



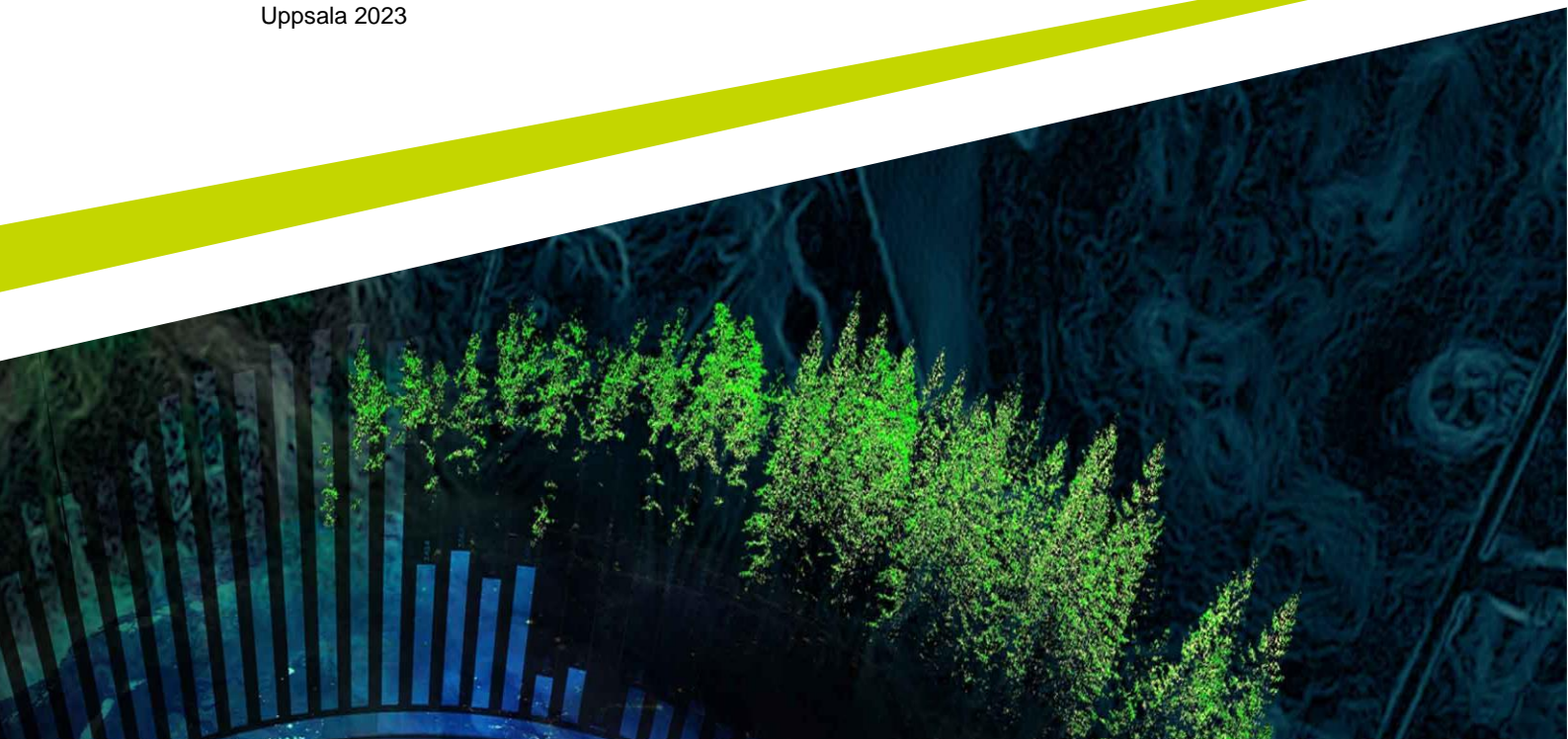
# Fodertillsatsen Bovaer® som metaninhibitor till mjölkkor

Med den aktiva substansen 3-nitrooxypropanol

---

Vanessa Brodin

Självständigt arbete • 15 hp  
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU  
Institutionen för husdjurens utfodring och vård  
Uppsala 2023



# Fodertillsatsen Bovaer® som metaninhibitor till mjölkkor. Med den aktiva substansen 3-nitrooxypropanol

Vanessa Brodin

**Handledare:** Petra Fant, SLU, institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV)

**Examinator:** Mohammad Ramin, SLU, institutionen för husdjurens utfodring och vård (HUV)

**Omfattning:** 15 hp

**Nivå och fördjupning:** Grundnivå, G2E

**Kurstitel:** Självständigt arbete i husdjursvetenskap, G2E

**Kurskod:** EX0865

**Program/utbildning:** Husdjursagronom

**Kursansvarig inst.:** Institutionen för husdjurens utfodring och vård

**Utgivningsort:** Uppsala

**Utgivningsår:** 2023

**Nyckelord:** Mjölko, metan, minska, reducera, 3-NOP, 3-nitrooxypropanol, mjölk kvalitet, mjölkavkastning

## **Sveriges lantbruksuniversitet**

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

Institutionen för husdjurens utfodring och vård

## Sammanfattning

Att minska metanutsläppen från världens mjölkkor ger möjligheten att minska jordbrukets klimatpåverkan. Kornas metanutsläpp från fodersmältningen ger en kraftigare värmande effekt på atmosfären än vad koldioxid gör då metan är ca 32 gånger så kraftfull. Eftersom metan är en kortlivad gas kan minskning av den visa snabba resultat. Metangas från fodersmältningen hos mjölkkor bildas främst i våmmen av metanogena arkéer som ombildar vätgas och koldioxid till metan. I gengäld utviner de adenosintrifosfat för egen energi och tillväxt. Forskare har nu utvecklat fodertillsatsen Bovaer® med den aktiva substansen 3-nitrooxypropanol som inhiberar koenzym M-reduktas som finns naturligt i arkéer och är det enzym som katalyserar metanogenesisen. Bovaer® godkändes av EFSA år 2021 för användning i Europa och är därför fortfarande i tidig implementeringsfas. Syftet med detta arbete är därför att undersöka hur 3-nitrooxypropanol påverkar metanproduktion, mjölkavkastning och mjölkkvalitet hos mjölkkor. Resultaten visar att 3-nitrooxypropanol effektivt kan minska mjölkors metanutsläpp med ca 31 % mätt i gram per kg energikorrigerad mjölk utan att förändra mjölkavkastningen. Mjölkkvaliteten kan påverkas och varierade resultat har hittats. Mjölkkomponenter som mjölkfett, mjölkprotein och laktos har i olika studier ökat men med mycket varierade resultat. Gemensamt för studierna i arbetet är däremot en förändring i mjölkens fettsyrasammansättning vid behandling med 3-nitrooxypropanol.

