

# Iðragerjun íslenskra mjólkurkúa

Rannsókn á áhrifum 3-NOP (Bovaer) á  
afurðamyndun og losun metans

Jóhannes Kristjánsson, Gunnhildur Gísladóttir og Jóhannes Sveinbjörnsson



Rit Lbhí  
nr. 191



Landbúnaðarháskóli Íslands, 2026.

Rit Lbhí nr. 191

ISSN 1670-5785

ISBN 978-9935-512-73-4

Verkefnið var styrkt af: Matvælaráðuneytinu- nú atvinnuvegaráðuneyti- og umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytinu.

Höfundar: Jóhannes Kristjánsson, Gunnhildur Gísladóttir og Jóhannes Sveinbjörnsson

Ljósmynd á forsíðu: Gunnhildur Gísladóttir

Landbúnaðarháskóli Íslands starfar á sviði sjálfbærrar auðlindanýtingar, búvísinda, umhverfisvísinda, skipulagsfræði og matvælaframleiðslu á norðurslóðum. Fagfólk skólans nýtur akademísks frelsis og hefur sjálfðæmi við val á viðfangsefnum, túlkun niðurstaðna og birtingu þeirra, innan ramma starfsreglna skólans. Hlutverk Rits Lbhí er að miðla faglegri þekkingu en það er ekki ritrýnt. Efni hvers rits er á ábyrgð höfunda og ber ekki að túlka sem álit Landbúnaðarháskóla Íslands.

## Efnisyfirlit/Contents

Summary.....	1
Samantekt .....	2
Inngangur .....	3
Efni og aðferðir .....	4
Fóður og fóðrun.....	4
Tilraunaskipulag og gripir.....	6
Sýnataka og mælingar.....	6
Tölfræðileg úrvinnsla .....	7
Niðurstöður.....	8
Umræður.....	9
Ályktanir.....	10
Þakkir .....	10
Heimildir .....	11

## Summary

The objective of the reported study was to determine the effect of 3-nitrooxypropanol (3-NOP; marketed as Bovaer), on CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> emissions, milk production and milk composition in an Icelandic dairy cow herd. The cows were fed with a grass silage-based diet (GS) containing 80% grass-based silage and 20% dried barley (DM basis). Additional concentrate was fed depending on milk yield (MY), partly in the GreenFeed system that was used to measure emissions. The herd received 2 treatments with pretest-posttest design with 4 replications, either PMR with 0 mg of 3-NOP/kg DM (Control) or PMR with 80 mg of 3-NOP/kg DM (Bovaer).

Compared to Control the supplementation of 3-NOP (Bovaer) decreased daily enteric CH<sub>4</sub> production by 21.3% ( $P < 0.0001$ ) and the daily CO<sub>2</sub> production by 1.8% ( $P < 0.001$ ). The results suggest that 3-NOP supplementation has comparable effect on enteric CH<sub>4</sub> production as seen in previous studies and the difference can be explained by 3-NOP dosage level, feeding method and feed composition.

The substance (3-NOP) is highly soluble, which means it works quickly, but its effectiveness also decreases rapidly if it is not maintained in the rumen. The best results have been obtained by mixing the substance with roughage to ensure that the cows ingest it evenly throughout the day, as was done in this experiment. Earlier studies have shown that the higher the concentration of fiber (NDF) and crude fat in the feed, the less effective a given dose of 3-NOP is in reducing methane emissions.

Unexpected negative ( $P < 0,001$ ) effect on milk fat concentration by 3-NOP supplementation were observed, 0.3% per kg milk. Due to limited number of milk samples per animal, these findings should be interpreted with caution.

## Samantekt

Markmið rannsóknarinnar var að kanna áhrif 3-nitrooxypropanol (3-NOP; markaðssett sem Bovaer) á losun metangass ( $\text{CH}_4$ ) og koldíoxíðs ( $\text{CO}_2$ ), á mjólkurframleiðslu og efnainnhald hjá íslenskri mjólkurkúahjörð. Kýr voru fóðraðar með grunnblöndu heilfóðurs (PMR) sem innihélt 80% gróffóður og 20% þurrkað bygg. Viðbótarkjarnfóður var gefið eftir nyt, að hluta til í GreenFeed bási sem notaður var til að mæla losun  $\text{CH}_4$  og  $\text{CO}_2$ . Hjörðin fór í gegnum tvær tilraunamedferðir með pretest-posttest skipulagi og fjórum endurtekningum, þar sem grunnblanda heilfóðurs (PMR) með 0 mg af 3-NOP/kg þe (kontról) eða 80 mg af 3-NOP/kg þe (Bovaer) var gefin.

Í samanburði við kontról þá lækkaði íblöndun 3-NOP (Bovaer) í fóður daglega losun  $\text{CH}_4$  frá iðragerjun úr 371 g/dag niður í 292 g/dag sem gerir 21,3% lækkun ( $P < 0.0001$ ) á  $\text{CH}_4$  framleiðslu. Losun  $\text{CO}_2$  lækkaði einnig, um 1.8% ( $P < 0.001$ ). Niðurstöðurnar gefa til kynna að 3-NOP blöndun í fóður hafi sambærileg áhrif í íslenskri mjólkurkúahjörð eins og fundist hefur í erlendum rannsóknum, og að mun milli einstakra rannsókna megi skýra með stærð 3-NOP skammts, fóðrunaraðferð og efnasamsetningu fóðurs.

