



Rödalger som metanreducerande fodertillskott till nötkreatur

– litteraturstudie och kostnadsberäkningar av att utfodra ett alg tillskott i olika uppfödningssystem

Red seaweeds as methane reducing feed additives to cattle – literature review and cost analysis of feeding red seaweed in different rearing models

Mikaela Jardstedt, Kristina Holmström

Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för husdjurens miljö och hälsa
Skara
2020



Rödalger som metanreducerande fodertillskott till nötkreatur

Litteraturstudie och kostnadsberäkningar av att utfodra ett alg tillskott i olika uppfödningssystem

Mikaela Jardestedt Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för
husdjurens miljö och hälsa

Kristina Holmström Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för
husdjurens miljö och hälsa,
Hushållningssällskapet Sjuhärad

Utgivare: Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap
Institutionen för husdjurens miljö och hälsa

Utgivningsår: **2020**

Utgivningsort: **Skara**

Illustration: Annika Arnesson

Sammanfattning

Den tropiska rödalgen *Asparagopsis Taxiformis* har i ett flertal laboratoriestudier visat sig ha stor potential att minska metanutsläppen från idisslares matsmältning utan att ge några negativa effekter på fermentationen i vommen. Rödalgens metanreducerande effekt antas bero på dess relativt höga innehåll av halogenerade metanaloger, varav bromoform förekommer i högst koncentration. Dessa ämnen förhindrar de metanbildande arkéerna i vommen från att omvandla vätgas och koldioxid till metan. Antalet djurstudier som genomförts i syfte att undersöka rödalgens effekt på metanproduktionen hos idisslare är få, men de som hittills publicerats har även de visat lovande resultat. Bland annat minskade metanproduktionen per dag med 59% respektive 98% för stutar som gavs en kraftfoderrik (8% grovfoder) respektive en grovfoderrik (60% grovfoder) foderstat vid tillsats av rödalgen, utan att ge några negativa effekter på stutarnas tillväxt. Även hos mjölkkor har metanproduktionen visat sig kunna minska med mellan 26% till 80% vid utfodring av rödalgen utan att påverka mjölkproduktionen. Rödalgens koncentration av bromoform och doseringen av rödalgen har dock varierat mellan de olika studierna, vilket gör det svårt att göra korrekta jämförelser av rödalgens effektivitet, samt vilken dos av rödalga som är optimal att utfodra för att uppnå önskad metanreducerande effekt. På grund av det begränsade antalet djurstudier går det i dagsläget inte att dra några konkreta slutsatser kring om rödalgens förmåga att inhibera den metanbildande processen påverkas av foderstatens sammansättning. Därför krävs det fler studier som utvärderar *Asparagopsis Taxiformis* effekt vid olika andelar grovfoder (50% till 100%) i foderstaten, samt vid utfodring av olika grovfoderkvaliteter, t ex hög respektive låg fiberkoncentration och smältbarhet.

En beräkning av kostnaden för att utfodra ett tillskott baserat på rödalgen till olika kategorier av nötkreatur visade att vid en dos på 100 g/dag och ett tillskottspris på 150 kr/kg krävdes en merbetalning på 13,00 till 24,50 kr/kg slaktvikt för ungdjur för att täcka den ökade foderkostnaden för producenten. Merkostnaden per kilo slaktvikt berodde mer på dosen än på priset på alg-tillskottet. Av slaktungnöten blev det dyrast att utfodra mjölkkrastjuren och billigast att utfodra mjölk- och kötttraskvigan med rödalgstillskottet. Kostnaden för att utfodra alg-tillskottet måste dock sättas i relation till den metanminskning som kan uppnås. Då ungtjurar av mjölk- och kötttrask bidrar med den största andelen av det svenskproducerade nötköttet är det här den största potentialen finns för att minska metanproduktionen till en rimlig kostnad.

Många frågetecken kvarstår dock, t ex vad gäller rödalgens långsiktiga förmåga att minska metanproduktionen, då det längsta publicerade djurförsöket hittills enbart pågått under fem månader. Frågan är också om utfodring med rödalger leder till rester av brom och jod i kött och inälvor som är högre än rekommenderade gränsvärden för humankonsumtion. Det saknas även djurförsök på växande nöt och

dikor under svenska förhållanden, vilket behövs för att kunna utvärdera rödalgens metanreducerande effekt vid utfodring med våra typiska grovfoderrika foderstater, samt rödalgens effekt på tillväxt hos ungdjur och dess långtidseffekter på produktion, hälsa och fertilitet hos dikor. Den slutliga frågan är hur en betalningsmodell för kött från djur utfodrade med tillskottet skulle kunna se ut, eftersom detta tillskott enbart kommer att bli tillämpat i praktiken om producenten får betalt för sina merkostnader.

Nyckelord: Asparagopsis taxiformis, bromoform, idisslare, metan, nötkreatur, rödalg

Förord

SLU:s institution för husdjurens miljö och hälsa i Skara och Hushållningssällskapet Sjuhärad har i samarbete med Filippa Blomander och Jonas Tunestål, KLS Ugglarps, genomfört projektet ”Rödalg som metanreducerande fodertillskott till nötkreatur – litteraturstudie och kostnadsberäkningar av att utfodra ett algtillskott i olika uppfödningssystemer”. Projektet har finansierats av Branschutvecklingspengen genom Svenska Köttföretagen. Nötkreaturen bidrar till en stor del av jordbrukets utsläpp av växthusgaser, framförallt via metanutsläppen från deras matsmältning. I ljuset av pågående klimatförändringar har därför intresset för att hitta olika strategier som minskar dessa ökat. Rödalg *Asparagopsis Taxiformis* har under det senaste decenniet visat sig ha stor potential att minska metanproduktionen från idisslares foderomsättning. Syftet med projektet var dels att kartlägga nuvarande kunskapsläge vad gäller *Asparagopsis Taxiformis* metanreducerande förmåga, dels att beräkna den merkostnad per kilo slaktvikt som utfodring med ett algtillskott skulle innebära för en nötköttsproducent vid uppfödning av olika kategorier av nötkreatur.

I föreliggande rapport har vi försökt ge en helhetsbild av möjligheter och hinder på vägen mot en minskad metanproduktion i svensk nötköttsproduktion vid användning av ett rödalgstillskott.

Skara i december 2020

Mikaela Jardstedt

Innehållsförteckning

Förkortningar	9
1. Introduktion	11
2. Litteraturgenomgång	13
2.1. Jordbrukets utsläpp av växthusgaser	13
2.2. Växthusgasutsläpp från svensk nötköttsproduktion	13
2.3. Nötkreaturens metanproduktion	14
2.4. Strategier för minskad metanproduktion från nötkreatur	15
2.5. Rödalg och deras metanreducerande förmåga	17
2.6. Rödalgens metanreducerande förmåga <i>in vitro</i>	18
2.7. Rödalgens metanreducerande förmåga <i>in vivo</i>	20
2.7.1. Får	20
2.7.2. Mjölkkor	20
2.7.3. Stutar	22
2.8. Planerade svenska forskningsstudier	26
3. Material och metod	27
3.1. Foderstater och antaganden	27
3.2. Ekonomiska beräkningar	28
3.3. Skattning av svensk nötköttsproduktions metanproduktion och dess reduceringspotential	29
4. Resultat	32
4.1. Kostnad för att utfodra ett rödalgstillskott	32
4.2. Metanproduktion och metanreduceringspotential	35
5. Diskussion	37
5.1. Rödalgens metanreducerande förmåga	37
5.2. Foderstatens påverkan	37
5.3. Rödalgens dosering	39
5.4. Rödalgens påverkan på fermentationen i vommen	40
5.5. Effekt av rödalgen på djurets produktivitet	41

5.6.	Rödalgens smaklighet	41
5.7.	Rester av brom och jod i kött och mjölk	42
5.8.	Rödalgens långtidseffekter	42
5.9.	Lönsamhet.....	43
5.10.	Rödalgens potential att minska metan-produktionen i svensk nötköttproduktion.....	44
5.11.	Användning av algtillskottet i praktiken	45
6.	Slutsatser	46
	Referenser.....	47
	Bilaga 1.....	52

Förkortningar

Koldioxidekvivalent	Ett mått på utsläppet av växthusgaser. För att få alla växthusgaser (koldioxid, metan och lustgas) jämförbara multipliceras alla utsläpp, förutom koldioxid, med en global uppvärmningspotential. Denna faktor är olika för respektive gas och ger totala bidraget till den globala uppvärmningen för den aktuella gasen. Räknat per utsläppt ton bidrar exempelvis metan 25 gånger mer till växthuseffekten än koldioxid, och ett metanutsläpp på 1 ton motsvarar därför 25 ton koldioxidekvivalenter (Naturvårdsverket, 2020a).
<i>In vitro</i>	Syftar i denna rapport på laboratoriestudier genomförda med artificiella vommar, vilket innebär att man i glasburkar försöker efterlikna vommens miljö.
<i>In vivo</i>	Syftar i denna rapport på studier med djur.
OM	Organisk substans
VFA	Flyktiga fettsyror (volatile fatty acids)

1. Introduktion

Här Idisslarna fyller en viktig funktion i vårt land då de förädlar gräs och biprodukter, som vi själva inte kan tillgodogöra oss, till livsmedel. Dessutom är jordbrukslandskapetets mest artrika biotoper, naturbetesmarkerna, ett direkt resultat av denna djurhållning. Dock påverkar uppfödningen av idisslare klimatet, främst genom metanutsläppen från deras fodermältning. Nötköttsproduktionen står därmed inför en stor utmaning, där de globala hållbarhetsmålen ”ekosystem och biologisk mångfald” och ”ingen hunger” står i konflikt med målet att ”bekämpa klimatförändringarna”. Intresset för att hitta strategier som minskar utsläppen av växthusgaser från nötköttsproduktionen har därför ökat.

Olika strategier som minskar nötkreaturens metanutsläpp bidrar dels till en minskad effekt på den globala uppvärmningen, men också till en ökad produktivitet då en mindre andel av fodrets energi går förlorad som metan (Van Nevel & Demeyer, 1996). En ökad effektivitet i produktionen har störst effekt på idisslarnas metanutsläpp per kilo produkt. Därutöver har flera metoder utarbetats i syfte att förbättra djurens foderutnyttjande och optimera vommens funktioner.

Då metanutsläpp från idisslarnas fodermältning är den enskilt största miljöpåverkande parametern (Gerber et al., 2013a) har ett flertal strategier för minskad metanproduktion från nötkreatur relaterade till utfodring, såsom foderstatens sammansättning, grovfodrets kvalitet och precisionen i utfodringen, utforskats (Hristov et al., 2013). Även djurens genetik spelar roll för hur mycket metan varje individ producerar (Knapp et al., 2014). Metanreducerande fodertillskott, t ex tillsats av ionophorer, fett och nitrater har visat sig ha viss potential (Gerber et al., 2013b), likaså vacciner, 3-nitrooxypropanol och tanniner (Hristov et al., 2013). Långtidseffekterna av dessa tillsatser är dock osäkra, likaså om de är ekonomiskt lönsamma (Hristov et al., 2013). Det råder dock konsensus bland forskare om att den viktigaste faktorn för att minska metanproduktionen per enhet produkt är att öka djurets produktivitet, vilket kan uppnås dels genom förbättrad genetik och nutrition, men också genom förbättrad hälsa, fertilitet, bra rekrytering och bättre management (Knapp et al., 2014).

Det senaste decenniet har intresset för rödalger som potentiellt metanreducerande fodertillskott till idisslare ökat, då de i låga doser både i laboratorieförsök och i djurförsök visat sig kunna minska metanproduktionen med upp till 98% (Kinley et al., 2016a; Machado et al., 2016a; Roque et al., 2019a;

Kinley et al., 2020). I dagsläget finns inget preparat baserat på rödalger på marknaden, men företaget Volta Greentech håller nu på att ta fram ett sådant fodertillskott som uppges ha potential att sänka metanutsläppen från nötkreatur med upp till 80% (Volta Greentech, 2020). Att utfodra tillskottet innebär dock en relativt hög kostnad för producenten, vilket måste kompenseras för genom en ökad betalning för den producerade produkten, för att tillskottet ska vara intressant att använda i praktiken.

Denna rapport syftar till att: 1) ge en övergripande bild av kunskapsläget kring rödalgernas förmåga att minska metanproduktionen från idisslare, 2) beräkna kostnaden för att utfodra ett tillskott baserat på rödalger till olika kategorier av nötkreatur, 3) utifrån litteraturstudien skatta hur mycket klimatavtrycket från svensk nötköttsproduktion har potential att minska vid utfodring av detta tillskott, 4) samt att diskutera tillskottets användningspotential i svensk nötköttsproduktion.

2. Litteraturgenomgång

Databasen "Web of Science" har använts för att söka vetenskapligt publicerade artiklar. Sökord har varit: asparagopsis, methane, beef cattle, ruminant, dairy cattle, bromoform och seaweed. Litteraturstudien baseras också på information från ett par svenska forskare med pågående eller nyss avslutade djurförsök, där syftet varit att utvärdera effekten av *Asparagopsis taxiformis* på bl.a. foderintag, foderutnyttjande, produktion och produktkvalitet hos mjölkkor.

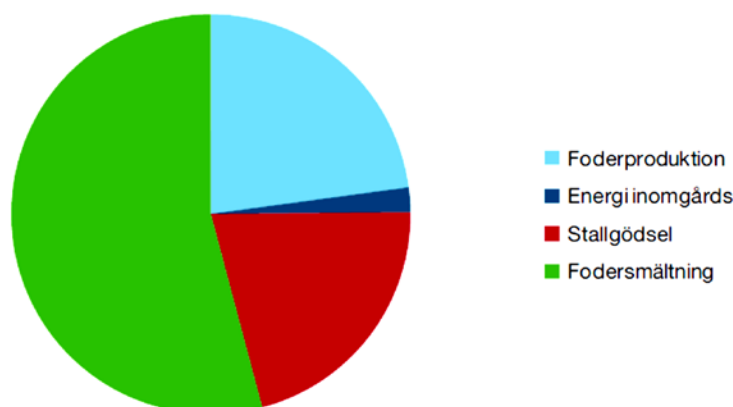
2.1. Jordbrukets utsläpp av växthusgaser

År 2018 motsvarade Sveriges totala utsläpp av växthusgaser 52 miljoner ton koldioxid. De vanligaste växthusgaserna är vattenånga och koldioxid som finns naturligt i jordens atmosfär. Andra växthusgaser är metan och lustgas, vilka står för de stora utsläppen inom jordbruket. Utsläppen från jordbrukssektorn utgjorde 13% av Sveriges totala utsläpp 2018, vilket motsvarade 6,8 miljoner ton koldioxidekvivalenter (CO₂-ekv). Dessa utsläpp bestod framförallt av metan från djurens matsmältning (44%) och lustgas från jordbruksmark (48%) (Naturvårdsverket, 2020b).

Ungefär hälften av den svenska jordbrukssektorns utsläpp är kopplade till produktionen av animaliska livsmedel, såsom mjölk, kött och ägg (Naturvårdsverket, 2020b). Det är framförallt idisslarna som står för utsläppen av metan, där den enskilt största utsläppsposten är metanutsläpp från fodermältningen. För enkelmagade djur är istället foderproduktionen den enskilt största källan till utsläpp av växthusgaser (Gerber et al., 2013a).

