

Forord

Denne rapport indeholder indlæg fra det syvende temamøde i serien af møder under det overordnede tema ”Malkekøernes Ernæring” ved Institut for Husdyrvidenskab, AU Foulum. Emnet for dette møde er fodringsstrategier, som kombinerer øget produktivitet med en reduceret påvirkning af miljøet fra kvægproduktionen. Rapporten indeholder resultater fra projekter vedrørende nye produktions- og fodringsstrategier til malkekøer og kvier, som både optimerer udnyttelsen af foderets næringsstoffer til mælkeproduktion og vækst, samtidigt med at der tages hensyn til det enkelte dyrs sundhed og reproduktion. I en tid med store udsving i priserne på foder og mælk er det afgørende for det økonomiske resultat, at foderniveauet og -rationen løbende tilpasses de økonomiske forudsætninger. Som grundlag herfor indeholder rapporten den nyeste viden om produktionsrespons og det optimale foderniveau i NorFor. Vitamin D har stor indflydelse på bl.a. risikoen for kælvningsproblemer og mælkefeber hos køer. Gennem de sidste 10 år har man ved Institut for Husdyrvidenskab forsket intenst i vitamin D-forsyning og fysiologi hos kvæg, og resultater af denne forskning præsenteres i rapporten. Rapporten indeholder også indlæg vedrørende de nye alternative fodermidler, der fremkommer som restproduktet fra bioenergiindustrien, muligheder for at øge proteinværdien af græsensilage samt anvendelse af foderadditiver, som forventes at have en positiv effekt på effektivitet.

Indholdsfortegnelse

Mælkeproduktion, effektivitet og miljøpåvirkning fra 1950 til 2010 og perspektiver frem mod 2040	7
Miljøvenlige fodringsstrategier – kvier	19
Miljøvenlige fodringsstrategier – malkekøer	26
Øget indhold af nitrat i foderet til malkekøer reducerer udledningen af metan betydeligt	34
Extended lactation strategies	48
I NorFor: Hvor meget mere mælk kan forventes, når foderniveauet øges?	58
Vitamin D fysiologi og forsyning hos malkekvæg	65
Bærme (DDGS) som proteinfoder til malkekøer	75
Råglycerol som energifoder til malkekøer	85
Virkning af propylenglykol på fedtmobilisering hos fede nykælvere.....	92
Proteinværdien i kløvergræsensilage øges ved højere tørstofprocent	102

Mælkeproduktion, effektivitet og miljøpåvirkning fra 1950 til 2010 og perspektiver frem mod 2040

Troels Kristensen og Martin Riis Weisbjerg, Aarhus Universitet, Foulum

Sammendrag

Perioden 1950 til 2010 var kendetegnet ved markante nye teknologier indenfor foderopbevaring, stalde og malkning. I den første del af perioden var udviklingen præget af den øgede adgang til hjælpestoffer (energi, handelsgødning, proteinfoder mv.). Fra 1980'erne blev der øget opmærksomhed på de negative konsekvenser i form af øget belastning af det omgivende miljø forårsaget af den intensive husdyrproduktion. Effektiviteten i besætningen til omsætning af foderets energiindhold (FE) til mælk og kød steg som udtryk for, at andelen af foder til vedligehold blev reduceret pga. af den markante årlige stigning i mælkeproduktionen pr. årsko. Kombineret med bedre udnyttelse af husdyrgødningen i planteproduktionen betyder det, at overskuddet af kvælstof og udledningen af klimagasser efter en stigning frem til 1980 blev reduceret markant fra 1980 til 2010. Fremskrivninger af produktionen til 2040 viser, at ændringer i dyrenes genetik, fodring og pasning markant kan øge produktionseffektiviteten yderligere samt reducere miljøbelastningen i et omfang, der er sammenligneligt med specifikke miljøteknologier.

Summary

Cattle production during the last century has changed dramatically with a steadily rising production per animal and increasing herd and farm sizes. The effect of these changes on total production, herd efficiency, surplus of nitrogen (N) at herd and farm levels and emission of greenhouse gasses (GHG) per kg product has been evaluated for the Danish dairy cattle sector based on historic information. During the period investigated, dairy production changed based on improved genetic potential, biological knowledge and not least management, leading to higher efficiency, less land use and emission per kg product, while surplus of N in relation to the area needed for feed production at the farm increased until 1980, while decreasing in the later period although stocking rate increased.

Introduktion

Mælkekøernes produktion og ernæring har altid påkaldt sig opmærksomhed. Ved de såkaldte rekordforsøg i 1950 blev det vist, at ydelsen kunne øges fra 4563 kg året før forsøget til 10.517 kg mælk pr. ko i forsøgsåret, ”når køerne blev passet og malket ekstra godt, og når fodringen blev gennemført efter alle kunstens regler” (Larsen og Eskedal, 1952).

Med en stigende udbredelse af ydelseskontrol – omkring 50 % af køerne var under regelmæssig ydelseskontrol i 1950 – og opbygning af normer for energi og proteintildelingen blev der i løbet af 1950'erne fokus på fodring af den enkelte ko i forhold til ydelse. Hertil kom en stigende erkendelse af betydningen af grovfoderets kvalitet som grundlag for såvel ydelse som køernes sundhed. ”Disse nye

forsøg tilsigtede at få yderligere undersøgt, i hvor stor udstrækning anvendelse af mere grovfoder og mindre kraftfoder kunne gennemføres uden at påvirke ydelsen i uheldig retning” (Nielsen, 1952).

”En fodring på en god græsmark med tilskud af roer i forsommeren, ensileret græs i juli, anvendelse af tidligt såede roer fra august og derudover lidt kraftfoder til køerne med over middelhøj dagsydelse kan give en stor og økonomisk mælkeproduktion både pr. ko og pr. ha grovfoder” (Hansen og Livoni, 1959).

Det forenklede fodringsprincip blev introduceret slutningen af 1970’erne, hvor en betydende del af foderet bliver givet til køerne efter ædelyst og kun med begrænset variation i tildeling af kraftfoder mellem de enkelte køer. En yderligere udvikling af det forenklede fodringsprincip var introduktionen i løbet af 1990’erne af fuldfoder (TMR). Det betød en markant rationalisering af fodringen, således at der ved samme arbejdsindsats kan passes flere dyr.

Det var også afgørende for udviklingen i bedriftsstrukturen, at kendskabet til og anvendelsen af ensilering af græs og andre grønne afgrøder blev udbredt i løbet af 1950’erne frem for konservering som høg. Ved overgang til ensilering er der en betydelig større kapacitet og sikkerhed for et ensartet foder af høj kvalitet.

Fastlæggelse af dyrenes behov for protein havde stor opmærksomhed i perioden under og umiddelbart efter 2. verdenskrig, men først i løbet af 1970’erne skete der betydelige forandringer. Her blev de første forsøg med fistulerede dyr udført. Det betød, at det blev muligt at fastlægge proteinnedbrydningen i vommen og betydningen af vommens mikrober for opbygningen af aminosyrer. På basis heraf blev AAT/PBV-systemet udviklet og introduceret i rådgivningen til optimering af dyrenes proteinforsyning baseret på beregning af mængden af aminosyrer og overskuddet af protein ved omsætning af foderet i vommen, hvilket fik afgørende betydning for optimering af dyrenes proteinforsyning i de næste årtier.

Stalde

En række fremsynede kvægbrugere stiftede i 1960 ”Løsdriftsforeningen”, som havde til formål at udbrede kendskabet til denne stalddtype. I 1980 var der løsdriftstalder på 3 % af kvægbedrifterne, og i de næste årtier blev der opført en del nye stalde med løsdrift samtidig med, at der skete løbende forbedringer i staldindretningen, og kvægbrugeren opnåede en større forståelse for kravene til den daglige styring, når køer er opstaldet i løsdrift frem for bindestalde. I 2010 var 79 % af kvægstaldene med løsdrift, og 92 % af køerne var opstaldet i denne stalddtype.

Malkning

I løbet af 1950’erne blev håndmalkning gradvist afløst af maskinmalkning med spande. Ved overgang til rørmalkningsanlæg, hvor mælken via rør i bindestalden blev transporteret direkte ud til malketanken, blev kapaciteten forøget, da en malker kunne betjene tre malkemaskiner. Med indførelsen af

løsdriftsstalde blev malkearbejdet ændret, men i starten var kapaciteten i malkestalden ikke væsentligt højere end ved rørmalkningsanlæg. Grundlæggende var malkearbejdet stadigvæk det samme, og arbejdet med malkning udgjorde op til halvdelen af det daglige arbejde med fodring og pasning. Med indførelse af de første automatiske malkeanlæg (malkerobotter) omkring årtusindeskiftet skete der en markant ændring i malkearbejdet. De automatisk malkeanlæg (AMS) har hurtigt vundet stor udbredelse, og i dag bliver omkring 25 % af køerne i Danmark malket i AMS.

Avlsarbejdet

Danmark var foregangsland for indførelse af inseminering, som steg hurtigt i udbredelse med udviklingen af metoder til nedfrysning af sæd i starten af 1950'erne. Det muliggjorde opbevaring og transport af sæd over lange afstande, herunder import af sæd fra udenlandske tyre. De bedste tyre kunne således via et stort antal afkom få et markant aftryk på udviklingen i besætningens genetiske potentiale. Med indførelsen af centrale beregninger af køernes og tyrenes avlsværdi, baseret på data fra ydelseskontrollen, skete der i starten af 1970'erne en ændring i udvælgelsen af avlsdyr, som resulterede i en betydelig stigning i det genetiske potentiale i de almindelige brugsbesætninger.

Perioden 1950-2010

Perioden 1950 til 2010 har således været kendetegnet ved markante teknologier udviklet i samarbejde mellem forskningen og landbruget og en hurtig overførsel af de mest perspektivrige opdagelser til den enkelte bedrift. Det har betydet mere end en fordobling af den årlige mælkeproduktion pr. ko og en udvikling i gennemførelsen af den daglige produktion fra enheder baseret på 8-10 årskøer som grundlag for en familiebedrift til typiske enheder i dag med 150 køer eller mere som grundlag for en mere virksomhedsorienteret produktion. I den første del af perioden var udviklingen præget af den øgede adgang til hjælpestoffer (energi, handelsgødning, proteinfoder mv.), som var kraftigt medvirkende til den beskrevne udvikling i produktivitet og struktur. Fra 1980'erne blev der øget opmærksomhed på de negative konsekvenser i form af øget belastning af det omgivende miljø forårsaget af den intensive husdyrproduktion.

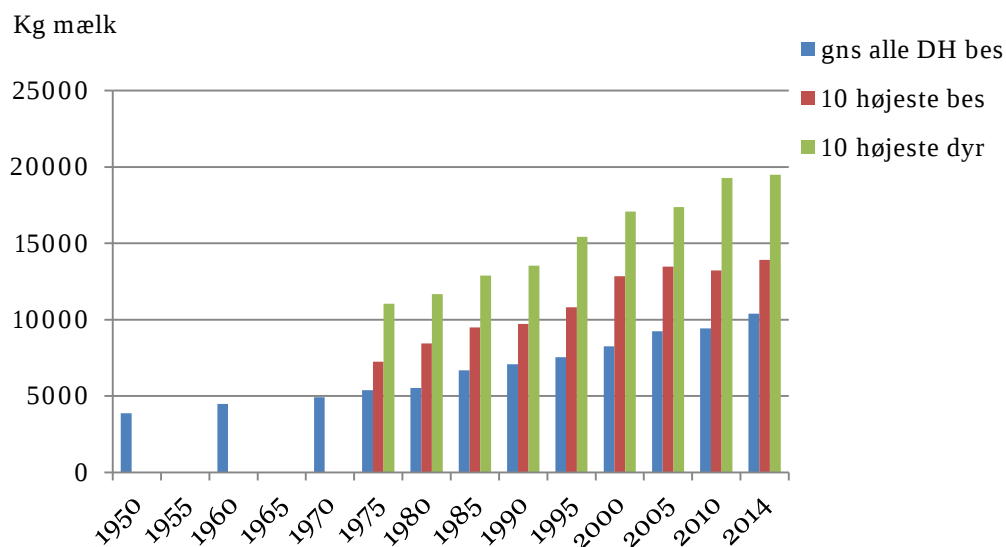
Mælkeproduktion 1950 til 2010

Mælkeproduktionen pr. årsko har med få års undtagelser været konstant stigende med mere end en fordobling af den årlige mælkeproduktion i de sidste 40 år. Årsagerne til udvikling i ydelse pr. årsko kan henføres til en ligelig kombination af avlsfremgang og den daglige fodring og pasning (Østergaard & Neimann-Sørensen, 1989). Her blev det også påvist, at den stigende ydelse nedsætter udnyttelsen af foderets energiindhold med deraf øget udskillelse af næringsstoffer med gødningen. Herudover øges frekvensen af en række produktionssygdomme som yverbetændelse, og reproduktionseffektiviteten nedsættes ved stigende genetisk baseret ydelsesfremgang.

Som en del af denne udvikling i produktionen af mælk og kød pr. årsko er der sket en ændring i, hvilken race der er mest udbredt. Indtil midt i 1950'erne var rød dansk malkerace (RDM) klart mest

udbredt med 70 % af køerne, mens 16 % var sortbroget dansk malkekvæg (SDM) og 8 % Jersey i 1954. En kombination af forskelle i avlsfremgang og en ændring i kvægbestandens fordeling på landsdele betød, at andelen af RDM faldt markant primært på bekostning af en stigende andel SDM – nu Dansk Holstein (DH) – som allerede i 1980 udgjorde 54 % af køerne mod 22 % RDM og 16 % Jersey. I 2010 er fordelingen 71 % DH, 13 % Jersey og kun 7 % er RDM.

I Figur 1 er vist udviklingen i ydelsen for DH – baseret på ydelseskontrolltal – opgjort som gennemsnit af DH-besætninger, bedste 10 DH-besætninger og bedste 10 DH-køer.



Figur 1. Udviklingen i mælkeydelsen siden 1950 som gennemsnit for Dansk Holstein-besætninger i Danmark, gennemsnit for de 10 højest ydende besætninger og for de 10 højest ydende køer.

De 10 højest ydende køer har givet det dobbelte af gennemsnitlig besætningsydelse, mens de 10 højest ydende besætninger har givet næsten 50 % mere end den gennemsnitlige besætningsydelse i perioden siden 1970. Der er ingen tegn på, at disse relationer er ændret siden 1970, og der er ingen tegn på, at ydelsesstigning som gennemsnit af de kontrollerede DH-besætninger er aftagende. Tværtimod er der siden 1980 en årlig stigning på 129 kg mælk, mens den gennemsnitlige for hele perioden kan beregnes til 94 kg. På baggrund af en lineær fremskrivning af årsydelserne i Figur 1 kan det således estimeres, at den gennemsnitlige besætningsydelse i 2040 vil være 11.900 kg mælk, baseret på en årlig stigning på 94 kg mælk eller 13.400 kg mælk, såfremt estimatet baseres på udviklingen siden 1980.

Kvægbedriften

Kristensen et al. (2014) har belyst konsekvenser af ovenstående udvikling på produktivitet og den afledte potentielle belastning af miljøet ved at opstille typebedrifter repræsenterende udviklingen fra 1950 til 2010. Således 1950, hvor der var en begyndende brug af handelsgødning og indførsel af mekanisering; 1980, hvor produktionen var i fokus og endnu uden større hensyntagen til de i de efterfølgende årtiers erkendte negative påvirkninger af det omgivende miljø samt 2010, som

repræsenterer nutiden og en produktion under indflydelse af de miljømæssige tiltag, som er kommet siden iværksættelsen af den første vandmiljøplan i 1987. De efterfølgende resultater fra 1950 til 2010 er baseret på Kristensen et al. (2014) og Kristensen et al. (2015) med supplerende oplysninger, primært i relation til koens ernæring.

Tabel 1. Malkekoens produktion, foderoptag og omsætning pr. årsko samt foderværdien af de enkelte fodermidler i perioden 1950 til 2010.

År	1950			1980			2010		
	Pr. kg ts			Pr. kg ts			Pr. kg ts		
	FE	Prot%		FE	Prot%		FE	Prot%	
Produktion									
Mælk, kg EKM	3435			5058			8994		
Tilvækst, kg	44			40			40		
FE pr. årskdyr									
korn	400	1,11	12	325	1,18	13	500	1,18	11
kraftfoder mv.	250	1,26	44	1200	1,18	36	1650	1,18	32
græs, afgræsning	1100	0,83	16	550	0,87	21	300	0,87	18
græs, hø	250	0,58	14	0			0		
græs, ensilage	0			950	0,76	17	1950	0,89	15
roer incl top	1100	0,87	10	1000	0,91	9	50	0,91	8
majsensilage	0			50	0,75	9	2000	0,88	8
helsædsensilage	0			175	0,72	10	300	0,74	11
halm	125	0,29	4	75	0,38	7	10	0,30	4
I alt	3225	0,81	13,5	4325	0,91	18,7	6760	0,94	15,8
Effektivitet									
Energi, kg EKM pr. FE	1,07			1,17			1,33		
Protein, % N i mælk og kød	21			19			26		

Som der fremgår af Tabel 1, steg foderniveauet fra 3.225 FE pr. årsko i 1950 til 6.760 FE i 2010. Dette sammen med ydelsesstigningen betyder, at effektiviteten er steget fra 1,07 kg EKM pr. optaget FE i 1950 til 1,33 i 2010. I samme periode er udnyttelsen af foderets kvælstof øget fra 21 til 26 %, og her kan det bemærkes, at den laveste effektivitet var i 1980, hvor kun 19 % af foderets kvælstof blev udnyttet til mælke- og kødproduktion. Foderrationens indhold af protein var i 1980 på 18,7 % af tørstoffet mod 15,8 % i 2010 og kun 13,5 % i 1950.

Energikoncentrationen og indholdet af protein i de enkelte fodermidler påvirkes af gødningstilførslen til afgrøden og for specielt græs desuden af tidspunktet for høst. Effekten af tidspunkt for høst ses tydeligt ved at sammenligne hø, græsensilage og afgræsning, hvor der er betydeligt større forskel i

fordøjeligheden mellem årene for det konserverede foder end for det afgræssede. Proteinindholdet er højere for det dansk producerede foder i 1980 end i både 1950 og 2010. Det høje proteinindhold og energikoncentration i halm i 1980 skyldes, at det er NH₃-behandlet halm.

Andelen af korn og kraftfoder af energioptaget ændres fra 20 % i 1950 til 35 % i 1980, hvorefter det er faldet lidt til 32 % i 2010. S sammensætningen af grovfoderet har ændret sig fra afgræsning og roer i 1950 til majs- og græsensilage i 2010 samtidig med, at fordøjeligheden af grovfoderet er forbedret. Det betyder, at energikoncentrationen i rationen er steget fra 0,81 FE pr. kg tørstof i 1950 til 0,94 i 2010, hvorfor den daglige tørstofoptagelse er steget fra 10,9 kg i 1950 til 19,7 kg i 2010. Udtrykt i forhold til køernes vægt er optagelsen af tørstof steget fra 2,25 kg tørstof pr. 100 kg til 3,37 kg tørstof pr. 100 kg.

For en vurdering af den samlede udvikling i kvægproduktionen er det nødvendigt at inddrage ungdyr og foderproduktionen. I Tabel 2 er vist omsætning for en gennemsnitlig kvægbedrift i de tre år. Arealet, der er angivet, er inkl. areal på andre bedrifter i Danmark svarende til, at bedriften er selvforsynende med korn og grovfoder, mens kraftfoder antages importeret. Det angivne areal er derfor højere end det, der rent faktisk er til en malkekvægbedrift i 2010, mens bedriften i de to andre år typisk var mere alsidig med produktion af svin og mælk, hvorfor den faktiske bedrift i disse to år vil være noget anderledes end type malkekvægsbedrift. I alle tre år er produktionen af tyre medregnet til malkekvægsbedriften, således at typebedrifterne udtrykker den samlede konsekvens af det angivne antal køer på foderforbrug, mælke- og kødproduktion.

Sammensætning af besætningen og ændringen i mælkeydelsen er den primære årsag til, at energieffektiviteten stiger fra 49 % i 1950 til 57 % i 2010, mens ændringerne i proteineffektivitet desuden er påvirket af indholdet af protein i foderrationen. Samlet kan effektiviteten udtrykkes ved mælkeproduktionen i forhold til det areal, der medgår til foderproduktion. Som det ses, blev der produceret næsten 6 ton mælk pr. ha i 2010 mod kun 3 ton i 1950. Ud over de viste ændringer i foderrationen og fodereffektiviteten medvirker en stigning i afgrødeudbytterne til, at der kan produceres mere mælk pr. ha. I gennemsnit af arealet med foderafgrøder til kvægbedriften i Danmark er der regnet med et udbytte på 3841, 5067 og 5761 FE pr. ha i henholdsvis 1950, 1980 og 2010 som en konsekvens dels af stigende udbytter i den enkelte afgrøde, dels en ændring i afgrødesammensætningen.

Tabel 2. Kvægbedriften i Danmark 1950, 1980 og 2010 med tilhørende foderareal.

År	1950	1980	2010
Besætning, antal (kg)			
Køer	8 (470)	20 (520)	134 (585)
Opdræt	6 (239)	22 (263)	126 (286)
Slagtekalve – tyre	2 (134)	12 (220)	55 (233)
Areal, ha i Danmark			
Korn	1,7	6,2	26,8
Grovfoder	6,3	13,2	136,7
Produktion			
Mælk, kg EKM pr. ko	3435	5058	8994
Tilvækst, kg pr. MPE ¹⁾	200	457	422
Foderoptag, FE pr. MPE	4481	7191	9237
- , kg tørstof pr. MPE	5522	8101	9983
Protein, kg protein pr. MPE	757	1456	1569
Energi koncentration, FE pr. kg ts	0,81	0,89	0,93
Protein, % af tørstof	13,7	18,0	15,7
Efficiency			
Energi ²⁾ , %	49	54	57
Protein ³⁾ , %	19	16	23
Mælk, kg EKM pr. ha i DK	3435	5109	7372
Mælk, kg EKM pr. ha total	3095	3692	5956
Miljø – bedriften, kg N pr. ha			
N overskud	65	226	148
NH ₃ -N emission	16	41	24
Punkt tab	6	9	0
Miljø – klima gasser ab gård (LCA)			
Kg CO ₂ eq. pr. MPE	5088	9830	10761
- Metan	3144	4442	5610
- Lattergas	1073	2555	2257
- Fossil energi	62	900	1259
Kg CO ₂ eq. pr. kg EKM, incl kød	1,38	1,94	1,20
Kg CO ₂ eq. pr. kg EKM	0,92	1,02	0,81
Kg CO ₂ eq. pr. kg kød	18,0	20,4	16,3

1) MPE: Malkeko med tilhørende opdræt og tyre.

2) Energiforbrug til mælk og kød i procent af samlet optag af FE.

3) Protein i produceret mælk og kød i procent af protein ptaget.

Bedriftens overskud af kvælstof udtrykker den potentielle belastning af miljøet med N-tab. De to primære kilder er luftformige NH₃-tab og udvaskning af N til vandmiljøet. N-overskuddet er væsentligt højere i 1980 end de to øvrige år. I 1950 skyldes det lavere overskud primært en lavere belægning, da overskuddet pr. kg mælk er 18,9 kg N pr. 1000 kg EKM i forhold til 44 kg N i 1980, mens det i 2010 var på tilsvarende niveau som i 1950, 20,0 kg N pr. 1000 kg mælk, men ved en væsentligt højere mælkeproduktion pr. ha. Tabet af NH₃ er estimeret ud fra gødningsmængde, stalddtype og udbringningsteknik. Som det ses, er der sket en forøgelse af NH₃-tabet pr. ha fra 16 kg i 1950 til 41 kg i 1980, men herefter er der et markant lavere tab på 24 kg pr. ha i 2010. Tabet i 2010 er således på 3,26 g pr. kg EKM mod 8,03 g i 1980.

I Tabel 2 er vist den beregnede udledning af drivhusgasser i CO₂-ækvivalenter (CO₂ eq.), der er et udtryk for emissionernes virkning på den globale opvarmning. De betydende poster er metan (CH₄) fra dyrenes omsætning af foder, lattergas (N₂O), som typisk stammer fra omsætning af kvælstof i marken, og CO₂ fra forbrug af fossilenergi. Hertil kommer emission fra produktion og transport af importeret foder og handelsgødning. Resultaterne er således et udtryk for den samlede klimabelastning fra produktionen i kæden frem til, mælk og kød afhentes på bedriften. Typisk udgør denne del af kæden 85-90 % af den samlede udledning fra nutidens mælkeproduktion, mens andelen sandsynligvis har været lidt højere tilbage i tiden, da der var mindre forbrug af energi til transport og forædling. Som for kvælstof ses en stigende udledning pr. dyr (MPE), mens udledningen i forhold til produktion er lavest i 2010, når emissionen udelukkende henføres til produktionen af mælk (EKM).

Metan fra dyrenes fordøjelse og omsætning i gødningslagrene udgør i alle år den største enkelt kilde til emission, men den udgør en faldende andel fra 67 % i 1920 til 45 % i 1980 stigende til 52 % i 2010. Den faldende andel frem mod 1980 skyldes en høj udledning af lattergas forårsaget af det store forbrug af kvælstof til planteproduktionen. Emissionen af metan fra gødningen tredobles fra 1980 til 2010, hvilket skyldes overgang fra fast gødning til gylle samt mindre andel af gødning afsat under afgræsning.

Afslutning 1950-2010

Kvægbruget har ændret sig markant i den betragtede periode med stigende produktion pr. enhed og øget effektivitet som en konsekvens af langt større indsigt i de biologiske processer og bedre muligheder for i den daglige driftsledelse at udnytte denne viden. Herudover påvirkes resultaterne af de ændringer, der er sket i bedriften og besætningens struktur.

Effektiviteten i besætningen til omsætning af foderets energiindhold (FE) til mælk og kød er generelt stigende som udtryk for, at andelen af foder til vedligehold er faldende pga. af den markante stigning i mælkeproduktionen pr. årsko og en bedre udnyttelse af det genetiske potentiale kombineret med optimering af fodringen i forhold til dyrenes behov.

Kvælstofeffektiviteten i besætningen falder fra 19 % i 1950 til 16 % i 1980 for så at stige til det højeste niveau (23 %) i 2010. Den markante ændring fra 1980 til 2010 skyldes en væsentligt lavere koncentration af kvælstof i foderet, uden negativ påvirkning af produktion, og dermed en markant forbedring af udnyttelsen. På bedriftsniveau har reduktionen i mængden af husdyrgødning kombineret med bedre udnyttelse heraf i planteproduktionen nedsat overskuddet af kvælstof fra 228 kg pr. ha i 1980 til 147 kg i 2010. Desuden er udledningen af drivhusgasser reduceret med 37 % i den tilsvarende periode.

Kvægproduktion 2040

Med frigivelsen af mælkekvoten er der åbnet for forøgelse af mælkeproduktionen i Danmark. Landbrug og Fødevarer (2013) har opstillet vækstscenarier, som antyder en markant udvidelse af produktionen til over 7000 mio. kg årligt i forhold til omkring 5000 mio. kg i de seneste årtier. Samtidig har Danmark en række forpligtigelser omkring reduktion i belastningen af miljøet med kvælstof (vand og luft), reduktion i forbrug af fossil energi og reduktion i udledningen af drivhusgasser. Alle områder, hvor bidraget fra mælkeproduktionen har en national betydning. For at belyse nogle af disse sammenhænge er der lavet en fremskrivning af mælkeproduktionen og den afledte miljøbelastning ud fra samme principper som anvendt i de historiske beregninger.

Scenarier

Der er beregnet 5 scenarier med udgangspunkt i henholdsvis A) uændret antal malkekøer og B) uændret mælkeproduktion i Danmark kombineret med en forsigtig fremskrivning af ydelsen til 12500 kg EKM (A1-B2), svarende til en årlig stigning på 117 kg EKM, eller en optimistisk fremskrivning til 14500 kg EKM (B3), svarende til en stigning på 183 kg EKM årligt. Den optimistiske fremskrivning kan begrundes i andre selektionsmetoder i avlsarbejdet baseret på genomisk selektion, forbedringer i staldene, bl.a. ved implementering af krav om hold af husdyr, og nye teknologier til daglig styring og tildeling af foder. Det kan bemærkes, at en årsydelse på 14500 kg mælk er på niveau med det, der blev opnået i de 10 højest ydende DH-besætninger i 2005 og de 10 højest ydende køer allerede i 1990 (Figur 1). Herudover er der også antaget en stigning i afgrødeproduktionen på 20 % i A2 og B2 og B3.

Besætningen

I scenarier A1-B2 er foderration til køerne justeret med +15 % grovfoder og herefter korn og tilskudsfoder til i alt 8500 FE svarende til uændret fodereffektivitet (83 %) og N i ts uændret på 15,7 % råprotein i forhold til 2010. Ved opdræt af tyre er den daglige tilvækst forøget 10 %, men uændret årsration medfører 8 % bedre foderudnyttelse. Samtidig er antal kælvninger reduceret til 0,9 pr. årsko, hvilket betyder, at tilvæksten pr. MPE falder fra 422 til 411 kg. De samme forudsætninger gælder for scenarie B3, dog antages en bedre fodereffektivitet (86 %), og foderrationen er tilpasset med 200 FE korn, 200FE proteinfoder og 200 FE majs til i alt 9100 FE. Samlet betyder det, at N-effektiviteten på besætningsniveau øges fra 23,0 i 2010 til 28,5 % i a1-b2 og til 28,8 % i b3, hvor N-udnyttelsen hos

køerne er på 32 %. Effektiviteten hos køerne, udtrykt i kg EKM pr. optaget kg tørstof, stiger fra 1,25 kg EKM i 2010 til 1,41 kg EKM 2040 ved a1-b2 og yderligere til 1,54 kg EKM pr. kg tørstof i b3. Metan er beregnet ud fra bruttoenergi, 19,0 MJ pr. kg ts i 2010 og 19,1 i 2040-foderrationer med en emission på 6 % af bruttoenergien.

Mark

Effekten af øget effektivitet i marken (A2, B2-B3) er simuleret ved et øget udbytte i alle afgrøder (FE pr. ha) på 20 %, ved uændret N-behov og antaget samme kvalitet (energikoncentration og råprotein i tørstof). Udbytteændringen er også antaget på det importerede foder, og det er ligeledes antaget, at emissionen af CO₂ er reduceret 20 % på det importerede foder. For foder produceret i Danmark beregnes emissionen ud fra forbrug af gødning mv.

Resultater

I Tabel 3 ses det, at uændret mælkeproduktion på 5109 mio. kg mælk kun kræver 409000 køer i 2040, mens der ved uændret koantal kan produceres 7102 mio. kg mælk ved den forsigtige fremskrivning af køernes ydelse og 8269 mio. kg ved den mere optimistiske fremskrivning. Det totale ressource- og arealforbrug og miljøbelastning påvirkes markant af de forskellige scenarier. N-overskuddet varierer fra 62 til 113 mio. kg N og udledningen af klimagasser fra 4,9 til 7,2 Gkg årligt. I forhold til produktionen på den enkelte bedrift er der mindre udsving i N-belastningen pr. ha, hvilket primært skyldes, at der er regnet med samme N-reguleringssystem i hele perioden baseret på normer og udnyttelseskrav fra 2010, mens der er nogen variation i N-overskud og udledningen af NH₃ pr. kg mælk, som skyldes forskelle i rationens N-indhold og køernes ydelsesniveau. Ved kombination af udbyttestigning og ydelse reduceres NH₃ således fra 3,3 til 2,2 g NH₃ pr. kg mælk. For klimagasserne ses tilsvarende en stigning totalt, men en markant reduktion pr. kg produkt med en reduktion på op til 27 % i forhold til 2010.

De viste effekter i Tabel 3 kan sammenholdes med, at Olesen et al. (2013) opgjorde summen af en række tiltag indenfor landbruget til potentielt at reducere udledningen med 2 Gkg CO₂, og umiddelbart kan ca. 0,6 Gkg heraf henføres til kvæg. Det kan sammenholdes med, at der ved uændret mælkeproduktion fås en reduktion på 1,0 Gkg CO₂, og at der ved scenarie B2 – forsigtig ydelsesstigning og øget afgrødeudbytte – er en stigning på 0,6 Gkg CO₂ eq årligt. Ændringer i dyrenes genetik, fodring og pasning kan således markant påvirke produktionseffektiviteten samt reducere miljøbelastningen, også i forhold til specifikke miljøteknologier.

Tabel 3. Mælkeproduktion i 2040 i Danmark ved forskellige udviklingsscenarier vist i forhold til 2010.