Efnið (3-NOP) er mjög leysanlegt, sem gerir það að verkum að það virkar hratt en virkni þess minnkar einnig hratt ef því er ekki viðhaldið í vömb. Bestar niðurstöður hafa fengist með því að blanda efninu saman við gróffóður til að tryggja að kýrnar innbyrði það jafnt yfir daginn, eins og gert var í þessari tilraun. Erlendar rannsóknir hafa sýnt að því hærrí sem styrkur trénis (NDF) og hráfitu er í fóðrinu, því minni eru áhrif tiltekins skammts af 3-NOP til minnkunar á metanlosun.

Lækkun á fituprósentu mjólkur, 0,3%/kg ( $P < 0,001$ ) af völdum 3-NOP íblöndunar sem fannst í þessari rannsókn er ekki í samræmi við fyrri rannsóknir og ætti að taka með fyrirvara vegna fárra mjólkursýna úr hverjum grip á meðferðatímabilinu.

## Inngangur

Metanlosun frá landbúnaði, einkum frá iðragerjun jórturdýra, á umtalsverða hlutdeild í losun gróðurhúsalofttegunda á heimsvísu. Til að mæta kröfum um samdrátt í losun gróðurhúsalofttegunda hafa verið þróuð bætiefni í fóður sem ætlað er að draga úr framleiðslu metans frá iðragerjun. Slík fóðurbætiefni hafa virkni sem fela í sér áhrif á vambarumhverfið og ýta þar með undir breytta bakteríuflóru og efnahvörf sem leiðir svo til minnkaðrar metanmyndunar (Honan o.fl., 2021). Vambarhemlar (e. rumen inhibitors) eru efnasambönd sem hafa hamlandi áhrif á metanmyndun með því að koma í veg fyrir uppsöfnun vetnis (H<sub>2</sub>) í vömb. Eitt slíkt efnasamband er 3-nítroxyprópanól (3-NOP), sem er viðurkennt bætiefni þróað af Duval og Kindermann (2012). Umrætt 3-NOP, markaðssett sem Bovaer, bælir ensím sem tekur þátt í síðasta skrefi metanmyndunar í vömb sem leiðir til minni CH<sub>4</sub> losunar (Duin o.fl., 2016).

Fjöldi rannsókna hafa verið gerðar á áhrifum 3-NOP á metanlosun frá mjólkurkúm (Hristov o.fl., 2015; Melgar o.fl., 2020; Van Wesemael o.fl., 2019). Niðurstöðurnar hafa sýnt fram á lækkun á metanlosun í meltingarvegi, allt frá um 7% (Reynolds o.fl., 2014) upp í 60% (Haisan o.fl., 2014). Árangur 3-NOP viðbótarinnar við að draga úr CH<sub>4</sub> losun fer bæði eftir stærð 3-NOP-skammts í fóðri og hvernig fóðrið er gefið (Melgar o.fl., 2020). Efnið er mjög leysanlegt, sem gerir það að verkum að það virkar hratt og CH<sub>4</sub> losun lækkar strax eftir gjöf. Hins vegar dregur hratt úr virkni þess ef því er ekki viðhaldið í vömb (Reynolds o.fl., 2014). Þess vegna hafa betri niðurstöður fengist með því að blanda efninu saman við gróffóður til að tryggja að kýrnar innbyrði það jafnt yfir daginn, sem tryggir stöðuga nærveru efnisins í vömb og viðvarandi CH<sub>4</sub>-lækkun (Hristov o.fl., 2015; Lopes o.fl., 2016).

Þegar 3-NOP er blandað saman við gróffóður minnkar losun metans frá meltingarvegi venjulega á bilinu 20-40%. Hristov o.fl. (2015) sýndu fram á að fóðrun 3-NOP í skömmtum upp á 40–80 mg/kg fóðurþurrefnis minnkaði CH<sub>4</sub> framleiðslu um 30% hjá mjólkandi kúm, án þess að það hefði áhrif á fóðurát eða nyt. Lopes o.fl. (2016) fengu um 31% lækkun á CH<sub>4</sub> losun hjá mjólkurkúm sem fengu fóður með 3-NOP innihaldi sem nam 60 mg/kg þurrefnis. Í safngreiningu (e. meta-analysis) á metanhemjandi áhrifum 3-NOP fundu Dijkstra o.fl. (2018) 39% lækkun á CH<sub>4</sub> framleiðslu hjá mjólkurkúm, við meðalskammt 3-NOP sem nam 123 mg/kg fóðurþurrefnis. Virkni 3-NOP við að draga úr CH<sub>4</sub> losun frá iðragerjun í meltingarvegi reyndist samkvæmt þessari greiningu marktækt háð skammtastærð 3-NOP og innihaldi af tréni (NDF) í fóðrinu. Van Gastelen o.fl. (2022) fundu einnig að minnkun CH<sub>4</sub> losunar vegna 3-NOP viðbótar var háð fóðursamsetningu. Þegar gróffóðrið var maísvothey gáfu skammtar upp á 60 og 80 mg 3-NOP á kg þurrefnis minnkun á metanlosun upp á 34,8% og 41,6%, í sömu röð. Þegar gróffóðrið var grasvothey var samdráttur metanlosunar við sömu 3-NOP skammta 26,2% og 28,2%.