2.2. Växthusgasutsläpp från svensk nötköttsproduktion

De potentiella utsläppen av växthusgaser från svensk nötköttsproduktion var cirka 20 CO₂-ekv per kilo slaktvikt fram till gårdsgrind år 2005, vilket är ett viktat genomsnitt för mjölk- och köttjursraser, figur 1. Växthusgasutsläppen är lägre per kilo kött för djur av mjölkras än för djur av kötttras, eftersom utsläppen från mjölkkobesättningar fördelas både på mjölk och på kött, medan samtliga utsläpp från uppfödning av köttdjur läggs på köttet (Greppa näringen, 2011).



Figur 1. Fördelning av växthusgasutsläpp från nötköttsproduktion vid gårdsgrind. Bild från Greppa näringen (2011).

2.3. Nötkreaturens metanproduktion

Idisslare har den unika förmågan att kunna omvandla växtfiber, såsom gräs och andra fiberrika biprodukter, till högkvalitativa livsmedel. Nedbrytningen av det fiberrika fodret sker med hjälp av en komplex population av mikroorganismer i idisslarnas vom och tjocktarm som består av bakterier, arkéer, protozoer och svampar (Woese et al., 1990). Den mikrobiella nedbrytningen av fodret förser värdjuret med energi och essentiella näringsämnen. Nedbrytningen i vommen sker under syrefattiga, dvs. anaeroba, förhållanden, vilket betyder att fodret fermenteras. Vid mikrobernas fermentation av kolhydrater bildas olika slutprodukter, bl.a. kortkedjiga flyktiga fettsyror (volatile fatty acids, VFA), som är idisslarnas primära energikälla (Russell et al., 1992). De VFA som produceras i störst mängd är ättiksyra, smörsyra och propionsyra. När fodret fermenteras bildas också vätgas och koldioxid. Under de syrefattiga förhållanden som råder i djurets mag- och tarmkanal omvandlas vätgas och koldioxid till metan med hjälp av de mikroorganismer som kallas metanogener, vilka hör till gruppen arkéer. Metan är alltså en naturlig biprodukt från idisslarnas mikrobiella nedbrytning av foder (Gerber et al., 2013b). Majoriteten av metanet bildas i vommen och rapas upp av idisslaren (Gerber et al., 2013b), vilket förhindrar vätgastrycket i vommen från att bli för högt och gör därmed att nedbrytningen av fodret kan fortgå (Knapp et al., 2014).

Olika typer av foder förser vommens mikroflora med olika typer av substrat, såsom strukturella kolhydrater (fiber), icke-strukturella kolhydrater (socker, stärkelse), protein och fett, vilka i sin tur driver produktionen av VFA. Mängden VFA och proportionerna av de olika fettsyrorna som bildas vid fodernedbrytningen påverkar i sin tur hur mycket metan som bildas, eftersom bildandet av propionsyra konsumerar väte, medan bildandet av ättiksyra och smörsyra istället genererar väte,

som sedan omvandlas till metan (Van Soest, 1994). Därmed kommer varje foderstatsingrediens eller annan åtgärd som orsakar förändringar i vommiljön och som gynnar bildandet av propionsyra att åtföljas av en minskad metanproduktion per enhet fermenterat foder, medan motsatsen gäller för bildandet av ättiksyra och smörsyra (Van Nevel & Demeyer, 1996). Det är alltså möjligt att påverka mängden VFA och proportionerna av de olika fettsyrorerna och därmed också indirekt produktionen av metan genom att ändra foderstatens sammansättning (Knapp et al., 2014).

Genom att förhindra metanogenesen, dvs. bildandet av metan, skulle man teoretiskt sett kunna frigöra vätgas som istället kan användas för produktion av andra metaboliter, t ex VFA, som är mer fördelaktiga för djuret och som potentiellt kan öka dess fodereffektivitet (Roque et al., 2019a). Studier har visat att mellan 2 till 15% av den energi som djuret konsumerar kan gå förlorad som metan, beroende på foderstatens sammansättning. Metanförlusterna utgör 6% till 7% av bruttoenergiintaget hos mjölkkor utfodrade med typiska mjölkfoderstater, medan förlusterna ligger runt 3% för djur som föds upp i feedlotmiljö, vilket tyder på att metanproduktionen kan reduceras genom att utfodra mycket kraftfoder (Johnson & Johnson, 1995). En meta-analys av Ramin och Huhtanen (2013) visade dock att upp till 75% kraftfoder i foderstater till mjölkkor inte hade någon stor effekt på metanproduktionen.

Foderstatens innehåll av NDF (neutral detergent fibre), varav det mesta brukar komma från grovfoder, representerar mängden strukturella kolhydrater i foderstaten. Vilken typ av kolhydrater som utfodras, dvs. strukturella eller icke strukturella, har visat sig påverka VFA profilen i vommen och därmed indirekt produktionen av metan (Van Soest, 1994). Studier som har fokuserat på typ av kolhydrater och dess effekt på metanproduktionen visar att foderstater med högt innehåll av icke-strukturella kolhydrater, såsom stärkelse och socker, är mer troliga att gynna bildandet av propionsyra, vilket resulterar i mindre metan, medan foderstater rika på strukturella kolhydrater, dvs. NDF, gynnar produktionen av ättiksyra och smörsyra och därmed också bildandet av metan (Johnson & Johnson, 1995; Bannink et al., 2008). Innehållet av fiber i foderstaten har också föreslagits påverka effektiviteten av antimetanogena ämnen som tillsätts foderstaten för att förhindra bildandet av metan (Dijkstra et al., 2018).

2.4. Strategier för minskad metanproduktion från nötkreatur

Olika strategier som minskar nötkreaturens metanutsläpp bidrar dels till en minskad effekt på den globala uppvärmningen, men också till att öka produktiviteten, eftersom en mindre andel av fodrets energi går förlorad som metan. En ökad

effektivitet i produktionen, t ex förbättrad nutrition, genetik, djurhälsa, högre tillväxt och högre fertilitet, har störst effekt på idisslarnas metanutsläpp per kilo produkt (Knapp et al., 2014). Därutöver har flera metoder utarbetats i syfte att förbättra djurens foderutnyttjande och optimera vommens funktioner, för att på så sätt sänka metanproduktionen.

Flertalet studier har undersökt hur exempelvis foderintag (Hristov et al., 2013; Ramin & Huhtanen, 2013; Niu et al., 2018), foderstatens sammansättning av kolhydrater (Ramin & Huhtanen, 2013; Knapp et al., 2014), samt fettinnehåll (Beauchemin et al., 2008) påverkar produktionen av metan. Likaså har man funnit att metanproduktionen i stor utsträckning varierar mellan olika individer som lever under samma förhållanden, vilket tyder på att det skulle vara möjligt att avla fram nötkreatur med låg metanproduktion (Knapp et al., 2014).

Fodertillskott som ges i syfte att reducera metanavgången från idisslare kan antingen utöva sin effekt genom att modifiera vommiljön eller genom att direkt hindra metanogenerna från att bilda metan. Hristov et al. (2013) rapporterade om att tillsatser av nitrater, ionophorer, tanniner och vacciner kan utgöra möjliga vägar för att minska metanproduktionen från idisslarnas matsmältning. Dock har effekterna inte varit konsekventa och flera tillsatser har också en baksida, såsom att för mycket fett kan hämma fibernedbrytningen i vommen, nitrat kan omvandlas till nitrit, vilket är toxiskt för djuret, och att ionophorer ej är tillåtna i Sverige. Flera av dessa tillsatser har också en övergående metanreducerande effekt och långtidseffekterna är i dagsläget oklara.

Det finns en grupp av kemiska föreningar, så kallade halogenerade metanaloger, vilka har förmågan att förhindra ett viktigt enzymatiskt steg i metanogenernas metansyntes och därmed sänka metanproduktionen hos idisslare. Effekten av dessa föreningar har demonstrerats både i laboratorieförsök (*in vitro*) med artificiella vommar, vilket innebär att man i glasburkar försöker efterlikna vommens miljö och mäta de gaser som bildas, samt i djurförsök (*in vivo*). Bromklormetan respektive kloroform är exempel på halogenerade metanaloger som visat sig sänka metanproduktionen hos gett (Mitsumori et al., 2012) och stutar (Tomkins et al., 2009), respektive mjölkkor (Knight et al., 2011). Ingen av dessa studier fann någon negativ effekt på foderintag, foderutnyttjande eller den totala produktionen av VFA vid utfodring av halogenerade metanaloger. Däremot fann man att proportionen av propionsyra i relation till ättiksyra ökade, samt att en mindre andel av bruttoenergin gick förlorad som metan.

Trots förmågan hos halogenerade metanaloger att effektivt minska metanproduktionen även vid låga koncentrationer hindras användningen av dessa artificiellt framställda ämnen på grund av deras negativa påverkan på ozonskiktet och då vissa är cancerogena (Hristov et al., 2013). Av uppenbara skäl är dessa ämnen därmed inte lämpliga att använda i praktiken. Det har dock visat sig att halogenerade metanaloger förekommer naturligt i tropiska alger. Att utfodra ett

algtillskott till nötkreatur för att sänka metanproduktionen skulle därmed kunna ses som ett mer naturligt alternativ än att ge syntetiska halogenerade metanaloger (Machado et al., 2018).

2.5. Rödalger och deras metanreducerande förmåga

Marina alger har i laboratorieförsök visat sig ha en större metanreducerande förmåga än färskvattenalger (Dubois et al., 2013; Machado et al., 2014). Därutöver har flera studier visat att röda alger verkar ha störst potential att hämma metanogenernas aktivitet (Dubois et al., 2013; Machado et al., 2014; Machado et al., 2016a; Kinley et al., 2016b). Röda tropiska makroalger, speciellt varianter av *Asparagopsis spp.*, ses som potentiella antimetanogena organismer tack vare deras förmåga att syntetisera och kapsla in halogenerade metanaloger i speciella körtelceller. Från körtlarna utsöndras de sedan till algens yta där de fungerar som ett naturligt försvar mot växtätare (Paul et al., 2006b) och mikrober (Paul et al., 2006a). Den röda makroalgen *Asparagopsis taxiformis*, framöver förkortad som *A. Taxiformis*, producerar ett stort antal halogenerade metanaloger innehållande brom, jod och klor (Paul et al., 2006a), varav bromoform är den halogenerade metanalog som förekommer i störst mängd (Paul et al., 2006a; Machado et al., 2016a).

Halogenerade metanaloger, inklusive bromoform, utövar sin metanreducerande effekt genom att förhindra ett viktigt enzymatiskt steg i metanogenernas metansyntes (Wood et al., 1968). En *in vitro* studie av Machado et al. (2018) visade att tillsats av *A. Taxiformis* i en mängd av 2% av foderprovets organiska substans (OM) påverkade vommens mikrobiella sammansättning, mikrobiomet, genom att minska antalet av de vanligaste typerna av metanogener som finns hos idisslare (Methanobacteriales, Methanomassiliicoccales och Methanomicrobiales). I samma studie jämförde man effekten av att tillsätta *A. Taxiformis* i en mängd av 2% av foderprovets OM, vilket motsvarade 1,3 μM bromoform, med tillsats av ren bromoform i två doser, 1 μM respektive 5 μM . Hypotesen var att tillsats av *A. Taxiformis* skulle ge samma effekt som tillsats av 1 μM ren bromoform. Det man fann var att varken metanproduktionen, antalet metanogener eller mikrobiomets sammansättning skilde sig åt mellan att tillsätta *A. taxiformis* och den högsta dosen (5 μM) bromoform. Enligt författarna indikerade resultaten att *A. Taxiformis* biomassa var en mer potent metanreducerare än man hade förväntat sig, eftersom dess effekter var mycket starkare än när 1 μM ren bromoform tillsattes (Machado et al., 2018). Enligt Machado et al. (2018) är det troligtvis kombinationen av bromoform och förekomsten av andra halogenerade metaboliter i rödalgens biomassa som ger upphov till den starka metanreducerande effekten hos *A. Taxiformis*.

Koncentrationen av bromoform i *A. Taxiformis* kan variera mycket och värden mellan 1,7 g/kg ts (torrsubstans) (Machado et al., 2016b) upp till 7,8 g/kg ts (Roque et al., 2020) har rapporterats, tabell 1. Faktorer som kan påverka rödalgens innehåll av bromoform är dess utvecklingsstadium vid skörd, säsongsvariationer, variationer mellan plantindivider och miljöbetingelser (Paul et al., 2006a; Vergés et al., 2008). Även hantering efter skörd, t ex om algen tvättas och fryses före torkning, samt torkmetod (varmluft eller frystorkning) har visat sig påverka rödalgens innehåll av bromoform (Vucko et al., 2017). Även lagringstid kan ha en betydelse för bromoformkoncentrationen (Vucko et al., 2017).

Tabell 1. Näringsinnehåll och koncentration av bromoform i rödalgen *Asparagopsis* spp. i olika studier

Studie	Rödalg	Näringsinnehåll, % av ts						Bromoform (g/kg ts)
		OM ¹	Råprotein	NDF ¹	ADF ¹	Stärkelse	Fett	
Machado et al. (2016a)	<i>A. Taxiformis</i>	-	-	-	-	-	-	1,72
Kinley et al., (2016a)	<i>A. Taxiformis</i>	81	25,2	-	-	-	-	-
Kinley et al. (2016b)	<i>A. Taxiformis</i>	79,7	27,8	-	-	-	-	-
Li et al. (2018)	<i>A. Taxiformis</i>	43,1	9,2	-	-	-	-	-
Roque et al. (2019a)	<i>A. Taxiformis</i>	53	17,8	36,9	11,6	0,7	0,4	-
Roque et al. (2019b)	<i>A. aramata</i>	49,6	18,3	27,2	10,9	-	0,32	1,32
Chagas et al. (2019)	-	-	-	-	-	-	-	6,84
Roque et al. (2020)	<i>A. Taxiformis</i>	50,9	16,8	33,7	11,5	0,35	0,63	7,8
Kinley et al. (2020)	-	-	-	-	-	-	-	6,55

¹OM = organisk substans, NDF = neutral detergent fibre, ADF = acid detergent fibre.

2.6. Rödalgens metanreducerande förmåga *in vitro*

Kinley et al. (2016a) studerade *A. Taxiformis* metanreducerande förmåga *in vitro* genom att inkubera olika doser av algen under 72 timmar tillsammans med foderprov av rhodes gräs (NDF 645 g/kg ts, råprotein 167 g/kg ts). Dosnivåerna av rödalgen var 0,5%, 1%, 2%, 5% respektive 10% av substratets OM. Kinley et al. (2016a) fann att metanproduktionen reducerades signifikant jämfört med kontrollprovet vid en dos rödalg på 1% av OM och att metanproduktionen i princip eliminerades vid en dos som var lika med eller högre än 2%. Man fann ingen effekt på smältbarheten på gräset vid doser lägre än eller lika med 5%. Likaså fann man inte någon effekt på den totala produktionen av VFA vid doser lägre än eller lika med 2%, men vid högre dos minskade produktionen. Andelen propionsyra ökade

och andelen ättiksyra minskade med ökad algdos, vilket då också orsakade en minskning av kvoten mellan ättiksyra och propionat. Dock rapporterade inte Kinley et al. (2016a) koncentrationen av bromoform eller någon annan halogenerad metanalog i den *A. Taxiformis* som användes, vilket försvårar jämförelsen med resultat från andra studier.