*Nyckelord:* Mjölko, metan, minska, reducera, 3-NOP, 3-nitrooxypropanol, mjölk kvalitet, mjölkavkastning

## Abstract

Reducing methane emissions from the world's dairy cattle gives the opportunity to reduce climate impact from agriculture. Methane emissions from rumen fermentation has about 32 times stronger effect on global warming than carbon dioxide. Since methane is a short-lived greenhouse gas mitigation can give quick results. Methanogenic archaea in the rumen transforms hydrogen and carbon dioxide into methane to keep the ruminal hydrogen pressure low. In return, the archaea are provided adenosine triphosphate for energy and growth. Researchers have now developed the feed additive Bovaer® with the active substance 3-nitrooxypropanol that inhibits coenzyme M-reductase, a natural enzyme found in archaea which catalyzes methanogenesis. Bovaer® was approved by the European Food Safety Authority in year 2021 for use in Europe and is therefore still in its early implementation stage. The aim of this study is to investigate the impact of 3-nitrooxypropanol on enteric methane production, milk yield and milk composition in dairy cows. The results show that 3-nitrooxypropanol can efficiently decrease dairy cows' enteric methane emissions by approximately 31% measured in grams per kg energy-corrected milk, without affecting milk yield. The results show that the additive can affect milk quality by increasing components such as milk fat, milk protein and lactose but it should be noted that the effects in investigated studies vary. All studies showed that 3-nitrooxypropanol alters the milk fatty acid compositions.

*Keywords:* Dairy cow, methane, mitigate, reduce, 3-NOP, 3-nitrooxypropanol, milk quality, milk yield, milk composition

# Innehållsförteckning

<b>Förkortningar .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Introduktion .....</b>	<b>7</b>
<b>2. Litteraturgenomgång .....</b>	<b>8</b>
2.1 Metanproduktion i våmmen.....	8
2.1.1 Mikrober bildar flyktiga fettsyror.....	8
2.1.2 Metanogenesen som vätesänka.....	8
2.2 3-nitrooxypropanol, inverkan och användning .....	9
2.2.1 Inverkan på metanutsläpp .....	9
2.2.2 Inverkan på mjölkavkastning och mjölk kvalitet.....	10
2.2.3 Aktuella projekt .....	11
2.2.4 Säkerhet och risker .....	12
2.2.5 Dosering och utfodring.....	12
<b>3. Diskussion .....</b>	<b>14</b>
3.1 Bovaer® och mjölkors metanproduktion .....	14
3.1 Bovaer® och mjölk kvalitet.....	15
3.2 Bovaer® i praktiken.....	16
<b>4. Slutsats .....</b>	<b>18</b>
<b>Referenser.....</b>	<b>19</b>



## Förkortningar

3-NOP	3-Nitrooxypropanol
ECM	Energikorrigerad mjölk
EFSA	European Food Safety Authority
NDF	Neutral Detergent Fiber
NOPA	3-Nitrooxypropionsyra
TS	Torrsubstans
VFA	Flyktiga fettsyror

# 1. Introduktion

Mer än hälften av världens metanutsläpp kommer från den mänskliga aktiviteten där majoriteten, ca 40 %, kommer från jordbruket (UNEP, 2021). Av dessa 40 % står korna för 32 % från både fodermältning och utsläpp från träck (UNEP, 2021). För att nå klimatmålen i Parisavtalet och hålla temperaturhöjningen under 1,5 grader måste utsläppen minska (Naturvårdsverket, u.å.). Metan har ca 32 gånger större effekt på uppvärmningen än koldioxid, utslaget på 100 år (IEA, 2022). Däremot överlever metan kortare tid i atmosfären, ca 12 år jämfört med koldioxid som finns kvar i över 100 år (IEA, 2022).

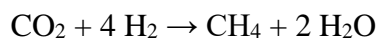
I Sverige finns det ca 300 000 mjölkkor (Jordbruksverket, 2022). Kor har som idisslare egenskapen att omvandla fiberrika växter som människor inte kan bryta ner till mjölk och kött för human konsumtion (Ungerfeldt, 2020), däremot bildar fodermältningen metan som biprodukt (Moss *et al.*, 2000). Idag finns flertalet studier och forskning på hur mjölkkors metanutsläpp kan reduceras. Kindermann och Duval upptäckte år 2012 ämnet 3-nitrooxypropanol (3-NOP). Företaget DSM utvecklade därefter fodertillsatsen Bovaer® med 3-NOP som aktiv substans med målet att minska de enteriska metanutsläppen från idisslares fodermältning. 3-nitrooxypropanol är en metaninhibitor, utvecklad att inhibera metyl-koenzym M-reduktas som finns i arkéer och katalyserar metanogenesen i våmmen (Duin *et al.*, 2016). Bovaer® godkändes för användning i Europa år 2021 av European Food Safety Authority (EFSA). Metanogenesen inhiberas till viss del av tillskottet och har vid användning till mjölkkor visat positiva effekter där de enteriska metanutsläppen minskat med ca 30 % i gram per kg energikorrigerad mjölk (ECM) (Hristov *et al.*, 2015).