År		2010	-----2040-----				
Produktion - Danmark			Uændret mælk		Uændret antal køer		
Produktion, kg EKM pr. ko		9000	12500		12500	14500	
Produktion – mark, % af 2010		100	100	120	100	120	120
Scenarie		nu	A1	A2	B1	B2	B3
Antal årsdyr							
Malkekøer	1000 stk.	568	409	409	568	568	568
Opdræt	1000 stk.	534	347	347	483	483	483
Slagtekalve	1000 stk.	233	148	148	204	204	204
Produktion							
Mælk	Mio. kg EKM	5109	5109	5109	7102	7102	8269
Kød	Mio. kg	120	84	84	117	117	117
Areal og ressourceforbrug							
Foder, total	Mio. FE	5315	4424	4424	6149	6149	6490
Areal – Danmark	1000 ha	689	586	489	815	679	711
Import	1000 ha	166	136	109	188	151	163
Handelsgødning	Mio. kg N	51	45	28	62	40	42
Foder import	Mio. kg N	55	45	45	63	63	68
Miljø – total							
N-overskud (gården)	Mio. kg N	102	82	62	113	86	87
- heraf NH ₃	Mio. kg NH ₃	17	13	13	18	18	18
Klimagasser	Gkg CO ₂ eq.	6,1	5,1	4,9	7,2	6,7	7,2
Miljø – pr. enhed							
N-overskud (gården)	Kg N pr. ha	148	139	126	139	126	122
	g N pr. EKM	20	16	12	16	12	11
NH ₃ -emission	g NH ₃ pr. EKM	3,3	2,6	2,5	2,6	2,5	2,2
Klimagasser, CO ₂ eq.	pr. kg EKM	1,20	1,01	0,95	1,01	0,95	0,87
- fordelt på	pr. kg EKM	0,81	0,76	0,71	0,76	0,71	0,68
produkter	pr. kg kød	16,30	15,15	14,29	15,15	14,29	13,57

Der er to markante effekter, som skal inddrages i vurderingen af scenariernes nationale effekt, kødproduktionen og arealforbruget. Med uændret koantal forventes der ingen reduktion i produktionen af oksekød, mens det falder med 30 % ved uændret mælkeproduktion. Såfremt denne mængde skal erstattes af andet dansk oksekød, vil det betyde, at de viste reduktioner i miljøbelastninger bliver markant mindre. Med uændret afgrødeproduktion (B1) vil arealbehovet til foder stige med 18 %, mens det kun stiger 3 % i B3 som et resultat af stigende afgrødeproduktion og

bedre fodereffektivitet. Modsat vil en uændret mælkeproduktion kombineret med stigende afgrødeudbytte frigøre 200000 ha, som potentielt kan bruges til bioenergi og andre afgrøder, som yderligere reducerer miljøbelastningen.

Litteratur

Hansen, H.E. & Livoni, P. 1959. Hovedresultaterne af arbejdet med demonstration af kvægbrug 1953-1958. 315. Beretning fra forsøgslaboratoriet. Statens Husdyrbrugsudvalg. 54 pp.

Kristensen, T, Aaes, O, Weisbjerg, M.R. 2014. Dansk kvægbrug 1900-2010 - med fokus på produktivitet og afledte miljøeffekter. Kvæginfo 2391. <https://www.landbrugsinfo.dk/Kvaeg/Miljoe/Sider/2391-Dansk-kvaegbrug-1900-2010-med-fokus-paa-produktivitet.aspx>.

Kristensen, T., Aaes, O., Weisbjerg, M.R. 2015. Production and environmental impact of dairy cattle production in Denmark 1900-2010. Submitted Livest. Sci.

Larsen, L.H. & Eskedahl, H.W. 1952. Fodring af køer med høj mælkeydelse. 260. Beretning fra forsøgslaboratoriet. Statens Husdyrbrugsudvalg. 100 pp.

Landbrug og Fødevarer, 2013. Vækstscenarier for dansk landbrugsproduktion. Økonomisk analyse Axelborg oktober 2013.

Nielsen, J. 1952. Forsøg med store grovfodermængder til malkekøer. 262. Beretning fra forsøgslaboratoriet. Statens Husdyrbrugsudvalg. 95 pp.

Olesen, J.E. et al. 2013. Effekter af tiltag til reduktion af landbrugets udledninger af drivhusgasser. DCA Rapport nr. 27, august 2013. <https://pure.au.dk/portal/files/56312668/dcarapportnr27.pdf>.

Østergaard, V. & Neimann-Sørensen, A. 1989. Grundlag for valg af avlsmål og tilhørende produktionssystem i mælkeproduktionen. 660. Beretning Statens Husdyrbrugsforsøg.

Miljøvenlige fodringsstrategier – kvier

Martin Tang Sørensen, Anne Louise F. Hellwing, Pia Sørensen, Peter Lund, Martin Riis Weisbjerg og Mogens Vestergaard, Aarhus Universitet, Foulum

Sammendrag

Ved AU, Foulum har vi gennemført et forsøg med to niveauer af protein og to niveauer af fedt i foderet til kvier i aldersintervallet 6-13 måneder. Såvel protein- som fedtniveauet er ændret samtidig i rationen. Formålet var at undersøge, dels om kvierne ved en sådan fodringspraksis kan bibeholde deres ydelsespotentiale, dels at undersøge, om forbruget af foderprotein kan sænkes, og om tilsætning af fedt til foderet kan reducere emissionen af metan. Den forskellige fodring i forsøgsperioden fra ca. 6 til 13-månedersalderen gav en lavere tilvækst for kvierne på lavt proteinniveau, men påvirkede ikke den senere mælkeydelse. Dette resultat tyder på, at både proteinforsyningen og kviernes tilvækst kan være relativt lav i denne periode, uden at det påvirker den senere mælkeydelse. Vi anser det dog for sandsynligt, at dette resultat er afhængig af, at kvierne i den efterfølgende periode fra 13 måneder og op til kælvning havde mulighed for at nå en normal vægt ved kælvning. Resultaterne tyder på, at metanemissionen fra kvieopdræt kan reduceres med tilskud af fedt. Ligeledes viser vores resultater, at proteinniveauet i foderet til kvier kan være relativt lavt – i hvert fald i perioder – uden at det går ud over den senere mælkeydelse, og at det samlede forbrug af protein kan reduceres.

Summary

At AU, Foulum, an experiment with two levels of protein and two levels of fat in the diet for heifers aged 6-13 months was conducted. In one diet both dietary protein and dietary fat were relatively low (Miljø), and in the other diet, protein and fat were both relatively high (Praksis). It was the aim partly to study whether the heifers can maintain their potential for milk production and partly to study whether consumption of dietary protein can be reduced and whether addition of dietary fat can reduce the emission of methane. The Miljø diet resulted in a lower growth rate during the experimental period, but during the period from termination of the experiment until calving, this was compensated so that weight at calving was alike for the two treatment groups. Subsequent milk yields in first and second lactations were not affected. Methane emission measured as a fraction of diet gross energy was slightly lower (6 %) for the Miljø compared to the Praksis diet. It was estimated that the heifers on the Miljø diet used 27 kg less crude protein in the period from start of the experiment until calving compared to Praksis.

Baggrund og formål

”Kvierne er fremtidens malkekøer, og dermed en vigtig ressource på den enkelte bedrift. Den omhu, man investerer i pasningen af kvierne, er med til at sikre et godt fundament for bedriftens produktion fremover. Gode kælvkvier har potentialet til at klare overgangen til laktation uden problemer og bliver til sunde og holdbare køer med stort ydelsespotentiale. Det kræver blandt andet, at kvierne har

en passende tilvækst gennem opdrætningsperioden”. Dette er citeret fra forordet til Rapport 107 ”Vurdering af kviers vækst” fra 2003.

Pasning og fodring af kvier så de bliver til sunde og holdbare køer med stort ydelsespotentiale er fortsat et emne, der bør ofres opmærksomhed. Samtidig er der af miljø- og klimamæssige årsager et ønske om at reducere proteintildelingen, da overskudsprotein vil ende i urinen som urea og øge ammoniakfordampning. Der er ligeledes et ønske om, at kvægbruget reducerer klimabelastningen ved bl.a. at mindske metanemissionen, hvilket kan ved tilsætning af fedt til rationen.

Ved AU, Foulum har vi således gennemført et forsøg med to niveauer af protein og to niveauer af fedt i foderet til kvier i aldersintervallet ca. 6-13 måneder. Såvel protein- som fedtniveauet er ændret samtidig i rationen. Formålet var at undersøge, dels om kvierne ved en sådan fodringspraksis kan bibeholde deres ydelsespotentiale, dels at undersøge, i hvilket omfang der spares protein ved et lavere foderproteinniveau, og i hvilket omfang emissionen af metan reduceres ved tilsætning af fedt til foderet.

I forsøget indgik både SDM-DH og jersey. Dette bilag er mest baseret på resultater fra SDM-DH, men de generelle konklusioner er også gældende for Jersey.

Fodring af kvier

Det er praksis på DKC-Burrehøjvej at vænne kalvene fra mælketildelingen på 6,4 liter ved en alder af 2 måneder. Kalvene tilbydes kalveblanding plus hø efter ædelyst fra fødsel, og fra 3-4 ugers alderen tilbydes de endvidere en kolaktationsblanding efter ædelyst. Ved ca. 6-ugersalderen skiftes kalveblanding ud med køernes robotkraftfoderblanding. Ved ca. 4-månedersalderen ophører tildeling af kraftfoder. Ved ca. 6-månedersalderen skifter de fra laktationsblanding plus hø til en blanding, som ligner Praksis-blandingen beskrevet nedenfor. Denne blanding tilbydes efter ædelyst indtil ca. 5 uger før forventet kælvning. Fra dette tidspunkt får kvierne goldkofoder efter ædelyst suppleret med 1 kg kraftfoder i robot (AMS-træning). De sidste 3 uger før forventet kælvning får de udelukkende goldkofoder efter ædelyst.

Foderblanding i forsøgsperioden fra ca. 6 til 13 måneders alderen

Kvierne fik en af to blandinger igennem hele forsøgsperioden, dvs. *Praksis* eller *Miljø*. *Praksis* er baseret på en typisk kvieblanding anvendt på DKC-Burrehøjvej og sigter på at forsyne kvierne på det lave aldersniveau med protein ifølge normen. Det betyder selvsagt, at *Praksis*-kvier på de højere aldersniveauer overforsynes. *Miljø*-blandingen tager udgangspunkt i *Praksis*-blandingen, men med ca. 20 % lavere råprotein. Selvom proteinniveauet i *Miljø*-blandingen lever op til den gennemsnitlige proteinnorm i aldersintervallet fra 6 til 13 måneder, så er denne blanding under proteinnormen i det lave aldersinterval. *Miljø*-blandingen er ydermere tilsat fedt med henblik på at reducere emissionen af metan.

Tabel 1. Sammensætning af Praksis- og Miljø-foderblandingerne. Foderemnerne er i kg foder (kg tørstof i parentes). Blandingerne er formuleret i Norfor som en daglig ration til en SDM-DH kvie på 250 kg levende vægt med en daglig tilvækst på 800 g.

	Praksis	Miljø
Foderemne		
Rapsfrø 00, kg		0,5
Rapskage 4 % fedt, kg	0,9	0,3
Majsensilage, kg	7,6 (2,4)	4,9 (1,5)
Græsensilage, kg	6,6 (1,9)	7,5 (2,2)
Byghalm, kg	1,7 (1,4)	2,2 (1,9)
Vitaminer + mineraler, g	80	80
Indhold		
Råprotein, g/FE	176	144
Råprotein, g/kg TS	128	105
Råfedt, g/kg TS	32	60
Fylde, FV/kg TS	0,446	0,458
Netto energi, MJ/kg TS	5,18	5,38

Dyr og registreringer

Der indgik 86 SDM-DH og 34 Jersey kvier født i perioden fra maj 2010 til juni 2011. Foderoptagelse blev registreret dagligt i forsøgsperioden, dvs. i aldersintervallet 5,3 for SDM-DH og 6,3 for Jersey til 13 måneder. Dyrene blev vejlet ved fødsel og ca. hver anden uge i denne periode. Desuden indgår der en vægt efter 1. kælvning i datasættet. Metanemissionen blev målt over 4 dage på 6 af SDM-DH-kvierne på hver behandling ved en alder af knap 10 måneder og en vægt på ca. 300 kg. I alt 53 SDM-DH og 29 Jersey har gennemført 250 dage i 1. laktation, og 43 SDM-DH og 23 Jersey har gennemført 100 dage i 2. laktation.

Resultater og diskussion

Der er følgende resultater: Tilvækst i 3 perioder, dvs. (1) fra fødsel til forsøgets start ved ca. 6-månedersalderen, (2) fra 6- til 13-månedersalderen og (3) fra 13 måneder til umiddelbart efter kælvning. Mælkeydelsesdata fra 1. og 2. laktation. Metanemission. Der er ingen forskel i udsætterprocent mellem de to forsøgshold, hverken indtil 1. kælvning eller indtil 2. kælvning.

Tilvækst fra fødsel til ca. 6-månedersalderen

Den daglige tilvækst var ens og høj (næsten 1100 g for SDM-DH) i perioden før indsættelse i forsøg. Der er ingen separat tilvækst for perioden indtil fravænning og fra fravænning til indsættelse i forsøg, men typisk vokser SDM-DH kalve på DKC-Burrehøjvej ca. 750 g/dag fra fødsel til fravænning. Det betyder, at tilvæksten fra fravænning ved 2 måneder til indsættelse i forsøg ved 5,3 mdr. (for SDM-

DH) har været ca. 1200 g/dag. Vi ved, at råmælksforsyningen er meget vigtig og har langtidskonsekvenser for kvienes ydelse, og at en høj tilvækst før fravænning generelt medfører en højere mælkeydelse. Så en god råmælksforsyning og en høj tilvækst før fravænning er positiv for kviernes mælkeydelsespotentiale. Med nutidens genetiske potentiale tyder data i litteraturen på, at en gennemsnitlig daglig tilvækst for SDM-DH-kvier på omkring 850 g i aldersintervallet fra fravænning til kønsmodenhed giver det bedste resultat. Hvis denne tilvækst i perioder er væsentligt over dette niveau, vil det sandsynligvis gå ud over den senere mælkeydelse. Det kan derfor ikke afvises, at en daglig tilvækst fra fravænning til indsættelse i forsøg på ca. 1200 g har været så høj, at det er gået ud over kviernes mælkeydelsespotentiale.

Tilvækst i forsøgsperioden fra ca. 6- til 13-månedersalderen

Tilvæksten i forsøgsperioden har været indenfor det normalt anbefalede for kvierne på Praksis-blandingen, men under det normalt anbefalede for kvierne på Miljø-blandingen. Af Figur 1 fremgår det, at der specielt i starten af perioden har været meget lave tilvækster for begge forsøgshold. Kvierne har således i starten ikke kunnet æde tilstrækkeligt af kvieblandingerne, som har en lavere energikoncentration end den laktationsblanding, de kom fra. Desuden kan kviernes generelle fedningsgrad på starttidspunktet have påvirket deres foderoptagelse. Den lave tilvækst i starten kan endvidere skyldes, at proteinniveauet er under normen. Det relativt lave proteinniveau er mest udpræget for Miljø-kvierne, som da også har en lav tilvækst i en længere periode. Fra midten af perioden for Praksis- og i slutningen af perioden for Miljø-kvierne stiger tilvæksten til det normalt anbefalede.

Den senere mælkeydelse var ikke forskellig for kvierne fra de to forsøgshold. Disse resultater tyder på, at niveauet for tilvækst i denne periode fra 6 til 13 måneder kan ligge i underkanten af det normalt anbefalede niveau på ca. 850 g daglig tilvækst. Dette er i overensstemmelse med data i litteraturen. Virkningen af proteinniveauet er ikke så sikkert belyst i forsøg. Skønt enkelte forsøg antyder en positiv langtidseffekt på ydelsen ved et højere proteinniveau, synes der overordnet set ikke at være særlige fordele ved at tildele mere protein end, hvad normerne foreskriver. Faktisk tyder resultater fra dette forsøg på, at proteinniveauet kan være relativt lavt, uden at det har negativ betydning for den senere mælkeproduktion.

Tilvækst fra 13 måneder til umiddelbart efter kælvning

Tilvæksten i perioden efter forsøget var forskellig for de to forsøgshold, uanset at kvierne blev tilbudt samme type foder, en Praksis-lignende blanding, ad libitum i denne periode. Sammenlignet med Praksis har kvierne på Miljø tydeligvis kompenseret for den relativt lave tilvækst fra ca. 6- til 13-månedersalderen og har opnået en daglig tilvækst, der er ca. 80 g højere end for Praksis. Denne kompensation har betydet, at der ikke var forskel i vægten ved kælvning, og at kælvningsvægten har været indenfor normalområdet. I overensstemmelse med litteraturen synes kviernes tilvækst efter

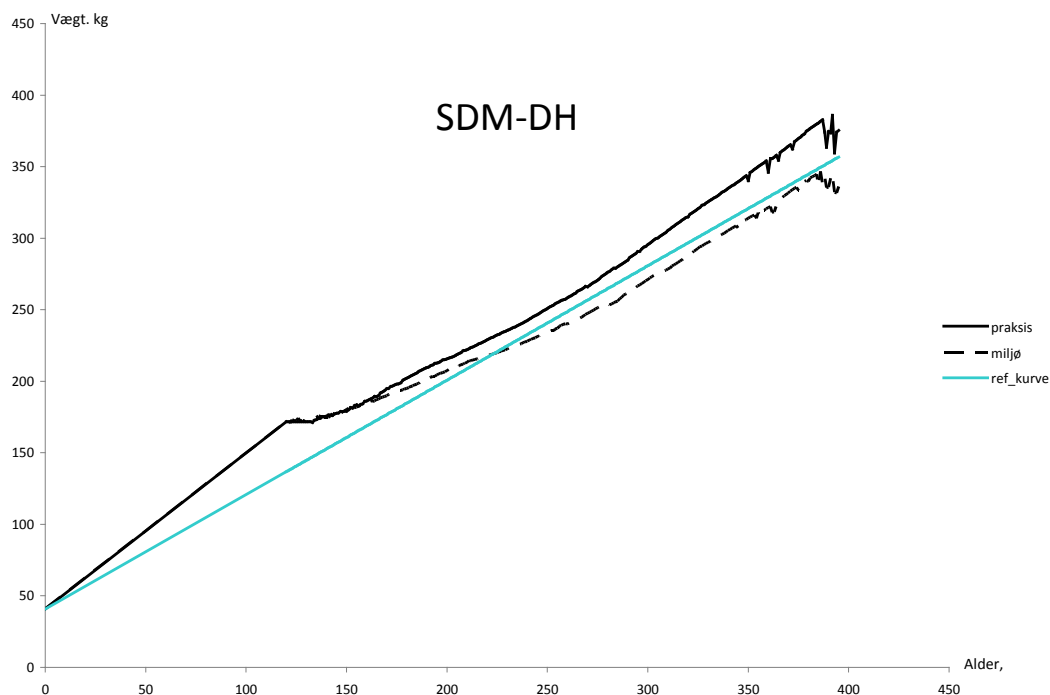
kønsmodenhed ikke at have afgørende betydning for mælkeydelsen, når de, som det er tilfældet her, har nået den ønskede vægt ved kælvning (ca. 620 kg).

Konklusion med hensyn til kviernes tilvækst og den senere mælkeydelse

Den forskellige fodring i forsøgsperioden fra ca. 6- til 13-månedersalderen påvirkede ikke den senere mælkeydelse. Dette resultat tyder på, at både proteinforsyningen og kviernes tilvækst kan være relativ lav i denne periode, uden at det påvirker den senere mælkeydelse. Vi anser det dog for sandsynligt, at dette resultat er afhængigt af, at kviernerne i den efterfølgende periode fra 13 måneder og op til kælvning havde mulighed for at nå en normal vægt ved kælvning.

Tabel 2. Kviernes tilvækst i forskellige perioder samt alder og vægt ved kælvning.

Race Foder	SDM-DH		Jersey	
	Miljø	Praksis	Miljø	Praksis
Antal dyr	26	27	14	15
Dgl. tilv. fra fødsel til forsøgets start ved ~6 mdr., g	1081	1089	961	966
Dgl. tilv. i forsøgsperioden fra ca. 6 til 13 mdr., g.	699	813	420	563
Dgl. tilv. fra slut forsøg (13 mdr.) til efter kælvning, g	752	671	596	516
Vægt ved fødsel, kg	41,3	40,9	28,6	28,1
Vægt efter kælvning, kg	620	610	458	467
Alder ved kælvning, mdr.	24,4	23,7	24,0	23,9



Figur 1. Opnået tilvækst sammenholdt med referencelinje på 800 g daglig tilvækst for SDM-DH. Referencekurven er ikke nødvendigvis lig med ønsket tilvækst for alle perioder.

Tabel 3. Gennemsnitlig mælkeydelse for 250 dage i 1. laktation og for 100 dage i 2. laktation.

Race Foder	SDM-DH			Jersey		
	Miljø	Praksis	P-værdi	Miljø	Praksis	P-værdi
1. laktation antal	26	27		14	15	
1. laktation ydelse, kg EKM/dag	33,6	30,6	0,19	23,8	27,2	0,70
2. laktation antal	23	20		10	13	
2. laktation ydelse, kg EKM/dag	43,0	41,9	0,42	34,3	33,9	0,82

Metanemission og proteinforsyning i relation til miljøet

Metanemissionen var 6,8 og 6,4 % af foderets bruttoenergi for henholdsvis Praksis og Miljø. Nedgangen fra 6,8 til 6,4 svarer til en reduktion på 6 %. Denne forskel tilskrives vi virkningen af det ekstra fedt i Miljø i forhold til Praksis, idet vi ser en lignende virkning ved tilskud af fedt i foderet til malkekøer.

Tabel 4. Metanemission for Praksis- og Miljø-foderblandingerne (fra Hellwing et al., 2012).

	Praksis	Miljø	P-værdi
Antal	6	6	
CH ₄ , L/kg TS foderoptag	31,9	30,3	0,21
CH ₄ , % af Brutto E optag	6,8	6,4	0,08

Miljø-kvierne optog i gennemsnit 5,5 kg ts pr. dag i forsøgsperioden mod 6,3 kg ts for Praksis-kvierne. Med en forsøgsperiode på ca. 235 dage giver det et mindre optag af råprotein på ca. 54 kg for Miljø i forhold til Praksis. Men også ca. 27 kg mindre tilvækst, som der blev kompenseret for i den efterfølgende periode op til kælvning. Hvis vi antager, at der medgår ca. samme mængde fodertørstof pr. kg tilvækst i denne periode som i forsøgsperioden (ca. 7,8 kg ts/kg tilvækst), vil Miljø-kvierne i denne periode optage ca. 210 kg tørstof ekstra i forhold til Praksis-kvierne. Med et råproteinindhold på 128 g pr. kg ts bliver det ekstra råproteinindtag i perioden ca. 27 kg. Med disse forudsætninger vil besparelsen i protein pr. kvie derfor være 54-27=27 kg.

Konklusion med hensyn til kvieopdræt og miljø

Vores resultater tyder på, at proteinniveauet i foderet til kvier kan være relativt lavt – i hvert fald i perioder – uden at det går ud over den senere mælkeydelse, og at det samlede forbrug af protein kan sænkes. Ligeledes viser vores resultater, at metanemissionen fra kvieopdræt kan reduceres med tilskud af fedt.

Finansiering

Forsøgene blev udført med økonomisk støtte fra GUDP og Dansk Kvæg.

Litteratur

Albino RL, Marcondes MI, Akers RM, Detmann E, Carvalho BC og Silva TE. 2015. Mammary gland development of dairy heifers fed diets containing increasing levels of metabolisable protein: metabolisable energy. *J Dairy Res.* 82: 113–120.

Bach A. 2012. Ruminant nutrition symposium: Optimizing performance of the offspring: Nourishing and managing the dam and postnatal calf for optimal lactation, reproduction, and immunity. *J Anim. Sci.* 90: 1835-1845.

Hellwing ALF, Sorensen MT, Weisbjerg MR, Vestergaard M og Lund P. 2012. Can rapeseed lower methane emission from heifers? *Acta Agric. Scand., Section A-Anim. Sci.* 62: 259-262.

Sejrsen K, Purup S, Vestergaard M og Foldager J. 2000. High body weight gain and reduced bovine mammary growth: physiological basis and implications for milk yield potential. *Dom. Anim. Endocr.* 19: 93-104.

Zanton, GI og Heinrichs, AJ. 2005. Meta-analysis to assess effect of prepubertal average daily gain of Holstein heifers on first-lactation production. *J Dairy Sci.* 88: 3860-3867.

Zanton, GI og Heinrichs, AJ. 2008. Analysis of nitrogen utilization and excretion in growing dairy cattle. *J Dairy Sci.* 91: 1519-1533.

Miljøvenlige fodringsstrategier – malkekøer

*Lene Alstrup, Peter Lund, Jakob Sehested, Lone Hymøller, Mette Olaf Nielsen¹ og Martin Weisbjerg
Aarhus Universitet, Foulum*

*¹Institut for Klinisk Veterinær- og Husdyrvidenskab, Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet,
Københavns Universitet*

Sammendrag

I Danmark står malkekøerne for 45 % af den totale kvælstofudskillelse (N) og 56 % af den totale enteriske metanproduktion (CH₄) fra dyr. Myndigheder og kvægbruget ønsker at reducere den negative miljøpåvirkning fra malkekøer, særligt med hensyn til N-udskillelse og CH₄-produktion. Den største variable udgift i mælkeproduktion er foderomkostninger. Det er derfor væsentligt med en fodring, der samtidig optimerer produktion og miljøpåvirkninger. Formålet med projektet var at belyse nye fodringsstrategier til malkekøer, hvor næringsstofforsyningen til yveret er sikret samtidig med en forbedret energi- og N-effektivitet og en reduceret CH₄-produktion. Fodringsstrategierne baseres på effekten af fedttildeling, øget grovfoderkvalitet samt energi- og proteinniveau. Det blev vist, at det er muligt at kombinere øget mælkeydelse og -persistens med øget N-effektivitet og reduceret CH₄-produktion. Ud fra et miljø- og produktionsmæssigt synspunkt skal foderstrategien bygge på et højt energi- og proteinniveau i mobiliseringsfasen efterfulgt af nedgang i energi og supplerings med 5-6 % fedt i deponeringsfasen. Grovfoder af høj kvalitet muliggør en høj grovfoderandel særligt efter mobiliseringsperioden.

Summary

Danish dairy cows account for 45 % and 56 % of the total animal nitrogen (N) excretion and enteric methane (CH₄) production, respectively. Authorities and the dairy cattle industry aim to reduce the negative impact of dairy cows on the environment, particularly regarding N and CH₄ emissions. The major variable cost in dairy production is feed cost. Therefore, it is highly relevant with a feeding strategy that optimises production and environmental load simultaneously. The overall objective of the project was to elucidate potentials for new feeding strategies for dairy cows, where nutrient supply to the udder for milk synthesis is secured, while energy and N efficiency are improved and CH₄ emission minimised. These feeding strategies consider effects of fat supplementation, increased forage quality and energy and protein adjustment. It was shown that it is possible to combine increased milk yield and lactation persistency with increased N efficiency and reduced CH₄ emission. The feeding strategy for optimising milk production and environmental efficiency should be high energy and protein levels during the mobilisation phase followed by a reduction in energy and a supplementation of fat up to 5-6 % fat of ration DM after the cow has entered the deposition phase. Inclusion of high quality forages in the ration should be prioritised at the expense of higher concentrate levels during the deposition phase.

Introduktion

Historisk er der indenfor malkekvæg en stigning i både besætningsstørrelse og produktion. Effektiviteten i næringsstofudnyttelsen er også steget, da N-effektiviteten på besætningsniveau er steget fra 19 % i 1950 til 23 % i 2010, mens udledningen af drivhusgasser i CO₂ ækvivalenter pr. kg EKM i den samme periode er faldet fra 1,48 til 1,17 (Kristensen et al., 2014). Der er et ønske om at gøre kvægbruget mere effektivt og mindske den negative miljøpåvirkning yderligere. I Danmark stammer 16 % af den totale produktion af drivhusgas fra landbruget, og 27 % af CH₄-produktionen kommer fra malkekøer. Derudover står malkekøerne for 45 % af den totale udskillelse af N fra husdyr (Nielsen et al., 2011). Der er behov for et øget fokus på miljøeffektivitet, således at f.eks. mælkeydelse maksimeres pr. enhed CH₄ produceret og N udskilt.

Størstedelen af forskningen indenfor energi- og næringsstofoptimering har været intensive forsøg med fokus på især den tidlige del af laktationen og har primært haft øget produktion for øje. Der er behov for at teste disse resultater i længerevarende forsøg som omfatter også de senere stadier af laktationsperioden og med et større antal dyr.

En reduceret proteintildeling vil øge N-effektiviteten, men kan også reducere mælkeydelsen. Det er derfor relevant at se på, om det er muligt at opretholde både en høj N-effektivitet og en høj mælkeydelse, hvis et lavt proteinniveau kombineres med enten højt fordøjeligt grovfoder eller højt kraftfoderniveau. Supplering med fedt er en af de mest effektive måder at nedsætte CH₄-produktionen på via fodring (Grainger og Beauchemin, 2011), men der foreligger ikke meget viden om langtidseffekterne af fedttildeling på hverken mælkeydelse eller CH₄ produktion.

Fodringsstrategier, der bygger på ændringer i energibalance og næringsstofbehov for den individuelle ko, og som bygger på kombinationen af lav protein og enten højt kraftfoderniveau eller højt fordøjeligt grovfoder, forventes at øge energi- og N-effektiviteten. Effekten på mælkeydelse og CH₄-produktion af supplering med fedt forventes at være persistent henover laktationen. Resultaterne, der præsenteres, er en del af Lene Alstrups ph.d.-afhandling (Alstrup, 2015).

Materialer og metoder

Forsøgene blev udført på DKC i perioden 2009 til 2012 i et løsdriftsystem med sengebåse med madrasser og malkerobotter (AMS). I systemet på DKC er der under hver AMS monteret en platformsvægt, der automatisk registrerer koens vægt ved hver malkning. Køerne fodres i Insentec-kasser, der automatisk registrerer køernes foderoptag. I de forsøg, der omtales her, blev der tildelt 3 kg kraftfoder i robotten på daglig basis.

Der blev udført 2 langtidsforsøg, hvor formålet var at studere muligheden for at øge mælkeproduktionen ved at ændre kraft-grovfoderforhold og proteintildeling hhv. fedttildeling i kombination med beskyttede aminosyrer (MetaSmart), når køerne skiftede fra mobiliserings- til

deponeringsfasen i laktationen. Efter kælvning blev alle køer fodret med en standardration indtil en tilvækst på 11 kg (Jersey) eller 15 kg (Holstein) fra deres laveste vægt efter kælvning. Ved den opnåede tilvækst forblev køerne på enten standardrationen eller skiftede til en af 3 andre rationer og forblev på disse rationer resten af laktationen. Køerne kunne tidligst skifte ration 8 uger efter kælvning uanset deres tilvækst i tidlig laktation.

Køerne blev blokket efter race, paritet (1.-kalvs og ældre) og forventet kælvningsdato og blev derefter tilfældigt fordelt på 4 forskellige rationer.

Energi og protein-forsøg

I dette forsøg indgik der i alt 168 malkekøer (61 Jersey og 107 Holsteinkøer). Der blev udfodret 4 forskellige rationer bestående af højt kraftfoder:grovfoder (K:G)-forhold og standard proteinniveau (HKSP), højt K:G-forhold og lavt proteinniveau (HKLP), lavt K:G-forhold og standard proteinniveau (LKSP) samt lavt K:G-forhold og lavt proteinniveau (LKLP). Højt K:G-forhold var 40:60 og lavt var 30:70 på tørstofbasis. Grovfoderet bestod af 50 % kløvergræsensilage og 50 % majsensilage og lavt K:G-forhold blev opnået ved at erstatte byg og roe pulp med ensilager. Lavt og standard proteinniveau var på 14,1 og 16,1 % råprotein. Alle køer blev fodret med HKSP lige efter kælvning og efterfølgende foderskift foregik som allerede beskrevet. Der vises kun resultater for Holsteinkøerne. For fuld forsøgsrapportering se Hymøller et al. (2014).

