur en hinum. Í mars 2017 munar um 8 kr/kg á verði Robot 20 og Feitur Robot 20. Miðað við 8 kg gjöf á dag (skv. fóðuráætlun í tilrauninni) er kostnaðaraukning af því að hafa Robotinn „feitan“ því $8 \times 8 = 64 \text{ kr/dag}$. Kostnaður við Bergafat gjöfina var $0,26 \text{ kg/dag} \times 308 \text{ kr/kg} = 80 \text{ kr/dag}$.

Skammtímaáhrif af fituviðbót í fóðri á hagkvæmni búa er skv. þessu ekki endilega mikil en hins vegar eru langtímaáhrifin af því að geta haft einhverja stjórn á efnahlutföllum í mjólk afar mikil. Langtímaáhrifin ráða úrslitum um hversu mikla mjólk er hægt að selja á góðu verði á hverjum tíma. Þau geta einnig komið í veg fyrir vöntun á annað hvort fitu- eða próteinríkum mjólkurvörum.

Eins og fram kom í kafla um fyrri rannsóknir (sjá m.a. 4. og 5. mynd) fer nýting viðbótarfitu í fódri minnkandi eftir því sem hlutfall hennar í fódri er hærra. Í tilrauninni á Stóra-Ármóti var ekki farið út í að prófa sérlega stóra skammta af fitu heldur var verið að prófa fituviðbót á þeim skala sem algeng er hjá bændum, þannig að sem raunhæfast mat fengist á viðbrögð kúnna við slíkri fódri, sem bændur gætu þá heimfært upp á sínar aðstæður. Það er fróðlegt að reyna að meta hversu vel viðbótarfitan skilar sér úr fódri yfir í mjólkina við þessar aðstæður. Það má t.d. gera með því að bera saman þá hækkun sem varð á pálmasýruframleiðslu í mjólkurfitunni við pálmasýruviðbótina í fódri. Niðurstöður lauslegra útreikninga á þessu má sjá í 15. töflu.

15. tafla. Hlutfallslegar heimtur fitusýra (og pálmasýru sérstaklega) úr viðbótarfitu í fódri yfir í mjólk.

	Bergafat	Feitur Róbót
Viðbótarfita í fódri, fitusýrur alls g /dag	260	233
Áhrif fituviðbótar á fitusýruframl. í mjólk, g/dag	15	43
Hlutfallslegar heimtur úr fódri í mjólk	6%	18%
Pálmasýra (16:0) í fituviðbót, g/dag	221	198
Aukning pálmasýru (16:0) í mjólk vegna fituviðbótar, g/dag	38	49
Hlutfallslegar heimtur úr fódri í mjólk	17%	25%

Af 15. töflu má m.a. ráða að pálmasýran skilar sér í meira mæli í mjólkina en fitusýrurnar úr viðbótarfódri gera að meðaltali. Einnig má sjá að heimturnar eru betri úr kjarnfóðurlöndunni (Feitur Róbót) en þurrfitunni (Bergafat), bæði hvað varðar pálmasýruna og ekki síður fitusýrurnar í heild sinni.

Þó að svona útreikningar geti verið forvitnilegir má þó ekki meta árangur fitufóðrunarinnar alfarið út frá því hvernig fitan skilar sér í mjólkina. Jákvæð áhrif fituviðbótar á orkujafnvægi kúnna geta verið jafn mikilvæg, en í þessari rannsókn var ekki safnað gögnum sem nýtast til að leggja nákvæmt mat á þann þátt.

Þakkir

Framleiðnisjóður landbúnaðarins (Þróunarsjóður nautgriparæktar) og Samtök afurðastöðva í mjólkuriðnaði styrktu verkefnið myndarlega. Búnaðarsamband Suðurlands lagði til aðstöðuna á Stóra-Ármóti og hluta viðbótarkostnaðar vegna kjarnfóðurkaupa til verkefnisins, en þar að auki vann Baldur Sveinsson starfsmaður BSSL að framkvæmd tilraunarinnar. Bústjórar á Stóra-Ármóti Hilda Pálmadóttir og Höskuldur Gunnarsson sáu einnig um hluta framkvæmdarinnar. Öllum þessum aðilum er þakkað þeirra framlag, einnig Landbúnaðarháskóla Íslands og samstarfsfólki þar fyrir stuðning við verkefnið.