Syftet med denna litteraturstudie är att undersöka hur effektivt 3-NOP kan minska metanutsläppen från mjölkkors fodermältning och hur användning av 3-NOP i foderstaten påverkar mjölkavkastning och mjölk kvalitet. Vidare kommer en jämförelse i gram metan per kg ECM göras mellan mjölk producerad av kor utfodrade med och utan 3-NOP. Frågeställningarna *hur inverkar 3-NOP på de enteriska metanutsläppen från mjölkkor* och *hur 3-NOP inverkan på mjölken* förväntas besvaras.

## 2. Litteraturgenomgång

### 2.1 Metanproduktion i våmmen

Metanogenesen är processen då metan bildas som biprodukt under kornas fodermältning (Buan, 2018). Under mikrobernas fermentation av växtmaterial i våmmen frigörs väte och koldioxid som specifika mikrober omvandlar till metan (Buan, 2018). Reaktionen sker enligt (Moss *et al.*, 2000):



Förutom koldioxid kan vätet också användas tillsammans med metanol och metylaminer (Pitta *et al.*, 2022). De mikrober som står för metanogenesen är arkéer, som även kallas metanogener, vars uppgift är att ombilda vätet till metan för att hålla trycket i våmmen under kontroll så att fermentationen kan fortsätta (Moss *et al.*, 2000). Arkéerna får ut adenosintrifosfat från denna process som de använder till egen energi och tillväxt (Buan, 2018). Naturligt hos alla arkéer finns enzymet metyl-koenzym M-reduktas som katalyserar metanogenesen (Pitta *et al.*, 2022). Bovaer® inhiberar enzymet för att i sin tur minska den totala produktionen av enteriskt metan (Duin *et al.*, 2016).

#### 2.1.1 Mikrober bildar flyktiga fettsyror

Till våmmens mikrober hör bakterier, svampar, protozoer och arkéer (van Soest, 1994). Mikroberna fermenterar enkla socker och omvandlar dessa till flyktiga fettsyror (VFA), främst propionat, acetat och butyrat, vilka är idisslarens främsta energikälla (van Soest, 1994). Tack vare mikroberna kan kor omvandla fiberrika växter som människor inte kan bryta ner till mjölk och kött för human konsumtion (Ungerfeld, 2020). Beroende på vilken typ av VFA som produceras bildas olika mycket väte (van Soest, 1994).

#### 2.1.2 Metanogenesen som vätesänka

Metanogenesen är våmmens huvudsakliga vätesänka där överflödigt väte från fodermältningen avlägsnas och ombildas till metan (Moss *et al.*, 2000). Bildandet



av propionat är en alternativ vätesänka eftersom fermentation ledande till propionat kräver väte i syntesen och därmed ger mindre väte tillgängligt för arkéer (van Soest, 1994). Fermentation som leder till acetat och butyrat frigör däremot väte vilket i sin tur leder till mer väte tillgängligt för arkéer till metanproduktion (Moss *et al.*, 2000).

Moss *et al.* (2000) bekräftar att andelen acetat, butyrat och propionat spelar en stor roll i hur mycket metan som bildas under fodersmältningen. Acetat och butyrat är fettsyror som bildar väte under fermentationen medan bildandet av propionat kräver väte och därför klassas som vätesänka (Moss *et al.*, 2000).

## 2.2 3-nitrooxypropanol, inverkan och användning

### 2.2.1 Inverkan på metanutsläpp

Hristov *et al.* gjorde år 2015 en studie där den metanreducerande effekten från 3-NOP undersöktes. Fyrtioåtta Holsteinkor delades in i grupper om fyra kor per grupp. Inom varje grupp fick korna en av fyra behandlingar: placebotillsats med 0 mg 3-NOP per kg torrsubstans (TS), behandling med 40 mg 3-NOP per kg TS, behandling med 60 mg 3-NOP per kg TS eller behandling med 80 mg 3-NOP per kg TS. Detta utfodrades i en fullfodermix. Metangas uppmättes i GreenFeed-system som mäter utandningsluften medan kon äter kraftfoder från automaten. Resultaten visade en minskning av metanutsläpp med i genomsnitt 29 % per kg TS och 31 % per kg ECM jämfört med kontrollgruppen.

I en annan studie gjord av Lopes *et al.* (2016) användes sex lakterande kor av rasen Holstein, där tre kor behandlades med 3-NOP och tre fungerade som kontrollgrupp. Försöket pågick under två 14-dagarsperioder där alla kor hade fistel för att möjliggöra provtagning direkt från våmmen. Behandlingsgruppen utfodrades med 60 mg 3-NOP per kg TS blandat i en fullfodermix och kontrollgruppen fick samma fullfodermix men utan tillsatt 3-NOP. Studien visade att behandlingsgruppen i genomsnitt hade 29 % lägre metanutsläpp per kg ECM och 34 % lägre per kg TS jämfört med kontrollgruppen. Utöver det så ökade väteutsläppen, där kontrollgruppens utsläpp var obemärkta medan behandlingsgruppens utsläpp uppmättes till 1.33 gram per dag. Koncentrationen av acetat i våmvätskan var lägre hos behandlingsgruppen medan koncentrationen av propionat var högre.

I en metaanalys av Dijkstra *et al.* (2018) noterades det att den metanreducerande effekten hos 3-NOP är negativt associerad med ökat fiberintag (NDF-intag). Genomsnittet för NDF i artiklarna de använt låg på 331 gram per kg TS och skulle NDF-halten öka med 10 gram per kg TS minskar den metanreducerande effekten av 3-NOP med ca 1–2 %. Detta antogs bero på att koncentrationen av metylkoenzym M-reduktas är lägre hos kor vars foderstat innehåller lägre fiberhalt och att 3-NOP således inhiberar enzymet effektivare hos dessa kor.