Þessar rannsóknir hafa flestar verið gerðar á mjólkurkúm af Holstein eða Holstein-Friesian kúakynjum. Áhrif 3-NOP (Bovaer) á íslenskar mjólkurkúr hafa ekki verið könnuð til þessa. Markmið þessarar rannsóknar var að kanna hvort Bovaer, sem bætt er við grunnblöndu heilfóðurs (PMR), gæti dregið úr losun CH<sub>4</sub> frá meltingarvegi íslenskra mjólkurkúa og hvort það hefði einhver áhrif á fóðurát, mjólkurframleiðslu eða efnasamsetningu mjólkur.

## Efni og aðferðir

### Fóður og fóðrun

Tilraunaeðferðir voru tvær. Borin var saman fóðrun án metanletjandi bætiefna (Kontról) við fóðrun með metjanletjandi bætiefninu 3-NOP (Bovaer). Hluta af fóðrinu, hér eftir kallað PMR (e. partially mixed ration) var blandað saman með heilfóðurblandara daglega meðan tilraunin stóð yfir. Blandan (PMR) samanstóð af einni rúllu af fyrri slætti með vallarfoxgrasi sem ríkjandi grastegund; einni rúllu af öðrum slætti, hálfri rúllu af grænfóðri (hafrar og rýgresi), og 200 kg af þurrkuðu bygg. Samsetning PMR á þurrefnisgrunni er birt í 1. töflu. Dag hvern var 12.5 kg af steinefnablöndu (2. tafla) bætt við PMR blönduna, annað hvort án (Kontról) eða með Boaver (Bovaer). Meðalstyrkur Boaver í PMR var 80,3 mg/kg í tilraunavikunum.

**1.tafla.** Hráefnasamsetning PMR blöndunnar á þurrefnisgrunni og efnainnihald hráefnanna.

	Fyrsti sláttur	Annar sláttur	Grænfóður	Bygg
Alls kg þurrefni	272	349	128	189
Þurrefni %	40,9	48,6	31,4	86,2
OMD (meltanleiki lífr. efnis), %	73,4	75,3	73,3	81,5
<b>Efnasamsetning, g/kg þurrefni</b>				
Aska	46	68	74	25
NDF (tréni)	532	461	472	169
Hráprótein (CP)	132	157	188	89
Sykrur	56	41	46	21
Sterkja	EM1)	EM	EM	588
Hráfita (CF)	35	40	40	19
Kolvetnaleif	199	233	225	89
<b>Aðrar mælingar</b>				
Ómeltanlegt NDF (iNDF), g/kg þe	145	147	187	139
Leysanlegt hráprótein (sCP), g/kg CP	573	496	465	429
Sýrustig, pH	5	4.9	4.4	EM

1EM =Ekki mælt

Traktorsdrifinn Keenan heilfóðurblandari var notaður til að blanda dagsskammtinn af PMR. Til að auka viðloðun byggsins við gróffóðrið í blöndunni var bætt um 300 kg af vatni við í hverri blöndun. Blöndunarferillinn var þannig: Eftir hverja fóðrun var dagsskammturinn af völsuðu bygg settur í blandarann ásamt vatninu. Næsta morgun var gróffóðrinu öllu bætt í blandarann ásamt steinefnablöndunni fyrir hvora fóðurmeðferð um sig, sjá innihald hennar í 2. töflu. Þegar allt var komið í blandarann, var hann látinn ganga og blanda fóðrið á meðan fóðurgangurinn var þrifinn og fóðurleifar fjarlægðar og vigtaðar. Því næst var PMR-blandan losuð úr blandaranum á fóðurganginn.

**2. tafla.** Innihaldsefni í steinefnablöndu í fódurmeðferðunum tveimur.

	Kontról	Bovaer
<b>Innihald, g/kg þurrefni</b>		
Kalsíum	121	121
Fosfór	41	41
Magnesium	81	81
Natríum	60	60
Brennisteinn	2	2
Hráprótein (CP)	26	23
Hráfita (CF)	7	6
Aska	694	721
Hrátréni (CF)	6	5
<b>Snefilefni og vítamín</b>		
Vítamín A IU/kg	200.000	200.000
Vítamín D3 IU/kg	100.000	100.000
Vítamín E mg/kg	2.000	2.000
Kopar mg/kg	500	500
Mangan mg/kg	1.500	1.500
Kóbalt mg/kg	20	20
Zink mg/kg	2.500	2.500
Joð mg/kg	80	80
Selen mg/kg	50	50
<b>Annað</b>		
3-nitrooxypropanol (3-NOP) mg/kg	0	6.000