Fedt-forsøg

I dette forsøg indgik der i alt 161 malkekøer (54 Jersey og 107 Holsteinkøer). Der blev udfodret 4 forskellige rationer bestående af kontrol (KON) (1,77 % fedtsyrer (FS) af tørstof (TS)), KON suppleret med rapsfrø (RPF) (4,29 % FS af TS), KON suppleret med vombeskyttet fedt (VBF) (4,59 % FS af TS) og kontrol suppleret med vombeskyttet fedt og MetaSmart (VBFM) (4,63 % FS af TS). Det vombeskyttede fedt bestod af 40 % forsæbet og 60 % mættet palmefedt. Alle rationerne bestod på TS-basis af ca. 23 % majsensilage, 23 % kløvergræsensilage, 43 % kraftfoder i rationen udfodret i Insentec-kassen og 11 % kraftfoder i AMS. Efter kælvning blev alle køer fodret med KON indtil den ønskede tilvækst på 11 kg (Jersey) eller 15 kg (Holstein) fra deres laveste vægt efter kælvning, som allerede beskrevet. Resultater vises som hovedeffekt af fedttilskud (alle 3 fedtbehandlinger) og kun for Holstein køer.

På en gruppe på 12 Holstein køer blev der også udført målinger af CH₄-emission i metankamre 4 gange i løbet af laktationen. Ved hver måling var de i metankammer 4 døgn, og foderoptag samt mælkeydelse blev registreret i kamrene. Kammerperioderne startede ved hhv. 48 dage efter kælvning (DEK), 125 DEK, 164 DEK og 212 DEK og gav på den måde en måling inden foderskift (mobiliseringsfasen) og 3 målinger efter foderskift (deponeringsfasen).

Resultater og diskussion

Produktion

Energi

Nedgang i energiforsyning ved overgangen mellem mobilisering og deponering påvirkede foderoptagelsen negativt, dog ikke alarmerende. Det var forventet, at energiniveauet kunne reduceres i deponeringsfasen, uden at mælkeydelsen ville blive påvirket negativt, ud fra hypotesen, at fordelingen af energi til hhv. mælkeproduktion og tilvækst ændres fra mobiliserings- til deponeringsfasen. I Tabel 1 ses det, at kraftfoderandelen kan sænkes uden problemer for mælkeydelsen. Mælkens sammensætning blev heller ikke påvirket af nedgang i kraftfoderandel.

Tabel 1. Effekt af kraftfoderandel på foderoptag, mælkeydelse og mælkens sammensætning.

Kraftfoder:grovfoder	40:60	30:70	P-værdi
Foder			
Tørstof, kg/d	20,6	20,3	<0,01
FE/kg TS ¹	0,95	0,93	<0,001
Mælk			
EKM, kg/d	30,6	30,3	0,6
Protein, %	3,64	3,62	0,24
Fedt, %	4,27	4,36	0,28
Laktose, %	4,92	4,90	0,56

Protein

En reduktion i proteinniveau ved overgangen mellem mobilisering og deponering havde en negativ effekt på tørstofoptaget og gav endvidere en reduktion på 2,2 kg EKM pr dag. På LP-rationerne lå PBV₂₀ mellem -0,15 og 0,40 % af TS, hvilket formentlig forklarer nedgangen i mælkeydelse. Mælkens sammensætning var ikke påvirket af proteinniveau (Tabel 2).

Tabel 2. Effekt af proteinniveau på foderoptag, mælkeydelse og mælkens sammensætning.

Proteinniveau, g/kg TS	141	161	P-værdi
Foder			
Tørstof, kg/d	20,9	20,0	<0,01
Protein, kg/d	3,30	2,82	<0,001
FE/kg TS ¹	0,94	0,94	<0,001
Mælk			
EKM, kg/d	31,5	29,3	<0,001
Protein, %	3,64	3,61	0,29
Fedt, %	4,27	4,37	0,94
Laktose, %	4,91	4,91	0,22

Fedt

Fedttildeling havde ingen negativ effekt på tørstofoptagelsen, hvilket ellers ofte ses ved supplerings med fedt. Det var forventet, at mælkeydelsen ville stige ved supplerings med fedt, og der sås ganske rigtigt en stigning på 2,3 kg EKM/d. Omregnet til ekstra mælk pr. optaget FE øgedes mælkeydelsen med 2,9 kg EKM pr. FE pr. dag. Responset i mælkeydelse pga. fedttildeling var på knap 7 %, hvilket er lidt mere end de 6 %, der forventes ud fra normerne (Strudsholm et al., 1999). Derudover blev der fundet en persistent effekt af fedttildeling på mælkeproduktionen henover laktationen. Koncentrationen af protein i mælken faldt ved øget fedttildeling, hvilket oftest forklares ved en fortynding af et konstant proteinindhold som følge af øget mælkeydelse (Weisbjerg et al., 2008). Øget fedttildeling øgede laktosekoncentrationen, mens fedtkoncentrationen forblev uændret (Tabel 3).

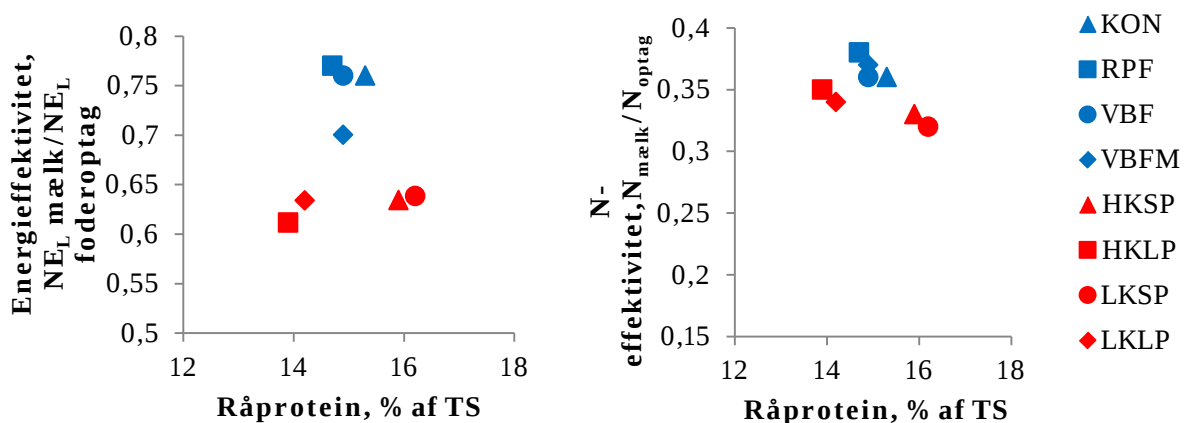
Tabel 3. Effekt af fedtniveau på foderoptag, mælkeydelse og mælkens sammensætning.

	KON	Fedt	P-værdi
Foder			
Tørstof, kg/d	21,4	21,5	0,67
FE/d	18,2	19,0	0,11
Fedt, g fedt/d	0,56	1,17	<0,001
FE/kg TS ¹	0,85	0,89	<0,001
Mælk			
EKM, kg/d	33,4	35,7	<0,001
Protein, %	3,68	3,49	<0,001
Fedt, %	4,16	4,13	0,9
Laktose, %	4,94	4,96	<0,01

Miljø

Effektivitet

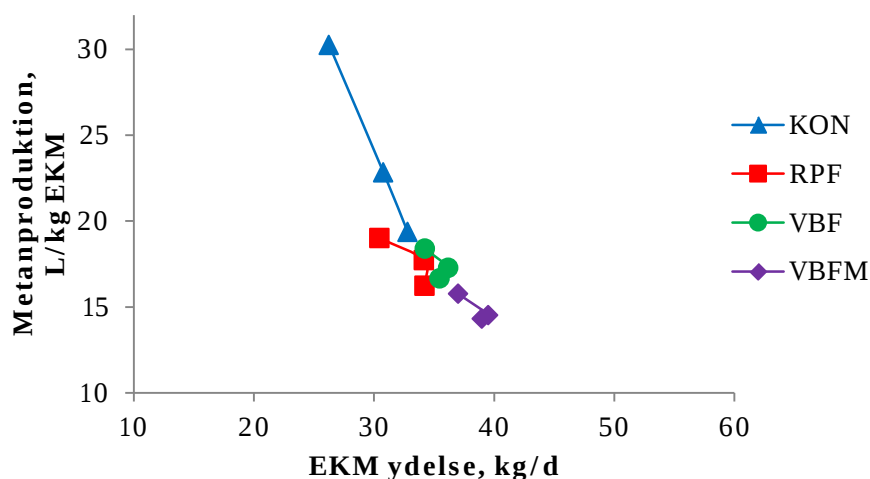
Figur 1 viser et plot af effekt af foderstrategi fra begge forsøg på hhv. energi- og N-effektivitet. Det ses, at energieffektiviteten øges ved en lavere andel af kraftfoder (●,◆) ($P < 0,001$), mens proteinniveau ikke umiddelbart påvirker energieffektiviteten. Derudover sås der heller ikke nogen klar effekt af fedttildeling på energieffektiviteten. Det ses, som forventet, at øget proteintildeling reducerer N-effektiviteten. N-effektiviteten blev yderligere øget af fedttildeling samt højere kraftfoderandel. Påvirkningen af fedt på N-effektiviteten skal ses som en kombination af lavere proteinniveau i foderet samt en højere mælkeydelse.



Figur 1. Plot af proteinniveau (% af TS) imod energieffektivitet ($NE_L \text{ mælk} / NE_L \text{ optag}$ ($7,89 \text{ MJ/FE} \times \text{FE}$)) og plot af proteinniveau (% af TS) imod N-effektivitet ($N_{\text{mælk}} / N_{\text{optag}}$).

Metan

I fedtforsøget var der en forventelig klar nedgang i CH_4 -produktionen som følge af fedttildeling. Derudover steg CH_4 -produktionen hen over laktationen. Denne stigning med dage efter kælvning (DEK) kan ikke umiddelbart forklares ud fra hverken ændringer i TS-optag eller rationssammensætning, da rationssammensætningen ikke ændres gennem laktationen. I Figur 2 ses der et plot af CH_4 -produktion i L/kg EKM mod den daglige EKM-ydelse. Plottet viser, at det er muligt at opretholde en høj mælkeydelse ved at tildele fedt, samtidig med at CH_4 -produktionen sænkes. Endvidere ses det, at dette er muligt igennem hele laktationen.



Figur 2. Plot af metanproduktion (L/kg EKM) vs. EKM-ydelse (kg/d). For hver ration målinger fra 125, 164 og 212 DEK.

Fodringsstrategi – individuelt skift

I tidlig laktation er det ikke muligt for koen at optage den nødvendige energi gennem foderet til at opretholde den høje mælkeydelse, og hun vil derfor mobilisere fra sine kropsdepoter (Ingvarsen and Andersen, 2000), mens hun senere i laktationen vil begynde at deponere næringsstoffer i kropsdepoterne igen. I mobiliseringsfasen har mælkeproduktion højeste prioritet, mens tilvækst prioriteres højere i deponeringsfasen. Ved at inddele laktationen i 2 faser, mobilisering og deponering, er ideen derfor, at det er muligt at fodre koen mere effektivt (Bossen et al., 2009; Bossen og Weisbjerg, 2009).

Ved at foretage de individuelle foderskift ved overgangen mellem mobilisering og deponering var hypotesen, at man skulle kunne sænke energiniveauet i foderet uden at påvirke mælkeydelsen negativt, og denne hypotese blev bekræftet i forsøget. Derimod var det ikke muligt at kombinere denne reduktion i energiniveau med reduktion i proteinniveau, uden at det var forbundet med tab i mælkeydelse.

Ideen bag fedtforsøget var, at fedttildeling i starten af laktation kan have en negativ effekt på mælkeydelsen (Weisbjerg et al., 2013), og derfor startede fedttildelingen først ved indledning til deponeringsfasen. Der var ingen køer, der var på fedtbehandling hele laktationen, men de mælkeydelser, der blev fundet for køerne på fedtbehandling senere i laktationen, tydede på, at der var en positiv effekt af ikke at tildele fedt i tidlig laktation.

Konklusion

Det viste sig muligt at kombinere en øget mælkeydelse og laktationspersistens med øget N-effektivitet og reduceret CH₄-produktion ved fedttildeling. Ud fra et miljø- og produktionsmæssigt syn skal foderstrategien bygge på højt energi- og proteinniveau i mobiliseringsfasen efterfulgt af nedgang i energi og suppleret med 5-6 % fedt i deponeringsfasen. Det blev endvidere vist, at det er muligt at udfodre rationer med en høj grovfoderandel særligt i deponeringsfasen, når grovfoder er af høj kvalitet.

Finansiering

Forsøgene blev udført med økonomisk støtte fra GUDP og Dansk Kvæg.

Referencer

- Alstrup, L. 2015. Individual feeding strategies for high production and low environmental load in lactating dairy cows. Ph.d. afhandling. Institut for Husdyrvidenskab, AU-Foulum, Aarhus Universitet. 142 pp.
- Bossen D., M. R. Weisbjerg, L. Munksgaard, og S. Højsgaard. 2009. Allocation of feed based on individual dairy cow live weight changes. I: Feed intake and live weight changes during lactation. Livest. Sci. 126: 252–272.

Bossen, D., og M. R. Weisbjerg. 2009. Allocation of feed based on individual dairy cow live weight changes. II: Effect on milk production. *Livest. Sci.* 126: 273–285.

Grainger, C., og K. A. Beauchemin. 2011. Can enteric methane emissions from ruminants be lowered without lowering their production? *Anim. Feed Sci. Technol.* 166–167: 308–320.

Hymøller, L., L. Alstrup, M. K. Larsen, P. Lund, og M. R. Weisbjerg. High quality forage can replace concentrate when cows enter deposition phase without negative consequences for milk production. *J. Dairy Sci.* 97: 4433–4443.

Ingvartsen, K. L., og J. B. Andersen. 2000. Integration of metabolism and intake regulation: A review focusing on periparturient animals. *J. Dairy Sci.* 83: 1573–1597.

Kristensen, T., O. Aaes, og M. R. Weisbjerg. 2014. Dansk kvægbrug 1900–2010 – med fokus på produktivitet og afledte miljøeffekter. *Landbrugsinfo, Kvæginfo*, vol. 2391. <https://www.landbrugsinfo.dk/kvaeg/miljoe/sider/2391-Dansk-kvaegbrug-1900-2010-med-fokus-paa-produktivitet.aspx>.

Nielsen, O.-K., M. H. Mikkelsen, L. Hoffmann, S. Gyldenkerne, M. Winther, M. Nielsen, P. Fauser, M. Thomsen, M. S. Plejdrup, R. Albrechtsen, K. Hjelgaard, H. G. Bruun, V. K. Johannsen, T. Nord-Larsen, A. Bastrup-Birk, L. Vesterdal, I. S. Møller, E. Rasmussen, K. Arfaoui, L. Baunbæk, og M. G. Hansen. 2011. Denmark's national inventory report 2011 Emission inventories 1990–2009. National Environmental Research Institute, Aarhus University, Denmark. 1199. – NERI Technical Report no. 827.

Strudsholm, F., O. Aaes, J. Madsen, V. F. Kristensen, H. R. Andersen, T. Hvelplund, og S. Østergaard. 1999. Danske fodernormer til kvæg. Rapport nr. 84. Landsudvalget for Kvæg. August 1999. 47 pp.

Weisbjerg, M. R., L. Wiking, N. B. Kristensen, og P. Lund. 2008. Effects of supplemental dietary fatty acids on milk yield and fatty acid composition in high and medium yielding cows. *J. Dairy Res.* 75: 142–152.

Weisbjerg, M. R., M. K. Larsen, L. Hymøller, M. Thorhauge, U. Kidmose, J. H. Nielsen, og J. B. Andersen. 2013. Milk production and composition in Danish Holstein, Danish Red, and Danish Jersey cows supplemented with saturated or unsaturated fat. *Livest. Sci.* 155: 60–70.

Øget indhold af nitrat i foderet til malkekøer reducerer udledningen af metan betydeligt

Peter Lund, Dana Olijhoek, Regina Dahl, Maike Brask, Anne Louise F. Hellwing, Søren O. Petersen, Ole Højberg, Mette Krogh Larsen og Martin R. Weisbjerg, Aarhus Universitet, Foulum

Summary

Methane is a potent greenhouse gas, and cattle production in Denmark contributes significantly to both the total agricultural emission and the national greenhouse gas emission. Methane is formed based on a reaction between hydrogen and carbon dioxide as a natural part of the rumen microbial metabolism, and energy loss from the process amounts to 5-7 % of the total feed gross energy. Recent Danish research shows that the addition of nitrate to feed can reduce methane emissions by up to 23 % without feed digestibility being negatively affected. This reduction is due to hydrogen, which otherwise would be a substrate for the formation of methane, is being consumed during the energy-favorable reduction of nitrate to ammonia in the rumen. Nitrite is formed during the reduction of nitrate to ammonium and is a potentially toxic intermediate. Neither acute nor long-term negative effect of the addition of nitrate on the animal's health could be detected. Surprisingly, addition of nitrate resulted in significant emission of nitrous oxide (N₂O), which is a very potent greenhouse gas. This underlines that there is a significant change in the rumen nitrogen metabolism when nitrate is added. The limiting factor for use in practice is the high content of nitrogen which causes that nitrate cannot be used without replacing other feedstuffs in the ration which have a high content of rumen degradable crude protein.

Sammendrag

Metan er en potent drivhusgas, og bidraget fra dansk kvægproduktionen til både landbrugets udledning og den nationale udledning af drivhusgasser er betydeligt. Metan dannes som en naturlig del af den mikrobielle omsætning af foderet i formaverne på baggrund af en energigivende reaktion mellem brint og kuldioxid, og energitabet udgør 5-7 % af foderets indhold af bruttoenergi. Nye danske undersøgelser viser, at tilsætning af nitrat til foderet kan reducere udledningen af metan med op til 23 %, uden at foderets fordøjelighed påvirkes negativt. Denne reduktion skyldes, at der under den energimæssigt favorable reduktion af nitrat til ammonium i vommen forbruges brint, som ellers ville være substrat for dannelse af metan. Under reduktionen af nitrat til ammonium dannes nitrit, som er et potentielt toksisk mellemprodukt. Hverken akut eller på lang sigt kunne der påvises nogen signifikant negativ effekt af tilsætning af nitrat til foderet på dyrets sundhed. Tilsætning af nitrat medførte overraskende en betydelig emission af lattergas (N₂O), som er en meget potent drivhusgas. Dette understreger, at der er sket en betydelig ændring i omsætningen af kvælstof i vommen ved tilsætning af nitrat. Den begrænsende faktor for anvendelse i praksis er det høje indhold af kvælstof, som bevirker, at nitrat ikke kan anvendes, uden at det erstatter andre fodermidler i rationen, som har et højt indhold af vomnedbrydeligt råprotein.

Introduktion

Metan (CH_4) er en meget potent drivhusgas, og har en klimatisk effekt, som er ca. 28 gange større end kuldioxid (CO_2). De største menneskabte kilder er risdyrkning, olieudvinding og omsætning af foder i husdyr (primært drøvtyggere). Metan fra husdyrenes fordøjelse udgør ca. 1/3 af den samlede udledning af drivhusgasser fra dansk landbrug og er dermed den største bidragsyder.

Metan dannes i fordøjelseskanalen hos de fleste husdyr pga. mikrobernes forgæring af foderet under iltfrie forhold. Dette sker f.eks. i formaverne hos drøvtyggere, hvor omsætningen af foderet giver anledning til en stor produktion af metan, som efterfølgende opræbes gennem spiserøret. mikrobiel forgæring i blind- og tyktarm medfører en mindre produktion af metan, hvorfor også enmavede dyr producerer en vis mængde metan. Det er specielle mikroorganismer (metanogener), der danner metanen på baggrund af slutprodukterne brint og kuldioxid fra den mikrobielle forgæring af primært kulhydrat i vommen. Disse organismer, archaea, hører ikke til bakterierne, og er kendetegnet ved ofte at leve i ekstreme miljøer. Produktionen af metan er udover en potent drivhusgas også et energitab. Tabet af energi som metan er betydeligt, og udgør 2-12 % af det samlede bruttoenergi optag, men tabet varierer betydeligt afhængig af fodring og produktionsniveau. Tabet er lavest i meget intensive produktionssystemer som f.eks. opfedning af tyrekalve med meget kraftfoder og er højest i ekstensive produktionssystemer som f.eks. afgræsning af ekstensive arealer med meget lav produktion pr. dyr. I typiske danske rationer til malkekøer udgør tabet af energi i form af metan 5-7 % af optaget af bruttoenergi.

Omsætning af kulhydrat i vommen er nedbrydning af polysakkarider (fiber og stivelse) til monosakkarider (glukose), som via en redox-proces oxideres i glykolysen til pyrovat, og 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-receptor 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 brintræk.

Eddikesyre, smørsyre og propionsyre udgør størstedelen af den samlede mængde kortkædede flygtige fedtsyrer, som produceres i vommen, og hvor propionsyre efterfølgende primært indgår i dannelsen

af sukker i leveren (glukoneogenese), bruges eddikesyre og smørsyre i energistofskiftet samt til dannelsen af fedtsyrer (lipogenese). Som tommelfingerregel ses høje koncentrationer af eddikesyre og smørsyre i vommen primært ved omsætning af foderets fiberfraktion, om end smørsyre også kan henføres til forgæring af opløselige kulhydrater. De metanogene mikroorganismer forbruger overskydende brint, som er fremkommet ved denne forgæring (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.

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. Dannelse af propionsyre kan primært henføres til forgæring af foderets stivelsesfraktion. Derfor vil produktionen af metan afspejle balancen mellem på den ene side foderets indhold af stivelse og på den anden side foderets indhold af fiber, og derfor også afspejle balancen mellem på den ene side produktionen af propionsyre (reaktion 2) og på den anden side produktionen af eddikesyre og smørsyre (reaktion 1 og 3), som det ses af reaktionsligningerne i Tabel 1. Metanproduktionens størrelse vil også afhænge af det kemiske og mikrobielle miljø når fodermidlerne fordøjes (f.eks. pH, passagehastighed, brinttryk, mikrobiel population), og det er derfor vigtigt at få fastlagt samspillet mellem fordøjelse, mikrobiel population og metanproduktion. F.eks. ses der en lineær sammenhæng mellem antallet af cellulytiske (fibredbrydende) bakterier og antallet af metanogene mikroorganismer på tværs af dyrearterne.

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 kJ/mol for metanogene mikrober og -9 kJ/mol for acetogene bakterier. 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.

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. 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 danner eddikesyre ud fra brint og kuldioxid. Sulfat-reducerende bakterier forbruger også brint i konkurrence med de metanogene mikrober (ligning 6). Reduktionen af sulfat frigiver en energi på -84 kJ/mol, og de sulfat-reducerende mikrober kan i modsætningen til de acetoge mikrober 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. Desværre udgør sulfat-reducerende mikrober kun en meget lille og ikke særligt velundersøgt del af den mikrobielle population i vommen og svovlbrinte dannet under processen kan være uhensigtsmæssigt ud fra et sundhedsmæssigt synspunkt. De sulfat-reducerende mikrober fordrer

en ration med et højt indhold af svovl, og biprodukter som majs glutenfoder, majs bærme og rapsprodukter er kendetegnet ved et højt indhold af svovl. Tilsvarende reduktion af sulfat kan reduktion af kvælstofforbindelser forbruge brint. Reduktion af nitrat (NO_3^-) til ammonium (NH_4^+) via nitrit (NO_2^-) (ligning 7) medfører et forbrug af brint tilsvarende dannelsen af metan.

Tabel 1. De væsentligste støkiometriske ligninger af betydning for produktionen af metan fra kulhydrat og alternative veje til forbrug af brint.

Ligning	Kemisk reaktion	Fri energi	Slutprodukt
1	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2$		Eddikesyre
2	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 2\text{H}_2 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$		Propionsyre
3	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + 2\text{CO}_2 + 2\text{H}_2$		Smørsyre
4	$4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	$\Delta G = -67 \text{ kJ}$	Metan
5	$4\text{H}_2 + 2\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O}$	$\Delta G = -9 \text{ kJ}$	Eddikesyre
6	$\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}_2 + \text{H}^+ \rightarrow \text{HS}^- + 4\text{H}_2\text{O}$	$\Delta G = -84 \text{ kJ}$	Sulfat til hydrogensulfit
7	$\text{NO}_3^- + \text{H}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	$\Delta G = -130 \text{ kJ}$	Nitrat til ammonium
	$\text{NO}_2^- + 3\text{H}_2 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$	$\Delta G = -371 \text{ kJ}$	

Sammenlignet med metanproduktionen er reduktionen af nitrat til ammonium særdeles favorabel mht energiudbytte, og tilsætning af 1 mol nitrat til rationen vil derfor teoretisk reducere udledningen af metan med 1 mol under antagelse af at alt nitrat reduceres til ammonium og at den mængde hydrogen som bruges til reduktionen kommer fra en tilsvarende reduktion af metanproduktionen.

I nedenstående Tabel 2 er vist den teoretiske reduktion. Hvis nitrat tilføres til rationen i en koncentration på 21 g/kg foder tørstof og der ikke er en negativ effekt på foderoptagelsen vil dette medføre en potentiel reduktion af produktionen af metan på 44 %. Tilsætning af nitrat er således et særdeles potent virkemiddel som overgår effekten af ændringer i rationens indhold af normale fodermidler.

Tabel 2. Potentiel reduktion i produktion af metan ved øget indhold af nitrat i rationen.

Nitrat (g/kg TS)	Foderoptagelse (kg TS/d)	CH ₄ (L/d)	Teoretisk reduktion i metan	
			L	%
0	20	500	-	-
7	20	449	51	11
14	20	399	101	25
21	20	348	152	44

Antagelser: Standard: 25 L CH₄ pr kg DM; NO₃⁻: 62 g/mol; 1 g NO₃⁻ / 62 g/mol = 0,0161 mol NO₃⁻ ~ 0,0161 mol CH₄; CH₄: 16,04 g/mol; 0,0161 mol CH₄ · 16,04 g/mol = 0,259 g CH₄; CH₄: 0,716 g/L ved 0°C og 1 atm. 0,259 g / 0,716 g/L = 0,361 L; 1 g NO₃⁻ → 0,361 L CH₄.

Nitrit kan imidlertid ophobes i vommen under reduktionen af nitrat til ammonium, bl.a. fordi reduktionen af nitrat til nitrit er hurtigere end den videre reduktion af nitrit til ammonium. Dette er sandsynligvis særligt udtalt i dyr, som ikke er tilvænnet til nitrat i foderet, og som derfor ikke har opbygget det mikrobielle samfund i vommen til håndtering af disse substrater. Hvis nitrit absorberes til blodet kan det medføre risiko for omdannelse af blodets hæmoglobin til methæmoglobin. I modsætning til hæmoglobin kan methæmoglobin ikke transportere ilt rundt i kroppen, idet den ilt-bærende Fe²⁺-ion i hæm-gruppen af hæmoglobin oxideres til Fe³⁺, hvorved hæm-gruppen mister evnen til binding af ilt (methæmoglobinæmi). Dette kendes også fra mennesker (Blå børn). Under normale forhold vil størstedelen af methæmoglobin dog omdannes igen til hæmoglobin.

For at undersøge nitrats potentielle effekt som virkemiddel til en reduktion af produktionen af metan fra malkekøer er der gennemført 2 forsøg. Det første forsøg var et korttidsforsøg til undersøgelse af den akutte effekt af en høj dosis af nitrat på produktionen af metan i ikke-tilvænnede dyr, mens det andet forsøg havde til formål at undersøge effekten af øget indhold af nitrat i rationen på næringsstofferne fordøjelighed og produktionen af metan. Forsøg 1 er beskrevet nærmere i Dahl (2013) og Lund et al. (2014) og forsøg 2 i Olijhoek (2014).

Forsøg 1. Akut effekt af tildeling af 20 g nitrat per kg fodertørstof på produktion af metan

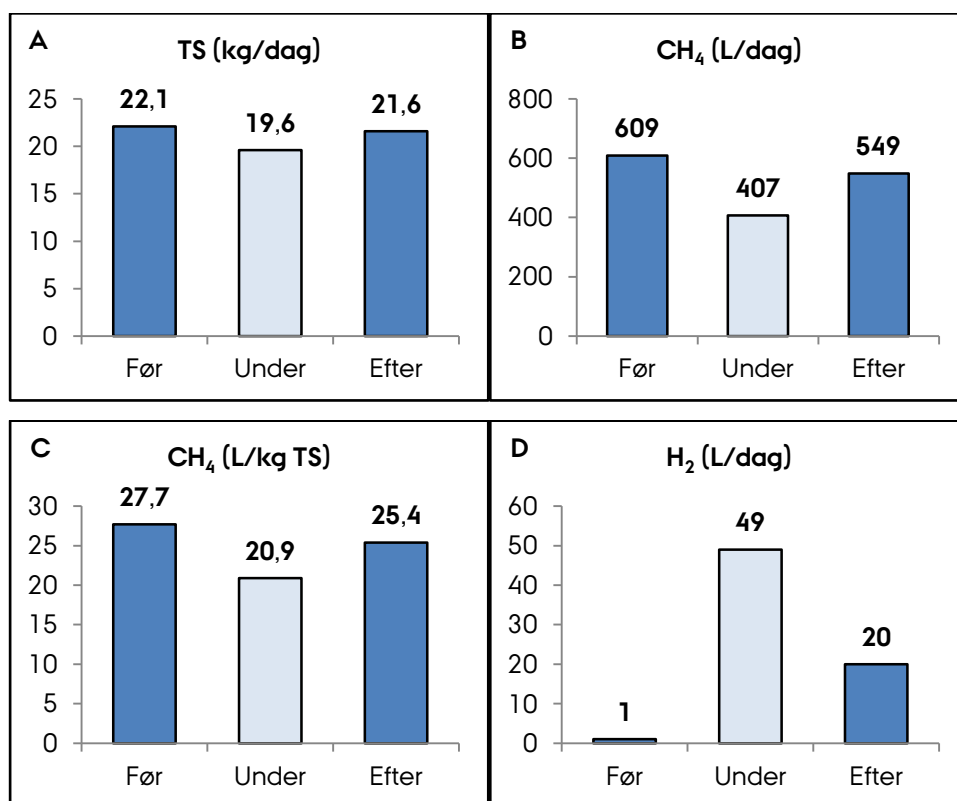
Forsøgsbeskrivelse

Det første forsøg havde til formål at undersøge den akutte effekt af høj dosis af nitrat til ikke-tilvænnede dyr på produktionen af metan. I forsøget indgik 4 malkekøer som enten blev tildelt en TMR i form af enten en kontrolration bestående af (% af tørstof): Kløvergræsensilage (32 %), majsensilage (26 %), valset byg (23 %) rapskage (10 %) og sojaskrå (7 %) eller en nitratrations (20 g nitrat pr kg fodertørstof) bestående af: Kontrolrationen (97 %) og Calcinit [5Ca(NO₃)₂·NH₄NO₃·10H₂O] (3) (Yara, Norge). Indholdet af råprotein i kontrolrationen var 183 g/kg tørstof. Køerne blev malket og fodret *ad libitum* to gange dagligt (05.30 og 16.00). Før forsøgsstart og på den første dag i forsøget fik alle køerne tildelt kontrolrationen. På dag 2 fik to køer kontrolrationen og to fik nitratrations. På dag 3

blev rationerne byttet rundt og på dag 4 fik alle køerne kontrolrationen. Alle fire dyr blev således fodret med nitratrationen i 24 timer uden tilvænning. Under hele forsøget var dyrene i respirationskamre, hvor daglig foderoptagelse og gasproduktion blev målt for det enkelte dyr (Hellwing et al., 2012). Data blev analyseret baseret på ko (1-4) og 3 perioder (dage uden tildeling af nitrat, dag for tildeling af nitrat og 1. dag efter tildeling af nitrat).

Resultater og diskussion

Som det fremgår af Figur 1 så medførte tildeling af nitrat i foderet en reduceret foderoptagelse, og en tilsvarende stigning når nitrat blev taget ud af foderet. Denne reduktion i foderoptagelse skyldes sandsynligvis en lavere smagelighed af rationen med nitrat end af kontrolrationen. Det blev således observeret at foderoptagelse var meget lav umiddelbart efter tildeling om morgenen, og dette blev kun delvist kompenseret af en højere foderoptagelse senere på døgnet. Anbefalingerne i litteraturen vedrørende tilvænning af nitrat i foderet er derfor ikke kun som følge af en potentiel toksisk virkning, men også for at undgå store udsving i foderoptagelse som indirekte kan medføre fodringsbetingede sygdomme og reduceret produktion. Som følge af den lavere foderoptagelse ved tildeling af nitrat faldt også den daglige produktion af metan. Mere interessant er det imidlertid at også produktion af metan pr kg fodertørstof faldt betydeligt i det døgn, hvor der blev tildelt nitrat og at det steg igen når nitrat ikke længere blev tildelt. Den akutte respons på produktion af metan ved tilsætning af nitrat var overraskende. Det var forventet at de nitratreducerende bakterier skulle etableres i vommen som en forudsætning for at der er mindre hydrogen var til rådighed og derfor for en mindre produktion af metan. Den akutte reduktion i metan skyldes derfor sandsynligvis at nitrat også har en toksisk virkning, sandsynligvis på metanproducerende mikroorganismer (metanogener). Under normale forhold måles stort set ingen emission af hydrogen, idet der er en betydelig konkurrence om hydrogen mellem mikroorganismer i vommen. Den utroligt høje emission af hydrogen ved tildeling af nitrat underbygger imidlertid at den reducerede emission af metan ikke alene skyldes en konkurrence om hydrogen, men også, og sandsynligvis primært, en toksisk effekt på de metanogener i vommen, som under normale forhold ville omsætte brint fra fermenteringen af kulhydrat (Figur 1).