Van Gastelen *et al.* (2020) undersökte i en studie hur 3-NOP påverkar metanutsläppen hos mjölkkor i tidig laktation. I försöket ingick 16 Holsteinkor som parades ihop två och två. Inom grupperna fick den ena kon 51 mg 3-NOP per kg TS och den andra ett placebotillskott med 0 mg 3-NOP per kg TS. Försöket började tre dagar efter kalvning och pågick fram till laktationens 115:e dag. Metangas uppmättes i respirationskammare var fjärde vecka, totalt fyra gånger under försöket, dag 27, 55, 83 och 111. Under mätningen stannade kon i respirationskammaren i fem dagar. Studien visade att metanintensiteten (g/kg ECM) hos behandlingsgruppen jämfört med kontrollgruppen reducerades med 5 % vid första mättillfället, 20,7 % vid andra, 15,7 % vid tredje och 17,7 % vid det fjärde. Författarna drog därmed slutsatsen att 3-NOP effektivt kan minska metanutsläppen vid tidig laktation.

Melgar *et al.* (2021) utförde en studie med 40 lakterande Holsteinkor som hopparades två och två där en fick 60 mg 3-NOP/kg TS via fullfodermix och den andra utgjorde kontrollgrupp. Försöket pågick under 15 veckor. Resultaten visade en minskning av metanutsläpp på 109 g/dag och 29 % per kg ECM. Väteutsläppen ökade med drygt 2 gram per dag, vilket motsvarar sex gånger så mycket jämfört med kontrollgruppen.

En annan studie gjord av van Gastelen *et al.* (2022) visade att den metanreducerande effekten av 3-NOP beror på foderstaten. I försöket var 64 lakterande Holsteinkor uppdelade i tre grupper där varje grupp fick en av tre foderstater; gräsensilage, majs- och gräsensilage (blandning) eller majsensilage. Alla tre foderstater fick ett kompletterande kraftfoder (30 % på basen av TS) där ett utformades för gräsensilage, ett för majsensilage och för gruppen med ensilageblandningen gavs en blandning av de båda kraftfodren. Tillsammans utfodrades detta som en fullfodermix. Inom grupperna delades korna sedan in i två mindre grupper med olika behandlingar, antingen 60 mg 3-NOP per kg TS och placebotillsats med 0 mg 3-NOP eller 80 mg 3-NOP per kg TS och en placebotillsats. Metanutsläpp mättes i ett GreenFeed-system. Resultatet av studien visade att den metanreducerande effekten från 3-NOP beror på foderstatens sammansättning där foderstaten med majsensilage och blandningen av majs- och gräsensilage visade bättre resultat än foderstaten med gräsensilage. Författarna drog därmed slutsatsen att den metanreducerande effekten av 3-NOP förstärks med majsensilage jämfört med gräsensilage.

### 2.2.2 Inverkan på mjölkavkastning och mjölk kvalitet

Hristov *et al.* (2015) undersökte förutom metanproduktion även mjölkavkastning och mjölk kvalitet hos mjölkkor under behandling med 3-NOP. Resultaten visade inga förändringar i mjölkavkastning. Inga förändringar noterades för avkastning och koncentrationen av mjölkfett, förutom förändrad mjölkfettsammansättning. Däremot ökade avkastningen protein och laktos kvadratisk med ökad dos 3-NOP.

Författarna såg även ökad kroppsvikt hos kor som fick 3-NOP i foderstaten jämfört med kontrollgruppen.

Studien av Lopes *et al.* (2016) visade oförändrad mjölkavkastning både i kg mjölk och kg ECM per dag vid tillsats av 3-NOP. Koncentrationen och avkastningen av mjölkprotein påverkades inte av behandlingen. Däremot ökade koncentrationen och avkastningen av mjölkfett med 7,4 % och 16,8 % vardera.

En annan studie gjord av Melgar *et al.* (2020a) visade att mjölkavkastningen tenderade att minska medan mjölkfettavkastningen tenderade att öka med ökande dos 3-NOP. Studien använde doser från 40 till 200 mg 3-NOP per kg TS.

En annan studie gjord av Melgar *et al.* (2020b) undersökte bland annat hur 3-NOP inverkar på mjölken. Femtiosex Holsteinkor i tidig laktation delades in i block där de tilldelades en av två behandlingar, antingen 60 mg 3-NOP per kg TS eller ett placebotillskott med 0 mg 3-NOP per kg TS för att fungera som kontrollgrupp. Försöket pågick under 15 veckor där data för mjölkavkastning samlades in dagligen och data för mjölksammansättning samlades in totalt sju gånger. Resultatet av studien visade inga effekter på mjölkavkastning, mjölkfett eller mjölkprotein, varken koncentration eller avkastning. Däremot förändrades mjölkens fettsammansättning där koncentrationen av kortkedjade fettsyror i mjölken ökade under behandling av 3-NOP. Kroppsvikten var oförändrad.

Ytterligare en studie av Melgar *et al.* (2021) undersökte effekterna av Bovaer® på både metanproduktion, mjölkavkastning och mjölk kvalitet. Författarna poängterar att metanproduktionen hos en mjölkko motsvarar en energiförlust på ca 2–12 % för djuret. I studien användes 60 mg 3-NOP per kg TS och författarna resonerar kring att den extra energin som sparats från metanogenesen i stället kan ha gått till mjölkfettsyntes. Andelen mjölkfett hos kontrollgruppen var 3,82 % medan kor behandlade med Bovaer® hade 4,07 %, alltså ökade andelen mjölkfett med 6,5 %. Mjölkfettavkastningen (kg/dag) ökade med totalt 5 %. Förändringar i mjölkfettsammansättning noterades även i denna studie. Mjölkavkastning och andelen mjölkprotein var oförändrade.