Í viðbót við PMR-blönduna fengu kýrnar kjarnfóður eftir nyt. Blöndurnar Hagnyt 16 og/eða Góðnyt 16 voru gefnar í kjarnfóðurbás, í mjaltþjóni og í GreenFeed metanmælingabúnaðinum. Fóðuráætlanir voru gerðar með Norfor fódurmatskerfinu ([www.norfor.info](http://www.norfor.info)) þar sem gróffóðurát á grip er áætlað út frá upplýsingum um fóðrið og gripinn, jafnframt því sem kjarnfóðurgjöf er stillt af, þannig að kýr sem framleiddu meiri mjólk en PMR-blandan náði að dekkja fengu viðbótarkjarnfóður, eins og nánari grein er gerð fyrir í 3. töflu. Hjarðforrit endurreiknaði kjarnfóðurþörf út frá heildar nyt síðasta sólarhrings (24 tíma), út frá töflugildunum. Lágmarkskjarnfóðurgjöf í mjaltþjóni var 0,5 kg á grip á dag, óháð nyt.

**3. tafla.** Kjarnfóðurgjöf, kg á grip á dag.

Nyt kg/dag	Mjaltaskeið 1		Mjaltaskeið 2		Mjaltaskeið ≥3	
	Hagnyt 16	Góðnyt 19	Hagnyt 16	Góðnyt 19	Hagnyt 16	Góðnyt 19
15	0,5		0,5			
20	1,9		2,1		0,5	
25	5,0	0,3	5,0	1,0	3,9	
30	7,5	1,4	6,0	3,0	7,0	0,4
35	9,0	3,7	8,0	5,0	8,5	3,0
40		13,6		13,7	9,8	4,1
45		14,8		15,5		15,1

### Tilraunaskipulag og gripir

Þar sem aðstaðan leyfði ekki hópaskiptingu í gróffóðurgjöf, var notað svokallað „pretest-posttest“ tilraunaskipulag með fjórum tímabilum. Hvert tímabil náði yfir tvær vikur þar sem allar kýrnar voru fóðraðar í eina viku með Bovaer og í eina viku með Kontról steinefnablöndunni. Röð meðferða var mismunandi eftir tímabilum. Á fyrsta og þriðja tímabili kom Kontról meðferðin á undan en á öðru og fjórða tímabili kom Bovaer meðferðin á undan. Í hverri viku voru fyrstu tveir dagarnir, laugardagur og sunnudagur aðlögunardagar og virku dagarnir fimm voru svo mælingadagar. Allar kýrnar fóru því í gegnum átta vikur af tilraunamedferðum, sem stóðu yfir frá 17. febrúar til 12. apríl 2024.

Fjörtíu og ein mjólkurkúr á Hvanneyrarbúinu voru með í tilrauninni: Tíu kvígur á fyrsta mjaltaskeiði, 12 kúr á öðru mjaltaskeiði, og 19 kúr á þriðja mjaltaskeiði eða meira. Í tilraunina voru valdar kúr sem var reiknað með að myndu vera mjólkandi út tilraunatímabilið. Nýbornar kúr voru ekki með í tilrauninni til að draga úr óstöðugleika í áti og nyt á tilraunatímabilinu. Fyrri tíðni heimsóknna í GreenFeed básinn var líka skoðuð, og kúr með <tvær heimsóknir á dag útilokaðar frá þátttöku í tilrauninni. Dagar á mjaltaskeiði við byrjun tilraunarinnar voru  $171 \pm 80$ , nytin  $24,4 \pm 6,5$  kg/dag og holdastig  $3,43 \pm 0,38$ .

### Sýnataka og mælingar

Kýrnar voru í lausagöngufjósi með stýrðri umferð að mjaltþjóni. Þær höfðu frjálsan aðgang að PMR-blöndunni á fóðurgangi og kjarnfóðurgjöf (3. tafla) í kjarnfóðurbás, í mjaltþjóni og í GreenFeed metanmælingabúnaðinum. Nyt var sjálfvirkt skráð með hjarðforriti. Vikulega voru mjólkursýni tekin frá hverjum grip og send til greininga á Rannsóknastofu mjólkuriðnaðarins, þar sem greind var frumutala, fita, prótein og úrefni í mjólkinni.

Til að leggja mat á fóðurát hjarðarinnar (4. tafla), var fóðurleifum safnað daglega og þær vigtaðar tvisvar í viku, á miðvikudögum og föstudögum. Sýni voru tekin úr fóðurleifunum vikulega til þurrefnisákvörðunar. Gróffóðurrúllurnar voru vigtaðar með vigt í heilfóðurvagni jafnóðum og þær voru settar í hann. Sýni voru tekin vikulega úr öllum gróffóðurtegundunum.