Heimildaskrá

- Ákerlind M., Weisbjerg M.R., Eriksson T., Tøgersen R., Uden P., Ólafsson B.L., Harstad O.M. & Volden H., 2011. Feed analyses and digestion methods. In: *Norfor- the Nordic feed evaluation system*. EAAP publication No.130 (ed. by Volden H.), pp. 41-54. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Bauman D.E. & Griinari J.M., 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Annual Review of Nutrition* **23**, 203-27.
- Bauman D.E. & Mackle T.R., 1997. Amino acid supply and the regulation of milk protein synthesis. pp. 196-207. Cornell University, Ithaca, NY 14853-4801.
- Bragi Línal Ólafsson, 2005. Fita dýra og hollusta. Fræðaping landbúnaðarins, 2005: 47-56
- Bragi Línal Ólafsson, Emma Eyþórsdóttir, Helga Björg Hafberg, 2003. Erfðabreytileiki mjólkurpróteina í íslenskum kúm. Ráðunautafundur 2003: 111-117.
- Bragi Línal Ólafsson, Eiríkur Þórkelsson, Jóhannes Sveinbjörnsson, Tryggvi Eiríksson, Grétar Hrafn Harðarson, Emma Eyþórsdóttir. Áhrif fóðrunar á efnainnihald í mjólk. Ráðunautafundur 2002: 55-59.
- Bragi Línal Ólafsson; Jóhannes Sveinbjörnsson og Emma Eyþórsdóttir, 2000. Efnainnihald í mjólk. Ráðunautafundur 2000: 158-170.
- Börsting C.F., Hermansen J.E. & Weisbjerg M.R., 2003. Fedtforsyningens betydning for mælkeproduktionen. In: *Kvægets ernæring og fysiologi. Bind 2 - Fodring og produktion. DJF Rapport Husdyrbrug nr. 54* (eds. by Strudsholm F & Sejrsen K), pp. 133-51. Danmarks Jordbruksforskning, Foulum, Denmark.
- Chilliard Y., 1993. Dietary-Fat and Adipose-Tissue Metabolism in Ruminants, Rigs, and Rodents - a Review. *Journal of Dairy Science* **76**, 3897-931.
- Einar Gestsson og Gunnar Ríkharrðsson, 1996. Hert loðnulýsi og fóðurkál fyrir mjólkurkýr. Ráðunautafundur 1996: 218-234.
- Greco L.F. & Santos J.E.P., 2014. Understanding and Troubleshooting Milk Fat Depression in Dairy Herds. *Animal Science, UF/IFAS Extension*, 4.
- Gunnar Ríkharrðsson, 1990. Íblöndun á hertu loðnulýsi í kjarnfóður mjólkurkúa og áhrif þess á át, nyt, efnainnihald og bragðgæði mjólkur. Ráðunautafundur 1990: 253-265.
- Jenkins T.C. & McGuire M.A., 2006. Major advances in nutrition: Impact on milk composition. *Journal of Dairy Science* **89**, 1302-10.
- Lock A.L., Preseault C.L., Rico J.E., DeLand K.E. & Allen M.S., 2013. Feeding a C16:0-enriched fat supplement increased the yield of milk fat and improved conversion of feed to milk. *Journal of Dairy Science* **96**, 6650-9.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D., Morgan, C.A., Sinclair, L.A. & Wilkinson, R.G., 2011. *Animal nutrition*, 7th edition. Prentice Hall, Pearson Education Ltd., England: 692 p.
- Piantoni P., Lock A.L. & Allen M.S., 2013. Palmitic acid increased yields of milk and milk fat and nutrient digestibility across production level of lactating cows. *Journal of Dairy Science* **96**, 7143-54.
- Rico J.E., Allen M.S. & Lock A.L., 2014. Compared with stearic acid, palmitic acid increased the yield of milk fat and improved feed efficiency across production level of cows. *Journal of Dairy Science* **97**, 1057-66.
- Vyas D., Teter B.B. & Erdman R.A., 2012. Milk fat responses to dietary supplementation of short-and medium-chain fatty acids in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **95**, 5194-202.