



Vedrørende notat om fodringens indflydelse på dannelsen af drivhusgasser for de mest betydende husdyrproduktionsformer

Susanne Elmholt

Koordinator for
myndighedsrådgivning

Dato: 17. februar 2012

Direkte tlf.: 8715 7685
E-mail:
Susanne.Elmholt@agrsci.dk

Afs. CVR-nr.: 57607556

Side 1/1

Nærværende notat er udarbejdet som led i "Aftale mellem Aarhus Universitet og Fødevareministeriet om udførelse af forskningsbaseret myndighedsbetjening m.v. på Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet 2011-2014" (Punkt 1.2 i aftalens Bilag 2).

Notatet er udarbejdet af seniorforsker Peter Lund, ph.d.-stipendiat Maïke Brask, post doc Anne Louise F. Hellwing, seniorforsker Martin Riis Weisbjerg og seniorforsker Ole Højbjerg, alle Institut for Husdyrvidenskab.

Med venlig hilsen

Susanne Elmholt
Koordinator for DCA's myndighedsrådgivning

Fodringens indflydelse på dannelsen af drivhusgasser for de mest betydende husdyrproduktionsformer

Peter Lund, Maike Brask, Anne Louise F. Hellwing, Martin Riis Weisbjerg & Ole Højberg
Institut for Husdyrvidenskab, AU Foulum, Aarhus Universitet, Postboks 50, 8830 Tjele
E-mail: Peter.Lund@agrsci.dk. Telefon: 87158072.

Indledning og afgrænsning

Metan (CH_4) dannes i fordøjelseskanalen hos vores husdyr, men kvantitativt mest betydende hos drøvtyggere. Metanproduktionen fra grise er tidligere beskrevet af Jørgensen (2011), og vil ikke blive gennemgået her. Denne redegørelse er derfor afgrænset til at omhandle fodringens indflydelse på dannelsen af drivhusgasser hos drøvtyggere, og drivhusgasser er defineret som værende metan. Redegørelsen vil beskrive de overordnede faktorer som påvirker dannelsen af metan, og dette uddybes i rapporten "Udledning af drivhusgasser fra kvægbedriften med fokus på metan" fra Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, som er vedlagt som bilag.

Produktion af metan fra husdyr

Metanproduktionen fra de enkelte husdyr i Danmark samt sammenligning af metanproduktionen fra danske og udenlandske husdyr er gennemgået af Lund et al. (2011) i bilag 1.

Som led i fordøjelsen af foderet sker der en mikrobiel forgæring. Metan dannes primært når foderet under anaerobe forhold forgæres af mikroberne i formaverne hos drøvtyggerne (kvæg, får, geder). Især omsætningen i formaverne hos malkekvæg giver anledning til en stor produktion af metan, og en malkeko vil dagligt producere 250–500 liter (167–333 g) metan. En mindre del af produktionen af metan foregår ved mikrobiel forgæring i blind- og tyktarm (ca. 10%), og vil delvist udskilles via endetarmen, delvist via udåndingsluften afhængig af dyreart. Hos drøvtyggere opræbes metanen hovedsageligt gennem spiserøret. Hos heste og enmavede dyr sker forgæringen i bagtarmen.

Tabet af energi som metan under forgæringen i vommen er velkendt og har længe været en integreret del af energivurderingssystemer til drøvtyggere, og udgør sammen med energitabet i urinen forskellen mellem fordøjeligt og omsætteligt energi. Tabet af energi som metan er betydeligt, og udgør 2–12% af det samlede bruttoenergi optag, men varierer betydeligt afhængig af fodringen og dyreart. Således kan det højeste relative tab forventes under meget ekstensive forhold med f.eks. ammeko-produktion, mens feed-lot produktion i f.eks. USA af slagtekalve med høj energikoncentration i foderet har det laveste tab, når det relateres til indholdet af bruttoenergi i foderet.

Det mikrobielle samfund i vommen

Mikroorganismernes betydning for metan-emission fra vommen er yderligere beskrevet af Højberg et al. (2011) i bilag 1.

Metanogener

Det er specielle mikroorganismer (metanogene mikroorganismer) der danner metanen på baggrund af slutprodukterne (brint og kuldioxid) fra den mikrobielle forgæring af kulhydrat i

vommen. Metanogenerne kan f.eks. ikke tåle ilt, hvilket yderligere gør vommen attraktiv for dem. De hæmmes af lave surhedsgrader, hvorfor vommens normale niveau af surhedsgrad på omkring 5.5-7.0 også passer dem godt.