En liknande studie av Machado et al. (2016b) där *A. Taxiformis* inkuberades i olika doser med Rhodes gräs (NDF 750 g/kg ts, råprotein 66 g/kg ts) under 72 timmar, visade att tillsats av 1% rödalga av substratets OM minskade metanproduktionen med 85% jämfört med kontrollprovet utan rödalga. Vid en dos rödalga som var högre än eller lika med 2% av substratets OM kunde i princip ingen metanproduktion uppmätas. I likhet med Kinley et al. (2016a) gav doser lägre än eller lika med 5% av organisk substans ingen effekt på gräsets smältbarhet. Däremot minskade den totala produktionen av VFA redan vid doser så låga som 0.5% av OM och vid doser på 1% respektive 2% av OM minskade den totala VFA produktionen med 17 respektive 25% jämfört med kontrollprovet. Proportionerna av propionsyra och smörsyra ökade signifikant vid en dos på 2%, medan proportionen av ättiksyra minskade. Detta gjorde att kvoten mellan ättiksyra och propionsyra minskade med 63% vid en algdos på 2% av OM.

Resultaten i studierna av Machado et al. (2016b) och Kinley et al. (2016a) bekräftas av *in vitro* studien av Kinley et al. (2016b), där *A. Taxiformis* reducerade metanproduktionen till nära noll vid en dos på 2% av substratets OM utan någon signifikant effekt på smältbarheten eller den totala produktionen av VFA. Till skillnad från övriga studier nämnda ovan kunde däremot inte Kinley et al. (2016b) se någon ökning av produktionen av propionsyra vid tillsats av rödalgen jämfört med kontrollprovet, men de fann en minskning av produktionen av ättiksyra.

Att *A. Taxiformis* kan vara en stark, naturlig inhibitor av metanproduktionen hos idisslare har även bekräftats i en *in vitro* studie genomförd av Chagas et al. (2019). Till skillnad från övriga studier nämnda ovan användes här ett fodersubstrat baserat på både grovfoder och kraftfoder (timotej 54%, krossat korn 36%, rapsmjöl 9%) vid inkubationerna. Även här fann man att proportionen av ättiksyra minskade, medan proportionerna och propionsyra och smörsyra ökade vid tillsats av rödalgen. Författarna drog slutsatsen att *A. Taxiformis* kan utgöra en viktig och effektiv strategi för att sänka metanutsläppen i nötkreatursuppfödning, då den har en liten effekt på olika fermentationsparametrar i vommen, men att dess effekt på djurets hälsa, produktivitet och produktkvalitet först bör utvärderas *in vivo*.

I likhet med Chagas et al. (2019) fann Roque et al. (2019a) i en *in vitro* studie att tillsats av *A. Taxiformis* i en mängd av 5% till en typisk kalifornisk mjölkfoderstat (70% alfalfapellet, 15% krossad majs, 15% torkad drank) minskade metanproduktionen med 95%, samt ledde till en minskad kvot mellan ättiksyra och propionsyra.

2.7. Rödalgens metanreducerande förmåga *in vivo*

I litteratursökningen identifierades fem olika djurförsök publicerade mellan 2018 och 2020. Dessa har genomförts på får, stutar och mjölkkor.

2.7.1. Får

Li et al. (2018) undersökte metanproduktion, foderintag, tillväxt, produktion av VFA och rester av bromoform i muskel och fettvävnad hos tvååriga, kastrerade baggar av merinokorsning. Dessa utfodrades med en stigande dos av *A. Taxiformis*; 0%, 0,5%, 1%, 2% respektive 3% av foderstatens OM, vilket motsvarade 0, 13, 26, 58, respektive 80 g per dag. Baggarnas foder utgjordes av en pellets innehållande lupin, havre, korn, havre och halm (NDF 519 g/kg ts, råprotein 108 g/kg ts). Den dagliga dosen av rödalga blandades med ytterligare 200 g krossad lupin och gavs en gång per dag till respektive djur. Försöket pågick under 72 dagar. Metanproduktionen mättes i respirationskammare vid tre tillfällen med 21 dagars mellanrum under försöket.

Resultaten visade att mängd rödalga i foderstaten inte hade någon effekt på djurens foderintag eller tillväxt. Metanproduktionen (g/kg ts-intag) visade sig minska signifikant med ökad dos av *A. Taxiformis* och denna effekt höll i sig under hela försöksperioden. Då rödalgen tillsattes i en dos av 1%, 2% respektive 3% av OM sjönk metanproduktionen med 53%, 63% respektive 81% jämfört med kontrollgruppen. För de djur som fick 1%, 2% eller 3% rödalga minskade också den totala produktionen av VFA jämfört med kontroll, samtidigt som andelen ättiksyra av den totala mängden VFA minskade medan andelen propionsyra ökade. Analys av muskel- och fettvävnad hos de djur som utfodrats med *A. Taxiformis* visade inga spår av bromoform, vilket tyder på att dessa ämnen inte ackumuleras i vävnaderna under de förhållanden som rådde i försöket.

2.7.2. Mjölkkor

Under 2019 publicerades den första studien där lakterande mjölkkor utfodrats med rödalger av Roque et al. Syftet med studien var att undersöka den metanreducerande potentialen hos rödalgen *Asparagopsis Aramata*, som är närbesläktad med *A. Taxiformis*, genom att mäta metanproduktionen uttryckt som g/ko och dag, g/kg ts-intag och g/kg mjölk. Även brominnehållet i mjölken analyserades. Tolv holsteinkor med medelproduktion 35 kg mjölk/dag och 201 dagar i laktation utfodrades med ett fullfoder (NDF 301 g/kg ts, råprotein 176 g/kg ts) innehållande majs (40%), alfalfahö (34%), vete (8%), mandelskal (8%), mineraler och salt. Rödalgens tillsattes i en mängd av 0%, 0,5% och 1% av foderstatens OM. Korna delades in i tre grupper och varje grupp utfodrades med respektive nivå av rödalgen under tre veckors tid. Kornen hade fri tillgång på foder och deras foderintag registrerades individuellt. Den frystorkade algen blandades i 400 ml melass och

vatten för att öka smakligheten och mixades sedan in i fodret för hand. Rödalgerna i denna studie innehöll 1,32 g bromoform/kg ts. Kornas produktion av metan, koldioxid och vätgas mättes med GreenFeed Large Animal System (C-Lock, Inc., Rapid City, SD).

Kornas foderintag minskade signifikant med ökad dos av rödalger och sjönk med 3 kg per dag vid den låga dosen (0,5%) och med 11 kg per dag vid den höga dosen (1%) jämfört med kontrollgruppen. Metanproduktionen per dag minskade signifikant med 26% respektive 67% vid den låga respektive höga dosen av rödalger. När metanproduktionen per kilo ts-intag korrigerats för foderintag minskade den med 20% vid utfodring med 0,5% rödalger och med 43% vid utfodring med 1% rödalger jämfört med kontrollgruppen. Även produktionen av vätgas, g/ko och dag och g/kg ts-intag, ökade signifikant för de kor som åt rödalger jämfört med de kor som inte fick rödalger (Roque et al. 2019b). Mjölproduktionen skilde sig inte åt mellan korna i kontrollgruppen och de som fick 0,5% rödalger. Däremot producerade de kor som fick 1% rödalger signifikant mindre mjölk, 4 kg/dag, jämfört med kontrollgruppen. När metanproduktionen per kilo mjölk korrigerats för mjölmängd minskade denna med 18% respektive 60% för den låga respektive höga dosen av rödalger. De kor som fick 1% rödalger hade dock en högre fodereffektivitet, som var 0,95 kg mjölk högre per kg ts-intag, jämfört med kontrollgruppen. Man fann inga skillnader i mjölk kvalitet mellan försöksleden, men korna som utfodrades med 1% rödalger hade en lägre proteinhalt (2,93%) jämfört med kontrollgruppen (3,12%). Koncentrationen av bromoform visade sig vara numeriskt högre (0,15 µg/l) i mjölken hos korna som utfodrades med rödalger jämfört med kontrollgruppen (0,11 µg/l), men skillnaden var inte statistiskt signifikant. Sammanfattningsvis såg man i denna studie att vid 0,5% rödalger minskade metanproduktionen per dag, per kilo ts-intag och per kilo mjölk med 26%, 21% respektive 27%, utan att påverka kornas foderintag eller mjölmängd.

I en andra studie på lakterande mjölkkor, publicerad som en konferensartikel av Stefenoni et al. (2019), fann man att tillsats av *A. Taxiformis* i en mängd av 0,5% av fodrets ts minskade kornas dagliga metanproduktion med 80%, utan att påverka deras mjölkproduktion eller foderintag. Detta var en korttidsstudie där sex Holsteinkor (46 kg mjölk/dag, 68 dagar i mjölk) utfodrades med 0%, 0,25%, 0,5% respektive 0,75% *A. Taxiformis* per kilo ts och varje dos gavs under tio dagar. Rödalgens koncentration av bromoform rapporterades inte.

Under hösten 2020 genomfördes ett mindre försök på mjölkkor på Lantmännens forskningsanläggning Viken, där syftet bl.a. var att titta på den praktiska hanteringen av rödalger i utfodrings-sammanhang. Under försöket registrerades även kornas foderintag, mjölkavkastning och det togs prover på mjölken för analys av mjölk kvalitet samt innehåll av brom och jod. Försöket genomfördes med 24 mjölkkor som delades in i två grupper, varav den ena utfodrades med rödalger i en mängd av 0,1% av ts under fem veckors tid och den andra gruppen utgjorde

kontrollgrupp. Då alg tillskottet har en stark lukt fanns det funderingar kring om det skulle påverka kornas foderkonsumtion, men enligt Cecilia Lindahl, produktutvecklare på Lantmännen lantbruk och ansvarig för projektet, verkar korna inte ha påverkats av detta. Data från försöket är ännu inte sammanställd, men resultaten kommer att presenteras inom kort.

Ytterligare ett svenskt forskningsförsök på lakterande mjölkkor avslutades under hösten 2020 vid SLU i Umeå. Försöket leddes av Sophie Kriszan vid institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap och syftet var att undersöka effekterna av *A. Taxiformis* på kornas metanproduktion, foderintag, fermentationsprodukter i vommen, mjölkavkastning, mjölk kvalitet och smak, samt mjölkens innehåll av jod och brom. Korna delades in i två grupper, varav den ena utfodrades med 0,5% rödalga av foderstatens OM under 42 dagar och den andra var kontrollgrupp. Data från försöket håller nu på att sammanställas.

2.7.3. Stutar

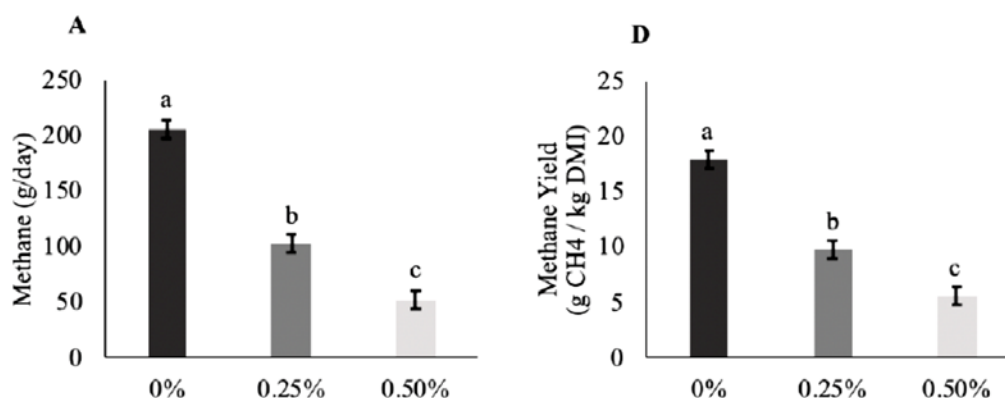
Under 2020 publicerades en studie av Kinley et al. på stutar. Syftet var att undersöka effekten av att utfodra *A. Taxiformis* på stutarnas metanproduktion, tillväxt, fermentationsprodukter i vommen, köttets ätkvalitet, samt analysera rester av bromoform i kött, fett, njurar och träck. Tjugo korsningsstutar av raserna brahman och angus delades in i fyra grupper där varje grupp fick en nivå av *A. Taxiformis* i foderstaten. Stutarna hölls i individuella boxar och metanproduktionen mättes i respirationskammare var fjortonde dag. Koncentrationen av bromoform i rödalgen var 6,55 g/kg ts. Stutarna utfodrades med en fullfoderstat (NDF 306 g/kg ts, råprotein 155 g/kg ts) med hög kraftfoderkoncentration (8% Rhodes gräs, 71% krossat korn 9% bomullsfrö, 8% melass/vitamin/mineralblandning, 3% vegetabilisk olja). Rödalgen tillsattes i en mängd av 0% (kontroll), 0,05% (låg), 0,10% (medel) och 0,20% (hög) av OM och blandades i fullfodret i en blandarvagn. Försöket pågick under 90 dagar under stutarnas slutgödningsfas i en feedlot. De första 30 dagarna användes till att fastställa de olika försöksnivåerna av rödalga och de resterande 60 dagarna fick respektive grupp av stutar en av dessa nivåer under återstående delen av försöket.

Metanproduktionen per kilo ts-intag minskade linjärt med ökad dos av *A. Taxiformis* och var 9%, 38% respektive 98% lägre för de djur som fick 0,05%, 0,10% respektive 0,20% rödalga jämfört med kontrollgruppen. I absoluta tal innebar detta att de stutar som fick medel respektive hög dos av rödalga producerade 7 respektive 1 g metan/kg ts-intag, jämfört med kontrollgruppen, som producerade 11 g metan/kg ts-intag. Under de sista 60 dagarna av slutgödningsfasen hade de stutar som fick medel och hög dos av rödalga en tillväxt som var 51% respektive 42% högre jämfört med kontrollgruppen, vilket motsvarade en ökad daglig tillväxt på cirka 500 respektive 400 g per dag. Tillsats av *A. Taxiformis* hade liten effekt på stutarnas foderintag och enbart den grupp som fick låg dos av rödalga skilde sig från

kontrollgruppen genom att ha ett 11% lägre foderintag. Tillsats av rödalger påverkade inte den totala produktionen av VFA, men man fann att kvoten mellan ättiksyra och propionsyra minskade signifikant med 14%, 29% respektive 35% med ökad dos av rödalger. Alla slaktkroppar i denna studie bedömdes av inspektörer från Meat Standard Australia och man fann ingen skillnad i klassificering mellan de olika behandlingsgrupperna. Resultat från smakpanelstester med konsumenter visade att utfodring med *A. Taxiformis* inte påverkade mörhet, saftighet, smak eller den övergripande upplevelsen av köttet. Man fann inte heller några rester av bromoform i stutarnas kött-, fett- eller njurvävnad och inte heller i träcken.

En ännu opublicerad artikel av Roque et al. (2020) beskriver ett längre utfodringsförsök med 21 korsningsstutar av raserna angus och hereford. Syftet var att undersöka effekten av olika doser av *A. Taxiformis* på stutarnas metanproduktion, tillväxt, köttkvalitet inklusive smak, och rester av bromoform i kött och lever. Försöket pågick under 147 dagar och stutarna delades upp i tre behandlingsgrupper där respektive grupp fick 0% (kontroll), 0,25% (låg dos) eller 0,5% (hög dos) *A. Taxiformis* av foderstatens OM. Koncentrationen av bromoform i rödalgen var 7,8 g/kg ts. Metanproduktionen mättes var tredje vecka med hjälp av GreenFeed system (C-Lock, Inc., Rapid City, SD). Stutarna var cirka 8 månader vid projektets start och vägde 352 kg. Varje behandlingsgrupp av stutar genomgick tre utfodringsfaser, med en successiv nedtrappning av grovfodergivan, och utfodrades således med tre olika foderstater under försöket som innehöll hög (NDF 331 g/kg ts, råprotein 172 g/kg ts), medel (NDF 258 g/kg ts, råprotein 174 g/kg ts), respektive låg (NDF 186 g/kg ts, råprotein 132 g/kg ts) andel grovfoder. Grovfoderandelen utgjorde 60%, 40% och 11% av respektive foderstat och bestod av alfalfahö och vetehö. Kraftfoderandelen bestod av drank, krossat korn, melass och fett. Samtliga foderstater utfodrades som fullfoder. Stutarna hölls i individuella boxar och utfodrades i fri tillgång. För att öka smakligheten och vidhäftningen vid fodret blandades rödalgen med 200 ml melass och 200 ml vatten som sedan mixades in för hand i fodret till varje stut.