### 2.2.3 Aktuella projekt

Bovaer® godkändes som fodertillsats i Europa år 2021 av EFSA (EFSA, 2021). Flertalet studier har gjorts där tillsatsen har bevisats effektiv för reduktion av metanproduktion hos mjölkkor och säker för användning. Flera projekt pågår nu i Norden där Bovaer® implementeras på gårdar för att utvärdera resultat. Ett av de företag som nu testar Bovaer® är kooperativet Arla som på sin hemsida skriver att de på sex svenska gårdar ger tillsatsen till över 2500 mjölkkor (Arla, 2023). Arla har innan införandet av Bovaer® följt kornas foderstat för att kunna jämföra resultaten efter testperioden. Hittills beskriver Arla införandet som positivt och Arlabonden Tina Borgström beskriver att ”Hittills är allting precis som vanligt. Djuren mår bra, mjölken smakar bra, praktiskt funkar allt bra. Men man önskar ju

att man hade sett någon skillnad med blotta ögat, nu är det bara klimatet som märker av det.” (Arla, 2023).

Även Norrmejerier implementerar Bovaer® på några av sina gårdar för att ta fram mjölken Norrlogisk, en mjölk med mindre klimatavtryck (Norrmejerier, 2023). I februari 2023 ska antalet gårdar från Norrmejerier som använder Bovaer® ligga runt ett tiotal, med målet att fler gårdar ska ansluta (Livsmedelsnyheter, 2023).

#### 2.2.4 Säkerhet och risker

European Food Safety Authority fick en förfrågan från den Europeiska kommissionen att undersöka säkerhet och effektivitet hos Bovaer® som fodertillsats till mjölkkor (EFSA, 2021). Tester utfördes både på olika slag av djur och i laboratorium för att undersöka säkerhet för djuret, användaren, konsumenten och miljön. Lämplig dosering undersöktes och fastställdes ligga i ett intervall mellan 60–100 mg av den aktiva substansen 3-NOP per kg TS foder.

European Food Safety Authority beskriver i rapporten att de huvudsakliga metaboliterna från 3-NOP är 1,3 propanediol, koldioxid, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 3-nitrooxypropionsyra (NOPA) och 3-HPA. Metaboliterna är delaktiga i formationen av endogena föreningar, så som laktos och glukos, som finns naturligt i kroppen. Eftersom metaboliten NOPA har genotoxiska egenskaper undersöktes det vidare om det förekommer rester i mjölk och vävnader. Ett toleransförsök med olika doser (80, 100 och 200 mg 3-NOP/kg TS) visade att nivåerna av NOPA i mjölk varierade och ökade med ökad dos 3-NOP. Resultaten från försöket visade dock att NOPA i mjölk inte utgör någon risk för djur eller konsument så länge dosen hålls inom det rekommenderade intervallet (60–100 mg 3-NOP per kg TS foder). I vävnaderna låg koncentrationen av NOPA alltid under gränsvärdet och konstaterades därför inte heller utgöra någon risk.

Risker för användaren togs även upp i rapporten där författarna beskriver Bovaer® som irriterande för hud och ögon. De genotoxiska egenskaperna kan även utgöra en risk vid inandning eftersom det inte är helt klarlagt huruvida 3-NOP är genotoxiskt. Bovaer® är inte skadligt för miljön.

#### 2.2.5 Dosering och utfodring

Melgar *et al.* (2020a) gjorde en studie i syfte att undersöka och hitta de maximala effekterna av 3-NOP. I försöket testades doseringar på 40, 60, 80, 100, 150 och 200 mg 3-NOP per kg TS och en behandling var utan 3-NOP för att fungera som kontrollgrupp. Fyrtio Holsteinkor delades in i block om sju baserat på laktationsstadium, avkastning och metanutsläpp där de slumpmässigt tilldelades en av sju behandlingar. Efter 14 dagars behandling uppmättes gaserna metan, väte och koldioxid med ett GreenFeed-system. Fodertillsatsen gavs i en fullfodermix som korna fick fri tillgång till.

Resultaten från studien visade att metanutsläppen minskade beroende på dos från 16 % till 36 % i gram per kg TS och från 25 % till 45 % i gram per kg ECM (Tabell 1). Den maximala metanreducerande effekten (numerisk) uppnåddes med en dos på 150 mg 3-NOP per kg TS - men inga statistiskt signifikanta skillnader visades mellan de tre högre doserna (100, 150 och 200 mg) i dagliga utsläpp, gram per kg TS eller gram per kg ECM. Det observerades heller inga signifikanta skillnader i gram metan per kg TS mellan de tre lägre doserna; 40, 60 och 80 mg. Vätgasutsläppen ökade från sex till tio gånger mer jämfört med kontrollgruppen, där dosen 150 mg 3-NOP gav de högsta vätgasutsläppen men också lägst metanutsläpp. I denna studie och även i ett par andra studier (Hristov *et al.*, 2015; Lopes *et al.*, 2016) noterades inga effekter på dagliga koldioxidutsläpp. Däremot ökade koldioxidutsläppen uttryckt som gram per kg TS linjärt med ökad dos av 3-NOP i studien av Melgar *et al.* (2020a). I en annan studie av Melgar *et al.* (2020b) minskade de dagliga koldioxidutsläppen med 5 % vilket förklarades av att behandlingsgruppen hade något lägre TS-intag jämfört med kontrollgruppen.

Van Wesemael *et al.* (2019) undersökte i en studie om effekterna av 3-NOP påverkas av utfodringsteknik. I försöket utfodrades 3-NOP antingen i en fullfodermix eller i ett pelleterat kraftfoder. Författarna drog slutsatsen att det inte fanns skillnader i den metanreducerande effekten hos de två olika utfodringsteknikerna så länge det pelleterade fodret äts i samma frekvens som fullfodermixen.