Det formodes at foderets lave passagehastighed i koens formavesystem er helt afgørende for vækst og formering af de metanogene mikroorganismer. Metanogene mikroorganismer har en meget langsom vækst. I et miljø med høj gennemstrømningshastighed, vil metanogenerne omvendt have svært ved at følge med, og de risikerer at blive 'skyllet ud', hvilket er en af grundene til, at emissionen af metan kan påvirkes via fodringsstrategier, der ændrer foderets opholdstid i vommen. Hos andre dyrearter som f.eks. kænguroen og elefanten, som har en væsentlig højere passagehastighed, kan de metanogene mikroorganismer ikke etablere sig i mavetarm-kanalen, hvilket i stedet giver mulighed for etablering af de acetogene bakterier, som er istand til at producere eddikesyre ud fra brint og kuldioxid. Dette forhold kan også være en afgørende grund til, at man ikke ser så stor metanproduktion hos enmavede dyr som svin og fjerkræ; her er passagehastigheden gennem mavetarmkanalen muligvis for høj.

Protozoer

Mange metanproducerende bakterier lever tæt sammen med protozoer (symbiose), og protozoer danner meget smørsyre og eddikesyre, som giver brintoverskud og dermed grundlag for produktion af metan. Tilstedeværelsen af metanogene mikrober i symbiose med protozoer afhænger af brinttrykket i vommen. Når brinttrykket i vommen er højt som f.eks. efter en fodring hvor der er meget substrat til rådighed i vommen ses en stor del af de metanogene mikrober frit i vommen, mens der ved lavt brinttryk og lav substrattilgængelighed ses en større andel af metanogene mikrober på eller inden i protozoerne. Antallet af metanogene mikrober som er i symbiose med protozoerne stiger således med en faktor 100-1000 efter at et måltid er afsluttet, og disse metanogene mikrober lever så af protozoernes fermentering af lagrede næringsstoffer. Fjernelse af protozoer og tilhørende metanogene mikrober (defaunation) vil derfor sænke produktionen af metan.

Dannelse af metan

Omsætning af brint er helt centralt i metandannelsen i vommen. Omsætning af kulhydrat i vommen kan henføres til en nedbrydning af polysakkarider (fiber og stivelse) og sukre til monosakkarider (glukose), som via en redox-proces oxideres i glykolysen til pyrovat, som så efterfølgende omsættes til kortkædede fedtsyrer, kuldioxid og brint under dannelse af ATP, som er essentiel for mikrobers energiomsætning. Under iltrige forhold som f.eks. i dyrets egne celler kan oxidation ske ved tilførsel af ilt, men ved den anaerobe energiomsætning i vommen sker oxidationen ved at stoffet mister et brintmolekyle eller mister en elektron. Dette mistede brintmolekyle bruges i redox-reaktionen til en samtidig reduktion af NAD^+ til NADH. For at opretholde fermenteringen skal NADH imidlertid efterfølgende re-oxideres til NAD^+ , og der skal derfor under de anaerobe forhold findes en anden elektron-acceptor end ilt. Det kan f.eks. være dannelse af frit brint ud fra to brint-ioner. Den dannede brint kan så passere ud af bakterien og medvirke til en yderligere reduktion af kuldioxid til metan af de metanogene mikrober eller bruges af bakterien selv til f.eks. mætning af umættede fedtsyrer, de novo fedtsyresyntese eller indgå i dannelsen af propionsyre. Fjernelse af frit brint fra vommen er også til fordel for bakterien, idet re-oxidation af NADH til NAD^+ kun kan ske ved lavt brinttryk.

De metanogene mikroorganismer forbruger overskydende brint som er fremkommet ved denne forgøring (reaktion 1 og 3 i nedenstående tabel 1) i en energigivende proces, hvor kuldioxid reduceres (reaktion 4). Denne proces er med til at opretholde et lavt brinttryk i vommen. Brint bruges også af acetogene bakterier, som kan danne eddikesyre fra kuldioxid og brint (reaktion 5). Den fri energi under normale vomforhold (ΔG) er -67,4 kJ/mol for metanogene mikrober og -8,8 kJ/mol for acetogene mikrober. Begge reaktioner kan således forløbe ($\Delta G < 0$), men dannelse af eddikesyre giver mindre energi end metandannelse og vil normalt ikke være konkurrencedygtig under det herskende lave brinttryk i vommen.