Resultaten visade att inblandning av *A. Taxiformis* i foderstaterna ledde till en minskad metanproduktion per dag och per kilo ts-intag, som dessutom var bestående under hela försöksperioden. Sett över hela försöket så minskade metanproduktionen per dag med 51% respektive 75% för de stutar som fick låg respektive hög dos *A. Taxiformis* jämfört med kontrollgruppen, figur 2. Likaså var metanproduktionen per kg ts-intag 45% respektive 68% lägre för gruppen som fick låg respektive hög dos rödalger jämfört med kontrollgruppen, figur 2 (Roque et al., 2020).



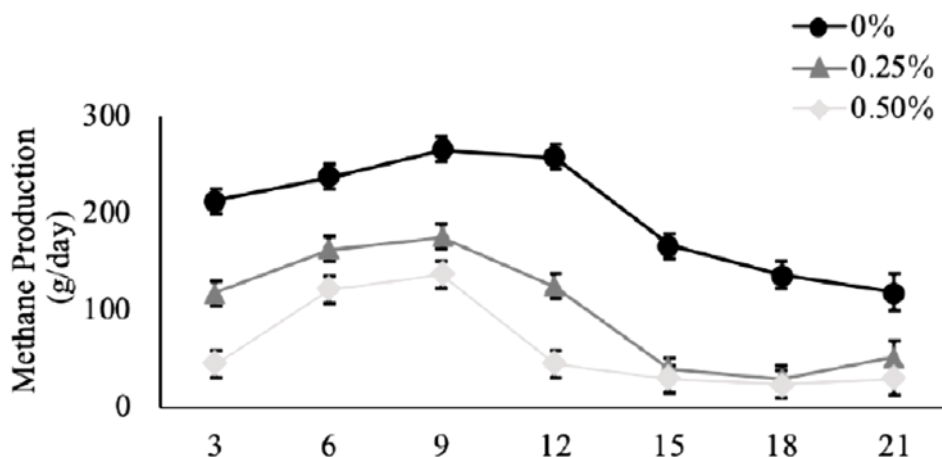
Figur 2. (A) Metanproduktionen i g/dag och (B) g/kg ts-intag (B) för stutar utfodrade med 0%, 0,25%, respektive 0,50% *A. Taxiformis* av foderstatens organiska substans under 147 dagar. Staplar inom en graf med olika bokstäver är signifikant skilda ($P < 0,05$). Bild från Roque et al. (2020).

Roque et al. (2020) såg också att den procentuella minskningen av metanproduktionen vid utfodring med rödalgen berodde på vilken foderstat som stutarna åt, tabell 2. När de i början av försöket fick foderstaten med hög grovfoderandel minskade metanproduktionen per dag med 36% och 59% för låg respektive hög dos av *A. Taxiformis* jämfört med kontrollgruppen. På medelfoderstaten med 40% grovfoderandel minskade metanproduktionen med 52% respektive 87% för låg respektive hög dos av rödalg. I den sista utfodringsfasen med låg grovfoderandel minskade stutarnas metanproduktion med 72% respektive 82% för låg respektive hög dos av rödalg.

Tabell 2. Metanproduktion g/dag och g/kg ts-intag för stutar som utfodrades med 0%, 0,25% respektive 0,50% *A. Taxiformis* av foderstatens organiska substans under tre utfodringsfaser med hög (60%), medel (40%) respektive låg (11%) grovfoderandel (Roque et al., 2020)

Metan- produktion	Foderstat											
	Låg				Medel				Hög			
	0%	0,25%	0,50%	SE	0%	0,25%	0,50%	SE	0%	0,25%	0,50%	SE
g/dag	237 ^a	151 ^b	98 ^c	11,4	241 ^a	116 ^b	32 ^c	15,3	139 ^a	38 ^b	25 ^c	11,4
g/kg ts-intag	22 ^a	15 ^b	11 ^c	1,0	19 ^a	11 ^b	4 ^c	1,4	12 ^a	4 ^b	3 ^c	1,0

Figur 3 visar hur de olika foderstaterna med hög, medel, respektive låg grovfoderandel påverkade stutarnas dagliga metanproduktion. För stutarna i kontrollgruppen (0% rödalg) minskade metanproduktionen när de gick över till en foderstat med låg grovfoderandel.



Figur 3. Metanproduktion, g/dag, hos stutar utfodrade med 0%, 0,25% respektive 0,50% *A. Taxiformis* av basfoderstatens organiska substans över tre utfodringsfaser med hög (60%), medel (40%, vecka 9-) respektive låg (11%) grovfoderandel. Bild från Roque et al. (2020).

Metanreduktionen som noterades vid utfodring med rödalgen visade sig vara negativt korrelerad med foderstaternas koncentration av NDF ($r^2 = 0,89$, $P < 0,05$), dvs. ju lägre NDF koncentration, desto mer minskade metanproduktionen. Foderstaten med låg grovfoderandel, och därmed lägst koncentration av NDF (19%), var den som påverkades mest av tillsats av *A. Taxiformis* (Roque et al., 2020).

Sett över hela försökets 90 dagar minskade foderintaget signifikant med 14% för de stutar som fick hög dos av *A. Taxiformis* jämfört med kontrollgruppen. Stutarna som fick hög dos av rödalg under utfodringsfaserna med hög och medelhög grovfoderandel minskade sitt foderintag med 18% jämfört med kontrollgruppen. Man fann dock ingen effekt av *A. Taxiformis* på stutarnas dagliga tillväxt, som varierade mellan 1 520 och 1600 g/dag. Det lägre foderintaget för stutarna som fick hög dos av rödalg i kombination med att ingen effekt på daglig tillväxt kunde upptäckas resulterade i en 14% ökad fodereffektivitet för denna grupp (Roque et al., 2020).

Roque et al. (2020) fann inte några effekter av *A. Taxiformis* på slaktkropparnas klassificering eller köttets ätkvalitet, vilken utvärderades med sensoriska analyser och en smakpanel bestående av konsumenter. Författarna rapporterade att koncentrationen av jod i köttet ökade med ökad dos av rödalg och var 0,08 respektive 0,15 $\mu\text{g/g}$ i köttet från stutar som fått låg respektive hög dos av rödalg, vilket är lägre än den rekommenderade gränsnivån i livsmedel (200 - 1 100 $\mu\text{g/g}$) enligt US Food and Nutrition Board of the National Academy of Sciences. Koncentrationen av bromoform var under detektionsnivån (0,06 mg/kg) i alla försöksgrupper.

2.8. Planerade svenska forskningsstudier

Ytterligare en svensk studie på mjölkkor, som leds av Rebecka Danielsson, forskare vid institutionen för husdjurens utfodring och vård vid SLU Uppsala, planerar att påbörjas under hösten 2021. Det är ett längre utfodringsförsök där lakterande kor som ges en typisk nordisk foderstat kommer att utfodras med rödalgen *A. Taxiformis* i en mängd av 1% till 2% av ts under två månader. Syftet med studien är dels att undersöka om utfodring med rödalgen påverkar kornas metanproduktion och fodrets smältbarhet, dels att reda ut om det går att finna rester av bromoform i mjölk, urin och träck.

3. Material och metod

3.1. Foderstater och antaganden

Beräkningar av kostnaden per kilo slaktvikt för att utfodra ett tillskott baserat på rödalger från Volta Greentech gjordes för följande djurkategorier: ungtjur och kviga av mjölkkras, köttras samt korsning av mjölkkras×köttras, stut av mjölkkras, samt diko och mjölkko, tabell 3. Traditionella foderstater beräknades för respektive djurkategori och fodermedlen som använts ges i bilaga 1. Till ungdjuren (tjur, kviga och stut) gjordes olika foderstater för olika viktintervall (ca 100 kg), från sex månader (avvand) och uppåt. Grovfodret utgjordes av ett gräsensilage med en näringskvalitet anpassad för respektive djurslag. Kraftfodret bestod av korn och koncentrat, dock ingick inget koncentrat i foderstaten till renrasiga köttraser. Till sinlagda kor, både mjölkkor och dikor, ingick halm i foderstaten. Vi antog att algtillskottet började ges till ungdjur av både mjölk- och köttras vid sex månaders ålder och sedan under samtliga dagar som djuret vistades på stall. För nötkreatur under sex månader förutsätts att ingen metanproduktion sker (Bertilsson 2001; Naturvårdsverket, 2002). För de djurkategorier som gick på bete på heltid under en viss del av året (diko, kviga och stut) gavs inget algtillskott under betesperioden utan enbart på stall. Betesperioden antogs då vara sex månader för kor och maximalt fem månader för ungnöt per år. Samtliga djurkategorier utfodrades med fullfoder under stallperioden. Dikon antogs kalva på våren och avvänja sin kalv vid sex månaders ålder. Till mjölkkor gavs tillskottet under 365 dagar per år. Mjölkkorna antogs avkasta 10 000 kg mjölk. De antogs vidare gå i lösdrift och utfodras i fri tillgång med en grundmix för en produktion på 24 kg mjölk per dag och tillgång till kraftfoder i en kraftfoderstation.

Tabell 3. Tillväxt, uppfödningstid, slaktvikt och dagar på stall för respektive djurkategori

Djurkategori	Tillväxt (gram/dag)	Uppfödningstid (mån)	Slaktvikt (kg)	Dagar på stall
Tung köttrastjur	1800	12	380	180
Lätt köttrastjur	1300	14	340	243
Tung köttraskviga	950	18	290	200
Lätt köttraskviga	700	21	260	275
Mjölkrastjur	1200	16	330	486
Mjölkköttrastjur	1500	15	360	395
Mjölkraskviga	750	25	280	365
Mjölkrasstut	750	28	320	430
Mjölkköttraskviga	800	21	280	310
Diko				180
Mjölkkko			310	365

3.2. Ekonomiska beräkningar

Uppgifter från litteraturstudien tillsammans med information från Volta Greentech användes för att göra en bedömning av vilken mängd rödalgstillskott som bör tillsättas foderstaten för respektive djurkategori, för att uppnå en metanreducerande effekt. De dagliga doser av algstillskottet som användes i beräkningarna var 0,5%, 1%, respektive 2% av djurets intag av ts, samt 100 g per djur och dag, vilket är den dos som anges av Volta Greentech (Volta Greentech, 2020). Därefter beräknades den totala kostnaden för algstillskottet uttryckt som kronor per kilo slaktvikt. Kostnaden för algstillskottet från Volta Greentech ligger i nuläget mellan 150 till 200 kr per kilo ts (Angelo Demeter, pers. meddelande 2020).

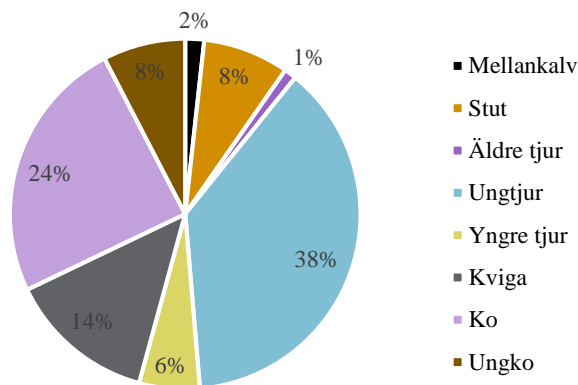
För dikon lades kostnaden för algstillskottet helt på hennes kalv. Ett annat alternativ skulle kunna vara att fördela kostnaden för algstillskottet på hennes egen slaktkropp och på hennes kalvar. Dock påverkas kostnaderna per kilo slaktvikt och per kilo avand kalv av om kon slaktas som förstakalvare, andrakalvare osv., därför valde vi att förenkla beräkningen och lägga hela kostnaden för ett års algutfodring av kon på hennes kalv. För mjölkkon fördelades däremot kostanden för algstillskottet per år både på mjölken (85%), på hennes slaktkropp (11%) och på kalven (4%) (Cederberg et al. 2009; Kumm, 2011; International dairy federation, 2015). Ekonomiska känslighetsanalyser genomfördes för att utvärdera hur kostnaden för tillskottet per kilo slaktvikt påverkades av att använda olika doser och pris på algstillskottet, samt tillskottets eventuella positiva respektive negativa effekter på djurets tillväxt och produktion. En lägre respektive högre tillväxt för slaktungöt, orsakad av utfodring med algstillskottet, beräknades genom att förlänga

respektive förkorta uppfödningstiden på stall med en månad med bibehållen slaktvikt. I beräkningarna antar vi att algillskottet kan tillsätts i en foderblandare, vilket inte kräver så mycket arbetstid.

3.3. Skattning av svensk nötköttsproduktions metanproduktion och dess reduceringspotential

Utifrån litteraturstudien gjordes en uppskattning av hur mycket svensk nötköttsproduktions metanutsläpp från foderomsättningen har potential att minska vid utfodring av ett rödalgstillskott. Skattningen av den nuvarande totala metanproduktionen gjordes genom att multiplicera metanproduktionen (kg) per kilo slaktvikt för respektive djurkategori med det totala antalet kilo slaktad vikt per djurkategori under år 2019. Enbart metanutsläppen från djurens foderomsättning har använts i beräkningarna.

Den totala produktionen av nötkött under 2019 uppgick till 139 660 ton och utgjordes av följande djurkategorier: ko, untko, kviga, mellankalv, ungtjur, yngre tjur, äldre tjur och stut, figur 4 (Jordbruksverket, 2020). Då kött från mellankalv och äldre tjur enbart utgjorde 3% av den totala kvantiteten har vi valt att exkludera dessa djurkategorier från våra fortsatta beräkningar.



Figur 4. Andel nötkött från respektive djurkategori under 2019 (Jordbruksverket, 2020).

Metanproduktionen per kilo slaktvikt påverkas bl.a. av djurets ålder vid slakt, slaktvikt och grovfoderandel i foderstaten (Berglund et al. 2009). Dessa parametrar skiljer sig mellan olika raser där exempelvis slaktungnöt av mjölkkras ofta slaktas vid en liknande eller lägre slaktvikt som slaktungnöt av köttkras, fast vid en högre ålder (Gård och djurhälsan, 2020). Därför beräknades hur stor andel av djuren som var av mjölk- respektive köttkras i de olika slaktkategorierna med hjälp av data från Gård och djurhälsan (2020), tabell 7. I kategorin stut och yngre tjur valde vi att inte

delar upp djuren i mjölk- respektive köttträs, eftersom det var liten skillnad i slaktålder och slaktvikt mellan raserna. Därefter hämtades uppgifter om metanproduktionen från foderomsättningen under hela djurets uppfödningstid för kategorierna ungtjur och kviga från Berglund et al. (2009) och för stut från Kumm (2011). För slaktkviga av mjölk- respektive köttträs användes uppgifter på metanproduktionen för en 30 månaders respektive 24 månaders rekryteringskviga (Berglund et al., 2009). För kategorin yngre tjur användes samma data på metanproduktionen som för stut, då slaktvikt och slaktålder var lika för dessa djurkategorier. Metanproduktionen per kilo slaktvikt skattades genom att dela metanproduktionen under djurets livstid med medeltalet på slaktvikten för respektive djurkategori (Gård och Djurhälsan, 2020). För kategorin ungtjur hämtades såväl slaktvikt som metanproduktion per kilo slaktvikt från Berglund et al. (2009).