Tabell 1. Effekt av olika doser 3-nitrooxypropanol (3-NOP) på metanutsläpp (g/kg torrsubstans och g/kg energikorrigerad mjölk), vätgasutsläpp (g/dag) och koldioxidutsläpp (g/dag och g/kg torrsubstans) utfört av Melgar et al. (2020a)

Dos 3-NOP (mg/kg TS <sup>3</sup> )	0	40	80	100	150	200	P-värde L <sup>1</sup>	P-värde Q <sup>2</sup>
Metanutsläpp (g/kg TS)	17,0	13,4	14,3	11,3	10,9	11,6	<0,001	0,08
Metanutsläpp (g/kg ECM <sup>4</sup> )	10,9	8,2	8,0	7,0	6,0	6,7	<0,001	0,01
Vätgasutsläpp (g/dag)	0,26	1,5	1,93	2,23	2,24	2,0	<0,001	0,005
Koldioxidutsläpp (g/dag)	13 704	13 397	13 971	13 940	13 521	13 849	0,83	0,89
Koldioxidutsläpp (g/kg TS)	544	522	574	589	568	604	0,04	0,97

<sup>1</sup>P-värde för linjär effekt av 3-NOP-dosering

<sup>2</sup>P-värde för kvadratisk effekt av 3-NOP-dosering

<sup>3</sup>Torrsubstans (TS)

<sup>4</sup>Energikorrigerad mjölk (ECM)

## 3. Diskussion

### 3.1 Bovaer® och mjölkors metanproduktion

Resultaten i alla arbetets använda studier visar på att Bovaer® effektivt kan sänka mjölkors enteriska metanutsläpp från fodersmältningen. Det är konstaterat att NDF påverkar den metanreducerande effekten (Dijkstra *et al.*, 2018) och fler studier kring hur foderstatens komponenter påverkar effekten skulle behövas för att utvärdera hur maximal effekt av Bovaer® kan uppnås. Studierna från Melgar *et al.* (2020a, 2020b och 2021), Lopes *et al.* (2016) och Hristov *et al.* (2015) har mycket liknande foderstat eftersom försöken har gjorts på samma gård i USA. Författarna förekommer dessutom i varandras studier vilket talar för att samma metoder, beräkningar och tankesätt har använts. Resultaten kan därför jämföras med varandra utan några större felkällor mellan studierna eftersom försöken är så pass lika. Dessa studier skulle förslagsvis kunna summeras ihop och snittet sedan användas som en kontrollgrupp i en studie där foderstatens påverkan på den metanreducerande effekten undersöks.

Inhiberingseffekten på metanogenesen av Bovaer® kan ytterligare påverkas av individuella skillnader hos mjölkorna. Mikroberna i våmmen skiljer sig åt och samma resultat kan inte förväntas från alla. I alla undersökta studier användes endast mjölkkor av rasen Holstein och det vore av intresse att undersöka vidare om rasen har betydelse. Fler raser förutom Holstein används för mjölkproduktion, till exempel Svensk röd boskap, och studier för hur Bovaer® och 3-NOP påverkar dessa är få. Eftersom besättningar ofta kan ha en blandning av flera raser vore det intressant att se om rasen har någon betydelse för effektiviteten av Bovaer®.

De flesta studier har använt GreenFeed för att mäta metanutsläppen. Eftersom systemet mäter gaserna under utfodring är det inget som påverkar djurens välbefinnande på samma sätt som i en respirationskammare. Respirationskammare kan dock tänkas ge mer tillförlitliga resultat eftersom gasen koncentreras i kammaren men detta är bevisat vara fel i en studie av Huhtanen *et al.* (2019). Författarna jämförde metanutsläpp som mättes med hjälp av GreenFeed-systemet med resultaten från olika empiriska ekvationer härledda från data insamlad under försök med respirationskammare. De uppmätta värdena stämde väl överens med modellen och därav drogs slutsatsen att GreenFeed är en pålitlig metod att använda.

Metan är en kortlivad och stark växthusgas vilket betyder att en minskning ger snabba och märkbara resultat jämfört med koldioxid. Att använda Bovaer® har

bevisats effektivt minska de enteriska metanutsläppen från mjölk Kors fodermältning med ca 31% i gram per kg ECM (Tabell 2).

Tabell 2. Jämförelse i metanutsläpp (g/kg energikorrigerad mjölk) mellan mjölk Kors utan (kontroll, 0 mg 3-NOP/kg torrs substans) eller med 3-NOP<sup>1</sup> (3-NOP, 60 mg 3-NOP/kg torrs substans).

	Hristov <i>et al.</i> , 2015	Lopes <i>et al.</i> , 2016	Melgar <i>et al.</i> , 2021	Medel
Kontroll (g/kg ECM <sup>2</sup> )	10,7	14,8	11,6	<b>12,37</b>
Bovaer® (g/kg ECM)	7,2	10,5	8,2	<b>8,63</b>
Reduktion (%)	33	29	29	<b>31</b>

<sup>1</sup>3-nitrooxypropanol (3-NOP)

<sup>2</sup>Energikorrigerad mjölk (ECM)

### 3.1 Bovaer® och mjölk kvaliteten

Studierna i detta arbete visar olika resultat i hur 3-NOP påverkar mjölk kvaliteten. I kapitel 2.2.2 togs resultaten från fem studier upp. Tre av dessa studier visade ökad andel mjölk fett vid behandling med 3-NOP (Lopes *et al.*, 2016; Melgar *et al.*, 2020a; Melgar *et al.*, 2021) och två visade ingen ökning av mjölk fett (Hristov *et al.*, 2015; Melgar *et al.*, 2020b). Hristov *et al.* (2015) var en av de två studier som inte såg förändringar på mjölk fett, däremot ökade mjölk protein, laktos och kroppsvikten hos de behandlade mjölk korna. Melgar *et al.* (2020b) såg inte heller förändringar i mjölk fett eller andra mjölk komponenter förutom förändrad mjölk fettsammansättning.

Resultaten för hur 3-NOP påverkar koncentrationen och avkastningen mjölk fett är alltså varierande mellan studierna. I de studier där resultaten på mjölk fett är oförändrade har en annan mjölk komponent påverkats. Studien av Melgar *et al.* (2020b) avviker från det mönstret eftersom den enda förändring som noterats är förändringen i mjölk fettsammansättning och ingen för laktos, protein eller kroppsvikt. Däremot användes kor i tidigt laktationsstadium i denna studie, från 3 dagar efter kalvning och framåt. Eftersom nykalvade kor ofta hamnar i negativ energibalans (Xu *et al.*, 2020) och vanligen mjölk ar mycket de första månaderna skulle oförändrad mjölk kavkastning i detta fall kunna bero på att kon behöver all energi hon kan få till underhåll och den höga produktionen, snarare än till ökat mjölk fett och mjölk protein. Att resultatet från Melgar *et al.* (2020b) var i princip oförändrat kan därför bero på det.