Figur 1. Foderoptagelse (A; SEM:0,83, $P=0,02$), produktion af metan (B; SEM:35, $P<0,001$), metan pr kg fodertørstof (C; SEM:1,7, $P<0,001$) og produktion af hydrogen (D; SEM:5,4, $P<0,001$) henholdsvis før, under og efter tildeling af nitrat i foderet i 24 timer.

Forsøg 2. Effekt af forskellige niveauer af nitrat på næringsstofomsætning og produktion af metan

Forsøgsbeskrivelse

Det andet forsøg havde til formål at undersøge effekten af stigende indhold af nitrat i rationen på næringsstoffernes fordøjelighed og produktionen af metan.

Forsøget var et 4x4 romerkvadratsforsøg med fire vom- og tarmfistulerede malkekøer (72, 97, 139, 208 DIM). I 4 perioder blev den enkelte ko fodret med TMR-rationer med forskellige niveauer af nitrat i foderet (kontrol (0), lavt (5), medium (14) og højt (21 g nitrat pr kg tørstof)). Periodelængden var 28 dage, hvor der blev målt fordøjelighed i den tredje uge og gasproduktion i den fjerde uge, og køerne blev fodret og malket to gange dagligt (06.30; 16.30). Den første periode blev gentaget som periode 5 da foderoptagelsen for koen på højt nitratsniveau i første periode faldt markant enten som følge af det højere nitratinhold eller som følge af foderskiftet, hvorfor data blev udeladt af analysen. De 4 rationer var ens i indhold af kvælstof og calcium, idet det højere indhold af calciumnitrat i foderet blev opnået ved udskiftning af urea og kalk. Nitrat og urea bidrager med betydeligt mængder vomnedbrydeligt protein, hvilket stiller store krav til de resterende fodermidler i rationen for at holde

PBV niveauet indenfor anbefalingerne. Dette betyder også at nitrat ikke umiddelbart kan anvendes i praksis som topdressing i rationerne da dette vil medføre et alt for højt proteinniveau. Rationerne var sammensat så proteinniveauet (15-16 % af TS) var indenfor normalområdet. Dette medfører et højt indhold af majsensilage i forhold til kløvergræsensilage i rationen som bestod af (% af tørstof): Majsensilage (41 %), valset byg (20 %), roepiller (11 %), kløvergræsensilage (9 %), melasse (7 %), rapskage (5 %), soypass (5 %), mineraler/vitaminer/salt (1 %), samt kalk, urea og calciumnitrat afhængig af behandling (Tabel 3).

Tabel 3. Sammensætning af rationer (g/kg tørstof) and indhold af næringsstoffer (g/kg tørstof).

	Nitratniveau (g/kg TS)			
	Kontrol (0)	Lavt (5)	Medium (14)	Højt (21)
Majsensilage	413	413	412	411
Valset byg	196	196	195	195
Roepiller	109	109	108	108
Kløvergræsensilage	87	87	87	87
Melasse	65	65	65	65
Rapskage	48	48	48	48
Soypass	48	48	48	48
Vitamin/mineral/salt	10	10	10	10
Kalk	14	10	5	0
Urea	9	7	3	0
Calciumnitrat ¹	0	7	18	28
Bruttoenergi (MJ/kg TS)	18,3	18,3	18,4	18,5
DM (g/kg)	391	393	396	395
Aske	65	65	65	66
Råprotein	156	157	159	159
Råfedt	25	25	28	27
NDF	352	349	340	335
Stivelse	221	221	220	220
Calcium	10	10	11	11

¹ $5Ca(NO_3)_2 \cdot NH_4NO_3 \cdot 10H_2O$

Resultater og diskussion

I Tabel 4 ses den daglige foderoptagelse, fordøjelighed af tørstof i de enkelte afsnit af mavetarmkanalen samt totalfordøjelighed for organisk stof, råprotein og NDF. Øget indhold af nitrat i rationen havde ingen effekt på fordøjeligheden af næringsstofferne og i modsætning til forsøg 1 var foderoptagelsen ikke reduceret. Dette skyldes sandsynligvis den forholdsvis lange tilvænningsperiode, hvor indholdet af nitrat optrappes over de første 4-6 dage. Tilsætning af nitrat havde ingen negativ

effekt på mælkeproduktionen eller mælken indhold af fedt, protein og laktose, om end et romerkvadratforsøg med kun 4 dyr er ikke ideelt til vurdering af effekt på mælkeproduktion. Derimod sås der et stigende indhold af nitrat i mælken ved øget indhold af nitrat i foderet, idet indholdet steg fra 0,11 mg/kg for Kontrol til 1,52 mg/kg for Højt. Dette er dog på ingen måde problematisk. Til sammenligning er indholdet i ostemælk på 150 mg/kg og drikkevandsgrænsen på 50 mg/L, så vi kan fint måle det, men det er ikke niveauer, der på nogen måde er bekymrende.

Tabel 4. Effekt af øget nitratniveau på foderoptagelse, næringsstoffordøjelighed og mælkeproduktion.

	Kontrol	Lavt	Medium	Højt	SEM	P-værdi (beh.)	P-værdi (lineær)
Foderoptag (kg TS/d)	18,5	18,9	18,5	19,6	0,68	0,64	0,36
Tørstoffordøjelighed (%)							
Vom	35,1	33,3	35,3	35,6	1,7	0,47	0,42
Tyndtarm	38,7	44,0	41,2	40,1	2,6	0,42	1,00
Bagtarm	18,5	15,2	16,3	14,6	3,6	0,84	0,53
Total	67,7	68,3	68,2	67,1	1,4	0,85	0,67
Totalfordøjelighed (%)							
Organisk stof	69,6	70,3	70,2	69,2	1,5	0,87	0,74
Råprotein	66,5	66,7	67,2	68,2	1,2	0,41	0,11
NDF	53,8	54,5	53,4	51,2	2,8	0,73	0,35
Mælkeproduktion							
Mælk (kg/d)	23,1	23,3	24,0	23,9	1,0	0,69	0,33
Protein (%)	3,56	3,58	3,53	3,60	0,09	0,70	0,76
EKM (kg/d)	24,4	23,5	24,6	24,7	1,4	0,31	0,33
Nitrat (mg/kg)	0,11	0,38	1,35	1,53	0,17	<0,001	<0,001
Nitrit (mg/kg)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	n/a	n/a	n/a

Tilsætning af nitrat havde ingen betydende effekt på pH i vommen. Det var forventet, at koncentration af propionsyre ville stige på bekostning af koncentration af eddikesyre og smørsyre, når der er mere brint til rådighed i vommen, idet dannelse af propionsyre er den mest energetisk favorable reaktion ved højt brinttryk i vommen. Dette var ikke tilfældet, og både den samlede koncentration af VFA i vommen og forhold mellem flygtige fedtsyrer, hvor der dannes brint ved dannelse (eddikesyre og smørsyre) og propionsyre, hvor der dannes brint, ((E+S)/P) var ikke signifikant påvirket af tildeling af nitrat. Derimod steg koncentrationen af myresyre, også kaldet methansyre, i vommen. Myresyre kan anvendes af metanogener til produktion af metan, og Hungate et al. (1970) fandt at 18 % af den dannede metan kunne henføres til myresyre. Det øgede indhold af myresyre i vommen er derfor sandsynligvis pga. reduktion af antallet af metanogener i vommen og højt brinttryk i vommen, som begge vil øge koncentrationen af myresyre i vommen.

Selvom øget niveau af nitrat i foderet skete på bekostning af udskiftning af urea, og rationerne havde næsten samme indhold af råprotein medførte øget niveau af nitrat overraskende en stigning i indhold af ammoniak i vommen, mens der ikke var effekt på mikrobiel proteinsyntese. Stigningen kan evt skyldes at urea er langsommere nedbrydeligt end nitrat og der derfor på rationerne med lavt indhold af nitrat og højt indhold af urea har været en udvaskning af urea fra vommen.

Andelen af hæmoglobin i form af Met-hæmoglobin i plasma steg som følge af tilsætning af nitrat. Den højeste andel som blev målt i løbet af forsøget var 4,8 %, men andelen er dog stadig så lav så det i praksis ikke forventes at have en negativ effekt på dyrets sundhed, idet andelen skal være 30-40 % før forventes at have en negativ effekt. Et hollandsk studie (van Zijderveld et al., 2011) fandt også øget indhold af methæmoglobin i plasma men ikke i nærheden af kliniske niveauer og undersøgelser med får (Alaboudi & Jones, 1985; Nolan et al., 2010) og kødkvæg (Hulshof et al., 2012) har ikke vist nogen stigning i koncentration af met-hæmoglobin i plasma. Dette skyldes sandsynligvis at dyrene langsomt er tilvænnet nitrat i foderet, hvilket har givet mulighed for etablering af de bakterier som nedbryder nitrit til ammoniak i vommen.

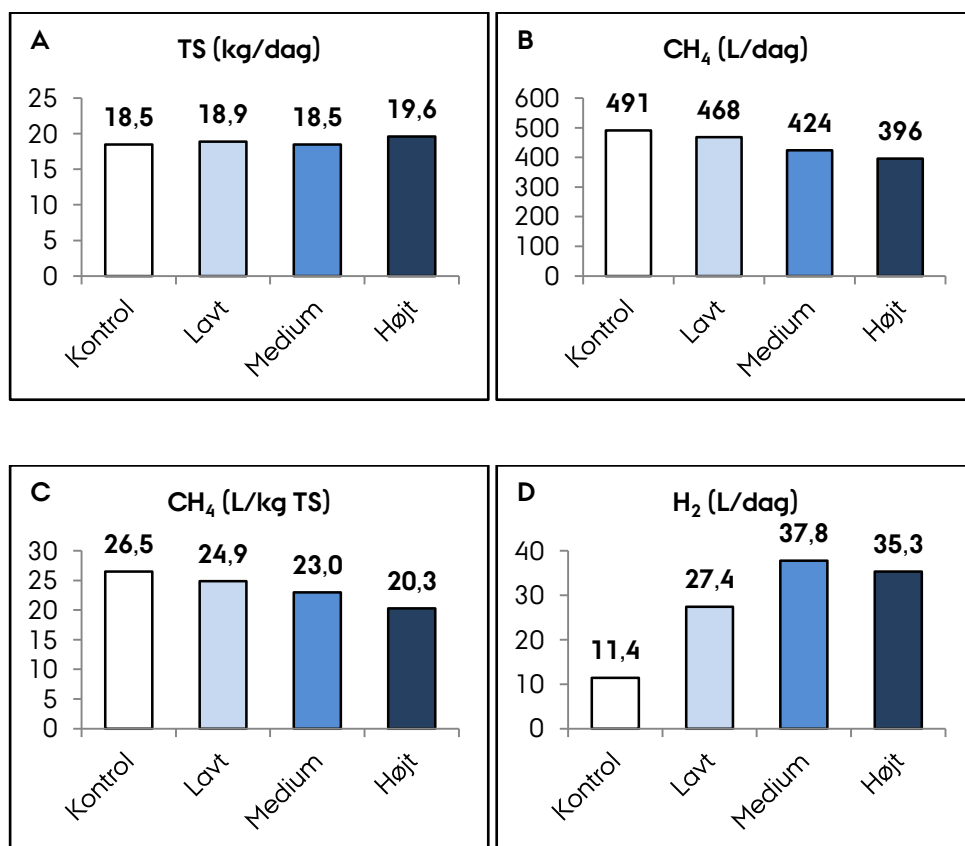
Tabel 5. Effekt af øget nitratniveau på vomomsætning og indhold af hæmoglobin og methæmoglobin i plasma.

	Kontrol	Lavt	Medium	Højt	SEM	P-værdi (beh.)	P-værdi (lineær)
Vom pH	6,37	6,31	6,37	6,28	0,12	0,41	0,32
VFA (mmol/L)	107	112	110	115	4,43	0,11	0,04
Eddikesyre (mmol/L)	60,1	60,2	60,0	60,1	1,28	0,99	0,86
Propionsyre (mmol/L)	21,4	20,9	20,0	19,7	0,97	0,32	0,09
Smørsyre (mmol/L)	14,4	15,0	15,6	16,0	0,73	0,32	0,08
(E+S)/P	3,54	3,68	3,83	3,93	0,23	0,29	0,07
Myresyre (mmol/L)	0,07	0,13	0,35	0,46	0,06	0,001	<0,001
Ammoniak (mmol/L)	4,32	4,39	4,69	5,48	0,35	0,04	0,01
Mikrobielt protein (g/d)	1136	1072	1268	1387	69,6	0,06	0,02
Mikrobiel effektivitet ¹	212	229	233	258	22,1	0,29	0,11
Hæmoglobin (mmol/L)	5,84	5,96	5,80	5,93	0,28	0,46	0,83
MetHb (% af Hb)	1,25	1,25	1,49	1,58	0,08	0,001	<0,001

¹ g mikrobielt protein pr kg sand vom-fordøjeligt organisk stof.

Øget indhold af nitrat reducerede den daglige produktion af metan fra 491 L/dag på Kontrol til 396 L/d på Højt, svarende til en reduktion ca. 19 % (Figur 2). Relateres produktionen af metan til foderoptagelse i kg tørstof faldt produktionen af metan med henholdsvis 6 %, 12 % og 23 % for henholdsvis Lavt, Medium og Højt. Denne reduktion er ganske betragtelig og højere end hvad vi

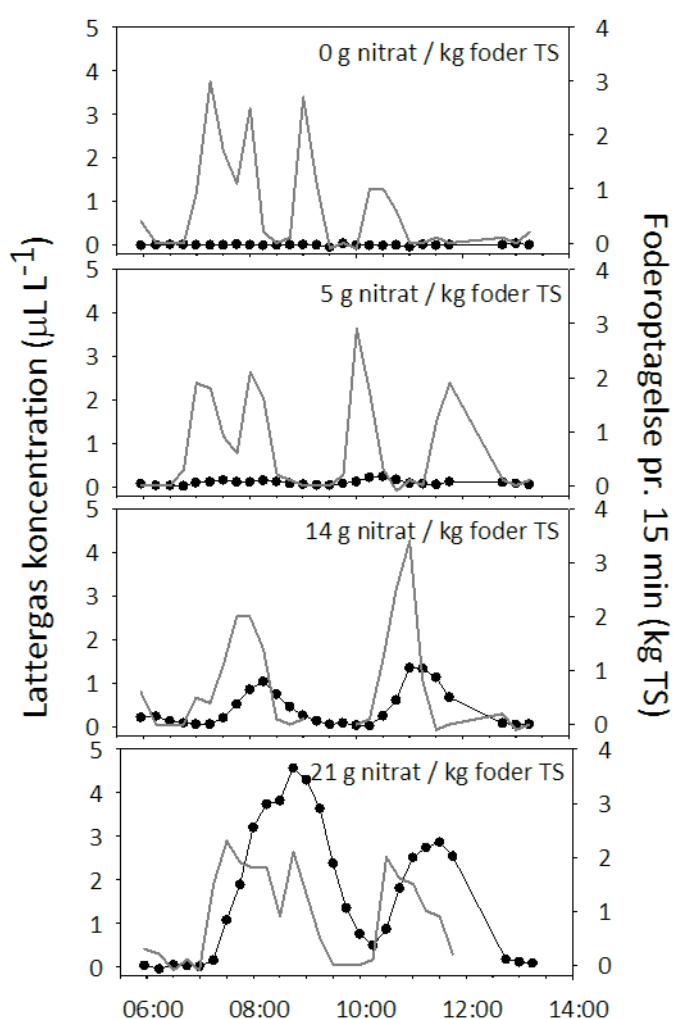
tidligere har fundet ved at ændre på f.eks. fedtindhold, fedttype, grovfodertype og grovfoderkraftfoderforhold. Tilsvarende forsøg 1 medførte tilsætning af nitrat en øget emission af hydrogen. Dette er særdeles overraskende, idet det var forventet at frigivet hydrogen fra en reduceret produktion af metan primært ville gå til reduktion af nitrat til ammonium og sekundært til produktion af propionsyre på bekostning af eddikesyre og smørsyre, men dette var ikke tilfældet. Den opnåede reduktion i metan udgør 70-80 % af den potentielle reduktion, hvis det antages at alt nitrat er reduceret til ammonium under forbrug af brint.



Figur 2. Foderoptagelse (A; SEM:0,68, $P_{Beh.}=0,64$ $P_{Lineær}=0,36$), produktion af metan (B; SEM:38, $P_{Beh.}=0,04$ $P_{Lineær}=0,01$), metan pr kg fodertørstof (C; SEM:1,8, $P_{Beh.}<0,001$ $P_{Lineær}<0,001$) og produktion af hydrogen (D; SEM:7,1, $P_{Beh.}=0,01$ $P_{Lineær}<0,001$) ved stigende indhold af nitrat i foderet (0, 5, 14, 21 g nitrat pr kg fodertørstof).

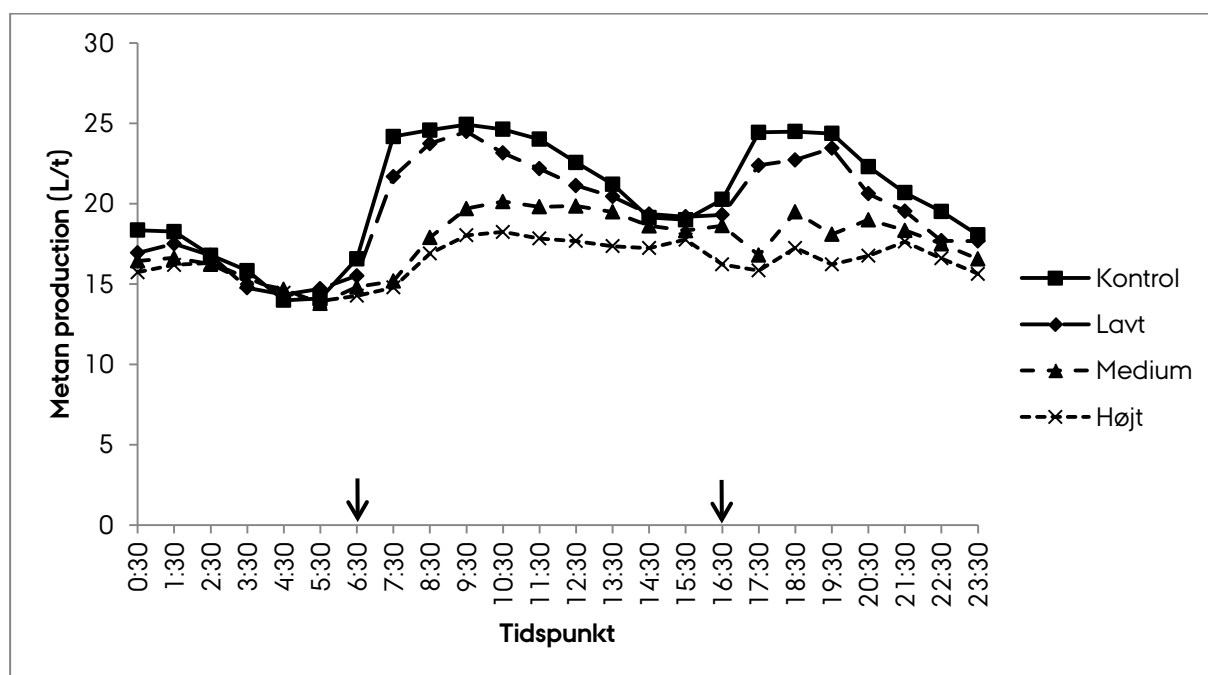
Effekten af øget nitrat i foderet på metanproduktionen kan måske ikke alene henføres til en konkurrence om brint. En mulighed er, at nitrat er toksisk for metanogene mikroorganismer i vommen, men en tilsvarende negativ effekt ses dog ikke på de bakterier, som er involveret i fermentering af foderets indhold af kulhydrat (Tabel 5). En tredje mulighed er, at ikke alt nitrat reduceres til ammonium, men at en del kun reduceres til nitrit eller omsættes via andre veje i vommens kvælstof metabolisme, hvor der ikke forbruges brint. Denitrifikation er en proces, som kan omsætte nitrat uden ilt, og som derfor også principielt kan forekomme i koens fordøjelsessystem. Et

mellemprodukt i denitrifikationen er lattergas (N_2O), der ligesom metan er en drivhusgas, men hvis effekt er mere end 10 gange kraftigere end effekten af metan. I det omfang fodring med nitrat reducerer metanudledningen, men samtidig fører til udledning af lattergas, vil den samlede klimaeffekt være mindre. Udledningen af lattergas fra kvæg har i andre forsøg været lav, men dette kunne være anderledes ved tilsætning af nitrat i høje doser til foderet. En separat undersøgelse blev gennemført for at dokumentere sammenhængen mellem nitratfodring og udledning af lattergas. Resultaterne viste entydigt, at der er en udledning af lattergas, og at den er tæt knyttet til foderindtagelse (Figur 3). Der var dog stor variation mellem dyrene med hensyn til potentialet for udledning af lattergas, hvis årsag endnu er ukendt. Klimaeffekten af metan blev i de to perioder reduceret 10-15 %, når udledningen af lattergas blev indregnet.



Figur 3. Sammenhæng mellem produktion af lattergas og foderoptagelse ved fire forskellige niveauer af nitrat i rationen (0, 5, 14, 21 g/ kg tørstof). Grå linje angiver foderoptagelsen og sorte punkter angiver koncentrationen af lattergas.

Som det ses af Figur 4 så varierer produktionen af metan hen over døgnet. Produktionen er lavest om natten, hvor niveauet ligger på 15-17 L/time, og topper 2-3 timer efter de to fodringer på ca. 25 L/t. Dette mønster er fuldstændigt tilsvarende mønsteret for foderoptagelse og døgnvariation i vom pH og total VFA produktion i vommen. Der er imidlertid en stor forskel i døgnkurverne for produktion af metan mellem behandlingerne. Om natten synes produktionen af metan at være uafhængigt af nitratniveauet i rationen, mens der i dagtimerne i forbindelse med foderoptagelse ses en betydelig reduktion i de to metan-toppes amplitude når der tilsættes nitrat til foderet, og ved det højeste nitratniveau synes produktionen af metan pr time i dagstimerne ikke at være forskelligt fra basalniveauet om natten.



Figur 4. Døgnvariation i produktion af metan (L/t) ved forskelligt niveau af nitrat i rationen. Pile angiver fodringstidspunkter (06.30; 16.30).

Samlet konklusion

Tilsætning af nitrat til foderet reducerede udledningen af metan med op til 23 % uden at foderet fordøjelighed eller den mikrobielle proteinsyntese blev påvirket negativt. Denne reduktion skyldtes sandsynligvis en kombination af at den energimæssigt favorable reduktion af nitrat til ammonium i vommen forbruger brint, som ellers ville være substrat for dannelse af metan, samt at nitrat er toksisk for metanogener i vommen. Hverken akut eller på lang sigt kunne der påvises nogen betydende negativ effekt af tilsætning af nitrat til foderet på dyrets sundhed eller mælkens sammensætning.

Anerkendelser

Projektet har modtaget støtte fra Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri, Aarhus Universitet og Mælkeafgiftsfonden.

Referencer

- Alaboudi AR & GA Jones (1985). Effect of acclimation to high nitrate intakes on some rumen fermentation parameters in sheep. *Canadian Journal of Animal Science* 65 841–849.
- Dahl R (2013). Potential of nitrate as a ruminal methane mitigation option. Åbent projekt opgave, Aarhus Universitet, 30 sider.
- Hellwing ALF, P Lund, MR Weisbjerg, M Brask & T Hvelplund (2012). *Technical note*: Test of a low-cost and animal-friendly system for measuring methane emissions from dairy cows. *Journal of Dairy Science* 95, 6077–6085.
- Hulshof RBA, A Berndt, WJJ Gerrits, J Dijkstra, SM van Zijderveld, JR Newbold & HB Perdok (2012). Dietary nitrate supplementation reduces methane emission in beef cattle fed sugarcane-based diets. *Journal of Animal Science* 90, 2317–2323.
- Hungate RE, W Smith, T Bauchop, I Yu & JC Rabinowitz (1970). Formate as an intermediate in the bovine rumen fermentation. *Journal of Bacteriology* 102 389-397.
- Lund P, R Dahl, HJ Yang, ALF Hellwing, BB Cao & MR Weisbjerg (2014). The acute effect of addition of nitrate on in vitro and in vivo methane emission in dairy cows. *Animal Production Science*, 54, 1432-1435.
- Nolan JV, RS Hegarty, J Hegarty, IR Godwin & R Woodgate (2010). Effects of dietary nitrate on fermentation, methane production and digesta kinetics in sheep. *Animal Production Science* 50, 801–806.
- Olijhoek D (2014). Effects of dietary nitrate and short term hydrogen infusion on enteric methane production in dairy cows. MSc. thesis, Aarhus Universitet, 99 sider.
- Ungerfeld EM & RA Kohn (2006). The role of thermodynamics in the control of rumen fermentation. I 'Ruminant physiology: digestion, metabolism and impact of nutrition on gene expression, immunology and stress'. (Eds K Sejrsen, T Hvelplund, MO Nielsen) s 55–85. Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands
- van Zijderveld SM, WJJ Gerrits, J Dijkstra, JR Newbold, RBA Hulshof & HB Perdok (2011). Persistency of methane mitigation by dietary nitrate supplementation in dairy cows. *Journal of Dairy Science* 94, 4028–4038.

Extended lactation strategies

Charlotte Gaillard, Troels Kristensen and Jakob Sehested, Aarhus University, Foulum

Summary

A delayed insemination leads to an extended lactation with duration above the usual 10-12 months. Voluntary extended lactations are becoming more popular as the milk yield potential of the dairy cows has increased over the years leading to high milk yield at drying off. Different managements are supporting extended lactation like the increase milking frequency, or the use of concentrates supplementation. But the cows respond individually to extended lactation and it might be useful to adapt their diet regarding their individual needs in energy during all the lactation. The aim of the REPROLAC/WP3 project is to investigate the interaction between an individualized feeding strategy and an extended lactation in dairy cows with focus on metabolic adaptation and efficiency of production. The experiment involves 62 Holstein cows managed for 16 months lactation. Half of these cows (G1) were fed a control diet during all the lactation while the other half (G2) received an energy-enriched diet (PMRE) in in early lactation followed by the control diet. The shift in diet for G2 occurred individually, after 42 days and when the live weight gain was above or equal to zero. Preliminary results showed that, in early lactation, the energy-enriched diet reduced the negative energy balance indicated by lower plasma non-esterified fatty acids (NEFA) concentration in G2 compared with G1, and higher milk yield for the G2 cows. Plasma NEFA was higher in G2 than G1 cows from diet shift until 36 weeks, indicating a carry-over effect of the early lactation treatment to late lactation metabolism. After the shift in diet, a 300 days negative carry-over effect of PMRE on the persistency was also observed. Finally, more cows expressed mounting behavior at 8th estrus than at 2nd estrus but insemination success seems not to be improved.

Sammenrag

Udsættelse af insemination medfører forlænget laktation udover de sædvanlige 10-12 måneder. Planlagte forlængede latationsperioder er blevet mere udbredte i takt med, at køernes ydelsespotentiale og ydelse ved goldning er steget. Forskellige management-tiltag støtter forlænget laktation, fx øget malkningsfrekvens eller tilskudsfodring. Køerne reagerer dog individuelt på forlænget laktation, og det kan være relevant tilsvarende at se på muligheden for at tilpasse deres fodring individuelt. Målet med REPROLAC/WP3-projektet er at undersøge samspillet mellem en individuel fodringsstrategi og en laktation hos malkekøer med fokus på energibalance og mælkeproduktion. Forsøget involverede 62 Holstein-køer, som gennemførte 16 måneders laktation. Halvdelen af køerne (G1) blev tildelt en standardfoderration igennem hele laktationen, mens den anden halvdel (G2) fik en ration med et højere energiindhold (PMRE) tidligt i laktationen efterfulgt standardrationen (samme som G1). Foderskiftet for G2 skete individuelt efter minimum 42 dages laktation og ved en tilvækst på minimum nul kg/dag. De foreløbige resultater viser, at PMRE-rationen i tidlig laktation reducerede den negative energibalance, indikeret ved lavere koncentration af frie

fedtsyrer (NEFA) i plasma, samt øgede mælkeydelsen hos G2- sammenlignet med G1-køer. Desuden var plasma NEFA højere hos G2- end G1-køer fra foderskiftet og indtil 36 uger efter kælvning, hvilket indikerer en overslæbningseffekt af behandlingen i tidlig laktation på køernes metabolisme senere i laktationen. Efter foderskiftet blev der observeret negativ effekt af PMRE på ydelsespersistens. Flere køer udviste brunstadfærd ved den ottende brunstperiode end ved den anden brunstperiode, men der var ikke forskel på drægtighedsprocenten.

Introduction

The traditional lactation with Danish Holstein cows lasts approximately 10 to 12 months. The lactation curve reaches a peak between week 4 and 10 after calving followed by a constant slow decrease. To optimize milk production, the cow is re-bred during early lactation to achieve a 12 months calving interval (Holmann et al., 1984). With this strategy, the adverse effect of negative energy balance on reproduction is increased, because breeding takes place 6 to 12 weeks after calving. Indeed the moment of mating coincides with the peak of lactation, and the cow is still in a negative energy balance (Kay et al., 2009). The peak of feed intake occurs after the peak of milk so the cow can't meet its energy requirement from ingested feed and therefore mobilizes body reserves (fat and protein) to meet the deficit and to produce milk (Coffey et al., 2004). Due to genetic selection and better feeding management, milk yield has increased over time but also feed intake, and the mobilization of body reserves. Inversely, the level of health (Pryce et al., 1997) and fertility (Royal et al., 2000) have tended to be reduced in the same time period. These observations lead to the conclusion that the traditional annual calving system might not be the most appropriate anymore. The lactation curve appears to be plastic, leading to an increasing interest in the strategy of extended lactation. With extended lactation re-breeding is delayed to a period with positive energy balance with the aim of maintaining milk production longer than the usual 10 months rather than searching to maximize peak yield (Sorensen et al., 2008). Extended lactation has been developed first in the pasture-based dairy systems following a seasonal calving, to improve reproduction and increase cow survival. Nowadays many farms, non-pasture diet based, start to accept the idea of an extended lactation and its benefits (Steri et al., 2012). The extended lactation strategy could combine both economic returns and improve animal welfare. Welfare advantages are evident as 65 % of the health incidents occur around calving and in the first 45 days of lactation (Erb et al., 1984) and with an extended lactation strategy a cow would experience fewer calvings in the same lifespan. For example, with a 16 months extended lactation, the cow gives birth to 2 calves, instead of 3, over 3 years, that reduces the number of associated health risks periods by one-third. The objective of this paper was to give an overview of the strategies used to support extended lactation, and to give an overview of and preliminary results from the ongoing project REPROLAC/WP3 which focus on extended lactation and an individualised feeding strategy to support it.

The strategies supporting extended lactation

The lactation persistency, defined as the rate of decline in milk yield after the peak of lactation, is plastic and is improved by simple managements. As peak milk yield is inversely correlated with persistency the idea is not to maximize peak yield but to apply management strategies around or after the peak milk yield. These managements need to take into account criteria like for example the parity of the cows as we know that persistency in heifers is higher than in multiparous cows (vanAmburgh et al., 1997, Sorensen and Knight, 2002).

Effect of pregnancy on milk yield and persistency

Nowadays, cows have high milk production capacity and they can maintain it if they are not re-bred too early and with appropriated help like more milking per day or feeding strategies (Knight, 2005). It has been shown that pregnancy leads to depress milk yield in the second and third trimester, and, consequently, to reduce the lactation persistency (Norgaard et al., 2008). The pregnancy effect equals, according to literature, to 2.6 kg milk per day from conception (Norgaard et al., 2008), so a cow rebred at 2 months after calving produces around 20 % less milk than a non-pregnant cow (Bertilsson et al., 1997, vanAmburgh et al., 1997). According to these results, simply by postponing the insemination the total milk yield is increasing.