För mjölkorna respektive dikorna hämtades data på årlig metanproduktion från foderomsättningen från Berglund et al. (2009) respektive Kumm (2011). För att skatta den totala metanproduktionen under en mjölk- respektive dikos livstid multiplicerades den årliga metanproduktionen med medeltalet för antalet produktiva år som mjölkko respektive diko. Antalet produktiva år beräknades som slaktåldern minus två år som rekryteringsdjur med hjälp av data från Gård och Djurhälsan (2020). Metanproduktionen under en mjölk- respektive en dikos livstid summerades därefter som metanproduktionen för en rekryteringskviga av mjölk (Berglund et al., 2009) respektive köttträs (Kumm, 2011) plus metanproduktionen under mjölk- respektive dikons produktiva år. För dikon dividerades den totala metanproduktionen från foderomsättningen under hennes livstid med medelslaktvikten för dikor hämtad från Gård och Djurhälsan (2020). Då en mjölkko producerar både kött och mjölk antog vi att 11% av mjölkkons metanproduktion skulle belasta köttet (Cederberg et al. 2009; Kumm, 2011; International Dairy Federation, 2015), vilken sedan dividerades med medelslaktvikten för mjölkkor (Gård och Djurhälsan, 2020). Metanproduktionen för en ungo av mjölk- respektive köttträs beräknades på samma sätt som för en mjölk- respektive diko.

Hur mycket metanproduktionen från djurens foderomsättning i svensk nötköttproduktion har potential att minska vid utfodring med ett rödalgstillskott har skattats utifrån rapporterade resultat i studierna av Roque et al. (2019b), Stefanoni et al. (2019) och Roque et al. (2020). Roque et al. (2020) rapporterade att den dagliga metanproduktionen hos stutar, som utfodrats med en foderstat innehållande 60% grovfoder, minskade med 36% (86 g/dag) respektive 58% (139 g/dag) jämfört med en kontrollgrupp, när stutarna gavs 0,25% respektive 0,5% rödalg av foderstatens organiska substans (OM). Då foderstaten med 60% grovfoder i studien av Roque et al. (2020) var den som mest liknade en traditionell svensk foderstat av samtliga publicerade studier på nötkreatur, valde vi att använda ovan rapporterade minskningar i metanproduktion då vi beräknade

metanreduceringspotentialen för ett rödalgstillskott utfodrat till kategorierna ungtjur, yngre tjur, stut, kviga, diko och ungo av kötttras. Vi antog att rödalgstillskottet utfodrades från sex månaders ålder för dessa kategorier. När det gällde den potentiella minskningen av metanproduktionen hos mjölkkor och ungor av mjölkras valde vi att använda resultaten rapporterade av Roque et al. (2019b) respektive Stefenoni et al. (2020), där utfodring av rödalger i en mängd av 0,5% av foderstatens OM minskade mjölkornas metanproduktion med 26% (100 g/dag) respektive 80% (300 g/dag) per dag, utan påverkan på mjölkproduktionen. Vi antog att rödalgstillskottet enbart utfodrades under mjölkkons respektive ungons produktiva år som mjölkande ko.

4. Resultat

4.1. Kostnad för att utfodra ett rödalgstillskott

I samtliga beräkningar som redovisas i tabell 4a till tabell 6 är ursprungsläget de uppgifter som återfinns i tabell 3, samt en mjölkko som producerar 10 000 kg mjölk. Kostnaden per kilo slaktvikt för att utfodra ett rödalgstillskott i olika doser, vid olika prisnivåer på tillskottet, samt vid en högre respektive lägre tillväxt till olika kategorier av nötkreatur redovisas i tabell 4a till 4d. För slaktungnöten var merkostnaden per kilo slaktvikt högst för mjölkkrastjuren och lägst för mjölk×köttraskvigan. Mjölkkon hade den lägsta kostnaden per kilo slaktvikt av alla jämförda kategorier. Vilken dos av tillskottet som utfodrades hade större betydelse än priset för hur stor merkostnaden per kilo kött blev. En högre eller lägre tillväxt hade mindre påverkan på kostnaden per kilo slaktvikt än dosen och priset på tillskottet.

Tabell 4a. Kostnad (kr) per kilo slaktvikt för att utfodra ett rödalgstillskott i en mängd av 0,5%, 1,0% eller 2% av ts-intaget under stallperioden vid ett pris på 100 kr/kg tillskott till olika kategorier av nötkreatur. En lägre respektive högre tillväxt beräknades genom att förlänga respektive förkorta uppfödningstiden på stall med en månad

Djurkategori	Normal tillväxt			Lägre tillväxt			Högre tillväxt		
	0,5%	1%	2%	0,5%	1%	2%	0,5%	1%	2%
Tung köttrastjur	4,3	8,6	17,2	4,7	9,3	18,7	3,9	7,9	15,7
Lätt köttrastjur	5,6	11,1	22,2	5,9	11,9	23,7	5,2	10,3	20,6
Tung köttraskviga	5,7	11,4	22,7	6,1	12,2	24,5	5,2	10,5	21,0
Lätt köttraskviga	6,6	13,1	22,2	6,9	13,8	27,7	6,2	12,3	24,7
Mjölkrastjur	6,9	13,8	27,5	7,3	14,6	29,1	6,5	13,0	25,9
Mjölk×köttrastjur	5,5	10,9	21,9	5,9	11,7	23,4	5,1	10,2	20,3
Mjölkraskviga	4,7	9,5	18,9	5,1	10,1	20,3	4,4	8,8	17,5
Mjölkrasstut	4,9	9,7	19,4	5,2	10,3	20,7	4,6	9,1	18,2
Mjölk×köttraskviga	4,0	8,0	16,1	4,4	8,7	17,4	3,7	7,4	14,7
Mjölkkon	1,3	2,6	5,2	-	-	-	-	-	-

Tabell 4b. Kostnad (kr) per kilo slaktvikt för att utfodra ett rödalgstillskot i en mängd av 0,5%, 1,0% eller 2% av ts-intaget under stallperioden vid ett pris på 150 kr/kg tillskott till olika kategorier av nötkreatur. En lägre respektive högre tillväxt beräknades genom att förlänga respektive förkorta uppfödningstiden på stall med en månad

Djurkategori	Normal tillväxt			Lägre tillväxt			Högre tillväxt		
	0,5%	1%	2%	0,5%	1%	2%	0,5%	1%	2%
Tung kötrastjur	6,5	12,9	25,8	7,0	14,0	28,0	5,9	11,8	23,6
Lätt kötrastjur	8,3	16,6	33,2	8,9	17,8	35,6	7,7	15,5	30,4
Tung kötraskviga	8,5	17,0	34,0	9,2	18,3	36,7	7,9	15,7	31,4
Lätt kötraskviga	9,8	19,6	39,2	10,4	20,8	41,5	9,2	18,5	37,0
Mjölkrastjur	10,3	20,6	41,3	10,9	21,8	43,7	9,7	19,4	38,9
Mjolk×kötrastjur	8,2	16,4	32,8	8,8	17,6	35,1	7,6	15,3	30,9
Mjölkraskviga	7,1	14,2	28,3	7,6	15,2	30,4	6,6	13,1	26,3
Mjölkrasstut	7,3	14,6	28,3	7,6	15,2	30,4	6,6	13,1	26,3
Mjolk×kötraskviga	6,0	12,0	24,1	6,5	13,1	26,1	5,5	11,0	22,0
Mjölkkö	2,0	3,9	7,9						

Tabell 4c. Kostnad (kr) per kilo slaktvikt för att utfodra ett rödalgstillskot i en mängd av 0,5%, 1,0% eller 2% av ts-intaget under stallperioden vid ett pris på 200 kr/kg tillskott till olika kategorier av nötkreatur. En lägre respektive högre tillväxt beräknades genom att förlänga respektive förkorta uppfödningstiden på stall med en månad

Djurkategori	Normal tillväxt			Lägre tillväxt			Högre tillväxt		
	0,5%	1%	2%	0,5%	1%	2%	0,5%	1%	2%
Tung kötrastjur	8,6	17,2	34,4	9,3	18,7	37,3	7,9	15,7	31,5
Lätt kötrastjur	11,1	22,2	44,3	11,9	23,7	47,5	10,3	20,6	41,2
Tung kötraskviga	11,4	22,7	45,4	12,2	24,4	48,9	10,5	21,0	41,9
Lätt kötraskviga	13,1	26,2	52,3	13,8	27,7	55,3	12,3	24,7	49,3
Mjölkrastjur	13,8	27,5	55,0	14,6	29,1	58,2	13,0	25,9	51,9
Mjolk×kötrastjur	10,9	21,9	43,7	11,7	23,4	46,8	10,2	20,3	40,7
Mjölkraskviga	9,5	18,9	37,8	10,1	20,3	40,6	8,8	17,5	35,0
Mjölkrasstut	9,7	19,4	38,9	10,3	20,7	41,3	9,1	18,2	36,4
Mjolk×kötraskviga	8,0	16,1	32,1	8,7	17,4	34,8	7,4	14,7	29,4
Mjölkkö	2,6	5,2	10,5						

Tabell 4d. Kostnad (kr) per kilo slaktvikt för att utfodra ett rödalgstillskott i en mängd av 100 g/dag under stallperioden, vid ett pris på 100, 150 eller 200 kr/kg tillskott, till olika kategorier av nötkreatur. En lägre respektive högre tillväxt beräknades genom att förlänga respektive förkorta uppfödningstiden på stall med en månad

Djurkategori	Normal tillväxt			Lägre tillväxt			Högre tillväxt		
	100	150	200	100	150	200	100	150	200
Tung kötrastjur	8,7	13,0	17,4	9,5	14,2	19,0	7,9	11,8	15,8
Lätt kötrastjur	11,6	17,3	23,1	12,4	18,7	24,9	10,7	16,0	21,4
Tung kötraskviga	12,1	18,1	24,1	13,1	19,7	26,1	11,0	16,6	22,1
Lätt kötraskviga	16,4	24,5	32,7	17,5	26,3	35,0	15,2	22,8	30,4
Mjölkrastjur	15,2	22,7	30,5	17,6	26,4	35,1	15,8	23,6	31,5
Mjölkrastjur	11,4	17,2	22,9	13,6	20,4	27,2	11,9	17,9	23,8
Mjölkraskviga	13,6	20,5	27,3	16,4	24,6	32,8	14,2	21,4	28,5
Mjölkrasstut	14,0	21,0	28,0	16,4	24,6	32,7	14,5	21,7	29,0
Mjölkraskviga	11,7	17,5	23,4	14,4	21,6	28,8	12,3	18,4	24,6
Mjölkkö	1,5	2,3	3,0						

I tabell 5 anges hur mycket priset på en dikalv respektive mjölkraskalv förväntas öka då korna utfodras med olika doser av rödalgstillskottet samt då priserna på tillskottet varierar. Då hela kostnaden för att utfodra tillskottet till dikon läggs på hennes kalv blir den merbetalning som krävs för en dikalv mycket högre jämfört med en mjölkraskalv, där enbart 4% av kostnaden för tillskottet till kon belastar kalven.

Tabell 5. Merkostnad (kr) för en dikalv respektive mjölkraskalv där kon har utfodrats med 0,5%, 1% eller 2% rödalgstillskott av ts-intaget eller 100 g rödalgstillskott/dag under stallperioden, vid en tillskottskostnad på 100, 150 eller 200 kr/kg

Dos rödalg	Dikalv			Mjölkraskalv		
	kr/kg tillskott			kr/kg tillskott		
	100	150	200	100	150	200
0,5% av ts-intag	800	1200	1600	225	150	300
1% av ts-intag	1600	2400	3200	300	450	600
2% av ts-intag	3200	4800	6400	600	900	1200
100 g/dag	1500	2300	3000	170	260	340

4.2. Metanproduktion och metanreduceringspotential

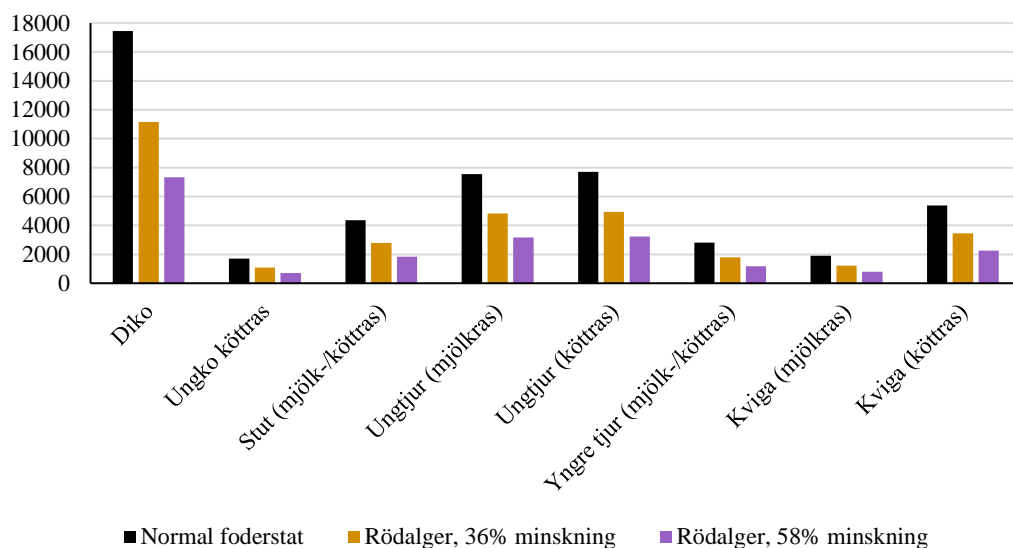
Den totala metanproduktionen från foderomsättningen från svenskt nötkött producerat under 2019 skattades till 54 635 ton. Köttet från dikorna bidrog med den största andelen, 32% av de totala utsläppen, följt av kategorin ungtjur som bidrog med 28%, tabell 7.

Tabell 6. Antal ton slaktad vikt, medelslaktvikt, metanproduktion (kg) från foderomsättningen per kilo slaktad vikt, samt total metanproduktion (ton) per djurkategori

Djurkategori	1000 ton slaktad vikt	Slaktvikt (kg)*	CH ₄ (kg/kg slaktvikt)	Total CH ₄ produktion (ton)
Diko, kötttras	11,6	347	1,50	17 455
Ungko, kötttras	3,4	306	0,50	1 705
Stut	11,1	327	0,39	4 363
Ungtjur, mjölktras	24,3	310	0,31	7 539
Ungtjur, kötttras	28,6	310	0,27	7 708
Yngre tjur, mjölk/kötttras	7,8	350	0,36	2 808
Kviga, mjölktras	4,4	300	0,37	1 607
Kviga, kötttras	14,7	300	0,43	6 360
Mjölko (10 000 ECM)	22,6	320	0,22	5 124
Ungko, mjölktras	7,2	300	0,09	651

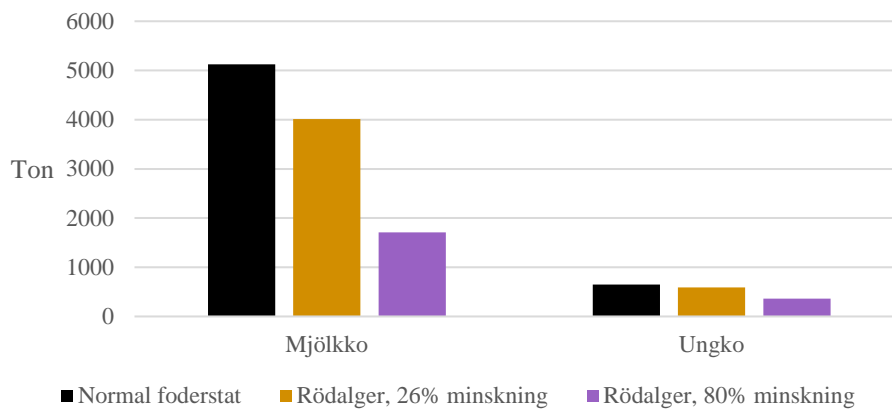
*Medelslaktvikten för respektive djurkategori har hämtats från Gård och Djurhälsan (2020), utom för ungtjur av mjölk- och kötttras där slaktvikten hämtats från Berglund et al. (2009).