När kon äter Bovaer® inhiberas metanogenesen och energin som skulle gått förlorad i form av metan sparas. Gemensamt för dessa studier är förändringar i



mjölk kvalitet, om än varierande sådana. Den sparade energin verkar alltså ha gått till olika saker beroende på studie; mjölkfett, mjölkprotein, laktos eller ökad kroppsvikt. Mjölkfett syntetiseras i juvret hos kor där den främsta källan är acetat men även en liten del butyrat (Melgar *et al.*, 2021). Under behandling med 3-NOP minskar andelen acetat och i stället ökar andelen butyrat vilket uppmärksammas i tidigare nämnda studier av Lopes *et al.* (2016) och Melgar *et al.* (2020 b). Melgar *et al.* (2020 b) föreslår därför att butyrat blir den primära källan till mjölkfettsyntes hos kor behandlade med 3-NOP i stället för acetat, vilket skulle förklara ökat mjölkfett i dessa studier. Hristov *et al.* (2015) föreslår från resultatet i sin studie att den sparade energin i stället gått till ökad kroppsvikt. Alla dessa studier visade förändringar i mjölkfettssammansättningen där koncentrationen fettsyror förändrades. Detta skulle kunna förklaras av den förändrade VFA-profilen i våmmen vid behandling med Bovaer® där andelen acetat minskar medan butyrat och propionat ökar.

Det är svårt att dra generella slutsatser kring Bovaers® inverkan på mjölk kvalitet eftersom resultaten i studierna varierar. Fler studier behövs därför för att kunna se samband och hitta vad det är som gör att vissa komponenter påverkas mer än andra. De varierande resultaten på avkastning och mjölk kvalitet kan bland annat bero på foder, dos och genetiska skillnader. Om samband skulle hittas mellan en specifik typ av foderstat och Bovaer® som ökar protein- och fettmängden i mjölken är detta mycket positivt för mjölkbonden eftersom högre ECM levereras till mejeriet och därför ger en ekonomisk vinst. Det skulle även vara av intresse att undersöka vidare hur Bovaer® påverkar mjölkkor i tidig laktation.

### 3.2 Bovaer® i praktiken

Bovaer® har bevisats inte vara skadligt för miljön, djuret eller konsumenten (EFSA, 2021). Tyvärr finns det oklarheter kring användarens säkerhet där EFSA rapporterade att Bovaer® kan vara skadligt vid inandning eftersom det ännu är oklart huruvida 3-NOP är genotoxiskt. Det är däremot inte skadligt för mjölkkon eller konsumenten så länge doseringen sker inom rekommenderat intervall eftersom ämnet metaboliseras till kroppsnaturliga föreningar i kon (EFSA, 2021). En lösning för användarens säkerhet kan vara att använda munskydd och handskar vid foderberedning för att undvika inandning.

Bovaer® kan både ges inblandat i ett pelleterat kraftfoder och som en fullfodermix (Van Wesemael *et al.*, 2019). I praktiken verkar det smidigaste och mest effektiva vara via fullfodermix eftersom kon då kontinuerligt får i sig tillsatsen och därmed får en jämn metanreducerande effekt. Båda teknikerna har bevisats fungera vilket gör Bovaer® användarvänligt på alla gårdar oberoende av utfodringsteknik.

En annan intressant punkt som inte togs upp i befintlig litteratur är vem som ska stå för kostnaden för Bovaer®. Att mjölkbönderna själva ska ansvara för detta inköp och användning av produkten verkar osannolikt. Mejeriföretag som Arla och Norrmejerier har redan påbörjat implementeringen av Bovaer® och förmodligen är detta även det bästa sättet framöver. Att de styr inköp och utdelning till bönderna innebär också att de har kontroll på mjölken och var den kommer ifrån, kan bearbeta den separat och sälja den som en egen produkt för ett något dyrare pris. Norrmejerier säljer till exempel sin Bovaer®-mjölk som *Norrlogisk*, vilken kostar lite mer än deras konventionella mjölk. Att konsumenter köper denna dyrare mjölk bygger på att rätt information och uppmuntran till medvetna val når dem. Eventuellt kan en statlig subventionering införas för att minska kostnaderna utifall att slutprodukten inte skulle vara attraktiv på marknaden.

## 4. Slutsats

Slutsatserna som kan dras från denna litteraturstudie är att Bovaer® effektivt kan minska metanutsläppen från mjölkors fodermältning med ca 31 % per kg ECM. Den metanreducerande effekten av 3-NOP har visats öka med ökad dos. Foderstatens komponenter kan påverka den metanreducerande effekten, bevisat för NDF, och fler studier på fodrets samspel med Bovaer® behövs för att hitta samband som kan utnyttjas.

Mjölkavkastningen har genomgående varit relativt opåverkad medan resultaten för mjölk kvaliteten har varit varierande. I alla undersökta studier förändrades mjölkfettsammansättningen och i tre av fem studier ökade avkastningen och koncentrationen av mjölkfett. I de andra två studierna påverkades i stället komponenterna mjölkprotein, laktos och kroppsvikt där samtliga ökade under behandling med 3-NOP. I de studier där avkastning och koncentration av mjölkfett ökade noterades ett samband där ökad dos 3-NOP ökade mängden mjölkfett. Dessa varierande resultat talar för att fler studier på hur Bovaer® påverkar mjölk kvaliteten behövs.