Increasing milking frequency

Increasing milking frequency for cows managed for 10 months lactation increases the persistency of the lactation, mainly for mature cows (Pettersson et al., 2011). Sorensen et al. (2008) studied the effect of milking frequency on cows managed for 18 months of lactation. From 9 weeks after calving, half of the udder in the cows were milked twice a day, and the other half three times a day. The 3 times milking management increased theoretical lactation length from 68 ± 3 to 102 ± 8 weeks ($P < 0.001$), and half-udder whole-lactation milk yield by 33 %. So, increasing milking frequency increases lactation persistency and total milk yield.

Improving the level of nutrition

Butler et al. (2010) studied the effect of level of supplementation during winter for cows managed in a grazing system and 24 months calving interval period. These cows entered the experiment in November and were fed grass silage and low or high concentrate supplementation during winter before returning to pasture around March. Cows fed high supplementation produced more milk than the cows fed low supplementation, and a carry-over of this effect was observed during the remaining period (Grainger et al., 2009, Butler et al., 2010).

Nutrition also has an effect on the milk production of cows managed in an intensive indoor system. For example, in Sorensen et al. (2008), cows were managed for an 18 months indoor extended lactation. Half of the cows were fed according to standard management practice for the herd while the other half received supplementary concentrate from week 9 of lactation onwards. The persistency of

the supplemented cow was higher than the one of the control group, and the lactation milk yield was significantly increased by 11 % by nutritional supplementation.

Combining effects

In Norgaard et al. (2005), the cows were divided in 4 groups with low or high energy density diet, and 2 or 3 milkings per day. The cows fed a high energy density diet and milked 3 times a day had the highest milk yield for the entire lactation, even after the decrease of milkings per day at 8 weeks postpartum. At this time, all the cows of the experiment were milked only twice a day. The low energy density diet cows previously milked 3 times a day produced the same yield as the low energy density diet cows previously milked twice a day (Norgaard et al., 2005). It seems that feeding a high energy density diet allows a “memory” of production of the past milking management. To conclude, first the milking frequency and energy diet effects are additive, and secondly there is an interaction both that needs to be understood to maximize milk production.

Individualized feeding

Holstein cows answer individually to the extended lactation management regarding their propensity to gain weight (Grainger et al., 2009) and the level of feed intake (Kolver et al., 2007, Grainger et al., 2009). A way to develop individualized feeding is to know more about the energy status of the cow. Automatically on-line real-time dairy cow live weight recording is used to estimate the energy balance (EB), through live weight changes, and the periods of mobilization and deposition (Thorup et al., 2012). It was found that feeding according to live weight can be used to manipulate the extent and the duration of the mobilization phase especially with multiparous cows (Bossen et al., 2009). Increasing ration energy concentration during early lactation causes a higher peak feed energy intake, peak yield and a lower extent of mobilization in multiparous cows. No significant effects have been found with primiparous cows (Everson et al., 1976, Friggens et al., 1998, Bossen and Weisbjerg, 2009). Moreover, cows under extended lactation fed a high quality TMR throughout lactation performed better throughout the lactation than cows fed a TMR of lower quality (Grainger et al., 2009). That's why, the original extended lactation strategy needs to be individually modified in order to study any potential advantages in improving peak yield using high energy diets and hereby keep absolute milk yield higher for a longer period.

The REPOPROLAC project

The REPROLAC project (<http://agro.au.dk/en/research/projects/reprolac/>) intends to bring knowledge on how to support extended lactation in dairy production in favor of climate, animal welfare and productivity. The aim of the project REPROLAC is to develop a new strategy for milk production that significantly reduces the environmental and climatic load and at the same time improves productivity and animal welfare as well as the economy of the farmer. The experiment at The Danish Cattle Research Centre, Foulum, Denmark, is an integrated part of this project (package WP3),

which the objective is to investigate the interaction between an individualized feeding strategy and an extended lactation in dairy cows with focus on metabolic adaptation and efficiency of production.

Animals & Housing

The experiment took place from October 2012 to January 2015. Seventy-two Holstein cows, with 30 % of first parity, entered the experiment but mainly due to E Coli infection ten cows were culled before ended their lactation. The cows were allocated to a feeding treatment regarding the parity and their earlier treatments. All cows were housed in loose-housing system with slatted floor, 62 mattress-bedded cubicles and access to water. Cows had access to one automatic milking unit (AMU) equipped with a device for weighing of the individual concentrate refusals, and a platform scale (Danvaegt, Hinnerup, Denmark) to record the live weight of the animal. Feed intake (PMR) was recorded by the Insentic RIC system (Insentec, Marknesse, The Netherlands). The cows were milked at least twice a day.

Feeding treatments

The cows were allocated to two feeding strategies. The standard feeding strategy (G1) with which cows were offered the same diet for all the lactation, a Partially Mixed Ration offered ad libitum (MR) plus a fixed maximum amount of concentrates offered in the AMU. This G1 diet was based on a 60:40 forage:concentrate ratio (PMR). The individualized feeding strategy (G2) with which cows received two different Partially Mixed Rations, ad libitum, during the whole lactation plus a fixed maximum amount of concentrates offered in the AMU throughout lactation. During early lactation G2 cows were fed a diet enriched in energy, based on a 50:50 forage:concentrate ratio (PMRE). G2 cows were individually shifted to the PMR diet when minimum 42 days in lactation, and when reaching a live weight change above or equal to zero on a five day average. For both groups, 3 kg of concentrates was offered in the milking robot daily.

Data and sampling

During the experiment several data were recorded and some samples were taken. The daily milk yield was recorded and energy corrected milk (ECM) was calculated according to Sjaunja's model (Sjaunja et al., 1991). The daily feed intake was recorded individually and feed samples were taken to determine the chemical composition of mixed rations. The daily body weight (BW) was recorded when the cows were visiting the AMU. Progesterone in milk was also directly measured at the AMU. The body condition score (BCS) was evaluated through a 5 points scale, every second week. Blood was sampled regularly from calving to 36 weeks after calving and plasma concentrations of metabolites (glucose, BHBA, NEFA, urea and uric acid) and hormones (IGF-1 and insulin) were measured. Mammary biopsies were taken for 20 cows at week 3, 5 and 60 after calving. Mounting behavior was also observed and recorded, as well as the insemination success.

Summary of the metabolic results

Before the shift in diet, G2 had higher glucose and lower beta-hydroxybutyrate (BHBA) and non-esterified fatty acids (NEFA) concentrations than G1. After the shift until 36 weeks after calving, plasma NEFA was higher in G2 than G1 cows (Figure 1). Insulin and insulin-like growth factor-1 were not affected by the feeding strategy. To conclude, in early lactation, the energy-enriched diet reduced the NEB. Plasma NEFA was higher in G2 than G1 cows from diet shift until 36 weeks, indicating a carry-over effect of the early lactation treatment to late lactation metabolism.

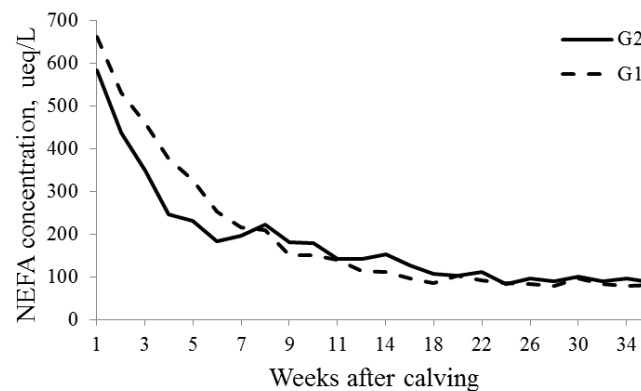


Figure 1. Evolution of the NEFA plasma concentration from week 1 to 36 after calving for both feeding treatments.

Preliminary production results

A total of 53 cows over the initial 62 succeeded in maintaining an extended lactation with an average length of 461 ± 7 d). There was no effect of treatment or parity on lactation length. The total lactation milk yield differs regarding parity but not regarding treatment. The primiparous had an average total lactation milk yield of $13\,746 \pm 657$ kg and the multiparous of $15\,799 \pm 451$ kg (Figure 2).

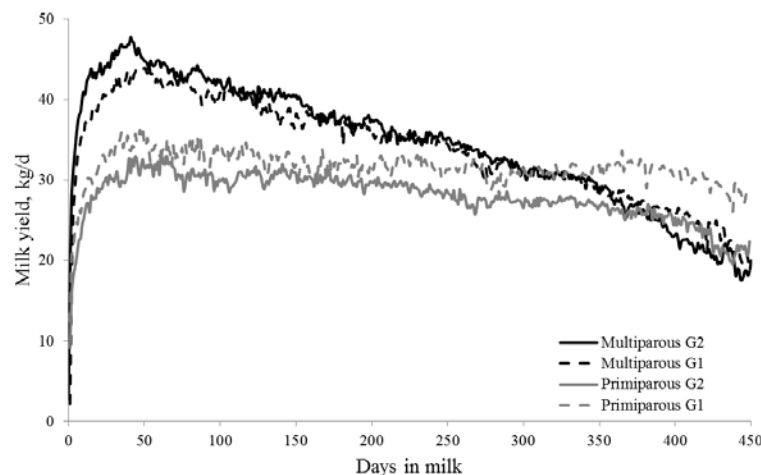


Figure 2. Extended lactation curves regarding the parity (primiparous or multiparous) and the treatment (G1 or G2).

From 0 to 42 days in milk (DIM), G2 had significantly higher energy intake, BCS, and BW at 42 DIM than G1. Moreover, the ECM of multiparous G2 was higher than for G1 (42.8 vs. 40.1 ± 1.5 kg ECM/d), while the P cows (29.0 vs. 32.5 ± 2.2 kg ECM/d) presented opposite effects. After the shift in diet for G2, a new time scale was used to describe the data, where the zero corresponds to the day from shift in diet (DFS). The data were smoothed to study the slopes of the curves defining the persistency of the lactation. The 300 days following the shift, G1 and G2 had similar ECM (35.0 ± 1.0 kg ECM /d), BW, BCS, DMI, and energy intake showing no carry-over effect of the PMRE diet on the milk yield of G2. Nevertheless, the slopes of these curves were different for G1 and G2. From 0 to 100 DFS, the primiparous G2 increased while the primiparous G1 decreased ECM yield ($+ 0.008$ vs. $- 0.01 \pm 0.007$ kg ECM/d). From 201 to 300 DFS, the ECM decreased faster for G2 than for G1 (-0.06 vs. -0.04 ± 0.008 kg ECM/d). To conclude, there was a 100 days positive carry-over effect of PMRE only on the primiparous persistency, as well as a 300 days *negative* carry-over effect of PMRE on the persistency for all the cows.

Summary of the reproduction results

Around 70 % of the cows expressed (mounting behavior) the 8th estrus compared to 37 % for the 1st estrus ($P = 0.02$) and 40 % for the 2nd estrus ($P = 0.06$). However, for this 16 months extended lactation, the conception rates of the 1st and 2nd insemination did not differ from those of the previous 10 months lactation of the actual multiparous cows (respectively $+ 2.9$ %, $P = 0.8$ and $+ 3.4$ %, $P = 0.7$).

Discussion and perspectives of extended lactation

Discussion

A total of 17 primiparous and 36 multiparous succeeded in maintaining an extended lactation over 400 DIM. For the multiparous cows, increasing the energy of the diet in early lactation increased milk yield for the same period as expected. After the shift in diet, there was no carry-over of the PMRE effect on the production data. A carry-over was observed on the ECM slopes around 300 DFS indicating a negative effect on the persistency. This effect occurred quite late and, therefore, should be interpreted with care. Primiparous cows seemed to produce less milk with the high energy diet than with the control PMR diet. The results indicate that the extra energy provided by the diet was only used for gaining weight but it does not explain the lower milk yield. These cows are still growing and are using their energy differently compared to the multiparous cows. To conclude these preliminary results show two different effects of our feeding strategy in early lactation regarding parity, an increase of milk yield for the multiparous, and a weight gain for the primiparous. Nevertheless, the differences observed were small, and no carry-over effect was observed on milk yield, only on the shapes of the lactation curves, at the end of the lactation. This might be due to the fact that our control group (G1) was already fed up to requirements, and that the difference of energy in the diets was finally small.

How to support extended lactation in intensive dairy by feeding?

Several criteria have to be taken into account to select and manage cows for a successful extended lactation: the average level of production of the cow, the breed, the age, the feeding system, and milking frequency. The REPROLAC experiment didn't find any positive long term carry-over of the feeding treatment on milk production or persistency. Nevertheless, other studies like Bossen et al. (2009) and Norgaard et al. (2005), described previously, showed that it is possible to obtain a carry-over effect on milk production using individual feeding strategies (Bossen and Weisbjerg, 2009) or while combining milking frequency and feeding factors (Norgaard et al., 2005). In Norgaard et al. (2005), the group of cows firstly fed an enriched diet and milked 3 times daily produced much more milk than any other groups and kept the same level of production when shifted to 2 twice daily milking. It would be interesting to do the same experiment but at the shift time, to keep the 3 times daily milking and change the energy density of the diet from high to "up to requirements". This would give us an idea of the possible carry-over effect of the level of feeding on milk production.

Another idea is to work on virtual scenarios and apply models to predict the effect on production variables. We are actually working with our REPROLAC data combined with the GARUNS model built by Martin and Sauvant (2010), to create different scenarios of management and define which one is the more profitable regarding milk production, intake and body weight, on the lifetime of a cow. Virtual groups of cows are studied over 3 years with the Modelling paper, with different scenarios mixing the use of 10 months lactation and extended 16 months lactation, regarding parity and feeding treatment.

Conclusion

To summarize, persistency is higher in heifers than multiparous cows, is improved mainly by frequent milking, additional concentrate and calving in winter; while it is depressed by pregnancy and poor nutrition (Sorensen and Knight, 2002). The REPROLAC project results shows that an individualized feeding strategy can decrease the intensity of the mobilization period for the multiparous cows leading to a higher milk production in early lactation. The carry-over effects of this strategy are still unclear, results showing no carry-over effect on milk production, body weight or intake, but an effect on the shapes of the curves. Based on the literature findings it might be interesting to combine milking frequency and individual feeding treatment to support extended lactation.

References

- Bertilsson, J., B. Berglund, G. Ratnayake, K. SvennerstenSjaunja, and H. Wiktorsson. 1997. Optimising lactation cycles for the high-yielding dairy cow. A European perspective. *Livestock Production Science* 50(1-2):5-13.
- Bossen, D. and M. R. Weisbjerg. 2009. Allocation of feed based on individual dairy cow live weight changes II: Effect on milk production. *Livestock Science* 126(1-3):273-285.

- Bossen, D., M. R. Weisbjerg, L. Munksgaard, and S. Hojsgaard. 2009. Allocation of feed based on individual dairy cow live weight changes I: Feed intake and live weight changes during lactation. *Livestock Science* 126(1-3):252-272.
- Butler, S. T., L. Shalloo, and J. J. Murphy. 2010. Extended lactations in a seasonal-calving pastoral system of production to modulate the effects of reproductive failure. *J Dairy Sci* 93(3):1283-1295.
- Coffey, M. P., G. Simm, J. D. Oldham, W. G. Hill, and S. Brotherstone. 2004. Genotype and diet effects on energy balance in the first three lactations of dairy cows. *J Dairy Sci* 87(12):4318-4326.
- Erb, H. N., R. D. Smith, R. B. Hillman, P. A. Powers, M. C. Smith, M. E. White, and E. G. Pearson. 1984. Rates of diagnosis of 6 diseases of Holstein cows during 15 day and 21 day intervals. *American Journal of Veterinary Research* 45(2):333-335.
- Everson, R. A., N. A. Jorgensen, J. W. Crowley, E. L. Jensen, and G. P. Barrington. 1976. Input-output of dairy cows fed a complete ration of a constant or variable forage to grain ratio *J Dairy Sci* 59(10):1776-1787.
- Friggens, N. C., G. C. Emmans, I. Kyriazakis, J. D. Oldham, and M. Lewis. 1998. Feed intake relative to stage of lactation for dairy cows consuming total mixed diets with a high or low ratio of concentrate to forage. *J Dairy Sci* 81(8):2228-2239.
- Grainger, C., M. J. Auldist, G. O'Brien, K. L. Macmillan, and C. Culley. 2009. Effect of type of diet and energy intake on milk production of Holstein-Friesian cows with extended lactations. *J Dairy Sci* 92(4):1479-1492.
- Holmann, F. J., C. R. Shumway, R. W. Blake, R. B. Schwartz, and E. M. Sudweeks. 1984. Economic value of days open for Holstein cows of all alternative milk yields with varying calving intervals *J Dairy Sci* 67(3):636-643.
- Kay, J. K., C. V. C. Phyn, J. R. Roche, and E. S. Kolver. 2009. Extending lactation in pasture-based dairy cows. II: Effect of genetic strain and diet on plasma hormone and metabolite concentrations. *J Dairy Sci* 92(8):3704-3713.
- Knight, C. H. 2005. Extended lactation: Turning theory into reality. Vol. 17. *Advances in Dairy Technology*, VOL 17.
- Kolver, E. S., J. R. Roche, C. R. Burke, J. K. Kay, and P. W. Aspin. 2007. Extending lactation in pasture-based dairy cows: I. Genotype and diet effect on milk and reproduction. *J Dairy Sci* 90(12):5518-5530.
- Norgaard, I. V., M. T. Sorensen, P. K. Theil, J. Sehested, and K. Sejrsen. 2008. Effect of pregnancy and feeding level on cell turnover and expression of related genes in the mammary tissue of lactating dairy cows. *Animal* 2(4):588-594.

- Norgaard, J., A. Sorensen, M. T. Sorensen, J. B. Andersen, and K. Sejrsen. 2005. Mammary cell turnover and enzyme activity in dairy cows: Effects of milking frequency and diet energy density. *J Dairy Sci* 88(3):975-982.
- Pettersson, G., K. Svennersten-Sjaunja, and C. H. Knight. 2011. Relationships between milking frequency, lactation persistency and milk yield in Swedish Red heifers and cows milked in a voluntary attendance automatic milking system. *Journal of Dairy Research* 78(3):379-384.
- Pryce, J. E., R. F. Veerkamp, R. Thompson, W. G. Hill, and G. Simm. 1997. Genetic aspects of common health disorders and measures of fertility in Holstein Friesian dairy cattle. *Animal Science* 65:353-360.
- Royal, M., G. E. Mann, and A. P. F. Flint. 2000. Strategies for reversing the trend towards subfertility in dairy cattle. *Veterinary Journal* 160(1):53-60.
- Sjaunja, L. O., L. Baevre, L. Junkkarinen, J. Pedersen, and J. Setälä. 1991. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula Vol. 50. *Performance Recording of Animals : State of the Art*, 1990.
- Sorensen, A. and C. H. Knight. 2002. Endocrine profiles of cows undergoing extended lactation in relation to the control of lactation persistency. *Domestic Animal Endocrinology* 23(1-2):111-123.
- Sorensen, A., D. D. Muir, and C. H. Knight. 2008. Extended lactation in dairy cows: effects of milking frequency, calving season and nutrition on lactation persistency and milk quality. *Journal of Dairy Research* 75(1):90-97.
- Steri, R., C. Dimauro, F. Canavesi, E. L. Nicolazzi, and N. P. P. Macciotta. 2012. Analysis of lactation shapes in extended lactations. *Animal* 6(10):1572-1582.
- Thorup, V. M., D. Edwards, and N. C. Friggens. 2012. On-farm estimation of energy balance in dairy cows using only frequent body weight measurements and body condition score. *J Dairy Sci* 95(4):1784-1793.
- vanAmburgh, M. E., D. M. Galton, D. E. Bauman, and R. W. Everett. 1997. Management and economics of extended calving intervals with use of bovine somatotropin. *Livestock Production Science* 50(1-2):15-28.

I NorFor: Hvor meget mere mælk kan forventes, når foderniveauet øges?

Charlotte Jensen, Aarhus Universitet, Foulum

Summary

The amount of feed energy used per cow per day is of great importance for the milk production as well as the economy in dairy herds, as feed constitute the largest expense in milk production. In an industrial PhD study, the research was on the production of milk and growth in dairy cattle as a response to an increased energy intake. The amount of energy in the feed ration was calculated by use of NorFor, a new Nordic feed evaluation system, which differs from the previous Feed Unit system, in being non-additive. It was analysed how a higher energy intake, specific nutrients and also how breed, parity and stage of lactation of the cow affects the milk production within production data of Danish, Norwegian and Swedish trials. Commercial production data from the Dairy Management System from the Knowledge Centre for Agriculture is also included in the analyses.

Sammen drag

Mængden af energi tildelt per ko per dag har meget stor betydning for mælkeproduktionen og dermed også for økonomien i malkekvægsbesætninger, da foder udgør den største omkostning ved mælkeproduktionen. I et erhvervs ph.d. studium blev produktionen af mælk og tilvækst hos malkekøer som respons på et øget energioptag undersøgt, hvor energimængden i foderrationen var beregnet ud fra NorFor, et nyt nordisk fodervurderingssystem, som adskiller sig fra det tidligere FE-system bl.a. ved at være ikke-additivt. Det blev analyseret, hvordan optagelsen af ekstra foderenergi, specifikke næringsstoffer samt hvordan koens race, paritet og laktationsstadiet påvirker mælkeproduktionen ved brug af produktionsdata fra danske, norske og svenske forsøg. Produktionsdata fra praksis, via DMS fra Videncentret for Landbrug, er også inddraget i analyserne.

Baggrund

I malkekvægsbesætninger har foderrationens sammensætning og foderniveauet (energi tildelt pr. ko pr. dag) stor betydning for køernes mælkeproduktion. Foderudgifter udgør typisk 80 % af de variable omkostninger (Thøgersen og Laursen, 2009), og foder er dermed den enkeltfaktor, der har størst betydning for økonomien i en malkekvægsbesætning. En stigende fokusering på effektivisering og mere svingende priser på foder og mælk gør det nødvendigt, at foderplanlægningen i en malkekvægsbesætning er baseret på en økonomisk optimering. Til sammensætning af de ernærings- og produktionsmæssigt rigtige foderrationer er der de seneste år udviklet mekanistiske fysiologiske modeller, som NorFor, der er udviklet og implementeret i Danmark, Norge, Sverige og Island (Volden, 2011). NorFor optimerer fodersammensætningen og næringsstofforsyningen i forhold til køernes behov ved maksimal produktion, men denne fodersammensætning vil sjældent være den økonomisk optimale. Dette skyldes et aftagende merudbytte, da køernes udnyttelse af foderets energi til produktion aftager med stigende foderniveau (Østergaard, 1979). Der har tidligere manglet

mekanistiske fysiologiske foderplanlægningssystemer, hvor fastsættelsen af foderniveau er optimeret økonomisk, idet der manglede viden om produktionsfunktionerne gældende for et nutidigt produktionsniveau hos moderne højtydende køer (Østergaard et al., 2009). Dette var grundlaget for at udvikle et værktøj til maksimering af det økonomiske udbytte ved at finde det optimale foderniveau i forhold til priserne på foder og mælk i NorFor.

Det overordnede formål i et Erhvervs Ph.D. af Jensen (2014) var, at bidrage med viden om produktionsresponsen i form af mælk og kød i forhold til optagelsen af energi med foderet baseret på NorFor fodervurderingssystemet. I projektet blev der gennemført meta-analyser af produktionsresponsen ved stigende optagelse af nettoenergi til laktation (NEL). Det forventedes at prædiktionsmodellerne skulle bruges ved optimering af foderniveauet for grupper af lakterende køer, og derfor blev det valgt at bruge gruppedata (behandlingsgennemsnit) som datagrundlag for meta-analyserne frem for at bruge individuelle data. Med henblik på yderligere at evaluere de udviklede prædiktionsmodeller for mælkeproduktion blev modellerne anvendt på data fra kommercielle besætninger.

Mælkeproduktion ved stigende foderoptag

Til analysen af mælkerespons blev der indsamlet data fra 13 tidligere skandinaviske produktionsforsøg med i alt 195 behandlings gennemsnit som grundlag for udviklingen af prædiktionsmodeller for EKM respons ved øget optagelse af NEL baseret på energivurdering i NorFor fodervurderingssystemet og specifikt for forskellige pariteter, laktationsstadier og racer (Tabel 1). Alle forsøgs foderrationer blev genberegnet efter NorFor energiværdiurderingen (Tabel 2). Data blev analyseret ved brug af lineære mixed modeller med forsøg som tilfældig effekt.

Der var et kurvelineært mælke respons på energi optaget for ældre køer (2. laktation og ældre) i både tidlig og midt laktation og for førstekalvskøer i midt laktation, mens førstekalvskøer i tidlig laktation viste et lineært respons (Figur 1). For ældre køer var mælkeresponsen på øget energioptag større end for førstekalvskøer. De racespecifikke mælkeresponser var parallelle. De marginale mælkeresponser faldt med stigende energioptagelse, især for ældre køer mens responsen for førstekalvskøer kun faldt lidt. I tidlig laktation faldt mælkeproduktionen på ekstra energioptag fra 0,34 til 0,08 kg EKM/MJ for ældre køer og fra 0,20 til 0,15 kg EKM/MJ for førstekalvskøerne (Figur 1).

Tabel 1. Karakteristika for køer, mælkeproduktion og foderoptag for førstekalvs og ældre køer i tidlig laktation blandt de tidligere produktionsforsøg.

	Førstekalvs (n ^a = 66)				Ældre (n = 69)			
	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max
Animal characteristics								
DIM	70	25	45	136	67	22	45	136
BW (kg)	531	49	365	626	601	44	455	680
Animal production (kg/d)								
ECM	26,6	4,4	15,3	36,1	33,0	4,8	20,8	44,4
Milk yield	26,7	4,6	16,2	36,8	33,3	5,4	20,5	42,3
Protein yield	0,87	0,15	0,47	1,16	1,07	0,17	0,68	1,37
Fat yield	1,08	0,18	0,62	1,48	1,34	0,20	0,82	1,95
Intake								
DM (kg/d)	18,1	2,6	12,0	22,7	21,7	2,4	15,7	26,0
ME (MJ/d)	192	29	125	255	228	27	160	283
NEL (MJ/d)	115	18	75	154	136	17	95	171

^a n = Antal observationer (Behandlingsgennemsnit).

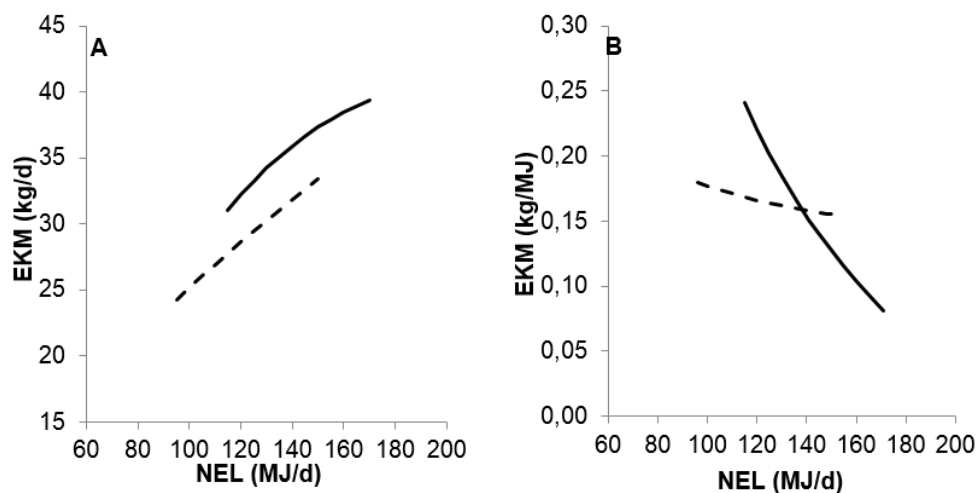
Tabel 2. Karakteristika for foderrationer i datasæt af tidlig laktation (DIM 1 – 100) blandt de tidligere produktionsforsøg.

	Tidlig (n ^a = 135)			
	Mean	SD	Min	Max
Ration DM (%)	48	14	30	87
OMD ^b (%)	74	2,3	69	80
NDFD ^c (%)	61	6,5	50	80
Concentrate share (%)	42	18	0	85
CP (g/kg DM)	165	18,3	135	226
Crude fat (g/kg DM)	38	7,1	24	55
NDF (g/kg DM)	371	52	277	520
Starch (g/kg DM)	155	57	0	259
Sugar (g/kg DM)	53	30	11	140

^a n = Antal observationer (Behandlingsgennemsnit).

^b OMD = apparent total digestibility of organic matter, NorFor estimate.

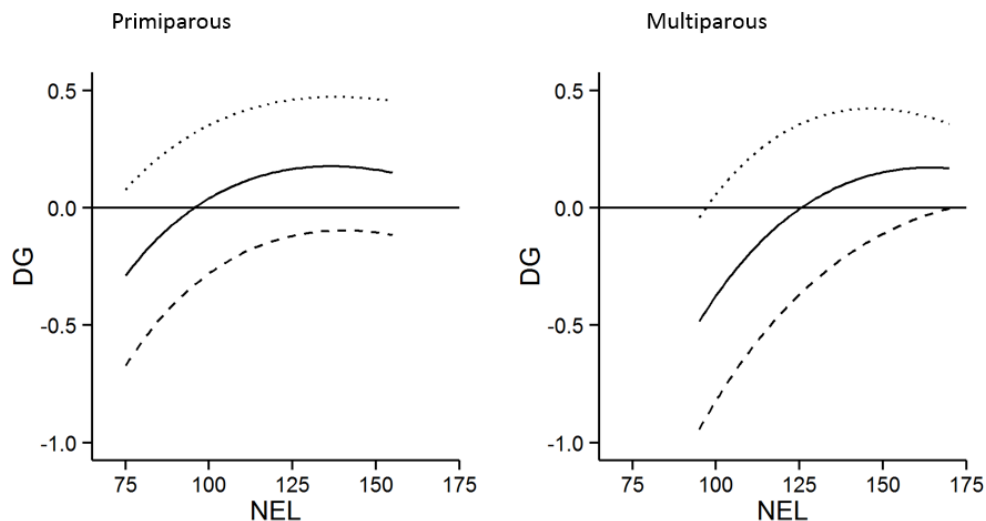
^c NDFD = apparent total digestibility of NDF, NorFor estimate.



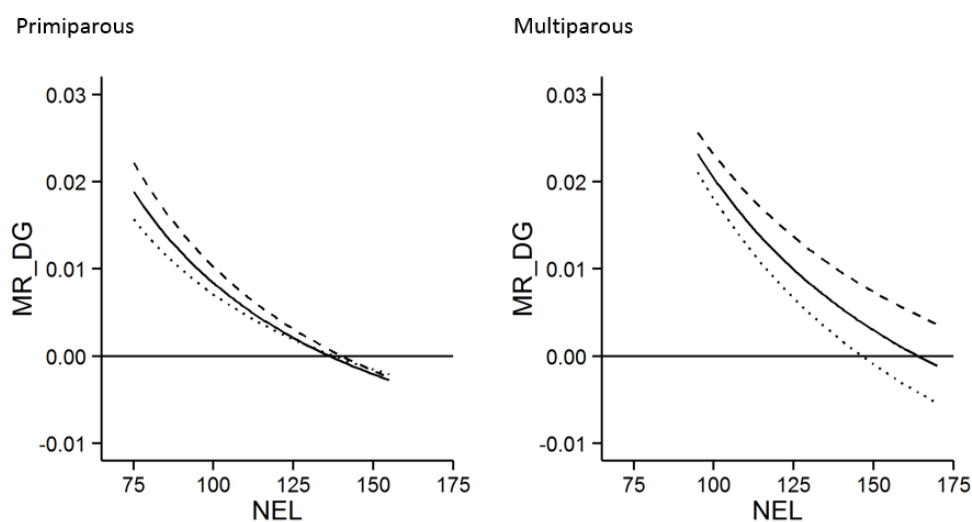
Figur 1. Effekten af stigende NEL optag på mælkeproduktionen (A) og på marginal mælkeproduktionen (B) for førstekalvskøer (---) og ældre køer (—) i tidlig laktation.

Tilvækst ved stigende foderoptag

Data fra 6 tidligere skandinaviske produktionsforsøg med i alt 78 behandlingsgennemsnit blev indsamlet som grundlag for at udvikle prædiktionsmodeller for tilvækst respons på øget optagelse af NEL baseret på energivurdering i NorFor fodervurderingssystemet og specifikt for forskellige pariteter, laktationsstadier og racer. Der blev fundet kurvelineære responsfunktioner for daglig tilvækst (DG) hos førstekalvs- og ældre køer på laktationsstadierne 30, 60 and 90 DIM (Figur 2). Responset i DG på NEL optagelse steg kurvelineært med en faldende stigningstakt for begge pariteter. Dog havde ældre køer større vægttab ved lavt NEL optag, men også større respons på stigende NEL optag end førstekalvskøer. Vægtændringen ved stigende NEL optagelse hos ældre køer ved DIM 30 var større end ved DIM 60 og 90, hvor DG ved DIM 90 var lavest. De marginale effekt af øget energioptag på daglig tilvækst var faldende, særligt for førstekalvskøer (Figur 3). Der var ikke nogen effekt af specifikke næringsstoffer eller af race på respons i tilvækst.