Skattningen av hur mycket den totala metanproduktionen från foderomsättningen i svensk nötköttsproduktion skulle kunna minska vid utfodring av ett rödalgstillskott visade att den potentiella minskningen var störst för dikorna följt av ungtjurarna, figur 5.



Figur 5. Total metanproduktion (ton) från foderomsättningen för köttet i respektive djurkategori slaktad 2019 vid en normal foderstat samt vid tillsats av ett rödalgstillskott, som antogs minska metanproduktionen från foderomsättningen med 36% respektive 58% per dag.

Skattningen av den potentiella minskningen av metanproduktionen från mjölkornas foderomsättning vid utfodring av ett rödalgstillskott resulterade i en total minskning motsvarande 1 100 respektive 3 400 ton metan för köttet från denna djurkategori, figur 6. Minskningen för ungvorna var inte lika stor då de enbart producerade mjölk under ett år.



Figur 6. Total metanproduktion (ton) från foderomsättningen för köttet från respektive djurkategori slaktad 2019 vid en normal foderstat, samt vid tillsats av ett rödalgstillskott som antogs minska metanproduktionen från foderomsättningen med 26% respektive 80% per dag.

Sammantaget visade skattningarna att metanproduktionen från foderomsättningen för det svenska nötköttet har en möjlig potential att minska med mellan 18 800 – 32 000 ton per år vid utfodring av ett rödalgstillskott.

5. Diskussion

5.1. Rödalgens metanreducerande förmåga

Litteraturstudien visade att den tropiska rödalgen *A. Taxiformis* har stor potential att minska metanutsläppen från idisslares matsmältning, utan att ge några negativa effekter på fermentationen i vommen eller fodrets smältbarhet, i ett flertal laboratoriestudier. Dessa resultat har sedan bekräftats i djurstudier, där rödalgen utfodrats till får och nötkreatur, med rapporterade minskningar i daglig metanproduktionen från 26% (Roque et al. 2019b) till 98% (Kinley et al. 2020). Dock har utfodring av rödalgen i ett par av djurstudierna haft en negativ effekt på foderintag (Li et al. 2018) och produktion (Roque et al. 2019b), medan den i andra djurstudier istället påverkat tillväxt (Kinley et al. 2020) och fodereffektivitet (Roque et al. 2020) positivt.

5.2. Foderstatens påverkan

I *in vitro* studien av Machado et al. (2016a) minskade metanproduktionen abrupt redan vid tillsats av 1% rödalga av foderstatens OM, medan samma effekt uppnåddes vid tillsats av 2% rödalga i *in vitro* studien av Kinley et al. (2016a). Enligt författarna till Kinley et al. (2016a) kan en orsak till de olika resultaten bero på skillnader i substratets, dvs. gräsets, kvalitet mellan de två studierna. Detta skulle kunna innebära att mängden rödalga som krävs för att uppnå önskad effekt kan komma att bero på grovfodrets kvalitet, samt hur mycket kraftfoder som används. Enligt Kinley et al. (2016a) tyder resultaten från de två studierna på att behovet av mängden rödalga verkar vara hälften så stort vid utfodring av grovfoder med låg kvalitet jämfört med utfodring av grovfoder med hög kvalitet. Alltså skulle uppfostringsystem med idisslare som utnyttjar grovfoder av lägre kvalitet behöva använda en mindre mängd *A. Taxiformis* för att uppnå en motsvarande sänkning av metanproduktionen. Maia et al. (2016) undersökte den metanreducerande potentialen hos fem olika havsalger och fann att typ av substrat, ängssvingel eller majsensilage, påverkade resultatet. Vilka faktorer som orsakade skillnaderna gavs det dock ingen förklaring till och författarna drog slutsatsen att mer forskning

behövs för att utreda vilka mekanismer som ligger bakom interaktionerna mellan alg och substrat.

Innehållet av fiber i foderstaten har också föreslagits påverka effektiviteten av antimetanogena tillsatser, där exempelvis Dijkstra et al. (2018) fann att ökad koncentration av NDF i foderstaten minskade effekten av den antimetanogena substansen 3-nitrooxypropanol. Roque et al. (2020) hävdade att minskningen i metanproduktionen hos stutarna vid utfodring med rödalger kunde kopplas till foderstatens koncentration av NDF, eftersom metanproduktionen procentuellt sett minskade mer vid tillsats av rödalger ju lägre koncentrationen av NDF var i foderstaten. Procentuellt minskade metanproduktionen från stutarnas foderomsättning, vid tillsats av 0,5% rödalger, med 59%, 87%, respektive 82% jämfört med kontrollgruppen när foderstaten innehöll hög, medel, respektive låg andel grovfoder. I gram per dag motsvarade dock den procentuella minskningen 139, 209 respektive 114 g/dag när foderstaten innehöll hög, medel, respektive låg grovfoderandel, tabell 2. Uttryckt i absoluta tal blir därmed det påstådda linjära sambandet mellan foderstatens NDF koncentration (grovfoderandel) och metanproduktionen mindre tydligt.

Grovfoder innehåller vanligtvis större andel fibrer än kraftfoder, som istället är rika på stärkelse. Att minska andelen grovfoder och öka andelen stärkelse anses generellt vara en användbar strategi för att minska idisslarnas produktion av metan, framförallt om kraftfodret utgör mer än 50% av foderstaten (Johnson & Johnson, 1995). En meta-analys av Ramin och Huhtanen (2013) visade dock att effekten av att inkludera mer kraftfoder i foderstaten var relativt liten upp till 70% - 75% av foderstatens ts. Däremot fann man en stor minskning av metanproduktion när foderstaten innehöll mer än 90% kraftfoder. Det verkar därmed som om metanproduktionen förändras abrupt när kraftfoderandelen närmar sig 70% till 90% och verkar dessutom vara svår att förutsäga. Detta påstående bekräftas av studien av Roque et al. (2020), där metanproduktionen hos stutarna i kontrollgruppen minskade markant vid övergång från en foderstat innehållande 40% grovfoder till en foderstat innehållande 11%, figur 3. Patel et al. (2011) fann att metanproduktionen inte skiljde sig åt mellan två grupper av mjölkkor som utfodrats med 50% (300 g NDF/kg ts) eller 90% (385 g NDF/kg ts) grovfoder med hög smältbarhet. Därmed är det också osäkert vilken betydelse foderstatens grovfoderandel kommer att ha för rödalgers metanreducerande förmåga under svenska förhållanden. Svenska ungtjurar och mjölkkor utfodras ofta med mer än 50% grovfoder av hög smältbarhet, medan slaktkvigor och stutar istället ges mer än 80% grovfoder, som dessutom brukar vara mindre smältbart. Dikor utfodras generellt enbart med grovfoder som både är mer fiberrikt och mindre smältbart än de grovfoder som ges till växande nöt och mjölkkor. Därför krävs det fler studier som utvärderar rödalgers effekt vid olika andelar grovfoder i foderstaten och vid utfodring av olika grovfoderkvaliteter till våra vanligaste kategorier av nötkreatur.

5.3. Rödalgens dosering

Den metanreducerande förmågan hos *A. Taxiformis* antas bero på dess relativt höga innehåll av halogenerade metanaloger, varav bromoform förekommer i högst koncentration (Paul et al., 2006a). Koncentrationen av dessa ämnen har visat sig variera stort mellan olika studier, vilket kan bero på algens utvecklingsstadium vid skörd och säsongsvariationer (Paul et al., 2006a; Vergés et al., 2008) men också på hanteringen efter skörd (Vucko et al., 2017). Skillnader i rödalgens koncentration av bromoform skulle därmed också kunna vara en möjlig orsak till varför det krävdes 1%, respektive 2%, *A. Taxiformis* för att uppnå samma metanreducerande effekt i studierna av Machado et al. (2016a) respektive Kinley et al. (2016a). Denna möjliga förklaring nämns dock inte av författarna till Kinley et al. (2016a), som inte heller rapporterar rödalgens koncentration av bromoform. Samma resonemang kan appliceras på studierna på mjölkkor av Stefenoni et al. (2019) och Roque et al. (2019b). Stefenoni et al. (2019) rapporterade en 80% minskning av metanproduktionen hos lakterande mjölkkor vid en dos på 0,5% av foderstatens OM, medan Roque et al. (2019b) enbart uppnådde en minskning på 68% vid en dos på 1% av OM. Bromoforminnehållet i rödalgen rapporterades inte av Stefenoni et al. (2019), men troligtvis är det skillnader i denna koncentration som förklarar varför Roque et al. (2019) inte nådde upp till samma metanminskning som Stefenoni et al. (2019), trots att de utfodrade rödalgen i dubbelt så hög dos.

I studien på får av Li et al. (2018) var det några djur i de grupper som utfodrades med 2% respektive 3% rödalga av foderstatens OM som inte konsumerade hela den dagliga givan av rödalga. På grund av detta föreslog forskarna att ungefär 30 g rödalga per dag är den mängd som får frivilligt kan tänkas konsumera, vilket skulle sänka metanproduktionen med minst 50% jämfört med djur som inte får rödalga. Rödalgens koncentration av bromoform rapporterades dock inte. Därmed kan rekommendationen på 30 g vara missvisande och komma att behöva ändras beroende på rödalgens sammansättning.

Roque et al. (2020) rapporterade den högsta koncentrationen av bromoform, 7,8 g/kg ts, i sin studie på stutar. Likväl minskade metanproduktionen mindre per dag för stutarna i denna studie, som fick 0,50% rödalga av OM av en foderstat med hög kraftfoderandel, jämfört med stutarna i studien av Kinley et al. (2020), som fick en likvärdig foderstat med mycket kraftfoder men enbart 0,20% rödalga av OM. Att Kinley et al. (2020) kunde påvisa en större metanreduktion jämfört med Roque et al. (2020) kan bero på att de använde ionophoren monensin, vilket har visat sig kunna sänka metanproduktionen med upp till 6% hos stutar i feedlots (Appuhamy et al., 2013).

Rödalgens koncentration av bioaktiva substanser, främst bromoform, verkar vara avgörande för vilken dos rödalga som krävs för att uppnå önskad effekt. Målet bör därför vara att producera ett tillskott med hög och jämn koncentration av bromoform, för att på så sätt minska mängden som behöver tillsättas och därmed

även kostnaden för tillskottet. Det är svårt att utifrån resultaten i de rapporterade djurstudierna säga vilken mängd rödalg som är optimal att utfodra, eftersom doserna av rödalgen, koncentrationen av bromoform och foderstaternas sammansättning varierar. *Asparagopsis Taxiformis* producerar en mängd olika halogenerade metaboliter innehållande bl.a. brom och jod (Paul et al. 2006a). Enligt Machado et al. (2018) är det troligtvis denna kombination av bromoform och andra halogenerade ämnen i algens biomassa som ger upphov till den starka metanreducerande effekten. Sophie Kriszan, forskare vid institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap vid SLU Umeå, instämmer i detta påstående och framhåller att det därför inte är säkert att man direkt kan koppla algens metanreducerande förmåga till dess koncentration av bromoform.

Utöver dosnivån skulle det även vara intressant att undersöka om rödalgen behöver ges kontinuerligt, såsom i en fullfoderblandning eller varje dag för bästa effekt, eller om det är möjligt att ge doserna med längre tidsintervall och om det i så fall kan minska behovet av mängden rödalg. Likaså bör det undersökas hur man skulle kunna säkerställa ett kontinuerligt intag av tillskottet även under betesperioden, då 30% av det svenska nötköttet kommer från djur med minst en betessäsong.

5.4. Rödalgens påverkan på fermentationen i vommen

I samtliga *in vitro* försök som rapporteras i denna litteraturstudie, samt i djurstudierna av Roque et al. (2019b), Kinley et al. (2020) och Roque et al., fann man en ökad produktion av vätgas vid tillsats av *A. Taxiformis*. Metanogenerna är de främsta användarna av väte i vommen och en inhibering av deras metanbildande funktion kan leda till ett ökat vätgastryck om inte alternativa vägar, såsom bildandet av propionsyra eller ammoniak, är tillgängliga (Martin et al. 2010; Morgavi et al. 2010). Ett ökat vätgastryck kan påverka fermenteringen av fodret negativt (Martin et al., 2010). Fermentationen är dock en robust process som klarar av att fungera under ett stort vätgastrycksintervall (Ungerfeld & Kohn, 2006). Detta kan vara en av förklaringarna till varför smältbarheten på OM och den totala VFA produktionen inte påverkades signifikant i studierna av Kinley et al. (2016a), Kinley et al. (2016b) eller Chagas et al. (2019). Ytterligare en alternativ väg för vätgasen verkar vara att rapas upp av djuret, vilket har rapporterats vid tillsats av antimetanogena substanser i studier av Mitsumori et al. (2012) och Martinez-Fernandez et al. (2016).

Att tillsätta *A. Taxiformis* i låga dosnivåer inducerade ett skifte i produktionen av VFA till fördel för propionsyra i flera av *in vitro* studierna (Kinley et al. 2016a, Machado et al. 2016a, Chagas et al. 2019, Roque et al. 2019a), samt i de två djurstudier där VFA produktionen analyserades (Li et al., 2018; Kinley et al., 2020). Detta är vanligt vid tillsats av antimetanogena substanser (Kinley et al. 2016a) och beror förmodligen på en konkurrens om överskottet av väte, där bildandet av

propionsyra, vilket förbrukar väte, gynnas mer under dessa förhållanden än bildandet av ättiksyra (Mitsumori et al. 2012).

5.5. Effekt av rödalgen på djurets produktivitet

Upp till 12% av bruttoenergin i fodret kan gå förlorad som metan vid idisslarnas matsmältning (Johnson & Johnson 1995). Genom att *A. Taxiformis* sänker metanproduktionen (Kinley et al., 2016a; Kinley et al., 2016b; Machado et al., 2016a; Machado et al. 2016b; Chagas et al., 2019) och samtidigt verkar gynna bildandet av propionsyra (Kinley et al., 2016a; Machado et al., 2016a; Li et al., 2018; Kinley et al., 2020) kan troligtvis en viss del av denna energi bevaras och istället användas av idisslaren för produktion och tillväxt. Denna teori stöds av resultaten i Kinley et al. (2020), som rapporterade en förbättrad tillväxt i kombination med minskad metanproduktion vid utfodring med *A. Taxiformis* till stutar. Dock kunde man inte se några signifikanta effekter på djurens foderomvandlingsförmåga, vilket författarna förklarade med att det var få djur i studien och att variationen i daglig tillväxt var stor mellan individer. Roque et al. (2020) fann däremot ingen effekt av att utfodra rödalger på tillväxten hos stutar, men rapporterade att de fick en förbättrad foderomvandlingsförmåga. I studien på mjölkkor av Roque et al. (2019b) rapporterades att de kor som fick den höga dosen rödalg (1% av OM) hade ett lägre foderintag och lägre mjölkproduktion jämfört med kontrollgruppen. Minskningen i mjölkproduktion var dock lägre än förväntat, med tanke på det stora tappet i foderintag (11 kg/dag), vilket förklarades med att korna troligtvis tog av sina egna kroppsreserver för att stötta mjölkproduktionen. Den låga dosen rödalg (0,5% av OM) orsakade även den en minskning av kornas foderintag (3 kg ts), men utan någon effekt på kornas produktion (Roque et al. 2019b). En bibehållen eller ökad produktivitet vid utfodring av ett rödalgstillskott är ett måste för att tillskottet ska vara attraktivt att använda i praktiken. Därför bör fler studier genomföras för att utvärdera rödalgens effekt på exempelvis foderintag, fodereffektivitet, tillväxt och mjölkproduktion.