Þau voru geymd frosin og við lok tilraunar voru þau greind með tilliti til sýrustigs (pH), þurrkuð og möluð. Þurrkuðu sýnin voru send til greininga hjá Efnagreiningu ehf. Fóðurefnagreiningarnar voru framkvæmdar og niðurstöður þeirra settar fram samkvæmt aðferðum Norfor- fóðurmatskerfisins (Ákerlind o.fl., 2011). Hvern fimmtudag var holdastig kúnna metið með sjónrænu mati (Ferguson, 1994).

**4. tafla.** Meðalát, kg þurrefnis á grip á dag

	Tilraunaeðferð	
	Kontról	Bovaer
PMR-blanda	11,4	11,5
Hagnyt 16	3,8	3,8
Góðnyt 19	2,1	2,1
Alls	17,3	17,4

GreenFeed mælingabás (GreenFeed system, C-Lock Inc., Rapid City, SD) var notaður til að mæla metan (CH<sub>4</sub>) og koltvísýring (CO<sub>2</sub>) í útöndun hjá gripum á einstaklingsgrunni. Búnaðurinn er settur upp af framleiðanda samkvæmt leiðbeiningum Zimmerman o.fl. (2012). Allar kýrnar höfðu frjálsan aðgang að búnaðinum, en eingöngu þær kýr sem voru í tilrauninni fengu kjarnfóðurskammt inni í GreenFeed- básnum, sem notaður var til að lokka kýrnar þar inn. Búnaðurinn var stilltur til að losa hámark átta fóðurskammta (40 g/skammt) með 35 sekúndna millibili í hverri heimsókn gripsins í tækið. Slíka fóðrun gat gripurinn fengið að hámarki sex sinnum á sólarhring með lágmark fjögurra klukkustunda millibili, til að tryggja sem besta dreifingu mælinga yfir sólarhringinn. Meðalfjöldi heimsókna á sólarhring var 2,8 á grip. Gerð var krafa um að lágmarki eina heimsókn á sólarhring, það er fimm heimsóknir í hverri mæliviku til að gripur reiknaðist með í tilraunauppgjöri.

Loftsíur í tækinu voru hreinsaðar vikulega og skynjarar voru kvarðaðir tvisvar í viku. Framkvæmd var mæling á endurheimtarhlutfalli CO<sub>2</sub> áður en tilraunin hófst, eftir fjórar vikur og í lok tilraunar. Búnaðurinn skráir mælingar þegar kýrnar setja höfuðið rétt inn í tækið samkvæmt nálægðarskynjara. Við þær aðstæður safnar tækið öllu gasi sem gripurinn andar út og metur losun gastegundanna út frá loftflæðinu og rauntíma hlutfalli CH<sub>4</sub> og CO<sub>2</sub> í útöndunarloftinu sem safnað var. Þetta var síðan leiðrétt fyrir bakgrunnsloftstreymi, hitastigi, CH<sub>4</sub> og CO<sub>2</sub> styrk í byggingunni þegar enginn gripur var í tækinu. Í lok tilraunarinnar fór gagnateymi C-Lock yfir gögnin sem söfnuðust á tilraunatímabilinu og fjarlægði ófullkomnar mælingar (t.d. of stuttar heimsóknir, röng höfuðstaða o.s.frv.) úr gagnasafninu áður en tölfraðileg úrvinnsla fór fram.

## Tölfraðileg úrvinnsla

Gögnum var safnað og þau skipulögð og undirbúin fyrir tölfraðiuppgjör í Microsoft® Office Excel töflureikninum. Fyrir tölfraðiuppgjör var tölfraðiforritið RStudio (R Core Team, 2024) notað.

Eftirfarandi tölfræðilíkan var notað í endanlegu uppgjöri::

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

Þar sem  $Y_{ijkl}$  er háða mælibreytan hverju sinni (þ.e.  $CH_4$ , nyt, efnasamsetning mjólkur o.s.frv.), og gildi hennar samanstendur af eftirfarandi þáttum:  $\alpha_i$ : áhrif tilraunameðferðar;  $\beta_j$ : staða á mjaltaskeiði (tímabil 1, 2, og 3);  $\gamma_k$ : áhrif endurtekninga (1, 2, 3, & 4);  $w_{ijkl}$ : slembihrif einstakra gripa;  $\varepsilon$ : tilraunaskekkja.

Til að reikna minnstu kvaðrata meðaltöl var notaður tölfræðipakkinn emmeans útgáfa 1.7.4-1 (Lenth, 2022), og Tukey's próf var notað til að greina hvort tölfræðilega marktækur munur væri milli einstakra meðaltala.