Figur 2. Effekten af stigende NEL optag (MJ/d) på daglig tilvækst (DG, kg/d) ved laktationsstadie 30 (.....), 60 (—) og 90 (- -) DIM for førstekalvskøer og ældre køer.



Figur 3. Marginale effekt af stigende NEL optag (MJ/d) på daglig tilvækst (DG, kg/MJ) ved laktationsstadie 30 (.....), 60 (—) og 90 (- -) DIM for førstekalvskøer og ældre køer.

Sammenligning til praksis

Fra praksis via DMS blev 2.580 registreringer af foderoptagelse og mælkeydelse på gruppeniveau fra 728 kommercielle danske malkekvægs besætninger (Tabel 3) brugt til at evaluere anvendelse af mælkeprædiktionsmodellen samt at analysere mulige faktorer som forårsager afvigelse i prædiktionen på besætningsniveau. Den prædikterede EKM produktion baseret på modellen afveg fra den observerede EKM produktion med plus 4 kg, 1 kg og 2 kg for henholdsvis Dansk Holstein, Dansk Rød og Dansk Jersey. De mest betydende faktorer til forklaring af afvigelsen var laktationsstadie og rationskarakteristika, men 47 % af afvigelsen skyldtes andre faktorer, som kunne være fx management og miljø. Der var en større effekt af energioptagelse på mælke responset ved anvendelse af “mellem

besætninger” data (between herd data) end ved anvendelse af “inden for besætning” data (within herd data). Mælkeresponskurverne for besætningsdata viste et stigende marginal respons på stigende energioptagelse, hvilket formentlig skyldes specielle faktorer hos de kommercielle besætningsdata sammenlignet med data fra de kontrollerede forsøg. Forskellene i responskurverne mellem anvendelse af “mellem besætninger” data og “inden for besætning” data indikerer, at det er relevant at arbejde yderligere med at kombinere EKM prædiktionsmodeller med besætningsdata med henblik på at opnå en besætningsspecifik responsfunktion for mælkeproduktion.

Tabel 3. Karakteristika for besætningsdata af racerne DH, DR og DJ via DMS over et år (december 2012 til november 2013).

	DH (n ^a =561)				DR (n=42)				DJ (n=125)			
	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max
Size ^b	205	110	28	797	161	71	27	342	238	142	47	1090
DIM	198	16	137	272	185	17	135	224	193	17	153	250
Paritet ^c	0,38	0,05	0,24	0,65	0,39	0,07	0,27	0,60	0,36	0,06	0,21	0,52
EKM, kg/d	30,6	3,1	20,9	42,6	29,8	2,6	24,1	34,7	27,9	2,3	18,7	32,1
DM, kg	22,6	1,5	17,8	28,6	21,9	1,4	19,3	24,9	18,9	1,2	15,8	22,1
NEL, MJ	146	10	113	182	142	10	125	163	122	7	103	144

^a Number of herds

^b Number of lactating cows

^c Ratio of primiparous cows out of total milking cows

Konklusion

Indlægget bidrager med ny viden om mælkeproduktionsresponsen på basis af NorFor energivurderingssystemet. Responsfunktionerne forventes at kunne indbygges i et værktøj til økonomisk optimering af foderniveauet i rationer til malkekøer og dermed bidrage til at optimere produktionsøkonomien hos den enkelte mælkeproducent.

Referencer

Jensen, C., 2014. Milk and growth responses to energy intake in dairy cattle – In the perspective of the non-additive feed evaluation system – NorFor. Ph.D. Thesis, Science and Technology, Aarhus University.

Thøgersen, R. og P.H. Laursen, 2009. Se altid kritisk på fodringsøkonomien. I: Jensen, E. B. (red.), Produktionsøkonomi Kvæg, 2009, Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, 14-19.

Volden, H., 2011. NorFor - The Nordic feed evaluation system. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands, 180 pp.

Østergaard, S., Weisbjerg, M., Aaes, O., Friggens, N., Kristensen, T., Kristensen, A. R., Nielsen, L. R., Bossen, D., 2009. Udredningsrapport om økonomisk foderoptimering i den enkelte besætning baseret på NorFor Plan. Intern rapport, DJF Husdyrbrug nr. 14.

Østergaard, V., 1979. Strategies for concentrates feeding to attain optimum feeding level in high yielding dairy cows. An interdisciplinary study based on a Danish long-term experiment 1972-76 on input-output relationships in milk production. Doktorafhandling. 482. Beretn., Statens Husdyrsforsøg, Kbh. 138 pp.

Vitamin D fysiologi og forsyning hos malkekvæg

Lone Hymøller og Søren Krogh Jensen, Aarhus Universitet, Foulum

Sammen drag

Vitamin D, som tilhører gruppen af fedtopløselige vitaminer, har de seneste år været et af de mest omdiskuterede næringsstoffer i både dansk og udenlandsk presse. Dette skyldes, at vitamin D har vist sig at have indflydelse på mange forskellige fysiologiske processer i kroppen lige fra kalciumbalance og knoglestyrke til immunforsvarets funktion. Hos malkekvæg betyder dette, at vitamin D potentielt har stor indflydelse på bl.a. risikoen for kælvningsproblemer og mælkefeber hos køer samt dyrenes generelle holdbarhed og sundhed. Gennem de seneste 10 år har forskere på AU Foulum intenst studeret vitamin D-forsyningen og -fysiologien hos malkekvæg. Resultaterne af disse undersøgelser har vist, at sommersonnlys er en meget vigtig kilde til vitamin D hos malkekøer, og der er en lineært stigende effekt på køernes vitamin D-status i blodet, jo længere tid de dagligt opholder sig i sommersonnen. Tilskud med syntetisk vitamin D i foderet er nødvendigt om vinteren, eller når malkekøer ikke har adgang til udearealer om sommeren, men det ser ud til at de eksisterende normer for tildeling af vitamin D til malkekøer er for lave.

English summary

Vitamin D, which belongs to the group of fat-soluble vitamins, has in recent years been one of the most debated nutrients in both Danish and foreign press. This is because vitamin D has been shown to influence a vast number of different physiological processes in the body from calcium homeostasis and bone strength to the function of the immune system. In dairy cattle, this means that vitamin D potentially has a major impact on e.g. the risk of calving problems and milk fever in cows and the overall longevity and health of the animals. During the last 10 years, researchers at AU Foulum have studied the vitamin D supply and physiology of dairy cattle intensively. The results of these studies have shown that summer sunlight is a very important source of vitamin D in dairy cows, and that there is a linearly increasing effect on the cows' vitamin D status in the blood the longer they get to stay outside in the summer sunlight on a daily basis. Supplementation with synthetic vitamin D in the feed is necessary during winter, or if dairy cows do not have access to outdoor areas during summer, but it seems that the existing recommendations on supplying dairy cows with vitamin D are insufficient.

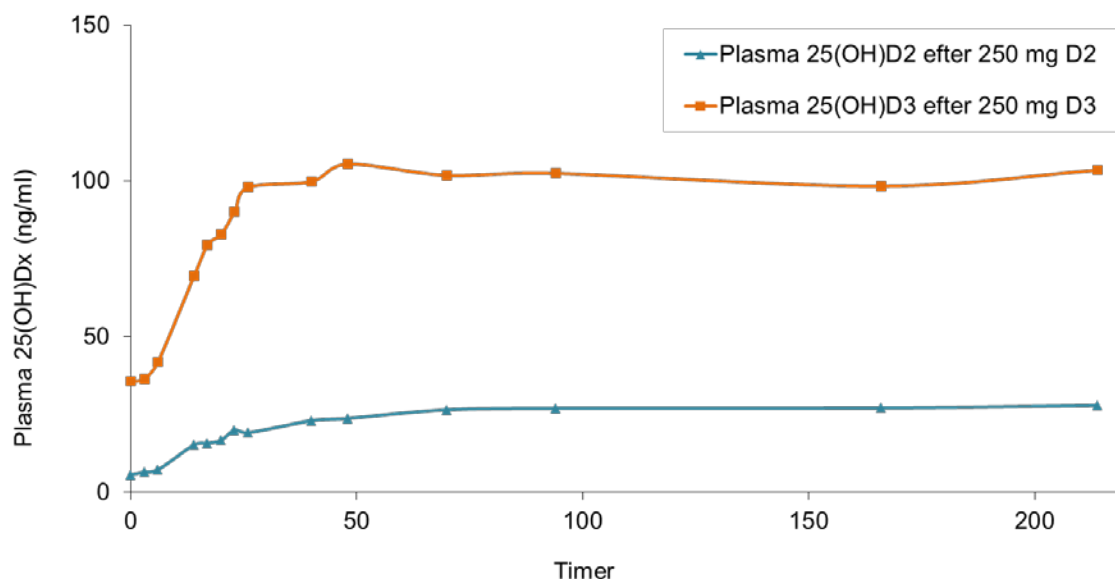
Vitamin D

Vitamin D har været et af de mest omtalte næringsstoffer i pressen de senere år, da mangel på vitamin D har vist sig at have store konsekvenser for menneskers sundhed, der rækker langt ud over den klassisk kendte ”engelske syge” beskrevet første gang for langt over 100 år siden. Mælkeprodukter har traditionelt været anerkendt som en god kilde til vitamin D. Dette kræver dog, at malkekøerne, der leverer mælken, har et tilstrækkeligt højt vitamin D-indhold i kroppen, ellers kan de selvsagt heller ikke overføre vitamin D til mælken.

Vitamin D er et fedtopløseligt vitamin, som er involveret i en række fysiologiske processer fra regulering af kalciumindholdet i blodet (mælkefeber) og vedligeholdelse af skelettets knoglestyrke til immunforsvarets funktion (Braidman & Anderson, 1985; Horst et al., 1994). Der findes to typer vitamin D, som har betydning for vitamin D-forsyningen hos kvæg: ergocalciferol (vitamin D₂, D₂) og cholecalciferol (vitamin D₃, D₃). Biokemisk minder D₂ og D₃ meget om hinanden (Nigwekar et al., 2012). Vitamin D₂ stammer fra de svampe, der vokser på plantematerialet i dyrenes grovfoder. Svampene producerer D₂ under vejring ved høst, når de udsættes for sollys (Richardson & Logendra, 1997). Vitamin D₃ produceres enten i dyrenes hud, når de udsættes for sollys om sommeren (Hymøller & Jensen, 2010a), eller tildeles i foderet eller ved indsprøjtning i form af kommercielle, syntetiske vitamintilskud. Vitamin D₂ og D₃ er ikke fysiologisk aktive i sig selv, men aktiveres i to trin: I første trin omdanner enzymer i leveren vitaminet til 25-hydroxyvitamin D (25(OH)D₂ eller 25(OH)D₃), som er den form, der hovedsageligt cirkulerer i blodet og derfor bruges til at måle status i kroppen ved udtagelse af en blodprøve. I andet trin omdanner enzymer i nyrerne 25-hydroxyvitamin D til 1α,25-dihydroxyvitamin D (1α,25(OH)₂D₂ eller 1α,25(OH)₂D₃), som er den hormonelle form af vitamin D, der er ansvarlig for vitaminets fysiologiske effekter i kroppen (Zehnder et al., 2001).

Vitamin D₂ eller vitamin D₃ til malkekvæg?

En række ældre rotteforsøg har vist, at de to typer vitamin D, D₂ og D₃, tilsyneladende har samme fysiologiske aktivitet, og at det derfor er lige meget, hvilken type vitamin D der anvendes, hvis det skal suppleres i foderet. Dette, har man hidtil antaget, var en universel sandhed, som gjaldt alle dyrearter, inkl. mennesker, selvom forsøg med andre arter end rotter ikke entydigt har støttet denne antagelse (Sommerfeldt et al., 1983). For at undersøge, om D₂ og D₃ har samme fysiologiske værdi hos kvæg, gennemførtes et forsøg, hvor 14 Holsteinkøer blev inddelt i to behandlingsgrupper, der blev tildelt henholdsvis 250 mg (10 mio. IE) D₂ eller D₃ på forsøgets første dag. Derefter blev der udtaget blodprøver gennem de efterfølgende 10 dage for løbende at bestemme indholdet af 25(OH)D₂ og 25(OH)D₃ i blodet. Blodprøverne viste et signifikant højere indhold af 25(OH)D₃ i blodet hos køer, der havde fået D₃ i forhold til indholdet af 25(OH)D₂ i blodet hos køer, der havde fået D₂ (Figur 1).

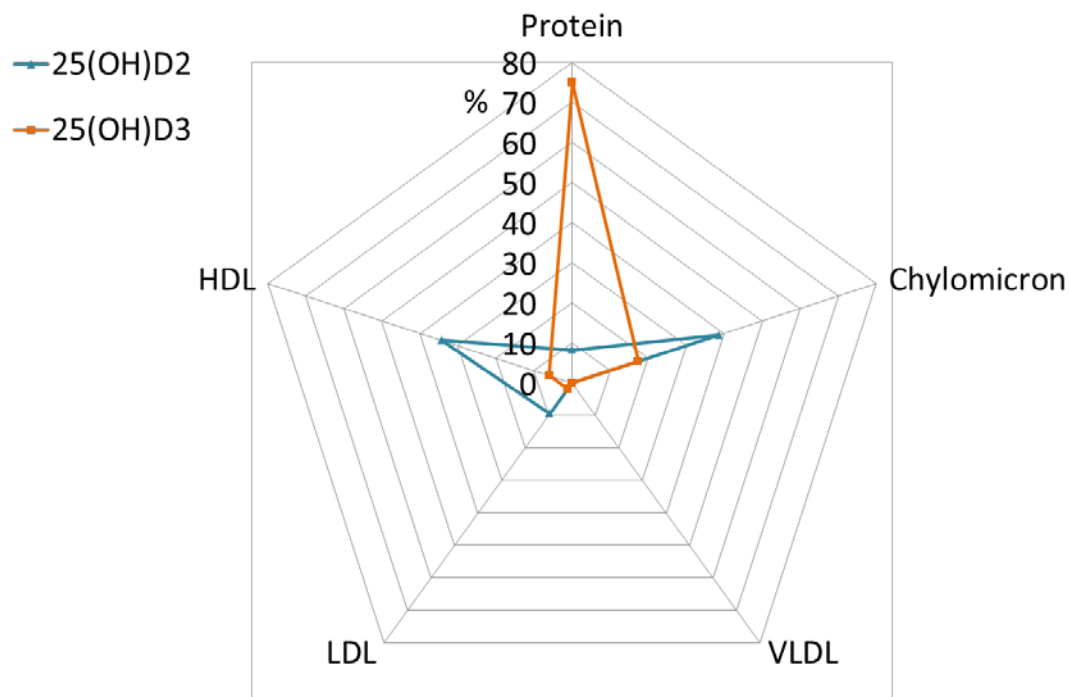


Figur 1. Indhold af 25(OH)D₂ eller 25(OH)D₃ i blodplasma fra køer tildelt henholdsvis 250 mg (10 mio. IE) vitamin D₂ eller vitamin D₃ (Hymøller & Jensen, 2011).

Til trods for, at køerne fik nøjagtig samme mængde af de to vitamin D-typer, så var stigningen i blodets indhold af 25(OH)D₂ ved tildeling af D₂ kun omkring 25 % af stigningen i blodets indhold af 25(OH)D₃ ved tildeling af en tilsvarende mængde D₃. Det er uvist, nøjagtig hvorfor to biokemisk set næsten ens typer vitamin D kan have så forskellig effekt i kroppen, men både *in vivo*- og *in vitro*-forsøg har vist, at hverken D₂ eller D₃ nedbrydes i fordøjelseskanaalen i nævneværdig grad, inden de optages til blodet (Hymøller & Jensen, 2010b). Det er altså ikke i optagelsen fra fordøjelseskanaalen, forklaringen skal søges.

Plasmatransport af vitamin D₂ og vitamin D₃

Undersøgelser på mennesker har indikeret, at 25(OH)D₃ cirkulerer i blodet hovedsageligt bundet til et specifikt transportprotein kaldet vitamin D-bindende protein (VDBP), mens den samme konsekvente binding af 25(OH)D₂ til VDBP ikke har kunnet påvises (Haddad et al., 1993). For at undersøge, om binding til andre fraktioner af blodplasma end VDBP kan forklare den fysiologiske forskel mellem D₂ og D₃ hos kvæg, blev der udtaget blodprøver fra seks Holsteinkalve. Blodplasma fra blodprøverne blev ved kraftig centrifugering adskilt i 5 fraktioner efter deres massefylde: den letteste fedtfraktion (chylomicroner), tre lipoproteinfraktioner (VLDL, LDL, HDL) og den tungeste proteinfraktion (bl.a. VDBP). Resultaterne viste, at omkring 80 % af det cirkulerende 25(OH)D₃ var bundet til VDBP, mens kun knap 10 % af det cirkulerende 25(OH)D₂ var bundet til VDBP. Til gengæld cirkulerede 25(OH)D₂ i stor udstrækning bundet til fedt og lipoproteiner i blodplasma (Figur 2).



Figur 2. Fordeling af 25(OH)D₂ og 25(OH)D₃ i forskellige blodplasmafraktioner fra kalve (Hymøller & Jensen, 2014).

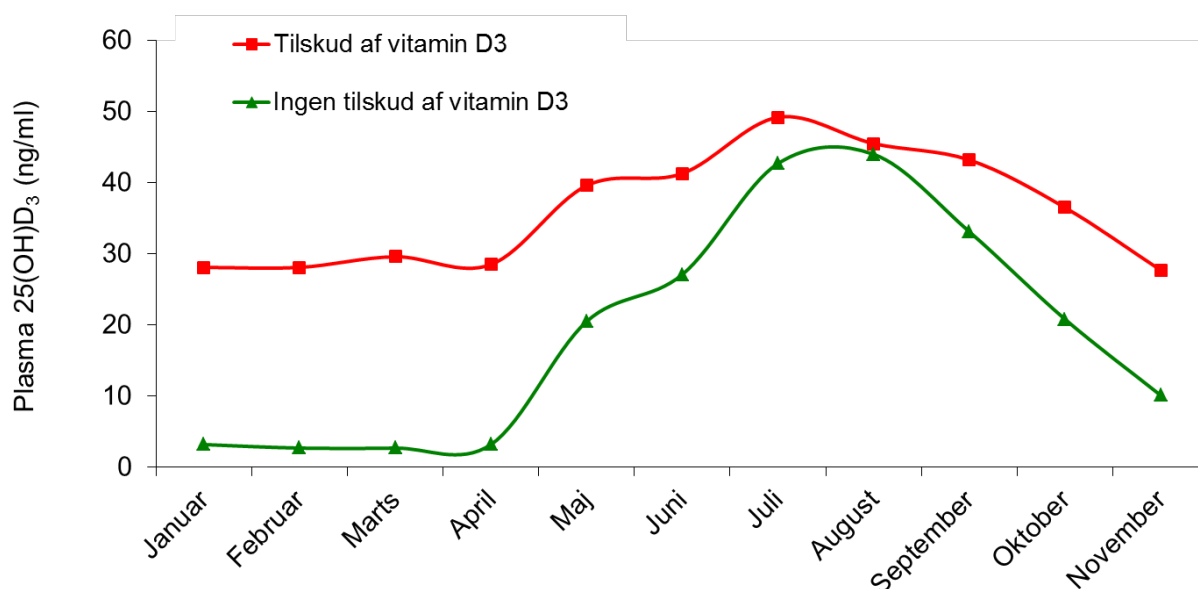
Resultaterne af disse undersøgelser er endnu ikke helt færdigbehandlede, men de tyder på, at forskelle i 25(OH)D₂s og 25(OH)D₃s individuelle evner til at binde sig til specifikke transportproteiner i blodet måske kan være en del af forklaringen på den fysiologiske forskel mellem D₂ og D₃ hos kvæg.

Sollys eller syntetisk fodertilskud af vitamin D₃?

Vitamin D₃ ser altså ud til at være det mest effektive valg til supplerings med vitamin D til kvæg, men da der er to kilder til D₃, sollys og syntetiske vitamintilskud, er det nødvendigt at undersøge, hvorledes disse to kilder supplerer hinanden for at opstille retningslinjer for, hvor meget og hvornår D₃ skal suppleres i foderet. For at undersøge effekten af henholdsvis sollys og syntetisk D₃ blev 30 stude af blandet race på ca. 120 kg fordelt på to behandlingsgrupper. Den ene gruppe blev fodret gennem et år uden tilskud af D₃ i foderet, mens den anden gruppe blev tildelt 300 µg (12.000 IE) D₃ pr. dag, hvilket svarer nogenlunde til den nuværende danske NorFor-norm (Nielsen & Volden, 2011) og den daværende amerikanske NRC-norm (NRC, 2001). Studene var på græs fra april til oktober i det sydlige Sverige, hvor behandlingsgruppen, der fik D₃ i foderet, havde adgang til en vitaminblanding med D₃ på marken. Dyrene blev en gang om måneden indfanget til udtagning af blodprøver.

Blodprøverne viste, at tilskud af D₃ i foderet var nødvendigt om vinteren, når dyrene ikke havde adgang til sommersollys. Studene, der ikke fik D₃ i foderet, havde et meget lavt indhold af 25(OH)D₃ i blodet om vinteren. Til gengæld havde adgang til D₃ på marken om sommeren ingen ekstra effekt på blodets indhold af 25(OH)D₃ ud over, hvad sollyset allerede forsynede dyrene med. Yderligere viste

resultaterne, at den nuværende NorFor-norm for tildeling af D₃ i foderet ikke var høj nok til at opretholde et indhold af 25(OH)D₃ i blodet om vinteren svarende til, hvad sommersolen i det sydlige Sverige kunne levere (Figur 3). I praksis har dette ført til, at der i dag anvendes et højere dagligt tilskud af D₃ end de gældende normer til malkekøer på omkring 475 µg (19.000 IE) D₃ pr. dag (Vilomix, 2015; Vitfoss, 2015).

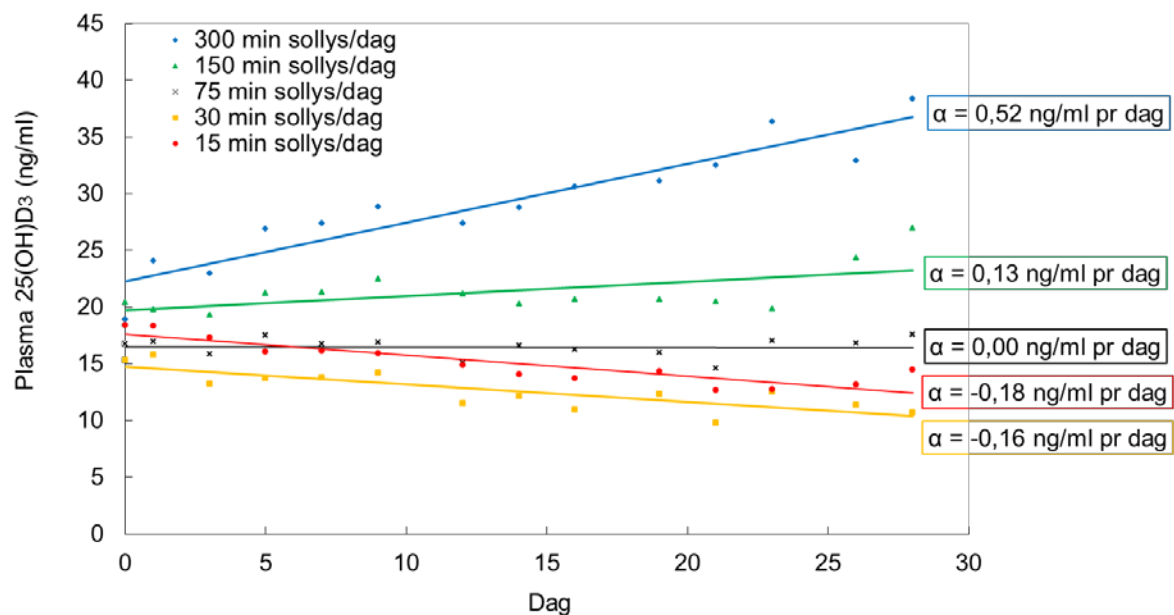


Figur 3. Indhold af 25(OH)D₃ i blodplasma fra stude fodret med eller uden tilskud af 300 µg (12.000 IE) vitamin D₃ pr. dag i henhold til svensk norm (Hymøller et al., 2009).

Hvor længe i solen for at opnå tilstrækkelig vitamin D₃-forsyning?

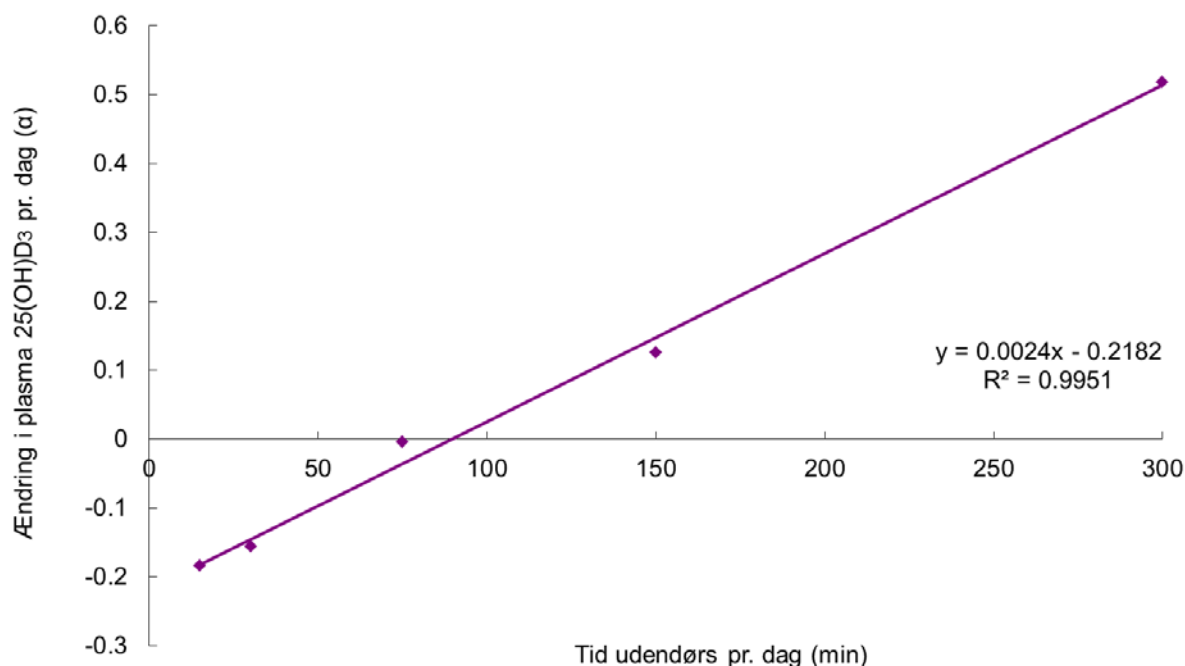
For at undersøge, hvor lang tid kvæg skal have adgang til sollys for at opnå et tilstrækkelig indhold af 25(OH)D₃ i blodet, blev 20 Holsteinkøer fordelt i fem behandlingsgrupper, som gennem 28 dage dagligt blev lukket ud i sommersollyset i henholdsvis 15 minutter, 30 minutter, 75 minutter, 2,5 time eller 5 timer. Fem-timers køerne blev lukket først ud om morgenen, mens 15-minutters køerne blev lukket sidst ud senere på dagen. Når køerne blev lukket ind igen, var rækkefølgen omvendt, således at alle køerne var ude i det tidsrum, hvor solen stod højest på himlen. Køerne fik ingen tilskud af syntetisk D₃ i foderet.

Blodprøver fra forsøget viste, at køer, som havde fået sol i mindre end 75 minutter dagligt, havde et faldende indhold af 25(OH)D₃ i blodet dag for dag. Faldet var større, jo kortere tid køerne havde tilbragt i solen. Køer, der dagligt var ude i 2,5 time eller mere, fik der imod højere og højere 25(OH)D₃-niveauer i blodet i løbet af de 28 dage, forsøget varede. Mindst 1,5 times dagligt sollys var nødvendigt for at opretholde en jævn 25(OH)D₃-status i blodet svarende til køer på vinterfodring med tilskud af D₃ i rationen (Figur 4).



Figur 4. Indhold af 25(OH)D₃ i blodplasma fra køer med adgang til sollys gennem forskellige tidsrum (Hymøller & Jensen, 2012).

Der var desuden en klar lineær sammenhæng mellem den tid, som køerne tilbragte i marken, og hastigheden, hvormed 25(OH)D₃ i blodprøverne henholdsvis steg eller faldt gennem forsøgets 28 dage (Figur 5). Det kunne derfor konkluderes, at 15 minutters ophold i solen dagligt om sommeren ikke er nok til at opretholde et tilstrækkeligt højt 25(OH)D₃-indhold i blodet hos malkekøer, og at der er en lineært stigende effekt af at øge køernes daglige adgang til sollys.



Figur 5. Daglig ændring i indhold af 25(OH)D₃ i blodplasma (hælningskoefficient) fra køer med adgang til sollys gennem forskellige tidsrum i relation til, hvor lang tid køerne opholdt sig i solen dagligt (Hymøller & Jensen, 2012).

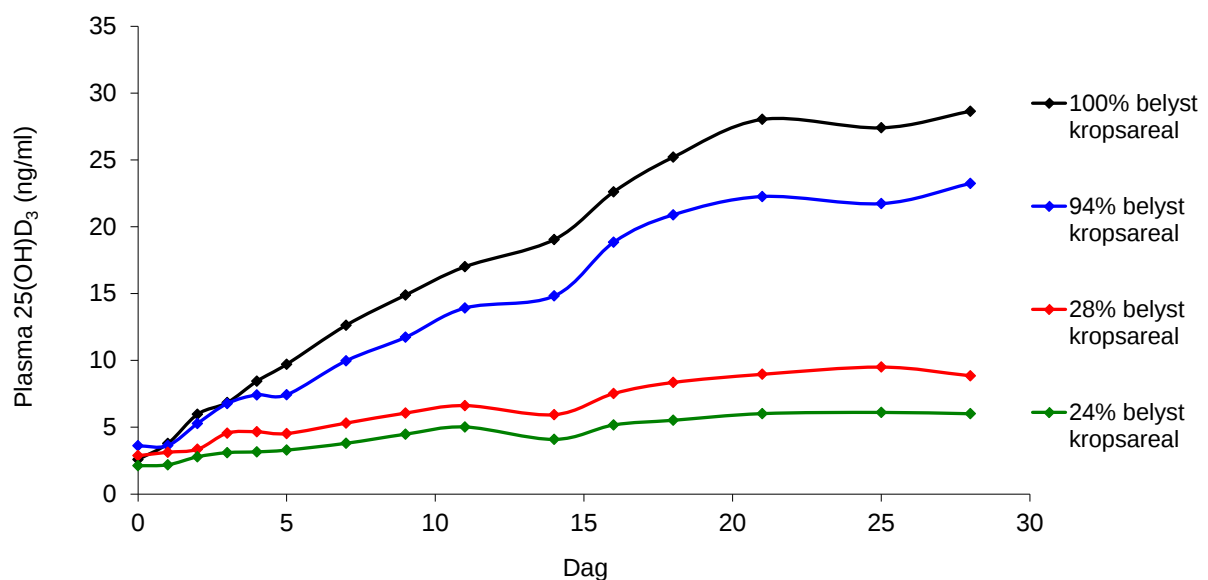
Hvordan producerer malkekvæg vitamin D₃?

Vitamin D₃-produktionen i huden hos mennesker nedsættes væsentligt, hvis kroppen er helt eller delvist dækket af tøj. Faktisk svarer vores 25(OH)D₃ status i blodet efter ophold i solen i påklædt tilstand, målt i procent af den status, vi havde opnået, hvis vi havde været nøgne i solen, meget nøje til den procentdel af kroppen, som ikke er dækket af tøj og dermed er tilgængelig for sollyset (Matsuoka et al., 1992). Kørs 25(OH)D₃-indhold i blodet stiger som vist også, når deres krop udsættes for sollys til trods for, at køerne er dækket med pels, der forventedes at svare til tøj hos mennesker (Carpenter og Zhao, 1999). Man har derfor hidtil antaget, at køer udelukkende producerede D₃ i områder af kropsoverfladen, der ikke er dækket af pels, som f.eks. mule og yver (Carpenter og Zhao, 1999), men det er først for nylig blevet undersøgt nærmere, og resultatet var særdeles overraskende. Tyve Holsteinkøer med fire forskellige grader af tildækning af kroppen blev lukket ud i sommersolen dagligt gennem 28 dage. Fire køer havde kroppen tildækket, fire havde yveret tildækket, fire havde både kroppen og yveret dækket, og de sidste fire græssede uden tildækning (Figur 6). Køerne fik ingen tilskud af syntetisk D₃ i foderet.