5.6. Rödalgens smaklighet

I studien av Roque et al. (2019b) minskade kornas mjölkproduktion när de utfodrades med 1% rödalg av foderstatens OM. Roque et al. (2019b) föreslog att en rimlig orsak till det lägre foderintaget kunde vara minskad smaklighet på grund av rödalgens höga innehåll av mineraler. Även i studien på får av Li et al. (2018) var det några djur i grupperna som utfodrades med 2% respektive 3% rödalg av foderstatens OM som inte åt upp hela den dagliga givan av tillskottet. Författarna till studien nämnde dock inget om den möjliga orsaken till detta. Rödalgen har

också uppgetts har en väldigt stark doft (Cecilia Lindahl, pers. meddelande 2020). Både smak och doft är dock något som troligtvis är lätt att maskera vid framtagandet av ett kommersiellt alg tillskott och bör inte utgöra något hinder i praktiken.

5.7. Rester av brom och jod i kött och mjölk

I studien av Roque et al. (2019b) var nivåerna av brom i mjölken 500 gånger lägre än den maximalt tillåtna enligt United States Environmental Protection Agency för båda grupperna av kor som utfodrades med rödalger. Författarna nämner dock att andra mineraler, såsom jod, skulle kunna förekomma i större mängder i mjölk från kor som äter rödalger och eventuellt utgöra ett hinder för humankonsumtion. Det kan därmed krävas att algen processas för att ta bort en del av mineralerna före utfodring. I studierna av Li et al. (2018), Kinley et al. (2020) och Roque et al. (2020) var koncentrationen av brom under detektionsnivå i muskel- och fettvävnad och i njure och lever. Enbart Roque et al. (2020) analyserade innehållet av jod i muskelvävnad och fann en ökad koncentration med ökad dos av rödalger, även om den låg långt under riktlinjerna för humankonsumtion enligt US Food and Nutrition Board of the National Academy of Sciences. Även om innehållet av jod i muskelvävnad och inälvor inte analyserades av Kinley et al (2020) framhåller de ändå i sin diskussion att rödalgers innehåll av jod kan komma att få en begränsande effekt på mängden rödalger som går att använda i praktiken. I de genomförda och planerade svenska studierna på mjölkkor ska det utvärderas om rödalgen orsakar en förhöjd nivå av jod i mjölk. Om så är fallet kvarstår frågan hur detta går att åtgärda för att möjliggöra försäljning av mjölken för humankonsumtion. Att analysera om kött och inälvor innehåller brom eller jod bör vara högst relevant i framtida djurstudier, för att säkerställa att ingen del av djuret behöver kasseras pga. för höga nivåer, vilket i så fall skulle innebära ett slöseri med resurser.

5.8. Rödalgers långtidseffekter

Hittills är det relativt korta utfodringsstudier som har genomförts med *A. Taxiformis* och de längsta har pågått under 72 dagar på får (Li et al., 2018) och 147 dagar på stutar (Roque et al. 2020). I dessa studier sågs ingen avtagande effekt av rödalgen på djurens metanproduktion. Vad som händer efter en längre tids utfodring är dock fortfarande osäkert. Man bör komma ihåg att grundläggande ekologiska principer fortfarande gäller när man försöker påverka vommens mikrobiella populationer. Med tanke på vommens otroliga mångfald av mikrober är det mycket troligt att avlägsnande eller undertryckning av en grupp mikrober kommer att resultera i en annan grupp som anpassar sig och fyller dennes nisch (Knapp et al., 2014). Under 2021/2022 kommer en studie på mjölkkor att genomföras vid SLU Uppsala och

Umeå, där korna kommer att utfodras med alger under tre månaders tid (Rebecka Danielsson, pers. meddelande 2020). Detta är dock fortfarande ett kort försök och fler studier på mjölkkor under flera laktationer, samt på dikor som ges rödalger under flera produktionsår, kommer att krävas för att säkerställa att utfodring med rödalger inte har någon negativ effekt på djurens hälsa, fertilitet och livsproduktivitet.

5.9. Lönsamhet

Faktorer som påverkade våra beräkningar av merkostnaden för alg tillskottet per kilo slaktvikt för olika kategorier av slaktungöt var antal dagar på stall, slaktvikt och slaktålder. Även ras (kött eller mjölk) påverkade, eftersom vi lät djuren av köttras bära hela kostnaden för moderdjurets algutfodring medan en mjölkraskalv enbart belastas med 4%, eftersom mjölkkon har fler produkter att fördela kostnaden för tillskottet på. Kostnaden för tillskottet, vid en dos på 0,5% till 2% av ts, blev 20% respektive 37% högre för en mjölkrastjur per kg slaktvikt än för en tjur av tung respektive lätt köttras, på grund av mjölkrastjurens högre slaktålder. Skillnaderna i slaktålder översteg i detta fall effekten av att hela kostnaden för utfodringen av alg tillskottet till dikon belastade tjurarna av köttras. Däremot blev kostnaden per kilo slaktvikt högre för den lätta köttrastjuren än för mjölkrasstuten, trots att stuten var dubbelt så gammal vid slakt. Detta berodde framförallt på att den lätta köttrastjuren belastades med hela moderdjurets kostnad för alg tillskottet, men också på att stuten betade två säsonger, vilket därmed minskade antal dagar på stall då algen utfodrades. Att utfodra en mjölkrasstut med rödalger blev billigare än att utfodra en mjölkrastjur, trots stutens höga ålder vid slakt. Detta berodde återigen på att stuten betar och därmed har färre dagar med algutfodring på stall.

Merkostnaden för alg tillskottet per kilo slaktvikt var lägst för mjölkkon på grund av att enbart 11% av kostnaden för tillskottet belastar hennes slaktkropp. I våra beräkningar hade dosen av tillskottet större betydelse än dess pris för hur stor merbetalningen behöver vara per kilo kött för att täcka producentens ökade produktionskostnad. En högre eller lägre tillväxt hade mindre påverkan på kostnaden per kilo slaktvikt än dosen och priset på tillskottet. Även om en ökad tillväxt hade ringa betydelse för merkostnaden i våra beräkningar påverkar de klimatavtrycket per kilo slaktvikt positivt, eftersom en ökad produktivitet leder till ett minskat klimatavtryck per producerad enhet.

I beräkningarna har vi antagit en fast slaktvikt och slaktålder för respektive djurkategori. Förändringar i dessa faktorer påverkar dock storleken på merkostnaden, som exempelvis blir lägre om man uppnår samma slaktvikt vid en lägre slaktålder, eller om man slaktar vid samma ålder fast vid en högre vikt. Detta gör att merkostnaden för tillskottet kommer att variera mellan olika individer, men

också mellan olika uppfödare. Det bör därför betänkas hur man kan ta hänsyn till detta i en eventuell betalningsmodell från ett slakteri.

Av slaktungnöten blev det dyrast att utfodra mjölkkrastjuren och billigast att utfodra korsningskvigan med rödalgstillskottet. Den näst lägsta kostnaden per kilo slaktvikt hade den tunga kötrastjuren. Även om tillskottet var billigare att utfodra per kilo slaktvikt till korsningskvigan än till den tunga kötrastjuren är kvigans metanproduktion per kilo slaktvikt högre pga. hennes högre slaktålder. Kostnaden för att utfodra algstillskottet måste därför sättas i relation till den metanminskning som kan uppnås för respektive djurkategori.

5.10. Rödalgens potential att minska metanproduktionen i svensk nötköttsproduktion

Den största metanminskningspotentialen i antal ton fann vi för kategorin dikor, vilket var väntat eftersom dikorna är runt sju år gamla i genomsnitt när de går till slakt (Gård och djurhälsan, 2020) och har då producerat metan under 6,5 år. Ungtjurarna var den kategori bland slaktungnöten som hade den största potentialen att minska sitt metanutsläpp, vilket är intressant då de också bidrar med den största andelen av det producerade svenska nötköttet (Jordbruksverket, 2020). Denna kategori är också troligen lättare att utfodra med ett algstillskott rent praktiskt, eftersom många ungtjursuppfödare använder sig av fullfoder och då tillskottet verkar behöva blandas ordentligt med fodret för att säkerställa tillräcklig konsumtion. Enligt vår skattning skulle en 25% minskning av dikornas metanutsläpp från foderomsättningen motsvara samma mängd metan (4 500 ton) som en 58% minskning i kategorin ungtjur av köttas. Alltså skulle även en mindre procentuell minskning av dikornas metanproduktion kunna få relativt stora effekter på nötköttsproduktionens klimatavtryck och skulle troligtvis kunna åstadkommas även om tillskottet enbart kan utfodras under stallperioden.

Vi vill understryka att beräkningarna av hur mycket metanproduktionen från foderomsättningen i svensk nötköttsproduktion har potential att minska bygger på grova skattningar som gjorts utifrån data i litteraturen och slaktstatistik från jordbruksverket och Gård och djurhälsan. Data på metanutsläpp från foderomsättningen (Berglund et al., 2009; Kumm et al., 2011) var inte alltid direkt applicerbar på de aktuella kategorierna av slaktungnöt, beroende på skillnader i slaktålder, slaktvikt och foderstat mellan litteraturens exempel och de kategorier som vi gjort våra beräkningar på. En mer exakt skattning av rödalgens metanreduceringspotential kräver nya, noggranna beräkningar av metanproduktionen per kilo slaktvikt för respektive djurkategori, som baseras på aktuella produktionsresultat och produktionsförutsättningar.

5.11. Användning av algtilskottet i praktiken

Då ungtjurar av mjölk- och köttträs bidrar med den största andelen av det svenskproducerade nötköttet är det här vi ser störst potential till att minska metanproduktionen till en rimlig kostnad. Även dikorna skulle vinna mycket på utfodring med rödalger, eftersom den skattade potentiella minskningen i metanproduktion var mycket stor, även då vi räknade med den låga metanminskningsnivån på 36% som rapporterats i litteraturen (Roque et al. 2020). När det gäller dikorna är dock den stora utmaningen vem som ska stå för kostnaden för algtilskottet. I denna rapport lades hela kostnaden för dikons algutfodring på kalven, för att förenkla beräkningarna och underlätta kommunikationen. Beroende på dos och pris på algtilskottet blev en sådan dikalv mellan 800 och 6 400 kr dyrare. Hur betalningsviljan för en sådan kalv ser ut hos en kalvuppfödare kommer bero på möjligheterna att ta ut ett högre pris för produkten på marknaden. Om algtilskottet ska bli intressant att utfodra i praktiken behöver det vara enkelt att utfodra, smakligt för djuret och framförallt måste producenten kompenseras för de högre kostnaderna. Förmodligen kommer priset på algtilskottet att sjunka när Volta Greentech's produktion nått sin fulla kapacitet och/eller om det dyker upp en konkurrerande, likvärdig produkt på marknaden. Den slutliga frågan är hur en betalningsmodell för kött från djur utfodrade med algtilskottet skulle kunna se ut, eftersom det enbart kommer att bli utfodrat i praktiken om producenten får betalt för sina merkostnader.

6. Slutsatser

- Rödalgens *Asparagopsis Taxiformis* har visat sig ha stor potential att minska metanproduktionen från idisslares foderomsättning både i laboratoriestudier och studier på djur.
- Mycket är ännu oklart vad gäller; rödalgens långtidseffekter på metanproduktionen i vommen; dess effekter på djurets hälsa, produktivitet och fertilitet; effekten av foderstatens sammansättning på rödalgens metanreducerande förmåga; vilken dos som kommer att krävas för att uppnå önskad metanminskning; samt om utfodring med rödalg ger upphov till högre koncentrationer av brom och jod i kött och inälvor än rekommenderade gränsvärden.
- Ett algtilskott som utfodras i de doser och vid de prisnivåer som undersökts i denna rapport visar att tillskottet leder till en hög merkostnad för producenten, framförallt om det utfodras till djurkategorierna mjölkkrastjur och lätt kötraskviga.
- Billigast att utfodra med tillskottet per kilo slaktvikt var korsningskvigan av mjölk- och kötraskviga och den tunga kötrastjuren. Kostnaden för att utfodra algtilskottet måste dock sättas i relation till den metanminskning som kan uppnås, eftersom kvigans metanproduktion per kilo slaktvikt är högre än tjurens pga. hennes längre uppfödningstid.
- Då ungtjurar av mjölk- och kötraskviga bidrar med den största andelen av det svenskproducerade nötköttet är det här den största potentialen finns för att minska metanproduktionen till en rimlig kostnad.
- Om algtilskottet ska bli intressant att utfodra i praktiken behöver det vara enkelt att utfodra, smakligt för djuret och framförallt måste producenten kompenseras för de högre kostnaderna.