Sulfat-reducerende bakterier forbruger også brint i konkurrence med de metanogene mikrober (ligning 6). Reduktionen af sulfat frigiver en energi på -84,4 kJ/mol, og de sulfat-reducerende mikrober kan i modsætningen til de acetoge bakterier trives ved et lavere brinttryk i vommen end de metanogene mikrober kan, og når svovl ikke er begrænsende kan de derfor i teorien udkonkurrere de metanogene mikrober. Imidlertid udgør sulfat-reducerende mikrober kun en meget lille og ikke særligt velundersøgt del af den mikrobielle population i vommen. De sulfat-reducerende mikrober fordrer en ration med et højt indhold af svovl, og biprodukter som majs glutenfoder, majs bærme og raps-produkter er kendetegnet ved et højt indhold af svovl. Ligeledes kan reduktion af kvælstofforbindelser forbruge brint (reaktion 7). Vi ser store muligheder i at erstatte urea i foderet med nitrat, idet man så opnår både en forsyning med N og en reduktion af metanproduktionen.

Mens dannelse af eddikesyre (reaktion 1) og smørsyre (reaktion 3) er forbundet med brintproduktion, så medfører dannelse af propionsyre et forbrug af brint (reaktion 2). De propionsyre-producerende bakterier konkurrerer altså med de metanogene mikroorganismer om brint i vommen.

Tabel 1. De væsentligste støkiometriske ligninger af betydning for produktionen af metan fra kulhydrat.

1	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$	Eddikesyre
2	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$	Propionsyre
3	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$	Smørsyre
4	$4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$	Metan
5	$4H_2 + 2CO_2 \rightarrow CH_3COOH + 2H_2O$	Eddikesyre
6	$SO_4^{2-} + 4H_2 + H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$	Reduktion af S
7	$4H_2 + 2H^+ + NO_3^- \rightarrow NH_4^+ + 3H_2O$	Reduktion af N

Måling og estimering af metanproduktion

Målings- og beregningsmetoder er gennemgået af Storm et al. (2011) i bilag 1.

De nationale estimater for metanproduktion er primært baseret på standardmetoden fra IPCC, hvor metanproduktionen beregnes simpelt som 5,93% af bruttoenergien. Dette indebærer en betydelig usikkerhed, og tager ikke hensyn til effekten af forskellige fodringsstrategier.

Der er publiceret en række modeller til forudsigelse af metanproduktionen på grundlag af oplysninger om foderrationen. Modellerne varierer i kompleksitet fra meget simple modeller

som f.eks. IPCC (1997), hvor metanproduktionen beregnes som en konstant andel af bruttoenergioptaget, over modeller der tager hensyn til rationens sammensætning (Kirchgessner et al., 1995) og fordøjelighed af næringsstoffer (Hindrichsen et al., 2004) til mere komplicerede modeller, der beskriver vomomsætningen vha. en dynamisk mekanistisk model (Danfær, 2003). Overordnet viser en indledende sammenligning af danske *in vivo* data med modellernes prædiktio en forholdsvis dårlig sammenhæng.

I Danmark måles produktionen af metan på tre forskellige metoder i forbindelse med forsøg, og hver metode har sine fordele og ulemper. *In vitro*-metoden er baseret på gasproduktion fra et fodermiddel inkuberet med vomvæske. Metoden fordrer afgang til vomvæske og er primært egnet til indledende screening af fodermidler. CO₂-metoden er baseret på spot-sampling af udåndingsluft, hvor koncentrationen af metan og kuldioxid bestemmes. Metoden kræver estimering af dyrets totale CO₂-produktion, og kan primært anvendes til screening af dyr. Respirationskammer-metoden er den eneste metode som er baseret på kvantitativ *in vivo* bestemmelse af metanproduktionen, men kræver adgang til forholdsvis dyrt udstyr, og kan primært anvendes til kvantitativ måling på individ-niveau i ernæringsforsøg. SF6 metoden er baseret på indgivelse af markør i vommen og efterfølgende måling af forholdet mellem metan og markør i udåndingsluften. Metoden er særligt velegnet til løsgående dyr, men anvendes ikke for nærværende i Danmark. Den daglige variation er betydelig sammenlignet med f.eks. respirationskammer-metoden, og der derfor kræves et betydeligt større antal dyr for identificere en signifikant forskel mellem behandlinger.