## Niðurstöður

**5. tafla.** Áhrif tilraunameðferða á losun  $CH_4$  og  $CO_2$ , nyt og efnainnihald mjólkur.

Mælibreyta	Meðferð			p-gildi
	Kontról	Bovaer	Skekkja, SE	
$CH_4$ g/dag	371	292	3,14	<0,0001
$CO_2$ g/dag	10.118	9.928	54,2	<0,001
Nyt, kg mjólk/dag	20,6	20,8	0,16	0,20 (EM)
Orkul. mjólk kg/dag	22,2	21,5	0,24	<0,01
Mjólkurfita %	4,67	4,37	0,05	<0,001
Mjólkurprótein %	3,45	3,47	0,02	0,29 (EM)
Úrefni %	4,54	4,45	0,10	0,32 (EM)
Holdastig	3,48	3,49	0,02	0,35 (EM)

Marktækur munur ( $P < 0,001$ ) reyndist á metanlosun milli meðferða. Á þeim vikum sem Bovaer var blandað í fóðrið minnkaði metanlosun um 79 grömm á hverja kú á dag, sem samsvarar 21,3% lækkun.  $CO_2$  losun minnkaði einnig marktækt við Bovaer íblöndun, um 190 grömm á hverja kú á dag, eða 1,8%.

Bovaer hafði engin marktæk áhrif á mjólkurframleiðslu (kg/dag) en hafði marktæk neikvæð áhrif á fituinnihald í mjólk og þar með á orkuleiðrétta mjólk (ECM). Á þeim vikum sem Bovaer var gefið var meðalfituinnihaldið lægra, um 0,3% á hvert kg af mjólk, sem samsvarar 6,4% lækkun á fitumagni. Íblöndun Bovaer hafði ekki marktæk áhrif á hlutfall próteins og úrefnis, né á holdastig kúnna.

## Umræður

Í þessari tilraun var innihald 3-NOP í grunnheilfóðurlöndunni (PMR) 80 mg/kg þurrefnis en aðeins voru að meðaltali 52,9 mg af 3-NOP/kg þurrefnis í heildarfóðrinu þar sem ekki var bætt neinu 3-NOP í kjarnfóðrið sem gefið var til viðbótar við PMR. Niðurstöður þessarar tilraunar sýna 21,3% minnkun á metani. Í samanburði við rannsóknir með svipaðan skammt af 3-NOP var metanminnkunin lægri hjá Van Gastelen o.fl. (2020), sem greindu frá 18,5% minnkun með 3-NOP styrk sem nam 51 mg í hverju kg þurrefnis af heildarfóðri. Hins vegar voru niðurstöður okkar vel í samræmi við Bampidis o.fl. (2021) með 21,5% minnkun metans með 54 mg af 3-NOP/kg DM og Schilde o.fl. (2021) með 22% minnkun metans með 48 mg af 3-NOP/kg DM.

Hins vegar fundu Melgar o.fl. (2020) meiri lækkun metans, eða sem nam 26,5% við 55 mg af 3-NOP/í kg þurrefnis, Bampidis o.fl. (2021) fundu 35% lækkun metans við 57 mg af 3-NOP/kg þurrefnis, Schilde o.fl. (2021) fengu 33% lækkun metanlosunar við 51 mg af 3-NOP/kg DM og Van Gastelen o.fl. (2022) fengu 28,2% lækkun metans við 56 mg af 3-NOP/kg þurrefnis.

Skilvirkni metanminnkunar 3-NOP hefur verið staðfest í fjölda rannsókna (Schilder o.fl., 2021, Van Gastelen o.fl., 2022, Kebreab o.fl. 2023). Kebreab o.fl. (2023) komust að þeirri niðurstöðu að því hærra sem styrkur tréni (NDF) og hráfitu var í fóðrinu, því minni voru áhrif tiltekins skammts af 3-NOP til minnkunar á metanlosun. Missterk áhrif 3-NOP á metanlosun frá iðragerjun í rannsóknum má að töluverðu leyti skýra með mismunandi efnainnihaldi fóðurs en fóðrunaraðferðir geta einnig skipt verulegu máli. Í þessari rannsókn var 3-NOP aðeins blandað í PMR-blönduna en ekki í kjarnfóðrið.

Vegna hærra innihalds tréni (NDF) í fyrsta slætti af gróffóðrinu sem gefið var í rannsókninni var át kúnna á PMR-blöndunni minna en búist var við og hlutfall kjarnfóðurs í fóðrinu því hærra. Þetta hefur haft þynningaráhrif á 3-NOP í vömb og dregið úr virkni þess.

Fóðurmatskerfið NorFor notar spálíkan sem Karlsson o.fl. (2024) þróðu til að spá fyrir um áhrif mismunandi 3-NOP skammta á metanlosun. Í því líkani eru skammtar af 3-NOP (mg/kg af DM) í heildarfóðrinu og NDF g/kg þurrefnis í gróffóðrinu einu inntaksbreyturnar. Vegna takmarkaðrar rannsóknaraðstöðu í þessari rannsókn var fóðurát ekki mælt á einstaklingsgrundvelli. Fóðurát gróffóðurs í tilrauninni er því einungis birt fyrir allan hópinn en aðeins hluti hópsins hefur gildar CH<sub>4</sub> mælingar. Það er ekki skynsamlegt að bera saman niðurstöður þessarar rannsóknar við tiltæk spálíkön vegna óvissu um fóðurát.