Referenser

- Appuhamy, J.R.N., Strathe, A.B., Jayasundara, S., Wagner-Riddle, C., Dijkstra, J., France, J. & Kebreab, E. (2013). Anti-methanogenic effects of monensin in dairy and beef cattle: A meta- analysis. *J. of Dairy Sci.*, 96, 5161-5173. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5923>
- Bannink, A., France, J., Lopez, S., Gerrits, W.J.J., Kebreab, E., Tamminga, S. & Dijkstra, J. (2008). Modelling the implications of feeding strategy on rumen fermentation and functioning of the rumen wall. *Anim. Feed Sci. Technol.* 143, 3–26. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.05.002>
- Beauchemin, K.A., Kreuzer, M. & Mcallister, T.A. (2008). Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian J. of Experimental Agriculture*. 48, 21–27.
- Berglund, M., Cederberg, C., Clason, C., Henriksson, M. & Törner, L. (2009). Jordbrukets klimatpåverkan – underlag för att beräkna växthusgasutsläpp på gårdsnivå och nulägesanalyser av exempelgårdar. Delrapport i JOKER-projektet, Hushållningssällskapet Halland.
- Bertilsson, J. (2001). Utvärdering av beräkningsmetodik för metanavgång från nötkreatur. Internt dokument, Naturvårdsverket. Sverige
- Chagas, J.C., Ramin, M. & Krizsan, S.J. (2019). *In vitro* evaluation of different dietary methane mitigation strategies. *Animals*. 9 (1120) <https://doi.org/10.3390/ani9121120>
- Cederberg, C., Sonesson, U., Henriksson, M., Sund, V. & Davis., J. (2009). Greenhouse gas emissions from Swedish production of milk, meat and eggs 1990 – 2005. SIK. Rapport 793.
- 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. *J. Dairy Sci.* 101, 9041–9047. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14456>
- Dubois, B., Tomkins, N.W., D. Kinley, R., Bai, M., Seymour, S., Paul, N.A. & de Nys, R. (2013). Effect of tropical algae as additives on rumen *in vitro* gas production and fermentation characteristics. *Am. J. Plant Sci.* 4, 34–43. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412a2005>
- Gerber, P.J., Steinfeld, H., Henderson, B., Mottet, A., Opio, C., Dijkman, J., Falcucci, A. & Tempio, G. (2013a). Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Gerber, P.J., Hristov, A.N., Henderson, B., Makkar, H., Oh, J., Lee, C., Meinen, R., Montes, F., Ott, T., Firkins, J., Rotz, A., Dell, C., Adesogan, A.T., Yang, W.Z., Tricarico, J.M., Kebreab, E., Waghorn, G., Dijkstra, J. & Oosting, S. (2013b). Technical options for the mitigation of direct methane and nitrous

- oxide emissions from livestock: a review. *Animal* 7 Suppl 2, 220–234.
<https://doi.org/10.1017/S1751731113000876>
- Greppa Näringen. (2011). Klimatpåverkan från djurproduktion.
<https://adm.greppa.nu/download/18.77f61041167329de2ec33080/1542791796011/klimatpaverkan-fran-djurproduktion-faktablad-2011.pdf> [2020-12-17]
- Gård och djurhälsan. (2020). Genomsnittligt kvalitetsutfall för nötkreatur slaktade under 2019. <https://www.gardochdjurhalsan.se/wp-content/uploads/2020/03/kvalitetsutfall-helar-2019.pdf> [2020-12-01]
- Hristov, A.N., Oh, J., Firkins, J.L., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H.P.S., Adesogan, A.T., Yang, W., Lee, C., Gerber, P.J., Henderson, B., Tricaricao, J.M. (2013). SPECIAL TOPICS—Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. *J. Anim. Sci.* 91, 5045–5069.
<https://doi.org/10.2527/jas2013-6583>
- International Dairy Federation. (2015). Bulletin of the International Dairy Federation, nr. 479. https://www.fil-idf.org/wp-content/uploads/2016/09/Bulletin479-2015_A-common-carbon-footprint-approach-for-the-dairy-sector.CAT.pdf [2020-12-18]
- Johnson, K. A. & Johnson, D. E. (1995). Methane emissions from cattle. *J. Anim. Sci.* 73, 2483-2492.
- Jordbruksverket. (2020). Jordbruksverkets statistikdatabas.
<http://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets%20statistikdatabas/?rxid=5adf4929-f548-4f27-9bc9-78e127837625> [2020-11-20]
- Kinley, R.D., De Nys, R., Vucko, M.J., MacHado, L. & Tomkins, N.W. (2016a). The red macroalgae *Asparagopsis taxiformis* is a potent natural antimethanogenic that reduces methane production during *in vitro* fermentation with rumen fluid. *Anim. Prod. Sci.* 56, 282–289.
<https://doi.org/10.1071/AN15576>
- Kinley, R.D., Vucko, M.J., Machado, L. & Tomkins, N.W., (2016b). *In vitro* evaluation of the antimethanogenic potency and effects on fermentation of individual and combinations of marine macroalgae. *Am. J. Plant Sci.* 7, 2038–2054. <https://doi.org/10.4236/ajps.2016.714184>
- Kinley, R.D., Martinez-Fernandez, G., Matthews, M.K., de Nys, R., Magnusson, M. & Tomkins, N.W. (2020). Mitigating the carbon footprint and improving productivity of ruminant livestock agriculture using a red seaweed. *J. Clean. Prod.* 259, 120836. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120836>
- Knapp, J. R., Laur, G.L., Vadas, P.A., Weiss, W.P. & Tricarico, J.M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *J. Dairy Sci.* 97, 3231–3261.
<https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Knight, T., Ronimus, R.S., Dey, D., Tootill, C., Naylor, G., Evans, P., Molano, G., Smith, A., Tavendale, M., Pinares-Patiño, C.S. & Clark, H. (2011). Chloroform decreases rumen methanogenesis and methanogen populations without altering rumen function in cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.04.059>
- Kumm, K-I. (2011). Den svenska kött- och mjölkproduktionens inverkan på biologisk mångfald och klimat – skillnader mellan betesbaserade och kraftfoderbaserade system. Jordbruksverket. Rapport 21.

- Li, X., Norman, H.C., Kinley, R.D., Laurence, M., Wilmot, M., Bender, H., De Nys, R. & Tomkins, N. (2018). Asparagopsis taxiformis decreases enteric methane production from sheep. *Anim. Prod. Sci.* 58, 681–688. <https://doi.org/10.1071/AN15883>
- Machado, L., Magnusson, M., Paul, N.A., De Nys, R. & Tomkins, N. (2014). Effects of marine and freshwater macroalgae on *in vitro* total gas and methane production. *PLoS One.* 9(1): e85289. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085289>
- Machado, L., Magnusson, M., Paul, N.A., Kinley, R., de Nys, R. & Tomkins, N. (2016a). Dose-response effects of Asparagopsis taxiformis and Oedogonium sp. on *in vitro* fermentation and methane production. *J. Appl. Phycol.* 28, 1443–1452. <https://doi.org/10.1007/s10811-015-0639-9>
- Machado, L., Magnusson, M., Paul, N.A., Kinley, R., de Nys, R., Tomkins, N. (2016b). Identification of bioactives from the red seaweed Asparagopsis taxiformis that promote antimethanogenic activity *in vitro*. *J. Appl. Phycol.* 28, 3117–3126. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0830-7>
- Machado, L., Tomkins, N., Magnusson, M., Midgley, D.J., de Nys, R. & Rosewarne, C.P., (2018). *In vitro* response of rumen microbiota to the antimethanogenic red macroalga Asparagopsis taxiformis. *Microb. Ecol.* 75, 811–818. <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1086-8>
- Maia, M.R.G., Fonseca, A.J.M., Oliveira, H.M., Mendonça, C. & Cabrita, A.R.J. (2016). The potential role of seaweeds in the natural manipulation of rumen fermentation and methane production. *Sci. Rep.* 6, 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep32321>
- Martin, C., Morgavi, D. & Doreau, M. (2010). Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal.* 4, 351–365.
- Martinez-Fernandez, G., Denman, S.E., Yang, C., Cheung, J., Mitsumori, M. & McSweeney, C.S. (2016). Methane inhibition alters the microbial community, hydrogen flow, and fermentation response in the rumen of cattle. *Front. Microbiol.* 7, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01122>
- Mitsumori, M., Shinkai, T., Takenaka, A., Enishi, O., Higuchi, K., Kobayashi, Y., Nonaka, I., Asanuma, N., Denman, S.E. & McSweeney, C.S. (2012). Responses in digestion, rumen fermentation and microbial populations to inhibition of methane formation by a halogenated methane analogue. *Br. J. Nutr.* 108, 482–491. <https://doi.org/10.1017/S0007114511005794>
- Morgavi, D. P., Forano, E., Martin, C. & Newbold, C. J. (2010). Microbial ecosystem and methanogenesis in ruminants. *Animal.* 4, 1024–1036
- Naturvårdsverket. (2002). Utveckling av metodik för att kvantifiera jordbrukets utsläpp av växthusgaser. Dnr: 108-356-01-Md
- Naturvårdsverket, 2020a. Så här mår miljön - Fakta och statistik. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-konsumtionsbaserade-utslapp-fran-exporterande-foretag/Koldioxidekvivalenter/> [2020-12-18]
- Naturvårdsverket, 2020b. Utsläpp av växthusgaser från jordbruk. <http://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Statistik-A-O/Vaxthusgaser-utslapp-fran-jordbruk/> [2020-11-25]
- Niu, M., Kebreab, E., Hristov, A.N., Oh, J., Arndt, C., Bannink, A., Bayat, A.R., Brito, A.F., Boland, T., Casper, D., Crompton, L.A., Dijkstra, J., Eugène,

- M.A., Garnsworthy, P.C., Haque, M.N., Hellwing, A.L.F., Huhtanen, P., Kreuzer, M., Kuhla, B., Lund, P., Madsen, J., Martin, C., McClelland, S.C., McGee, M., Moate, P.J., Muetzel, S., Muñoz, C., O’Kiely, P., Peiren, N., Reynolds, C.K., Schwarm, A., Shingfield, K.J., Storlien, T.M., Weisbjerg, M.R., Yáñez-Ruiz, D.R. & Yu, Z. (2018). Prediction of enteric methane production, yield, and intensity in dairy cattle using an intercontinental database. *Glob. Chang. Biol.* 24, 3368–3389.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14094>
- Patel, M., Wredle, E., Börjesson, G., Danielsson, R., Iwaasa, A.D., Spörndly, E. & Bertilsson, J. (2011). Enteric methane emissions from dairy cows fed different proportions of highly digestible grass silage. *Acta Agric. Scand. Anim. Sci.* 61, 128–136. <https://doi.org/10.1080/09064702.2011.616216>
- Paul, N. A., Nys, R. & De Steinberg, P.D. (2006a). Chemical defence against bacteria in the red alga. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 306, 87–101.
- Paul, N. A., De Nys, R. & Steinberg, P.D. (2006b). Seaweed-herbivore interactions at a small scale: Direct tests of feeding deterrence by filamentous algae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 323, 1–9. <https://doi.org/10.3354/meps323001>
- Ramin, M. & Huhtanen, P. (2013). Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *J. Dairy Sci.* 96, 2476–2493.
<https://doi.org/10.3168/jds.2012-6095>
- Roque, B. M., Brooke, C.G., Ladau, J., Polley, T., Marsh, L.J., Najafi, N., Pandey, P., Singh, L., Kinley, R., Salwen, J.K., Eloë-Fadrosh, E., Kebreab, E., Hess, M. (2019a). Effect of the macroalgae *Asparagopsis taxiformis* on methane production and rumen microbiome assemblage. *Anim. Microbiome.* 1, 1–14.
<https://doi.org/10.1186/s42523-019-0005-3>
- Roque, B. M., Salwen, J.K., Kinley, R. & Kebreab, E. (2019b). Inclusion of *Asparagopsis armata* in lactating dairy cows’ diet reduces enteric methane emission by over 50 percent. *J. Clean. Prod.* 234, 132–138.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.193>
- Roque, B. M., Venegas, M., Kinley, R., deNys, R., Duarte, T.L., Yang, X., Salwen, J.K. & Kebreab, E. (2020). Red seaweed (*Asparagopsis taxiformis*) supplementation reduces enteric methane by over 80 percent in beef steers. Preprint bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2020.07.15.204958>
- Russell, J.B., O’Connor, J.D., Fox, D.G., Van Soest, P.J. & Sniffen, C.J. (1992). A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 70, 3551–3561.
- Stefenoni, H., Räisänen, S., Melgar, A., Lage, C., Young, M. & Hristov, A. (2019). Dose-response effect of the macroalga *Asparagopsis taxiformis* on enteric methane emission in lactating dairy cows. Abstracts of the 2019 American Dairy Science Association, Annual Meeting, Cincinnati, Ohio. *J. Dairy Sci.* 102, Suppl. 1, 378.
- Tomkins, N.W., Colegate, S.M. & Hunter, R.A. (2009). A bromochloromethane formulation reduces enteric methanogenesis in cattle fed grain-based diets. *Anim. Prod. Sci.* 49, 1053–1058. <https://doi.org/10.1071/EA08223>
- Ungerfeld, E. & Kohn, R. (2006). The role of thermodynamics in the control of ruminal fermentation. In: Sejrsen, K., Hvelplund, T., Nielsen, M. O. (eds) Ruminant physiology: digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress. Wageningen Academic Publishers,

- Wageningen, The Netherlands, pp 55–85.
- Van Nevel, C.J. & Demeyer, D.D.I. (1996). Control of rumen methanogenesis. *Environ. Monit. Assess.* 42, 73–97. <https://doi.org/10.1007/BF00394043>
- Van Soest, P.J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. 2nd ed. Itacha, NY: Cornell University Press.
- Vergés, A., Paul, N.A. & Steinberg, P.D. (2008). Sex and life-history stage alter herbivore responses to a chemically defended red alga. *Ecology*. 89, 1334–1343. <https://doi.org/10.1890/07-0248.1>
- Volta Greentech (2020). Battling global warming by reducing methane emissions from cows. <https://voltagegreentech.com/> [2020-11-28]
- Vucko, M.J., Magnusson, M., Kinley, R.D., Villart, C. & de Nys, R. (2017). The effects of processing on the *in vitro* antimethanogenic capacity and concentration of secondary metabolites of *Asparagopsis taxiformis*. *J. Appl. Phycol.* 29, 1577–1586. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-1004-3>
- Woese, C.R., Kandler, O. & Wheelis, M.L. (1990). Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 87(12), 4576-4579.
- Wood, J.M., Kennedy, F.S., & Wolfe, R.S. (1968). The Reaction of multihalogenated hydrocarbons with free and bound reduced vitamin B12. *Biochemistry*. 7, 1707–1713. <https://doi.org/10.1021/bi00845a013>

Bilaga 1

Besättningsens fodermedel - stut, kviga, diko

Parameter	Enhet	Korn, kärna 1-1-1	Ensilage 2, 10.4/149 6-170-1	Halm, värkorn 6-386-1	Galax Utmärkt 20 18 213-10-1	EFFEKT GRUND okt 2019 213-1105-1
Fodertyp		1	15	17	33	35
Generell						
Torrsubstans	g/kg	870	1000	810	890	988
Protein						
Råprotein	g/kg TS	117	149	37	305	0
NDF						
NDF	g/kg TS	178	485	778	270	0
Osmältbar NDF (i	g/kg NDF	162	187	297	285	0
Fett						
Råfett	g/kg TS	21	33	13	45	0
Stärkelse						
Stärkelse	g/kg TS	584	10	0	40	0
Mineraler						
Kalcium	g/kg TS	0,5	6,2	4,6	25,0	145,0
Fosfor	g/kg TS	3,8	2,7	0,9	8,0	25,0
Magnesium	g/kg TS	1,3	2,1	0,9	7,0	98,0
Standardfodervärde						
Nettoenergi 20 k	MJ/kg TS	7,11	5,88	2,95	6,47	
AAT 20 kg TS	g/kg TS	96	83	52	139	
PBV 20 kg TS	g/kg TS	-27	21	-51	105	

Besättningsens fodermedel - ungtjur

Parameter	Enhet	Kom, kärna 1-1-1	Ensilage 2 sk hö g smb (1-50% klö 6-169-1	Tjurmix alger 99-2-1	Galax Utmärkt 20 18 213-10-1	EFFEKT GRUND okt 2019 213-1105-1
Fodertyp		1	15	27	33	35
Generell						
Torrsubstans	g/kg	870	1000	944	890	988
Protein						
Råprotein	g/kg TS	117	175	152	305	0
NDF						
NDF	g/kg TS	176	462	348	270	0
Osmältbar NDF (i	g/kg NDF	162	150	152	285	0
Fett						
Råfett	g/kg TS	21	34	29	45	0
Stärkelse						
Stärkelse	g/kg TS	584	10	240	40	0
Mineraler						
Kalcium	g/kg TS	0,5	6,3	4,0	25,0	145,0
Fosfor	g/kg TS	3,8	2,8	3,2	8,0	25,0
Magnesium	g/kg TS	1,3	2,1	1,8	7,0	98,0
Standardfodervärde						
Nettoenergi 20 k	MJ/kg TS	7,11	6,32	6,63	6,47	
AAT 20 kg TS	g/kg TS	96	88	91	139	
PBV 20 kg TS	g/kg TS	-27	37	11	105	