Fodringsmæssige tiltag

Forskellige fodringsstrategier til reduktion af metanproduktionen er gennemgået af Johannes et al. (2011) i bilag 1.

Selv om metanproduktion ikke fuldstændig kan elimineres, er ændringer i foderrationens sammensætning den mest effektive måde til at reducere den. Nogle af disse ændringer vil dog samtidig medføre en reduceret foderudnyttelse. Fodersammensætningen påvirker forgærmønstret og dermed forholdet mellem de enkelte syrer, der dannes under forgæringen. Produktionen af metan kan således reduceres ved at fremme den mikrobielle forgæring, der producerer propionsyre under samtidig forbrug af brint. Omvendt vil en forgæring, der resulterer i produktion af eddikesyre og smørsyre øge frigørelsen af brint, hvorved metanproduktionen stiger.

Øget produktionsniveau (foderoptagelse), mere kraftfoder/mindre grovfoder

Omfanget af produktionen af metan pr. ko eller pr. kg fodertørstof kan variere betydeligt. Således vil produktionen af metan stige med øget foderoptagelse, men langt fra proportionalt med øgningen i foderoptagelsen. En større foderoptagelse vil normalt forskubbe forgærmønstret i vommen, således at propionsyre udgør en større andel af de producerede syrer på bekostning af eddike- og smørsyre. Effekten opnås især som følge af mere kraftfoder og mindre grovfoder i rationen. Effekten ses dog også ved uændret rationssammensætning. Andelen af energi, der tabes som metan, falder således ved øget foderniveau, og faldet afhænger af forholdet mellem kraftfoder og grovfoder og rationens fordøjelighed. Desuden medfører et øget foderniveau også en større passagehastighed af foder og mikrober ud af vommen, og dermed en lavere fordøjelighed af foderet i vommen

(lavere fodereffektivitet). Derved bliver passagen af mikrobielt stof til tarmen forøget (reduceret omsætning af mikrobielt stof i vommen), og forholdet mellem produceret mikrobielt stof og kortkædede syrer bliver forskubbet i retning af mikrobielt stof, hvilket også reducerer det afledte metantab. Endvidere er de metanogene mikrober kendetegnet ved en forholdsvis lang generationstid, hvilket gør dem ekstra følsomme for en kortere opholdstid i vommen som en følge af højere foderniveau.

Propionsyre sænker metanproduktionen som følge af konkurrence om brint-molekylerne i vommen. En høj propionsyreandel i vommen er ofte sammenkædet med en høj kraftfoderandel og et lavt pH, og metanogene mikrober som er isoleret fra køer fodret med en grovfoder-rig ration taber evnen til at danne metan ud fra brint ved lavt pH. En høj propionsyre andel og et lavt pH har derfor både en direkte konkurrencebetinget effekt på metanproduktionen og en indirekte hæmmende effekt via lavt pH.

Fodring med fedt

I modsætning til kulhydrater (cellevægskulhydrater, stivelse, sukker) forgæres fedtsyrer ikke i vommen og vil således ikke i sig selv resultere i produktion af metan. Dette er den væsentligste grund til, at man altid vil kunne forvente at fedttilskud reducerer metanproduktionen.

Men derudover påvirker fedttilskud også den øvrige omsætning i vommen. Især umættede fedtsyrer (linol- og især linolensyre) og mellem-langkædede fedtsyrer (laurin- og myristinsyre) har en betydelig effekt på forgæringmønstret i vommen i retning af mere propionsyre. Disse fedtsyrer har sandsynligvis en direkte toksisk effekt på især de cellulolytiske bakterier og hæmmer forgæringen af cellevægskulhydrater (der betinger produktion af eddikesyre) og hæmmer ligeledes de metanogene bakterier. Umættede fedtsyrer har desuden en eller flere dobbeltbindinger, dvs. kapacitet til at binde brint (mætning). De umættede fedtsyrer mættes i vid udstrækning i vommen, idet typisk omkring 80% af fedtsyrernes dobbeltbindinger mættes, og udnytter derved brint der ellers ville være blevet brugt til produktion af metan. Den kvantitative betydning er dog minimal, men i modsætning til de umættede fedtsyrer har mættede langkædede fedtsyrer som palmitinsyre og stearinsyre kun en meget begrænset effekt på omsætningen i vommen, og derfor kan der kun forventes en meget begrænset effekt af disse fedtsyrer på produktionen af metan ud over effekten af at fedtsyrerne ikke forgæres i vommen. Fedtsyrer reducerer endvidere antallet af protozoer i vommen.