Minnkun mjólkurfitu við 3-NOP íblöndun sem fannst í þessari rannsókn er ekki í samræmi við fyrri rannsóknir. Þannig hafði 3-NOP viðbót engin áhrif á mjólkurfituhlutfall eða mjólkurfituframléiðslu í rannsókn Reynolds o.fl. (2014). Mjólkurfituhlutfall hækkaði og mjólkurfituframléiðsla hafði tilhneigingu til að aukast í rannsóknum Lopes o.fl. (2016), Melgar o.fl. (2020) og Melgar o.fl. (2021). Í safngreiningu (e. meta-analysis) margra rannsókna reyndist hlutfall mjólkurfitu hækka um  $0,09 \pm 0,028\%$  með 3-NOP viðbót (Martins o.fl., 2025). Í þeirri greiningu minnkaði 3-NOP viðbót í fóður mjólkurkúa fóðurát og nyt en hafði ekki áhrif á framleiðslu orkuleiðréttrar mjólkur vegna aukinnar mjólkurfitu. Neikvæð áhrif á framleiðslu orkuleiðréttrar mjólkur í þessari rannsókn voru eingöngu vegna lækkunar á mjólkurfituinnihaldi. Aðeins eitt mjólkursýni var tekið á hvern grip á viku í þessari rannsókn, og vegna óvissu um breytileika í mjólkursamsetningu innan vikunnar ætti að túlka þessar niðurstöður með varúð.

## Ályktanir

Þetta er fyrsta rannsóknin sem skoðar áhrif af fódurbætiefninu 3-NOP (Bovaer) á íslenskar mjólkurkúr. Með því að setja 3-NOP skammt sem nam að meðaltali 52,9 mg í kg þurrefnis af heildarfóðri minnkaði CH<sub>4</sub> framleiðsla frá meltingarvegi um 21,3%. Niðurstöðurnar benda til þess að 3-NOP viðbót hafi sambærileg áhrif á CH<sub>4</sub> framleiðslu í meltingarvegi og sést hefur í erlendum rannsóknum og að mun milli rannsókna megi að mestu leyti skýra með skammtastærð 3-NOP, fódrunaraðferð og fódursamsetningu. Óvænt neikvæð áhrif 3-NOP á mjólkurfituprósentu komu fram í rannsókninni, en vegna takmarkaðs fjölda mjólkursýna á hvern grip ætti að túlka þær niðurstöður með varúð.

## Þakkir

Verkefnið var styrkt af matvælaráðuneytinu- nú atvinnuvegaráðuneyti- og umhverfis-, orku- og loftslagsráðuneytinu. Lbhí þakkar þennan stuðning. Egill Gunnarsson þáverandi bústjóri Hvanneyrarbúsins og Björn Ingi Ólafsson fjósameistari fá sömuleiðis þakkir fyrir hjálp við framkvæmd verkefnisins, margvíslega aðstoð og andlegan stuðning.

## Heimildir

- Ákerlind M., Weisbjerg M., Eriksson T., Tøgersen R., Udén P. & Ólafsson B.L., 2011. Feed analyses and digestion methods. Ch.5, pp.113-126 in: Volden H (ed.): *Norfor- the Nordic Feed Evaluation System*. EAAP publication no. 130, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, the Netherlands. Doi:10.3920/978-90-8686-718-9
- Bampidis V., Azimonti G., Bastos M. de L., Christensen H., Dusemund B., Fašmon Durjava M., Kouba M., López-Alonso M., López Puente S., Marcon F., Mayo B., Pechová A., Petkova M., Ramos F., Sanz Y., Villa R. E., Woutersen R., Aquilina G., Bories G., Brantom P.G., Gropp J., Svensson K., Tosti L., Anguita M., Galobart J., Manini P., Tarres-Call J. & Pizzo F., 2021. Safety and efficacy of a feed additive consisting of 3-nitrooxypropanol (Bovaer® 10) for ruminants for milk production and reproduction (DSM Nutritional Products Ltd). *EFSA Journal* 19(11). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6905>
- Dijkstra J., Bannink A., France J., Kebreab, E. & Van Gastelen, S., 2018. Short communication: Antimethanogenic effects of 3-nitrooxypropanol depend on supplementation dose, dietary fiber content, and cattle type. *Journal of Dairy Science* 101:9041–9047. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14456>
- Duval, S., & Kindermann, M., 2012. Use of nitrooxy organic molecules in feed for reducing methane emission in ruminants, and/ or to improve ruminant performance. World Intellectual Property Organization, assignee. Pat. No. WO 2012/084629 A1
- Duin E. C., Wagner T., Shima S., Prakash D., Cronin B., Yáñez-Ruiz D. R., Duval S., Rumbeli R., Stemmler R. T., Thauer R. K. & Kindermann M., 2016. Mode of action uncovered for the specific reduction of methane emissions from ruminants by the small molecule 3-nitrooxypropanol. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 113(22): 6172–6177. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600298113>
- Ferguson J. D., Galligan D. T. & Thomsen N., 1994. Principal Descriptors of Body Condition Score in Holstein Cows. *Journal of Dairy Science* 77(9): 2695–2703. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77212-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77212-X)
- Haisan J., Sun Y., Guan L. L., Beauchemin K. A., Iwaasa A., Duval S., Barreda D. R., & Oba M., 2014. The effects of feeding 3-nitrooxypropanol on methane emissions and productivity of Holstein cows in mid lactation. *Journal of Dairy Science* 97(5): 3110–3119. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7834>
- Honan M., Feng X., Tricarico J. M., & Kebreab E., 2021. Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: Modes of action, effectiveness and safety. *Animal Production Science* 62(14): 1303–1317. <https://doi.org/10.1071/AN20295>
- Hristov A. N., Oh J., Giallongo F., Frederick T. W., Harper M. T., Weeks H. L., Branco A. F., Moate P. J., Deighton M. H., Williams S. R. O., Kindermann M., & Duval S., 2015. An inhibitor persistently decreased enteric methane emission from dairy cows with no