Figur 6. Køer med tildækket yver (t.v.) og tildækket krop (t.h.) (Hymøller & Jensen, 2010a).

Blodprøver taget gennem forsøgets 28 dage med adgang til sollys viste, at køer uden tildækning havde meget højere 25(OH)D₃-indhold i blodet end køer med tildækket krop eller både tildækket krop og yver. Køer med tildækket yver havde ligeledes et lidt lavere 25(OH)D₃-indhold i blodet end ikke tildækkede køer. Køernes 25(OH)D₃-indhold i blodet i forhold til køer uden tildækning var faktisk direkte sammenhængende med, hvor stor en procentdel af køernes krop der var tilgængelig for sollyset. Jo mere af kroppen, der var blottet, jo højere 25(OH)D₃-indhold i blodet (Figur 7). Alt i alt kunne det uddrages af dette forsøg, at køer producerer D₃ jævnt fordelt over hele deres kropsoverflade til trods for, at de er dækket af pels



Figur 7. Indhold af 25(OH)D₃ i blodplasma fra køer med forskellig grad af tildækning af kroppen under ophold i sollys (Hymøller & Jensen, 2010a).

Konklusion

Sommersollys er en meget vigtig kilde til D₃ hos malkekøer, og der er en støt stigende effekt på køernes indhold af 25(OH)D₃ i blodet, jo længere tid de dagligt opholder sig i sommersolen. Tilskud med syntetisk D₃ i foderet er nødvendigt om vinteren, eller når malkekøer ikke har adgang til udearealer om sommeren, for at opretholde et tilstrækkelig 25(OH)D₃-indhold i blodet året rundt. Dog ser det ud til, at gældende normer for tildeling er for lave. Vitamin D₂ fra grovfoder ser ikke ud til at være en god kilde til vitamin D hos malkekøer, så der ikke belæg for at tage D₂-indholdet i grovfoderet med i betragtningerne vedrørende den totale forsyning med vitamin D i rationsplanlægningen.

Litteratur

Braidman, I.P. & Anderson, D.C. (1985): Extra-endocrine functions of vitamin D. *Clinical Endocrinology*, 23: 445-460.

Carpenter, K.J. & Zhao, L. (1999): Forgotten mysteries in the early history of vitamin D. *Journal of Nutrition*, 129: 923-927.

Haddad, J.G.; Matsuoka, L.Y.; Hollis, B.W.; Hu, Y. & Wortsman, J. (1993): Human plasma transport of vitamin D after its endogenous synthesis. *Journal of Clinical Investigation* 91: 2552-2555.

Horst, R.L.; Goff, J.P. & Reinhardt, T.A. (1994): Calcium and vitamin D metabolism in the dairy cow. *Journal of Dairy Science*, 77: 1936-1951.

Hymøller, L. & Jensen, S.K. (2014): In different worlds - Transport of dietary vitamin D₂ and D₃ in cattle plasma. Book of Abstracts No. 20 of the 65th annual meeting of EAAP, Copenhagen, Denmark. Wageningen Academic Publishers, 114.

Hymøller, L. & Jensen, S.K. (2012): 25-Hydroxyvitamin D₃ status in plasma is linearly correlated to daily summer pasture time in cattle at 56°N. *British Journal of Nutrition*, 108: 666-671.

Hymøller, L. & Jensen, S.K. (2011): Vitamin D₂ impairs utilization of vitamin D₃ in high-yielding dairy cows in a cross-over supplementation regimen. *Journal of Dairy Science*, 94: 3462-3466.

Hymøller, L. & Jensen, S.K. (2010a): Vitamin D₃ synthesis in the entire skin surface of dairy cows despite hair coverage. *Journal of Dairy Science*, 93: 2025-2029.

Hymøller, L. & Jensen, S.K. (2010b): Stability in the rumen and effect on plasma status of single oral doses of vitamin D and vitamin E in high yielding dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 93: 5748-5757.

Hymøller, L.; Jensen, S.K.; Lindqvist, H.; Johansson, B.; Nielsen, M.O. & Nadeau, E. (2009): Supplementing dairy steers and organically managed dairy cows with synthetic vitamin D₃ is unnecessary at pasture during exposure to summer sunlight. *Journal of Dairy Research*, 76: 372-378.

Matsuoka, L.Y.; Wortsman, J.; Dannenberg, M.J.; Hollis, B.W.; Lu, Z. & Holick, M.F. (1992): Clothing prevents ultraviolet-B radiation dependent photosynthesis of vitamin D₃. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 75: 1099-1103.

- Nielsen, N.I. & Volden, H. (2011): Animal requirements and recommendations. I: Volden (red): NorFor – The Nordic feed evaluation system. EAAP Publikation nr. 130: 85-112.
- Nigwekar, S.U.; Bhan, I. & Thadhani, R. (2012): Ergocalciferol and cholecalciferol in CKD. American Journal of Kidney Diseases 60: 139-156.
- NRC (2001): Nutrient requirements of dairy cattle 7th edition. National Research Council, USA.
- Richardson, M.D. & Logendra, S. (1997): Ergosterol as an indicator of endophyte biomass in grass seeds. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45: 3903-3907.
- Sommerfeldt, J.L.; Napoli, J.L.; Littledike, E.T.; Beirz, D.C. & Horst, R.L. (1983): Metabolism of orally administered [³H]ergocalciferol and [³H]cholecalciferol by dairy calves. Journal of Nutrition, 113: 2595-2600.
- Vilomix (2015): Kvægminerale 2014-15.
http://www.vilomix.dk/multimedia/kvaegmineral_2014_web.pdf.
- Vitfoss (2015): Vitfoss produkthåndbog. <http://www.vitfoss.dk/vitfoss/handbook/>.
- Zehnder, D.; Bland, R.; Williams, M.C.; McNinch, R.; Howie, A.J.; Steward, P.M. & Hewison, M. (2001): Extra-renal expression of 25-hydroxyvitamin D₃-1 α -hydroxylase. The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism, 86: 888-894.

Bærme (DDGS) som proteinfoder til malkekøer

*Jakob Sehested, Martin Tang Sørensen, Martin Riis Weisbjerg, Mogens Vestergaard, Mette Krogh Larsen and Mads Brøgger Pedersen, Aarhus Universitet, Foulum
Henrik Martinussen, SEGES*

Sammendrag

DDGS er et proteinrigt fodermiddel fra produktionen af bio-ethanol baseret på korn og majs, og det forventes på markedet i stigende mængder. Kornbaseret DDGS kan være et godt proteinfoder som uden negativ effekt på mælkeproduktion eller -kvalitet kan indgå med 15 % af rationens tørstof og kan erstatte halvdelen af gode proteinkilder som sojaskrå og rapskage i rationen til malkekøer. Ved højere niveauer af DDGS i rationen kan der være mindre, negative effekter på protein- og mælkeydelsen. Der kan være stor variation i foderværdien af DDGS, og det anbefales at rekvirere analysecertifikat fra leverandøren, når DDGS skal anvendes i fodringen. DDGS har en relativt lav klimabelastning i forhold til mere traditionelle proteinfodermidler som sojaskrå og rapskage.

Summary

DDGS is a protein rich feedstuff originating from the production of bio-ethanol based on maize and grains, and it is expected on the market in increasing amounts. Grain based DDGS can be a good protein feed which can be fed at levels up to 15 % of ration dry matter and substitute 50 % of quality protein sources like rape seed cake or soybean meal without negative effects on milk production or quality. At higher levels of DDGS in the ration there can be slightly negative effects on milk and protein yields. Nutrient content of DDGS can vary significantly and it is recommended to request an analyses certificat from the supplier. Life cycle analyses documents that DDGS causes a relatively low emission of CO₂ equivalents as compared to traditional protein feeds like soy bean meal or rape seed cake.

Indledning

Produktion af bio-ethanol fra korn og majs giver biproduktet bærme, der i forskellige former er et velkendt fodermiddel, som dog kun har været anvendt i meget begrænset omfang både generelt og i foderrationen på den enkelte kvægbedrift i Danmark. Frisk (våd) bærme er pt kun i meget begrænset omfang tilgængelig på det danske marked, hvorimod tørret bærme (DDGS, Dried Distillers Grains with Solubles) er tilgængelig i stigende mængder. Produktionen af bio-ethanol er i vækst, blandt andet under indflydelse af de politisk fastsatte vilkår for energiforsyningen, og væksten forventes at forsætte de næste 10 år. Derfor må der forventes et forøget udbud af DDGS, hvilket kan gøre det økonomisk interessant at anvende betydeligt større mængder af DDGS i foderrationen end hidtil. Markedet for DDGS har dog endnu ikke nået et stabilt niveau, hvor det er muligt at forudsige udbud og pris. DDGS er et proteinrigt fodermiddel med et råproteinindhold på typisk omkring 30 %. Prisen på DDGS vil derfor afhænge af produktets protein- og energiværdi og af prisudviklingen på andre proteinfodermidler. På det danske marked er der for tiden stort set kun adgang til DDGS fra

etanolproduktion baseret på hvede eller blandede kornsorter i Nordeuropa. Formålet med denne artikel er at formidle hovedresultaterne om anvendelse af DDGS i foderingen af malkekøer fra projektet "Bedre kvalitet af biprodukter som fodermidler til malkekøer", som forløb fra 2012 til 2014. Projektets formål var at samle den tilgængelige viden på området, at analysere variationen i biprodukternes kvalitet og at gennemføre forsøg med varierende kvaliteter og niveauer kornbærme (DDGS) og råglycerol til malkekøer. Fra projektet er der udgivet en rapport som samler den tilgængelige viden på området, og som kan hentes elektronisk eller bestilles fra Aarhus Universitets hjemmeside (Sehested og Søndergaard, 2014). Hovedresultaterne fra projektets analyser og forsøg afrapporteres her.

DDGS – sammensætning og kvalitet

Her fokuseres på DDGS fra produktion af 1. generations bio-etanol på basis af korn, som er mest relevant for det danske marked, og i mindre grad på majsbaseret DDGS. Sukkerholdige råvarer som sukkerør eller roesirup kan også anvendes til produktion af bio-etanol, men biprodukter herfra omtales ikke her. Ved produktion af etanol fra korn og majs produceres også CO₂ og bærme. For hvert kg korn bliver der ca. 1/3 af hvert af produkterne etanol, CO₂ og bærme.

Den første variation i produktionsprocessen stammer fra råvaren. Nogle fabrikker anvender kun hvede, andre blandede kornsorter eller en blanding af korn og majs. Råvaren skifter afhængig af tilgængelighed og pris, men typisk vil DDGS produceret i Nordeuropa være baseret på korn eller evt. en blanding af korn og majs, mens DDGS fra Sydeuropa og USA typisk vil være baseret på majs. Selv hvis den samme kornart anvendes hele tiden, vil der være en variation i fx fiber- og proteinindholdet mellem sorter og høstpartier, som vil give en variation i DDGS'en. Som udgangspunkt anvendes kun korn, som er fri for meldrøjer, fusarium og vomitoksin (DON), da disse urenheder/giftstoffer ikke nedbrydes i processen, og derfor vil blive opkoncentreret med en faktor 3 i DDGS'en (Newkirk, 2011). Efter formalingen tilsættes vand og enzymer, samt i nogle tilfælde ammonium til styring af pH-værdien og som næring for gæren (www.ethanolrfa.org). Masken koges, køles og tilsættes nye enzymer og gær, der producerer etanol og CO₂. Urea, antibiotika (bl.a. i USA og Canada) og en svovlkilde kan blive tilsat i denne forgæringsfase for at hæmme uønsket mikrobiel vækst (Newkirk, 2011). Efter forgæringen destilleres etanolen fra, og tilbage bliver det produkt, der kaldes "stillage". "Stillagen" centrifugeres, så fiberdelen (kagen) skilles fra opløsningen, og opløsningen koncentrerer gennem inddampning til ca. 30 % tørstofindhold. Dette produkt kaldes Condensed Distillers Solubles eller sirup og indeholder relativt meget fedt, mineraler, vandopløselige kulhydrater, proteiner og organiske syrer (Newkirk, 2011). Herefter blandes sirup og kage til bærme eller Distillers Grains with Solubles (DGS), som enten afsættes vådt eller tørret (Dried Distillers Grains with Solubles, DDGS). Afsættes det vådt, er det typisk konserveret med organisk syre og har lavt pH (Fødevarestyrelsen, 2012). Blandingsforholdet mellem sirup og kage varierer såvel mellem fabrikker som inden for fabrik, dels fordi processen er svær at styre med præcision, men også fordi nogle fabrikker afsætter sirup som selvstændigt foderprodukt (Belyea et al., 2010.). Der har i forskningsprojekter været arbejdet med

yderligere processering af DDGS i form af ekstrudering og fraktionering for at øge foderværdien primært til enmavede (Newkirk, 2011), men også til drøvtyggere (Zhang et al., 2012).

Med hensyn til risiko for indhold af uønskede stoffer og mykotoksiner henvises til rapporten ”Biprodukter fra fødevare- og nonfoodindustrien til foderbrug – sikkerhed for mennesker og dyr”, udgivet af Fødevarestyrelsen, Foder (tidligere Plantedirektoratet) i 2012 (Fødevarestyrelsen, 2012). Såfremt leverandøren er registreret som fodervirksomhed hos den relevante myndighed og følger de gældende regler om foder, bør der dog ikke være problemer med uønskede stoffer i foderet.

I projektet er der i samarbejde med et erhvervs phd-projekt vedrørende anvendelse af DDGS til grise (Mads Brøgger Pedersen/AU/Dupont) gennemført NorFor analyser samt yderligere analyser af proteinkvalitet og mykotoksiner i 40 DDGS prøver systematisk indsamlet fra 3 Europæiske produktionsanlæg baseret på korn (30 prøver) og 10 nordamerikanske anlæg baseret på majs (10 prøver) (Tabel 1). Europæisk korn-DDGS, som pt er mest relevant for dansk kvægbrug, har et højt råproteinindhold (32-38 %), men af varierende kvalitet (opløseligt N og ADF-N), og et varierende indhold af stivelse, NDF, aminosyrer, sukker og fytinsyrebundet fosfor. Der er stor kvalitetsvariation mellem forskellige DDGS-producenter og i nogle tilfælde også mellem partier fra den enkelte producent. Der er også stor variation i majs-DDGS, der som forventet har et lavere råprotein- og højere fedtindhold end korn-DDGS. Der var ikke indikationer for problemer med mykotoksiner i DDGS (Tabel 2).

Tabel 1. Indhold af tørstof (TS) og næringstoffer (% af tørstof hvor ikke andet er angivet) af DDGS prøver systematisk indsamlet fra 3 europæiske produktionsanlæg baseret på korn (30 prøver) og 10 nordamerikanske anlæg baseret på majs (10 prøver). Tabellen viser gennemsnit (gns), variationsområde (Min – Max) og variationskoefficient (CV). U = under detektionsgrænsen.

	Hvede DDGS, UK (N=10)			Hvede DDGS, Frankrig (N=10)			Blandet korn DDGS, Sverige (N=10)			Majs DDGS, USA (N=10)		
Variable	Gns	Min - Max	CV	Gns	Min - Max	CV	Gns	Min - Max	CV	Gns	Min - Max	CV
TS, % af foder (60 gr)	94,0	93,6 - 94,5	0,3	94,5	93,2 - 95,6	0,8	90,0	87,6 - 94,7	2,2	93,3	91,5 - 95,2	1,1
Aske, %	5,1	4,6 - 6,0	8,2	5,4	5,2 - 5,7	3,5	5,9	5,4 - 6,8	8,4	4,6	3,5 - 5,2	11,3
EFOS, % af OM	86,5	84,8 - 87,8	1,1	90,9	90,3 - 91,7	0,5	87,0	83,9 - 88,8	1,7	91,1	88,2 - 93,0	1,7
NDF, %	32,1	30,2 - 35,6	4,7	23,9	22,8 - 24,9	3,0	21,8	19,2 - 26,5	11,7	27,3	24,0 - 31,6	10,1
Råprotein, %	35,8	34,2 - 37,8	2,7	32,7	31,5 - 33,9	2,6	35,8	34,9 - 36,9	1,7	29,2	26,9 - 30,5	4,2
Råfedt, %	6,8	5,2 - 7,6	9,1	5,7	4,9 - 6,2	7,3	6,1	5,1 - 6,5	7,4	11,1	8,5 - 13,7	16,0
Sukre, %	3,4	2,6 - 4,6	16,2	4,4	4,1 - 4,8	5,2	3,9	3,1 - 5,2	14,9	1,2	0,0 - 3,2	91,5
Stivelse, %	1,5	0,7 - 2,8	43,9	8,0	6,1 - 10,2	14,0	1,0	0,4 - 1,4	31,4	5,1	2,4 - 12,7	59,3
P, %	0,71	0,67 - 0,74	3,88	0,81	0,78 - 0,85	2,67	0,81	0,74 - 0,84	4,53	0,84	0,66 - 0,98	11,1
Fytin-P, % af total P	4,37	4,2 - 4,5	2,70	32,94	22,5 - 39,8	16,62	-	-	-	19,99	5,3 - 29,1	45,2
N, %	5,7	5,5 - 6,0	2,7	5,2	5,0 - 5,4	2,6	5,7	5,6 - 5,9	1,7	4,7	4,3 - 4,8	4,2
ADF-N, %	1,4	1,0 - 1,7	15,8	0,4	0,3 - 0,5	15,2	1,1	0,9 - 1,3	14,2	0,5	0,3 - 1,0	37,8
Soluble N, %	1,1	0,9 - 1,3	9,8	0,7	0,6 - 0,7	7,9	1,3	0,9 - 1,5	11,9	0,6	0,4 - 0,8	16,5
Aminosyrer, % af råprotein	84,9	85,4 - 84,4	-	86,7	86,0 - 87,3	-	86,3	84,4 - 87,7	-	90,3	87,9 - 92,5	-

Tabel 2. Indhold af mykotoksiner ($\mu\text{g/kg}$ foder) i samleprøver af DDGS systematisk indsamlet fra 3 europæiske produktionsanlæg baseret på korn (30 prøver) og 10 nordamerikanske anlæg baseret på majs (10 prøver). Anbefalet maksimum indhold af mykotoksiner i foder til produktionsdyr.

	Hvede DDGS, UK	Hvede DDGS, Frankrig	Blandet korn DDGS, Sverige	Majs DDGS, USA	EU Anbefalet Maks indhold ^{1, 2}	FDA Anbefalet Maks indhold ³
Fumonisin B1 (FB1)	<20	<20	<20	760	60.000	30.000
Fumonisin B2 (FB2)	<20	<20	<20	110		
Aflatoxin B1 ⁴	<0,1	<0,1	<0,1	0,2	20	20 ^c 300 ^d
Aflatoxin B2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	None	None
Aflatoxin G1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	None	None
Aflatoxin G1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	None	None
Ochratoxin A (OTA)	1,4	<0,2	0,5	0,6	250	None
Zearalenon (ZEA)	<10	30	13	39	2.000 ^a 3.000 ^b	None
Deoxynivalenol (DON, Vomitoxin)	82	1200	200	480	8.000 ^a 12.000 ^b	30.000
HT-2 toxin	<10	<10	10	27	None	None
T-2 toxin	<10	<10	<10	10	None	None

1: The commission of the European communities 2006. Commission recommendation of 17 August 2006 on the presence of deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin A, T-2 and HT-2 and fumonisins in products intended for animal feeding, 2006/576/EC.

2: The commission of the European communities 2011. Commission regulation (EU) No 574/2011 of 16 June 2011.

3: FDA Mycotoxin Rergulatory Guidance 2011. A Guide for Grain Elevators, Feed Manufacturers, Grain processors and Exåporters, National Grain and Feed Association, Washington D.C.

4: The level in Danish feed for cattle is regulated to max 2 μg / kg per kg as is by a voluntary agreement (Aftale vedrørende foder til kvæg, januar 2013) between the feed manufacturers association (DAKOFA), Danish Agriculture and Food Council, Cattle and Danish Dairy Board.

a: Cereals and cereal products.

b: Maize by-products.

c: Dairy animals.

d: Feedlot beef cattle.

Der er behov for yderligere undersøgelse af specielt proteinværdien af DDGS (nedbrydningsprofiler og tilgængelighed i forskellige kvaliteter) for at give et bedre datagrundlag for vurderingen af DDGS i fodervurderingssystemer som fx NorFor.

DDGS som proteinfoder til malkekøer - forsøg

Der blev i 2013 gennemført to fodrings- og produktionsforsøg på KFC (nu DKC), AU-Foulum, med korn-DDGS som proteinfodermiddel til malkekøer. Forsøgene fokuserede på foderoptagelse, mælkeydelse og mælke kvalitet ved fodring med DDGS.

I det første forsøg blev en sojaskrå/rapskage/roepille blanding (modsvarende DDGS mht. råprotein og NDF) erstattet med DDGS på 3 niveauer: 4, 13,5 og 23 % DDGS af tørstoffet i foderrationen. Der indgik 48 Holstein køer 3 x 3 romerkvadrat design med 3-ugers perioder og opsamling af prøver og data i den sidste uge af hver periode. Køerne var opstaldet i løsdrift med malkerobot og blev fodret ad libitum med grundration (PMR) i Insentic kasser og maks 1 kg DDGS og 2 kg standardkraftfoder per dag i malkerobotten. Grundrationen bestod af majs- og kløvergræsensilage, valset byg, ludbehandlet hvede samt et proteinfoder sammensat af sojaskrå, rapskage og roepiller, der modsvarede sammensætningen af den anvendte DDGS mht. energi, råprotein og NDF. Sojaskrå/rapskage/roepilleblanding blev delvist og helt erstattet med DDGS ved behandlingerne med henholdsvis 13,5 % og 23 % DDGS af rationens tørstof. Rationer indeholdt (tørstofbasis) råprotein (16,7 %), NDF (31,4 %), stivelse (25,3 %), NorFor NEL (6,7 MJ/kg), AAT til mælk (16,2 g/MJ NEL) og PBV (14 g/kg). Foderoptagelse og mælkeproduktion er vist i Tabel 3. Ved 13,5 % DDGS i rationen var ydelsen uændret i forhold til 4 % DDGS, men ydelsen af mælk og protein faldt på det højeste DDGS-niveau, mens fedtydelsen var upåvirket. Der var derfor kun tendens til et lille fald i EKM ydelsen på det højeste DDGS niveau. Der var et lille fald i malkefrekvensen med stigende DDGS-indhold i rationen, mens foderoptagelse af såvel PMR-grundrationen som af kraftfoder i malkerobotten var upåvirket af behandlingerne. Som forventet var der effekt af paritet (1. laktation versus ældre køer) og forsøgsperiode på foderoptagelse og mælkeydelse.

Tabel 3. Mælkeydelse, foderoptagelse og malkefrekvens (besøg i AMS) per dag ved 4, 13,5 og 23 % korn DDGS i foderrationen (tørstofbasis), n=48. Resultaterne er angivet som gennemsnit (LS-means), standardafvigelse (SEM), samt en P-værdi (F-test) for effekten af DDGS-niveau.

	Behandling:				P-værdi
	DDGS i rationen				
	4 %	13,5 %	23 %	SEM	DDGS
Mælk, kg	37,3	37,0	35,7	1,2	0,007
Fedt, %	3,89	3,92	4,01	0,09	0,05
Protein, %	3,45	3,48	3,43	0,04	0,02
EKM, kg	36,7	36,7	35,7	1,0	0,09
Fedt, kg	1,43	1,44	1,42	0,05	0,74
Protein, kg	1,27	1,27	1,22	0,03	0,001
Besøg i AMS	2,80	2,75	2,63	0,12	0,05
Foderoptag	20,3	20,4	20,1	0,3	0,35
PMR, kg ts					
Kraftfoderoptag	2,39	2,39	2,39	0,04	0,98
AMS, kg ts					

Med udgangspunkt i det positive resultat af at erstatte sojaskrå/rapskage-blandingen med DDGS ved 13,5 % af ts i forsøg 1, blev forsøg 2 designet til at udfordre proteinværdien af DDGS yderligere. DDGS erstattede igen i dette forsøg sojaskrå/rapskage/roepille-blandingen som proteinkilde ved et niveau på 15 % af ts, og udbytningen blev testet ved to niveauer af råprotein i rationen, hhv. tilstrækkelig (17 %) og marginal underforsyning (15 %). Der indgik 30 Holstein køer i et 4 x 4 romerkvadrat design med 3-ugers perioder og opsamling af prøver og data i den sidste uge af hver periode. Køerne var opstaldet i løsdrift med malkerobot og blev fodret ad libitum med grundration (PMR) i Insentic kasser og maks 3 kg standardkraftoder per dag i malkerobotten. Grundrationen med 17 % råprotein og uden DDGS bestod af majs- og kløvergræsensilage, valset byg og sojaskrå, samt et proteinfoder sammensat af sojaskrå, rapskage og roepiller, der modsvarer sammensætningen af den anvendte DDGS mht. energi, råprotein og NDF. Sojaskrå/rapskage/roepille-blandingen (15 % af ts) blev erstattet med DDGS i de to behandlinger med DDGS. På de to behandlinger med 15 % råprotein i rationen blev sojaskrå i grundrationen erstattet med roepiller. Rationerne indeholdt (tørstofbasis) råprotein (hhv. 15 % og 17 %), NDF (36,4 %), stivelse (18 %), NorFor NEL (6,4 MJ/kg), AAT til mælk (hhv. 17,2 og 18,3 g/MJ NEL) og PBV (hhv. -7 og +10 g/kg). Foderoptagelse og mælkeproduktion er vist i Tabel 4. Der var som forventet en klar negativ effekt af 15 % råprotein på foderoptagelse og ydelse ift. 17 % råprotein, mens besøgsfrekvensen i malkerobotten var upåvirket. Der var ingen effekt af at erstatte sojaskrå/rapskage/roepille-blandingen med DDGS ved hverken 15 % eller 17 % råprotein, ligesom der ikke var vekselvirkning mellem de to behandlinger (ikke vist).

Tabel 4. Mælkeydelse, foderoptagelse og malkefrekvens (besøg i AMS) per dag ved 15 % (LAV) og 17 % råprotein (HØJ) og ved ingen eller 15 % DDGS i foderrationen (tørstofbasis), n=30. Resultaterne er angivet som gennemsnit (LS-means), standardafvigelse (SEM), samt en P-værdi (F-test) for effekten af råproteinniveau, DDGS-niveau.

	Behandling				SEM	P-værdi	
	17 % råprotein		15 % råprotein			Råpro- tein	DDGS
	0 % DDGS	15 % DDGS	0 % DDGS	15 % DDGS			
Mælk, kg	33,2	32,0	30,7	30,5	1,2	<0,001	0,12
Fedt pct,	4,55	4,62	4,51	4,60	0,16	0,51	0,12
Protein pct,	3,62	3,63	3,56	3,58	0,07	0,04	0,57
EKM, kg	35,8	34,7	32,6	32,7	1,0	<0,001	0,34
Fedt, kg	1,50	1,46	1,37	1,38	0,05	<0,001	0,57
Protein, kg	1,20	1,15	1,08	1,08	0,03	<0,001	0,24
Besøg i AMS	2,64	2,61	2,47	2,64	0,13	0,27	0,24
Foderoptag PMR, kg ts	18,6	19,2	18,2	18,4	0,5	0,02	0,16
Kraftfoderop- tag AMS, kg ts	2,63	2,56	2,44	2,69	0,13	0,80	0,41

I begge forsøg blev mælkens kvalitet nærmere undersøgt. Der var i ingen af forsøgene effekt af DDGS på mælkens smagskvalitet (sensorisk kvalitet), men DDGS gav mælken et højere indhold af linolsyre, CLA og vitamin B2.

Klima- og miljø-aspekter af DDGS

Køernes udskillelse af næringsstofferne kvælstof (N) og fosfor (P) hænger tæt sammen med foderets indhold i forhold til dyrets behov. Den væsentligste faktor i forhold til udskillelsen af N og P er derfor at afstemme rationens indhold til dyrenes behov. DDGS har et højt indhold af begge, men dette gælder også for traditionelle proteinfodermidler som rapskage og sojaskrå, dog med variation i niveauerne. Der imod er der væsentlig forskel på klimabelastningen af DDGS og traditionelle proteinkilder (Tabel 5). De primære klimagasser er kuldioxid (CO₂), metan (CH₄) og lattergas (N₂O), og den samlede udledning af disse kan sammenvejes i CO₂-ekvivalenter. Klimadeklareringer er baseret på en LivscyklusVurdering (LCA), som er en internationalt anerkendt metode til at estimere udledningen af drivhusgasser for et givet produkt i hele dets livscyklus, typisk etablering og dyrkning af afgrøden samt transporten og forarbejdningen af denne, som fordeles med CO₂-ekvivalenterne på henholdsvis hoved- og biprodukter ud fra økonomiske kriterier. Tabel 5 viser klimaværdier for biprodukterne rapskage og DDGS (Agrodrank) samt for sojaskrå og byg udtrykt i CO₂-ekvivalenter pr kg foder og pr energienhed (MJ NEL₂₀).

Tabel 5. Klimaaftryk (g CO₂ ækvivalent / kg foder) for udvalgte biprodukter samt sojaskrå og byg, hvor LCA-metoden er baseret på økonomisk allokering.

	Dyrk- ning	Forarbejd- ning	Transport	Total	Total (g CO ₂ /MJ NEL ₂₀) ³
Sojaskrå ¹	321	34	369	725	99
Byg ¹	414	9	15	438	70
Rapskage ¹	276	25	104	405	63
DDGS ²	250	25	25	300	47

¹ Mogensen et al, (2011).

² Flysjö et al, (2008), Bærmen er tørret via biobrændsel og har derfor et relativt lavt klimaaftryk for forarbejdning.

³ Beregnet ud fra NorFor's fodermiddelTabel (NorFor Feedtable, 2013), Der er antaget 89 % tørstof for den svenske DDGS (Agrodrank).

Konklusioner

Der kan være stor variation i foderværdien af DDGS, og det anbefales at rekvirere analysecertifikat fra leverandøren, når DDGS skal anvendes i fodringen. Kornbaseret DDGS kan være et godt proteinfoder, som uden negativ effekt på mælkeproduktion eller -kvalitet kan indgå med 15 % af rationens tørstof og kan erstatte halvdelen af gode proteinkilder som sojaskrå og rapskage i rationen til malkekøer. Ved højere niveauer af DDGS i rationen kan der være mindre, negative effekter på protein- og mælkeydelsen. DDGS har en relativt lav klimabelastning.

Anerkendelser

Denne artikel afrapporterer resultater fra projektet "Bedre kvalitet af biprodukter som fodermidler til malkekøer" (2012-2014), som var støttet økonomisk af Mælkeafgiftsfonden, AgroTech, DLG, Arla Foods amba og Aarhus Universitet (AU). Projektet var et samarbejde mellem AU Foulum, Sveriges Lantbruksuniversitet, AgroTech, Videncenter for Landbrug, Kvæg, DLG, Arla Foods amba samt Kvægbrugets Forsøgscenter. Der ud over blev der samarbejdet med private mælkeproducenter, producenter af biprodukter, samt andre relevante aktører på området.

Referencer

Belyea, R.L., Rausch, K.D., Clevenger, T.E., Singh, V., Johnston, D.B. & Tumbleson, M.E. 2010. Sources of variation in composition of DDGS. *Animal Feed Science and Technology* 159:122-130.

Fødevarestyrelsen. 2012. Biprodukter fra fødevare- og nonfoodindustrien til foderbrug – sikkerhed for mennesker og dyr. Fødevarestyrelsen, Foder (tidligere Plantedirektoratet), 2012.

Newkirk, R. 2011 (ed.). Wheat DDGS Feed Guide. 1st edition 2011, FOBI Network, Canadian International Grains Institute. Available from www.cigi.ca, pp. 35.

Sehested, J. & Søndergaard, E. (eds) 2014. Biprodukter fra produktion af bio-energi som fodermidler til malkekøer. DCA Rapport nr. 40, marts 2014. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Downlaod: <http://pure.au.dk/portal/files/73575248/Dcarapportnr40.pdf>

Zhang, X., Beltranena, E., Christensen, C. & Yu, P. 2012. Use of a dry fractionation process to manipulate the chemical profile and nutrient supply of a coproduct from bio processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 60:6846-6854.