Da fedtsyresammensætningen kan være meget forskellig afhængig af fedtkilde, kan der forventes en stor forskel mellem fedtkilder, og der er en stor variation i de fedtkilder (fedt og olier), der anvendes til fodring af drøvtyggere. Således er kokos- og palmekerneolie rig på mellem-langkædede fedtsyrer som laurinsyre (C12:0, hvor 12 er antallet af kulstofatomer og 0 er antallet af dobbeltbindinger) og myristinsyre (C14:0). Palmeolie, der er meget anvendt som tilskudsfedt, er rig på palmitinsyre (C16:0) og oliesyre (C18:1). Fedtrige rapskager er også en betydelig fedtkilde, og rapsolie er rig på oliesyre (C18:1). Olien fra bomuld, soja og solsikkeprodukter er ligesom kornprodukter og helsædsensilage rig på linolsyre (C18:2). Olie fra hørfrøprodukter samt græsmarksprodukter er rig på linolensyre (C18:3).

Den nuværende mælkekvote med fedtregulering betyder imidlertid, at det er økonomisk fordelagtigt at minimere brugen af tilskudsfedt, idet øget brug af tilskudsfedt reducerer proteinprocenten i mælken, og dermed den økonomiske værdi af den mælk, der kan sælges under kvoten. Samtidig vil fedttilskud til malkekøer påvirke mælkens kvalitetsmæssige

egenskaber, herunder fedtsyresammensætning, hvilket skal tages i betragtning, hvis fedttilskud bruges som virkemiddel.

Tilsætningsstoffer

En række stoffer kan påvirke produktionen af metan, enten gennem påvirkning af sammensætningen af mikroberne i vommen eller ved forbrug af brint. Mange af de kemiske stoffer, som er afprøvet, vil ikke være acceptable til generel anvendelse i kvægbruget, og anvendelsen af de fleste af de biologiske metoder er endnu teknologisk umodne eller med de nuværende prisrelationer for omkostningstunge. Vi ser imidlertid et stort potentiale i at erstatte urea i foderet med nitrat, som både virker som N-kilde og som alternativ forbruger af brint i vommen. Udenlandske undersøgelser har således vist, at den dannede nitrit sandsynligvis ikke har en sundhedsskadelig effekt.

Opsummering af danske undersøgelser

I nedenstående tabel er der givet en opsummering af danske undersøgelser i perioden 2009-2011. Antallet af data for goldkøer, kvier og tyrekalve er særdeles begrænset, mens datasættet på lakterende malkekøer har et omfang som muliggør en overordnet vurdering af effekten af variation i fodring på metanproduktionen. Et simpelt gennemsnit på tværs af forsøg, hvor der ikke er taget hensyn til antal dyr i forsøg eller effekt af forsøg viser en gennemsnitlig udskillelse af metan som svarer til 6,4% af bruttoenergien for lakterende køer. Dette er højere end den nationale standardværdi på 5,93% af bruttoenergien, hvor der endvidere indgår bidrag fra goldkøer, som her viser et tab på op mod 10% af bruttoenergien som metan. Foderoptagelsen i datasættet er lidt lavere end hvad der kan forventes i praksis, og da metanproduktionen udtryk som % af bruttoenergien i foderet falder med stigende foderoptagelse kan dette delvist forklare det lidt højere tab sammenlignet med den nationale standardværdi. Datasættet viser imidlertid også at der er stor variation, idet udskillelsen for lakterende køer varierer fra 5,2 til 7,6% af bruttoenergien for køer fodret med henholdsvis majsensilage/fedttilskud og med meget melasse i rationen.

Tabel 1. Danske undersøgelser fra Institut for Husdyrvidenskab i perioden 2009-2011 (fortroligt, da ikke publicerede resultater indgår).