- negative effect on milk production. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112(34): 10663–10668. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504124112>
- Karlsson J., Alvarez C., Åkerlind M. & Nielsen N. I., 2024. The effect of the methane inhibitors nitrate and 3-NOP on enteric methane in dairy cow; pp. 32-34 in *Proceedings of the 12th Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Sweden 18.-19. June 2024*. Chief editor: Peter Udén. Reports from Department of Applied Animal Science And Welfare, 3: Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. <https://doi.org/10.54612/a.4h6nuvh43i>
- Kebreab E., Bannink A., Pressman E. M., Walker N., Karagiannis A., Van Gastelen S., & Dijkstra J., 2023. A meta-analysis of effects of 3-nitrooxypropanol on methane production, yield, and intensity in dairy cattle. *Journal of Dairy Science* 106(2): 927–936. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22211>
- Lenth R. V., 2022. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. <https://CRAN.R-project.org/package=emmeans>
- Lopes J. C., De Matos L. F., Harper M. T., Giallongo F., Oh J., Gruen D., Ono S., Kindermann M., Duval S. & Hristov A. N., 2016. Effect of 3-nitrooxypropanol on methane and hydrogen emissions, methane isotopic signature, and ruminal fermentation in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 99(7): 5335–5344. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10832>
- Martins L. F., Maigaard M., Johansen M., Lund P., Ma X., Niu M., & Hristov A. N., 2025. Lactational performance effects of 3-nitrooxypropanol supplementation to dairy cows: A meta-regression. *Journal of Dairy Science* 108(2): 1538–1553. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25653>
- Melgar A., Welter K. C., Nedelkov K., Martins C. M. M. R., Harper M. T., Oh J., Räisänen S. E., Chen X., Cueva S. F., Duval S., & Hristov A. N., 2020. Dose-response effect of 3-nitrooxypropanol on enteric methane emissions in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 103(7): 6145–6156. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17840>
- Melgar A., Lage C.F.A, Nedelkov K., Räisänen S. E., Stefanoni H., Fetter M.E., Chen X., Oh J., Duval S. & Kinderman M., 2021. Enteric methane emission, milk production, and composition of dairy cows fed 3-nitrooxypropanol: *Journal of Dairy Science* 104 (1): 357-366. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18908>
- R Core Team, 2024. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Reynolds C. K., Humphries D. J., Kirton P., Kindermann M., Duval S., & Steinberg W. , 2014. Effects of 3-nitrooxypropanol on methane emission, digestion, and energy and nitrogen balance of lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 97(6): 3777–3789. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7397>
- Schilde M., Von Soosten D., Hüther L., Meyer U., Zeyner A., & Dänicke S., 2021. Effects of 3-nitrooxypropanol and varying concentrate feed proportions in the ration on methane emission, rumen fermentation and performance of periparturient dairy cows.

Archives of Animal Nutrition 75(2): 79–104.

<https://doi.org/10.1080/1745039X.2021.1877986>

- Van Gastelen S., Dijkstra J., Binnendijk G., Duval S. M., Heck J. M. L., Kindermann M., Zandstra T., & Bannink A., 2020. 3-Nitrooxypropanol decreases methane emissions and increases hydrogen emissions of early lactation dairy cows, with associated changes in nutrient digestibility and energy metabolism. *Journal of Dairy Science* 103(9): 8074–8093. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17936>
- Van Gastelen S., Dijkstra J., Heck J. M. L., Kindermann M., Klop A., De Mol R., Rijnders D., Walker N., & Bannink A., 2022. Methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. *Journal of Dairy Science* 105(5): 4064–4082. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20782>
- Van Wesemael D., Vandaele L., Ampe B., Cattrysse H., Duval S., Kindermann M., Fievez V., De Campeneere S., & Peiren N., 2019. Reducing enteric methane emissions from dairy cattle: Two ways to supplement 3-nitrooxypropanol. *Journal of Dairy Science* 102(2): 1780–1787. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14534>
- Zimmerman P., Zimmerman S., Utsumi S., & Beede D., 2011. Development of a user-friendly online system to quantitatively measure metabolic gas fluxes from ruminants. *Journal of Dairy Science* 94(1): 760.