## Referenser

- Arla (2023). *Lovande test för att minska kossornas metanutsläpp*.  
<https://www.arla.se/om-arla/nyheter-press/2023/pressrelease/lovande-test-for-att-minska-kossornas-metanutslapp-3346559/> [2023-05-04]
- Buan, N.R. (2018). Methanogens: pushing the boundaries of biology. Robinson, N.P. (red.) (Robinson, N. P., red.) *Emerging Topics in Life Sciences*, 2 (4), 629–646.  
<https://doi.org/10.1042/ETLS20180031>
- Dijkstra, J., A. Bannink, J. France, E. Kebreab, and S. van Gastelen. (2018). Short communication: Anti-methanogenic 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>.
- DSM (2023). *Bovaer®*. <https://www.dsm.com/anh/products-and-services/products/methane-inhibitors/bovaer.html> [2023-05-06]
- Duin, E. C., T. Wagner, S. Shima, D. Prakash, B. Cronin, D. R. Yáñez-Ruiz, S. Duval, R. Rübeli, R. T. Stemmler, R. K. Thauer, and M. Kindermann. 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*, 113:6172–6177. <https://doi.org/10.1073/pnas.1600298113>.
- Duval, S., and M. Kindermann. 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.
- EFSA (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), e06905.  
<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6905>
- 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>
- Huhtanen, P., Ramin, M. & Hristov, A.N. (2019). Enteric methane emission can be reliably measured by the GreenFeed monitoring unit. *Livestock Science*, 222, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.01.017>

- IEA (2022). *Methane and climate change*. <https://www.iea.org/reports/global-methane-tracker-2022/methane-and-climate-change> [2023-05-05]
- Jordbruksverket (2022). *Lantbrukets djur i juni 2022*. <https://jordbruksverket.se/om-jordbruksverket/jordbruksverkets-officiella-statistik/jordbruksverkets-statistikrapporter/statistik/2022-10-14-lantbrukets-djur-i-juni-2022> [2023-05-05]
- Livsmedelsnyheter (2023). *Norrmejerier lanserar klimatvänlig mjölk*. <https://livsmedelsnyheter.se/2023/02/13/norrmejerier-den-klimatvanliga-mjolken-norrlogisk/> [2023-05-04]
- 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>
- Melgar, A., Harper, M.T., Oh, J., Giallongo, F., Young, M.E., Ott, T.L., Duval, S. & Hristov, A.N. (2020b). Effects of 3-nitrooxypropanol on rumen fermentation, lactational performance, and resumption of ovarian cyclicity in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 103 (1), 410–432. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17085>
- Melgar, A., Lage, C.F.A., Nedelkov, K., Räisänen, S.E., Stefenoni, H., Fetter, M.E., Chen, X., Oh, J., Duval, S., Kindermann, M., Walker, N.D. & Hristov, A.N. (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>
- 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. (2020a). 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>
- Moss, A.R., Jouany, J.-P. & Newbold, J. (2000). Methane production by ruminants: its contribution to global warming. *Annales de Zootechnie*, 49 (3), 231–253. <https://doi.org/10.1051/animres:2000119>
- Naturvårdsverket (u.å.). *Hur går det globala klimatarbetet?* <https://www.naturvardsverket.se/amnesomraden/klimatomstallningen/det-globala-klimatarbetet/parisavtalet/hur-gar-det-globala-klimatarbetet/> [2023-04-03]
- Norrmejerier (2023). *Hållbar norrländsk omställning: Så sänker vi klimatavtrycket*. <https://norrlogisk.se/hallbar-omstallning/#sojafritt-foder> [2023-04-17]
- Pitta, D.W., Indugu, N., Melgar, A., Hristov, A., Challa, K., Vecchiarelli, B., Hennessy, M., Narayan, K., Duval, S., Kindermann, M. & Walker, N. (2022). The effect of 3-nitrooxypropanol, a potent methane inhibitor, on ruminal microbial gene expression profiles in dairy cows. *Microbiome*, 10 (1), 146. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01341-9>

- UNEP (2021). *Methane emissions are driving climate change. Here's how to reduce them*. <http://www.unep.org/news-and-stories/story/methane-emissions-are-driving-climate-change-heres-how-reduce-them> [2023-03-31]
- Ungerfeld, E.M. (2020). Metabolic Hydrogen Flows in Rumen Fermentation: Principles and Possibilities of Interventions. *Frontiers in Microbiology*, 11. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2020.00589> [2023-04-13]
- Van Gastelen, S., J. Dijkstra, G. Binnendijk, S. M. Duval, J. M. L. Heck, M. Kindermann, T. Zandstra, and A. Bannink (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*, 103:8074–8093. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17936>.
- Van Gastelen, S., J. Dijkstra, J. M. L. Heck, M. Kindermann, A. Klop, R. M. de Mol, D. Rijnders, N. Walker, and A. Bannink (2022). The methane mitigation potential of 3-nitrooxypropanol in lactating cows is influenced by basal diet composition. *Journal of dairy science*, 105:4064–4082. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20782>.
- Van Soest, P. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2 uppl., Ithaca, New York ; London : Comstock Publishing Associates. [https://slu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=alma9920706976305121&context=L&vid=46SLUB\\_INST:SLUB\\_V1&lang=sv&search\\_scope=MyInst\\_and\\_CI&adaptor=Local%20Search%20Engine&isFrbr=true&tab=Everything&query=any,contains,van%20soest%201994&mode=Basic](https://slu.primo.exlibrisgroup.com/discovery/fulldisplay?docid=alma9920706976305121&context=L&vid=46SLUB_INST:SLUB_V1&lang=sv&search_scope=MyInst_and_CI&adaptor=Local%20Search%20Engine&isFrbr=true&tab=Everything&query=any,contains,van%20soest%201994&mode=Basic)
- 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>
- Xu, W., van Knegsel, A., Saccenti, E., van Hoeij, R., Kemp, B. & Vervoort, J. (2020). Metabolomics of Milk Reflects a Negative Energy Balance in Cows. *Journal of Proteome Research*, 19 (8), 2942–2949. <https://doi.org/10.1021/acs.jproteome.9b00706>

## Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.