Dyrekategori	Forsøg	Behandling	Kg TS/dag	L/dag	CH ₄		
					L/kg TS	L/kg EKM	% BE
Malkekøer	1	Kontrol	19,2	569	29,6	20,4	6,3
	1	Rapskage	19,7	531	26,9	19,0	5,6
	1	Knuste rapsfrø	18,5	478	25,8	16,9	5,3
	1	Rapsolie	17,7	463	26,2	16,7	5,4
	2	Lav fordøjeligt græsens, - fedttilskud	17,1	544	31,9	28,2	7,0
	2	Lav fordøjeligt græsens, + fedttilskud	16,3	505	31,0	21,3	6,5
	2	Høj fordøjeligt græsens, - fedttilskud	18,6	538	28,9	21,0	6,4
	2	Høj fordøjeligt græsens, + fedttilskud	17,3	475	27,4	21,5	5,8
	2	Majsens, - fedttilskud	18,6	494	26,5	21,2	5,6
	2	Majsens, + fedttilskud	18,1	454	25,1	18,9	5,2
	3	Hvede	16,8	539	32,0	22,3	6,6
	3	NaOH hvede	18,4	607	33,0	29,7	6,8
	3	Melasse	18,5	665	35,9	34,2	7,6

	3	Melasse+bikarbonat	18,3	632	34,6	31,3	7,3
	4	Byg	19,3	586	30,4	23,6	6,5
	4	Kolbemajs	18,1	631	34,9	27,0	7,4
	4	NaOH hvede	19,3	615	31,9	23,9	6,8
	5	Majsens, - fedttilskud	20,5	655	32,0	20,8	6,7
	5	Majsens + fedttilskud	19,4	596	30,7	16,9	6,3
	5	Lav fordøjeligt græsens - fedttilskud	19,2	680	35,5	21,4	7,5
	6	80% grovfoder 1. slæt tidlig	19,7	761	38,6	32,9	8,1
	6	80% grovfoder 2. slæt sen	20,6	787	38,2	37,1	8,2
	6	80% grovfoder 4. slæt tidlig	20,1	741	36,9	29,8	7,8
	6	80% grovfoder 4. slæt sen	23,4	790	33,8	30,3	7,2
	6	50% grovfoder 1. slæt tidlig	20,7	560	27,1	18,4	5,7
	6	50% grovfoder 2. slæt sen	19,4	633	32,6	27,8	6,9
	6	50% grovfoder 4. slæt tidlig	21,8	656	30,1	24,9	6,2
	6	50% grovfoder 4. slæt sen	20,8	621	29,9	29,0	6,2
	<i>Min.</i>		<i>16,3</i>				<i>5</i>
				<i>454</i>	<i>25</i>	<i>17</i>	<i>2</i>
	<i>Max.</i>		<i>19,1</i>	<i>790</i>	<i>39</i>	<i>37</i>	<i>7,6</i>
	<i>Gns.</i>		<i>23,4</i>	<i>600</i>	<i>31</i>	<i>25</i>	<i>6,4</i>
Goldkøer	7	Græsensilage	7,3	313	43,1		9,2
	7	Lucerneensilage	9,0	416	46,4		10,0
	<i>Min.</i>		<i>7,3</i>	<i>313</i>	<i>43</i>		<i>9,2</i>
	<i>Max.</i>		<i>9,0</i>	<i>416</i>	<i>46</i>		<i>10,0</i>
	<i>Gns.</i>		<i>8,1</i>	<i>365</i>	<i>45</i>		<i>9,6</i>
Kvier	8	Kontrol	6,2	201	32,2		7,0
	8	Lav protein/høj fedt	5,7	172	30,2		6,5
	<i>Min.</i>		<i>5,7</i>	<i>172</i>	<i>30</i>		<i>6,5</i>
	<i>Max.</i>		<i>6,2</i>	<i>201</i>	<i>32</i>		<i>7,0</i>
	<i>Gns.</i>		<i>6,0</i>	<i>187</i>	<i>31</i>		<i>6,8</i>
Tyrekalve	9	Kontrol	7,2	101	14,1		3,1
	9	25 % TS fra crimpet majs	6,6	160	24,4		5,2
	9	50 % TS fra crimpet majs	5,4	134	24,7		5,1
	<i>Min.</i>		<i>5,4</i>	<i>101</i>	<i>14</i>		<i>3,1</i>
	<i>Max.</i>		<i>7,2</i>	<i>160</i>	<i>25</i>		<i>5,2</i>
	<i>Gns.</i>		<i>6,4</i>	<i>132</i>	<i>21</i>		<i>4,5</i>

Forsøg 1: 4x4 romerkvadratforsøg med 4 vom/tarmfistulerede malkekøer (i alt 16 obs). Kontrol versus 3 fysiske former af fedttilskud med rapsprodukter (Johannes et al., 2010, 2011a)

Forsøg 2: 4x6 romerkvadratforsøg med 4 vom/tarmfistulerede malkekøer (i alt 24 obs). Vekselvirkning mellem fedttildeling og grovfoder type og -kvalitet. Lavt fordøjeligt græsensilage, højt fordøjeligt græsensilage og majsensilage, alle uden/med tilskud af knuste rapsfrø. (Johannes et al., 2011b)

Forsøg 3: 4x4 romerkvadratforsøg med 4 vom/tarmfistulerede malkekøer (i alt 16 obs). Effekt af kulhydrattype og manipulering af vom pH. Behandlinger var tilsætning af hvede, NaOH hvede, melasse eller melasse + bikarbonat.

Forsøg 4: 3x3 romerkvadratforsøg med 3 vom/tarmfistulerede malkekøer (i alt 9 obs). Effekt af stivelseskilder. Byg, kolbemajs, NaOH hvede.

Forsøg 5: Fodringsforsøg, hvor metanproduktionen blev målt på 8 køer pr. behandling (i alt 24 obs). Lavt fordøjeligt græsensilage uden fedt og majsensilage med og uden tilskud af knuste rapsfrø.

Forsøg 6: Fodringsforsøg, hvor metanproduktionen blev målt på 3 køer pr. behandling (i alt 24 obs). Foderet med to niveauer af kraftfoder og kløvergræsensilage høstet på forskellige tidspunkter i løbet af vækstsæsonen.

Forsøg 7: Fodringsforsøg, hvor metanproduktionen blev målt på 2 goldkøer pr. behandling (i alt 4 obs). Foderet med ren lucerne- eller græsensilage.

Forsøg 8: Fodringsforsøg, hvor metanproduktionen blev målt på 8 kvier pr. behandling (i alt 16 obs). Vægt på 250-300 kg. Kontrollfoder svarende til fodring i praksis samt en blanding med mere fedt fra rapsfrø.

Forsøg 9: Fodringsforsøg, hvor metanproduktionen blev målt på 4 tyre pr. behandling (i alt 12 obs). Vægt 275-325 kg. Fodret med traditionelt kraftfoder eller TMR med to forskellige niveauer af crimpet majs.

Fremtidigt forskningsbehov:

Når man sammenholder med vidensniveauet for 3-4 år siden har der indenfor området været en betydelig forskningsindsats omkring kvantificering af metanproduktionen hos kvæg samt fodringens betydning. Selvom der er kommet mere fokus på køerne genetiske potentiale og effekten af det mikrobielle samfund i vommen er foderoptagelse og foderets kemiske sammensætning de to vigtigste parametre for metanproduktionen. Nye forskningsinitiativer er imidlertid afgørende for at opretholde beredskabet, og der er brug for bedre beskrivelse af:

- Sammenhængen mellem fodring og dyrets/mikrobernes genetik.
- Kædebetrægtninger som dækker fodring, mælkeproduktion, gødning og biogas.
- Effekten af foderets næringsstofsammensætning på metanproduktion.
- Metanproduktion under afgræsning.
- Alternative veje til forbrug af brint i vommen (reduktion af S og N).
- Metanproduktion fra opdræt.
- Modeller til forudsigelse af metanproduktionen.
- Langtidsvirkninger af fodringsstrategier.

Referencer:

Johannes, M.; Hellwing, A.L.F.; Lund, P.; Weisbjerg, M.R.; Hvelplund, T. (2010). Different physical forms of rapeseed as fat source to reduce enteric methane emission from dairy cows. Proceedings of the 4th Greenhouse Gasses and Animal Agriculture Conference. 128-129.

Johannes, M.; Hellwing, A.L.F.; Lund, P.; Weisbjerg, M.R.; Hvelplund, T. (2011a). The effect of different physical forms of rapeseed as fat supplement on rumen NDF digestion and methane emission in dairy cows. Advances in Animal Biosciences, 2, 516.

Johannes, M.; Hellwing, A.L.F.; Lund, P.; Weisbjerg, M.R.; Hvelplund, T. (2011b). Enteric methane production from dairy cows fed different silages with and without rapeseed supplementation. Journal of Dairy Science, 94, E-suppl. 1. 377-378.

Jørgensen, H. (2011). Methane emission from pigs. Report, Aarhus University, 28 pp.