Råglycerol som energifoder til malkekøer

*Jakob Sehested, Martin Tang Sørensen, Martin Riis Weisbjerg, Mogens Vestergaard, Mette Krogh Larsen and Søren Krogh Jensen, Aarhus Universitet, Foulum
Henrik Martinussen, SEGES*

Sammendrag

Råglycerol er et flydende, sirupsagtigt fodermiddel fra produktionen af bio-diesel på basis af planteolier, og det forventes på markedet i stigende mængder. Der kan være variation i indholdet af glycerol i råglycerol til foderbrug, og det anbefales at rekvirere analysecertifikat fra leverandøren, når råglycerol skal anvendes i fodringen. Råglycerol kan erstatte stivelsesholdige energifodermidler som byg i rationen til malkekøer med op til 12 % glycerol af tørstoffet uden negative effekter for ydelse eller mælke kvalitet og med en positiv effekt på foderoptagelse og mælkens indhold af fedt og protein.

Summary

Crude glycerin is a liquid viscous feed which originates from plant oil based production of bio-diesel and is expected in increasing amounts on the market in the coming years. The content of glycerin in feed grade crude glycerin can vary and it is recommended to require a certificate of analyses. Crude glycerin can substitute starch rich energy-feeds like barley in the feed ration for dairy cows with up to 12 % glycerin (dry matter basis) without negative effects on milk yield or quality and with a positive effect on feed intake and milk fat and protein content.

Indledning

Råglycerol er et produkt fra fremstillingen af bio-diesel på basis af vegetabilsk olie. Råglycerol har kun i begrænset omfang været anvendt som fodermiddel generelt og i foderrationen på kvægbedrifter i Danmark. Produktionen af bio-diesel er i vækst, blandt andet under indflydelse af de politisk fastsatte vilkår for energiforsyningen, og væksten forventes at fortsætte de næste 10 år. Derfor må der forventes et forøget udbud af råglycerol, som kan betyde, at det bliver muligt og økonomisk interessant at anvende råglycerol i fodringen. Råglycerol som handelsvare til foderformål indeholder typisk 80-85 % glycerol, mens glycerol med en renhedsgrad på 99,5-99,7 % betegnes 'glycerin'. Der er gennem de seneste år opstået et nyt marked for glycerin, som afsættes til farmaceutiske og kemiske formål. Selv om oprensningen er en kostbar proces, ligger prisniveauet for den oprensede glycerin for tiden så højt, at råglycerol til foderbrug i den seneste tid ikke har været konkurrencedygtigt i forhold til andre fodermidler. Markedet for glycerol har dog endnu ikke nået et stabilt niveau, hvor det er muligt at forudsige udbud og pris.

Formålet med denne artikel er at formidle hovedresultaterne om anvendelse af råglycerol i fodringen af malkekøer fra projektet "Bedre kvalitet af biprodukter som fodermidler til malkekøer", som forløb fra 2012 til 2014. Projektets formål var at samle den tilgængelige viden på området, at analysere

variationen i biprodukternes kvalitet og at gennemføre forsøg med varierende kvaliteter og niveauer af kornbærme (DDGS) og råglycerol til malkekøer. Fra projektet er der udgivet en rapport som samler den tilgængelige viden på området, og som kan hentes som elektronisk eller bestilles fra Aarhus Universitets hjemmeside (Sehested og Søndergaard, 2014). Hovedresultaterne fra projektets analyser og forsøg vedrørende råglycerol afrapporteres her.

Råglycerol – sammensætning og kvalitet

Bio-diesel fremstilles på basis af vegetabiliske olier fra fx raps, soja eller solsikke, samt på basis af animalsk fedtstof. Det sidste er ikke relevant i forhold til kvægfodring og behandles ikke yderligere her. Fra 100 liter olie plus hjælpestoffer udvindes der ca. 100 liter biodiesel og 10 liter glycerol (Omazic, 2013). Planteolien udvindes, hvorefter bio-diesel fremstilles ved den såkaldte "Lurgi-proces", hvor olien forsæbes med base (natriumhydroxyd eller kaliumhydroxyd), hvorved triglyceriderne spaltes til fedtsyrer og glycerol. Fedtsyrerne re-esterificeres herefter med overskud af metanol til metylestre, som er det egentlige bio-diesel produkt. Herved opnås to faser, den øverste fase indeholder bio-diesel (metylestrene af fedtsyrerne), mens den nederste, vandopløselige fase (råglycerolen) indeholder glycerol samt vand, rester af metanol, salte og urenheder. Den overskydende metanol fra fremstilling af biodiesel skal fjernes (ved destillering) før råglycerolen kan bruges til foder, og EU har fastsat en maksimumsgrænse på 0,2 % for indhold af metanol i råglycerol til brug som husdyrfoder (COMMISSION REGULATION (EU) No 575/2011). Det tilbageværende indhold af ubrugt base neutraliseres ved tilsætning af svovl- eller saltsyre. Råglycerolen indeholder nu typisk 80-85 % glycerol, 10-15 % vand, 3-7 % salte, samt mindre urenheder. Råglycerol til foderbrug er en tyktflydende (som sirup) og sødt smagende væske.

Glycerol er en sukkeralkohol bestående af tre kulstofatomer og tre alkoholgrupper. Energiværdien af ren glycerol er tæt på energiværdien af sukker. Glycerol har en høj vægtfylde på 1.261 kg pr. liter, og er oftest farveløs, men afhængig af råvaren, processen og evt. urenheder kan farven på råglycerol til foderbrug variere og være gullig til rødbrun.

I projektet er der med hjælp fra Carsten Brogaard Jensen, NLM Vantinge ApS, indsamlet råglycerolprøver fra 6 europæiske producenter af bio-etanol (Tabel 1). Tabellen viser dels analyseværdier opgivet på de analysecertifikater, som producenterne medsendte, samt supplerende analyser på udvalgte parametre. Råglycerolens pH (5–6) og indhold af glycerol (82-85 %) og vand (11-15 %) er på et forventeligt niveau, dog med nogen variation. Indholdet af aske, salte, fedt og organiske urenheder (MONG) er også på et forventeligt niveau, men med en betydelig variation. Askeindholdet udgøres stort set af Na og Cl, som normalt ikke er problematiske. Kun cirka 10-15 % af de organiske urenheder (MONG) består af fedtsyrer, mens resten er andre fedtopløselige forbindelser som fx voksarter og steroler, men det totale indhold af MONG er generelt lavt. Indholdet af metanol (0-0,18 %) ligger under EU's grænseværdi på 0,2 %. Det amerikanske Food and Drug Administration (FDA) anbefaler en generel grænseværdi for metanol i glycerol til husdyrfoder på 0,15 %.

Vomomsætningen af metanol (Pol & Demeyer, 1988) betyder dog, at drøvtyggere kan tåle højere niveauer, og Kalscheur et al. (2012) anbefaler en grænse på 1 % metanol i glycerol til drøvtyggere.

Tabel 1. Indhold af glycerol, vand, salte, råfedt, fedtsyrer, metanol, pH og urenheder/MONG (% af varen hvor ikke andet er angivet) i råglycerolprøver indsamlet fra 6 europæiske bio-diesel produktionsanlæg, samt i den råglycerol der blev anvendt i forsøg. Tabellen viser gennemsnit (gns), variationsområde (Min – Max) og variationskoefficient i procent (CV).

	Råglycerolprøver fra 6 forskellige producenter						Råglycerol andvendt i forsøg ²
	Egne analyser			Leverandørens analysecertifikat			
	Gns	Min - Max	CV	Gns	Min - Max	CV	
Glycerol, %	-	-	-	83,2	81,5 - 85,3	2	81,8
Bruttoenergi, kJ/g	15,1	14,7 – 15,3	2	-	-	-	
Vand, %	-	-	-	12,2	10,5 - 14,7	17	12,6
pH	5,5	4,8 – 6	8	-	-	-	4,7
Aske, %	4,3	3,4 – 6,2	24	3,7	3,3 - 4,4	13	
Na, %	1,6	1,2 – 2,3	26	-	-	-	2,2
K, %	0,038	0,028 – 0,049	20	-	-	-	0,01
Cl, %	2,6	2,0 – 3,5	21	-	-	-	3,3
MONG ¹ , %	-	-	-	0,50	0,2 - 1,1	83	0,80
Råfedt, %	0,60	0,00 – 0,97	64	-	-	-	
Fedtsyrer (FA), %	0,11	0,03 – 0,29	89	-	-	-	
C16:0, % af FA	23,4	6,2 – 38,3	59	-	-	-	
C18:0, % af FA	12,3	2,7 – 22,4	75	-	-	-	
C18:1w9, % af FA	37,8	8,9 – 62,4	64	-	-	-	
C18:2w6, % af FA	17,4	11,2 – 26,2	31	-	-	-	
C18:3w3, % af FA	9,1	5,0 – 12,7	33	-	-	-	
Metanol, %	-	-	-	0,095	0 - 0,18	93	

1: MONG = Matter Organic Non-Glycerol / urenheder som fx fedtsyrer og metylestre.

2: Glycerol, vand og MONG iht leverandørens analyser. Na, K, Cl og pH iht egne analyser.

Med hensyn til risiko for indhold af uønskede stoffer henvises i øvrigt til rapporten ”Biprodukter fra fødevarer- og nonfoodindustrien til foderbrug – sikkerhed for mennesker og dyr”, udgivet af Fødevarestyrelsen, Foder (tidligere Plantedirektoratet) i 2012 (Fødevarestyrelsen, 2012), samt til FAO-rapporten ”Biofuel co-products as livestock feed” (Makkar, 2012). Her skal blot nævnes, at ved anvendelse svovlsyre i produktionen af bio-diesel, kan svovlindholdet i råglycerolen blive for højt og medføre risiko for forgiftning. Den grundlæggende sikkerhed af produkterne er dog sikret gennem foderstoflovgivningen, og såfremt leverandøren er registreret som fodervirksomhed hos den relevante myndighed og følger de gældende regler om foder, bør der ikke være problemer med uønskede stoffer i råglycerolen.

Råglycerol som energifoder til malkekøer - forsøg

Der blev i 2013 gennemført et fodrings- og produktionsforsøg på KFC (nu DKC-Burrehøjvej), AU-Foulum, med råglycerol som energifodermiddel til malkekøer. Forsøget fokuserede på foderoptagelse, mælkeydelse og mælke kvalitet ved fodring med 0 %, 6 %, 12 % og 18 % glycerol af fodertørstoffet.

I forsøget blev der anvendt en råglycerol produceret på basis af en blanding af soja- og rapsolie og leveret af ADM Hamburg AG. Råglycerolens sammensætning fremgår af Tabel 1. Der indgik 40 Holstein køer i et 4 x 4 romerkvadrat design med 3-ugers perioder og opsamling af prøver og data i den sidste uge af hver periode. Køerne var opstaldet i løsdrift med malkerobot (AMS) og blev fodret ad libitum med grundration (PMR) i Insentec kasser og maks 3 kg standardkraftoder per dag i malkerobotten. Grundrationen (0 % glycerol) bestod af majs- og kløvergræsensilage, valset byg, rapskage og sojaskrå. I de tre foderblandinger med råglycerol erstattede glycerolen valset byg i rationen på niveauerne 6 %, 12 % og 18 % af rationens tørstof, og forskellen i råproteinindhold mellem de to fodermidler blev udlignet ved tilsætning af urea sammen med glycerolen. Rationerne indeholdt (tørstofbasis) råprotein (16,6 %), NDF (28,0-31,3), stivelse (13,9-25,0 %), NorFor NEL (6,7 MJ/kg), AAT til mælk (15,6-16,2 g/MJ NEL) og PBV (16-23 g/kg). Foderoptagelse og mælkeproduktion er vist i Tabel 2. Der var en kvadratisk effekt af glycerol på EKM- og fedtydelsen samt på PMR optagelsen, som alle var højest ved 6 og 12 % glycerol. Proteinydelsen faldt ved det højeste glycerolniveau. Mælkens smag var upåvirket af glycerol i foderet, men mælkens indhold af linol-, palmitin- og oliesyrer faldt, og indholdet af kort- og ulige-kædede fedtsyrer steg med glycerolandelen.

Tabel 2. Mælkeydelse, foderoptagelse og malkefrekvens (besøg i AMS) per dag ved 0, 6, 12 og 18 % glycerol i foderrationen (tørstofbasis), n=40. Resultaterne er angivet som gennemsnit (LS-means), standardafvigelse (SEM), samt en P-værdi (F-test) for effekten af glycerol-niveau (klassevariabel) og for den lineære og kvadratiske effekt af glycerol-niveau.

	Behandling: Glycerol i rationen					P-værdi		
	0 %	6 %	12 %	18 %	SEM	Behand- ling	Lineær	Kvadra- tisk
Mælk, kg	34,6	34,5	33,6	31,9	1,0	<0,001	<0,001	0,05
Fedt, %	4,07	4,18	4,30	4,35	0,11	0,01	0,001	0,63
Protein, %	3,55	3,53	3,62	3,65	0,05	0,002	0,001	0,30
EKM, kg	35,0	35,4	35,1	33,5	0,8	0,02	0,02	0,03
Fedt, kg	1,39	1,43	1,43	1,37	0,04	0,20	0,53	0,04
Protein, kg	1,22	1,21	1,21	1,15	0,03	0,009	0,004	0,10
Besøg i AMS	2,61	2,65	2,49	2,53	0,11	0,22	0,15	1,00
Foderoptag PMR, kg ts	19,9	20,6	20,8	19,8	0,4	0,01	0,97	0,001
Kraftfoderopt ag AMS, kg ts	2,81	2,49	2,50	2,50	0,16	0,06	0,04	0,11

Også andre forsøg har vist, at glycerol kan anvendes som energifoder til malkekøer i mængder op til 15 % af fodertørstoffet uden negative effekter på foderoptagelse og mælkeproduktion (Donkin et al., 2009; Kalscheur et al., 2012). Kristensen et al. (2011) sammenlignede råglycerol med NaOH-hvede i et dansk forsøg, hvor forsøgsfodringen startede lige efter kælvning, og hvor glycerol udgjorde ca. 15 % af fodertørstoffet. I dette forsøg resulterede glycerol i en reduceret EKM-ydelse sammenlignet med NaOH-hvede, uden at tørstof optagelsen var påvirket. Det negative produktionsudslag for glycerol i forhold til sodahvede var markant større end det, der er observeret i andre undersøgelser med andre sammenligninger. Donkin et al. (2009) tildelte rationer med op til 15 % glycerol af tørstof uden negative effekter på mælkeproduktion eller foderoptagelse, men anvendte et raffineret produkt. Wilbert et al. (2013) tildelte lakterende køer op til 12 % råglycerol som erstatning for formalet majs og fandt ingen effekt på foderoptagelse eller samlet mælkeydelse, men en positiv effekt af glycerol på proteinydelsen og mælkens proteinindhold. Omazic et al. (2013) tildelte 0,25 kg ren eller rå glycerol som topdressing på kraftfoderet to gange dagligt de første fire uger af laktationen, og fandt ingen effekt af glycerol eller glycerolkvalitet på total foderoptagelse eller på ensilageoptagelse, men ren glycerol tenderede til at øge mælkeydelsen. Forsøgene tyder således samlet på, at råglycerol kan udgøre en betydende del af foderet til malkekøer som erstatning for energifoder som fx stivelsesholdige fodermidler.

Glycerol kan have betydning for køernes sortering af fuldfoder, hvor det medfører mindre sortering og dermed kan have en positiv betydning for vommiljøet ved få udfodringer (Carvalho et al., 2012). En

anden interessant egenskab er, at glycerol tilsyneladende forbedrer den hygiejniske kvalitet af pelleteret foder uden negative effekter for pillekvaliteten (Hippenstiel et al. 2012; Südekum et al. 2008).

Konklusioner

Der kan være variation i indholdet af glycerol i råglycerol til foderbrug, og det anbefales at rekvirere analysecertifikat fra leverandøren, når råglycerol skal anvendes i fodringen. Råglycerol kan erstatte stivelsesholdige energifodermidler som byg i rationen til malkekøer med op til 12 % glycerol af tørstoffet uden negative effekter for ydelse eller mælkekvalitet men med en positiv effekt på foderoptagelse og mælkenes indhold af fedt og protein.

Anerkendelser

Denne artikel afrapporterer resultater fra projektet "Bedre kvalitet af biprodukter som fodermidler til malkekøer" (2012-2014), som var støttet økonomisk af Mælkeafgiftsfonden, AgroTech, DLG, Arla Foods amba og Aarhus Universitet (AU). Projektet var et samarbejde mellem AU Foulum, Sveriges Lantbruksuniversitet, AgroTech, Videntcenter for Landbrug, Kvæg, DLG, Arla Foods amba samt Kvægbrugets Forsøgscenter. Der ud over blev der samarbejdet med private mælkeproducenter og producenter af biprodukter.

Referencer

- Carvalho, E.R., Schmelz-Roberts, N.S., White, H.M., Wilcox, C.S., Eicher, S.D. & Donkin, S.S. 2012. Feeding behaviors of transition dairy cows fed glycerol as a replacement for corn. *Journal of Dairy Science* 95:7214-7224.
- Donkin, S.S., Koser, S.L., White, H.M., Doane, P.H. & Cecava, M.J. 2009. Feeding value of glycerol as a replacement for corn grain in rations fed to lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* 92:5111-5119.
- Fødevarestyrelsen. 2012. Biprodukter fra fødevarer- og nonfoodindustrien til foderbrug – sikkerhed for mennesker og dyr. Fødevarestyrelsen, Foder (tidligere Plantedirektoratet), 2012.
- Hippenstiel, F., Südekum, K.-H., Meyer, U. & Flachowsky, G. 2012. Co-products from biofuel production for farm animals – an EU perspective. In: H.P.S. Makkar (ed.): *Biofuel co-products as livestock feed. Opportunities and challenges*. Food and Agriculture organization of the United Nations (FAO), Rome, chapter 11, p. 209-227.
- Kalscheur, K. F., Garcia, A. D., Schingoethe, D. J., Royón, F. D. & Hippen, A. R. 2012. Feeding biofuel co-products to dairy cattle. In: H.P.S. Makkar (ed.): *Biofuel co-products as livestock feed. Opportunities and challenges*. Food and Agriculture organization of the United Nations (FAO), Rome, chapter 7, p. 115-154.

Kristensen, N.B., Hvelplund, T., Weisbjerg, M.R. & Børsting, C.F. 2011. Sodahvede og glycerol til malkekøer. Bilag, temamøde om aktuelle fodringsspørgsmål, Herning, 6. sep. 2011. Videncentret for Landbrug, p. 70-74.

Makkar, H.P.S. 2012 (ed.). Biofuel co-products as livestock feed. Opportunities and challenges. Food and Agriculture organization of the United Nations (FAO), Rome, pp. 533.

Omazic, A. Werner, Tråvén, M., Bertilsson, J. & Holtenius, K. 2013. High- and low-purity glycerine supplementation to dairy cows in early lactation: effects on silage intake, milk production and metabolism. *Animal* 7:1479-1485.

Pol, A. & Demeyer, D.I. 1988. Fermentation of methanol in the sheep rumen. *Applied and Environmental Microbiology* 54:4:832-834

Sehested, J. & Søndergaard, E. (eds) 2014. Biprodukter fra produktion af bio-energi som fodermidler til malkekøer. DCA Rapport nr. 40, marts 2014. Aarhus Universitet, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug. Download: <http://pure.au.dk/portal/files/73575248/Dcarapportnr40.pdf>

Südekum, K.-H., Schröder, A., Fiebelkorn, S., Schwer, R. & Thalmann, A. 2008. Quality characteristics of pelleted compound feeds under varying storage conditions as influenced by purity and concentration of glycerol from biodiesel production. *Journal of Animal and Feed Sciences* 17:1:120-136.

Wilbert, C.A., Prates, E.R., Barcellos, J.O.J., & Schafhäuser, J. 2013. Crude glycerin as an alternative energy feedstuff for dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 183:116-123.

Virkning af propylenglykol på fedtmobilisering hos fede nykælvere

Vibeke Bjerre-Harpøth, Adam C. Storm, Torben Larsen, Mogens Vestergaard og Mogens Larsen, Aarhus Universitet, Foulum

Sammen drag

De kvantitative og kvalitative effekter af propylenglykol behandling i de første 4 uger efter kælvning på mobiliseringen af fedtvæv hos fede nykælvere blev undersøgt. Propylenglykol havde en begrænset effekt på mobilisering af fedtvæv. Til gengæld blev der observeret markante effekter i glukose metabolismen, som resulterede i en reduceret risiko for ketose. Tildeling af propylenglykol til køer i risiko for lipid-relatede sygdomme forekommer således at være gavnligt. Perspektivet for tildeling af propylenglykol i få uger efter kælvning synes at være en to-trin adaption til laktation, hvor lavpunktet og toppunktet i plasmakoncentrationen af henholdsvis glukose og ketonstoffer postpartum reduceres.

Indledning

Køer mobiliserer fra deres fedtdepoter efter kælvning for at have energi nok til mælkeproduktionen. Mobiliseringen kan nogle gange udvikle sig til et usundt højt niveau, som kan medføre metaboliske sygdomme som fedtlever og ketose (Bobe et al., 2004; Drackley et al., 2005). Køer, der er fede ved kælvning er i højere risiko for at udvikle fedtlever og ketose. Dels fordi de har mere fedt at mobilisere fra og dels fordi fede køer ofte æder mindre efter kælvning sammenlignet med køer i normalt huld. Ketose er blevet associeret med signifikant højere risiko for at udvikle de mest almindelige set sygdomme efter kælvning såsom metritis, mastitis, løbedrejning og klov- og benproblemer (Berge og Vertenten, 2014). Propylenglykol er i årtier blevet brugt til behandling af ketose. Behandling med propylenglykol har typisk ikke nogen virkning på foderoptagelsen eller mælkeproduktionen, men virkningen af propylenglykol kan måles i stofskiftet som et fald af ketonstoffer i blodet. Samtidig falder også blodets indhold af og ikke-esterificerede fedtsyrer (**NEFA**), imens glukose koncentrationen stiger. Dette tyder på at behandling med propylenglycol nedsætter mobiliseringen af fedtvæv og øger koens glukogene status efter kælvning. For at eftervise effekten af PG på høj-risiko køer blev et forsøg med fede nykælver i værksat. Hypotesen for forsøget var at en daglig tildeling af PG til fede køer efter kælvning ville nedsætte deres mobilisering af fedt fra fedtdepoterne og dermed reducere risikoen for ketose og fedtlever.

Materialer og metoder

Seksten brunstsynkroniserede køer blev fedet op i løbet af de sidste tre måneder i den forudgående senlaktation. Ved goldperiodens start blev ti køer udvalgt til at deltage i forsøget. Kriterierne for deltagelse var en minimum forøgelse af huldet på 0,5 huldpoint gennem opfedningsperiode og en huldscore på 3,5 eller derover ved afgoldning. Fedningsgraden blev vedligeholdt i løbet af goldningsperioden, hvor de ti køer blev vomfistuleret. Efter kælvning blev de fede køer tilfældigt fordelt på to behandlinger. Behandlingerne var tildeling af Propylenglykol (**PPG**) eller vand (**KON**) en

gang dagligt i de første 4 uger efter kælvning (uge 1-4: Behandlingsperioden). Efter aftrapning af behandlingen blev køerne fulgt i yderligere 4 uger (uge 5-8: Opfølgningsperioden). Propylenglykol blev indgivet som en støddosis direkte til den ventrale vom gennem vomfistlen ved morgen fodring kl. 08.00. Alle køer blev fodret ad libitum med samme opfedningsration, goldration og laktationsration. Efter kælvning blev de malket 3 gange dagligt med 8 timers mellemrum. Foderoptagelse og mælkeydelse blev målt dagligt, og mælkesammensætning blev målt to gange om ugen. I et separat sæt af mælkeprøver fra morgenmalkningen (kl. 5.15) blev der dagligt målt koncentrationerne af mælkeometabolitterne β -hydroxybutyrat (BHB), isocitrat og fri glukose. Der blev udtaget blodprøver gennem alle perioder ugentlig og derudover blev der taget blodprøver dagligt fra 7 dage før til 7 dage efter kælvning. Fjorten dage før kælvning og på +4, +15 og +29 dage fra kælvning (DFK) blev køernes kropssammensætning undersøgt ved brug af deuteriumoxide metoden (Andrew et al., 1995). Således var det muligt at undersøge hvor store køernes fedtdepoter var og hvor meget fedt køerne i de to grupper mobiliserede i løbet af de første fire uger efter kælvning. På de omtalte dage blev der også udtaget en leverbiopsi, en fedtvævsbiopsi samt køerne blev vejede. Køernes huld blev vurderet ugentligt. Datasættet med observationer i alle tre perioder (Tabel 1) blev statistisk analyseret efter et randomiseret design med gentagne målinger indeholdende faktorerne behandling, periode, uge og alle vekselvirkninger medlem disse faktorer som forklarende faktorer, og effekten af ko blev brugt som tilfældig faktor. Datasættet med observationer -14, +4, +15 og +29 DFK (Tabel 2) blev ligeledes analyseret efter et randomiseret design med en model indeholdende faktorerne behandling, dag og vekselvirkning som forklarende faktorer og ko som tilfældig faktor.

Resultater og diskussion

Foderoptagelse og mælkeydelse

Undersøgelser viser generelt at køers foderoptagelse og mælkeydelse ikke bliver påvirket af propylenglykol tildeling. Det var også tilfældet i det nærværende forsøg, hvor køernes tørstofoptagelse ikke var forskellig, hverken under de fire uger med propylenglykol tildeling eller i de fire opfølgende uger (Tabel 1). Mælkeydelsen var ikke påvirket af behandlingerne, gennemsnittet var $44,9 \pm 2,3$ og $43,1 \pm 2,1$ kg/dag for hhv. KON og PPG angivet som gennemsnit over de første 8 uger efter kælvning. Mælkens fedtindhold viste forskellige profiler i hhv. behandlingsperioden og opfølgningsperioden for de to grupper. Mælkens proteinindhold var lavere for PPG i den første uge efter kælvning i forhold til KON; herefter var der ingen forskel mellem behandlingerne. Mælkens laktoseindhold var numerisk højere for PPG sammenlignet med KON gennem både behandlingsperioden og opfølgningsperioden.

Virkning på fedtmobilisering

Virkningen af propylenglykol på fedtmobiliseringen hos fede nykælvere blev undersøgt ved at måle flere forskellige både kvantitative og kvalitative parametre. Køernes kropsvægt ændrede sig ikke for PPG efter kælvning, hvorimod den faldt fra +4 DFK til +29 DFK hos KON gruppen (Tabel 2). Størrelsen af køernes fedtdepot blev dels målt dels vha. huldscore (de overfladiske fedtdepoter) og dels via beregning af kropssammensætningen (kroppens samlede fedtdepoter). Hverken huldet eller

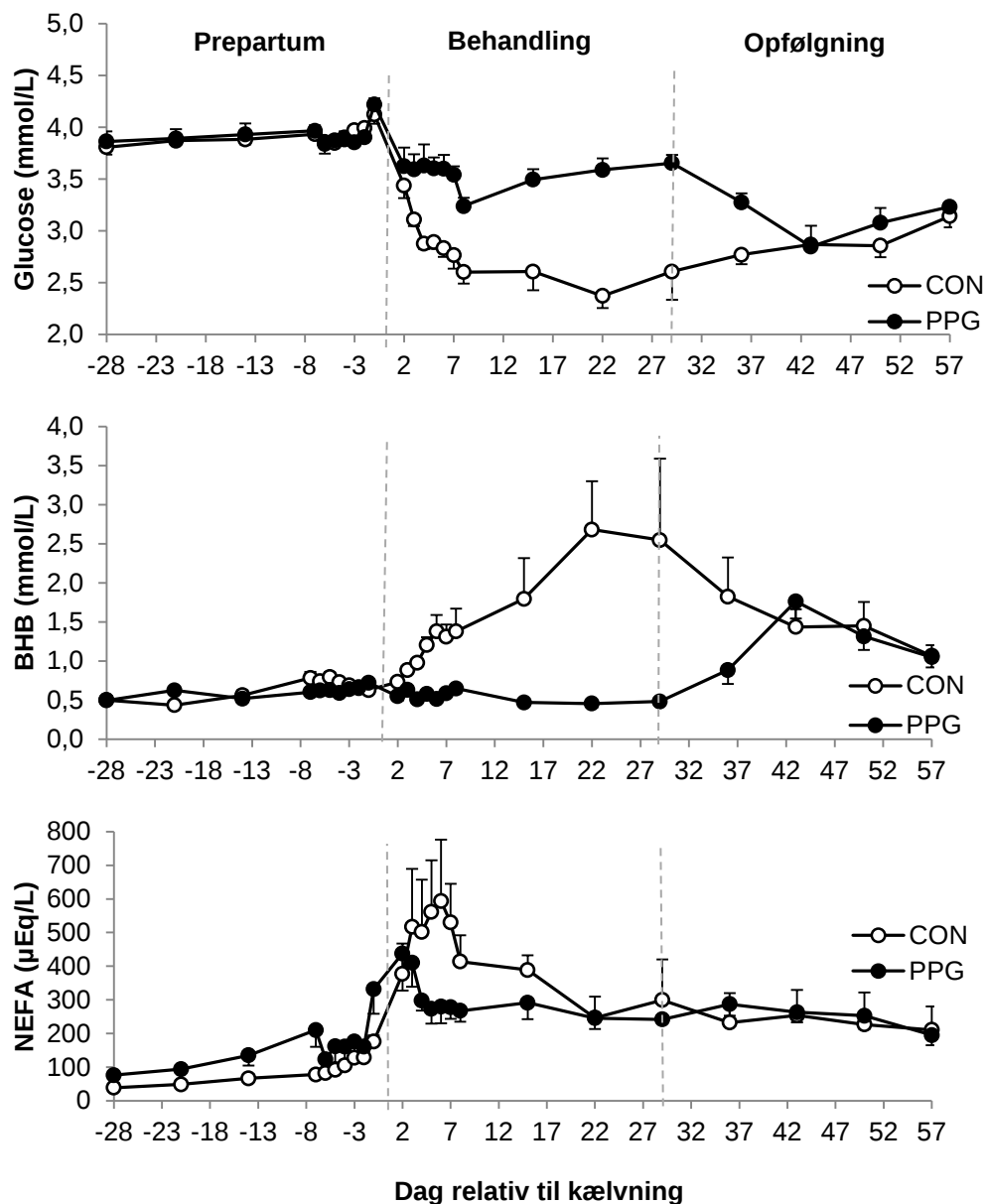
kroppens samlede fedtdepoter var påvirket af behandlingerne, men reduceredes i løbet af de første fire uger efter kælvning for begge grupper (Tabel 2). I gennemsnit tabte køerne $18,9 \pm 8,7$ kg fedt fra +4 DFK til +29 DFK.

Når køernes foderoptagelse (energioptagelse) ikke dækker deres behov for energi til vedligeholdelse og mælkeproduktion tæres der på energidepoterne. Ved nedbrydning af fedtdepoterne frigives NEFA til blodet. I den første uge efter kælvning var der forskel i NEFA koncentrationen mellem KON og PPG, den var lavest for PPG hvilket tyder på lavere mobilisering af fedt i denne gruppe. Undersøges NEFA koncentrationen over hele perioden var der ingen forskel mellem de to grupper af køer (Tabel 1 og Figur 1). Koncentrationen af plasma leptin var ikke påvirket af behandlingen og var lavere +4 DFK sammenlignet med +15 og +29 DFK for begge behandlinger (Tabel 2). Leptin er et hormon, som udskilles fra fedtvævet, fede køer udskiller derfor mere leptin en magere køer, og høje koncentrationer af leptin i blodet er forbundet med nedsat ædelyst. Den negative energibalance efter kælvning nedsætter udskillelsen af leptin fra fedtvæv (Block et al., 2001). Ved undersøgelse af fedtvævsbiopsierne for forskelle i proteinymer, der regulerer fedtomsætningen i fedtvæv, viste ingen forskel mellem de to behandlinger. Det samlede billede af de forskellige kvantitative og kvalitative resultater, med relation til fedtmobilisering efter kælvning viste at behandling med propylenglykol kun i begrænset omfang reducerede fedtmobiliseringen. Forklaringen kan være koens biologiske prioritering efter kælvning; idet flere undersøgelser tyder på at køer har en indbygget genetisk drift til at mobilisere fra fedtdepoterne efter kælvning for at understøtte mælkeproduktionen og dermed sikre kalvens overlevelse (Garnsworthy og Topps, 1982; McNamara og Hillers, 1986; Friggens et al., 2007).

Påvirkning af stofskiftet

Efter kælvning var der et mindre fald i plasmakoncentrationen af glukose for PPG sammenlignet med KON. Da tildelingen af propylenglykol stoppede, faldt plasmakoncentrationen af glukose for PPG og forskellen mellem de to grupper udlignedes i opfølgingsperioden (Tabel 1 og Figur 1). Hvilket viser at propylenglykol har en klar positiv effekt på glukose koncentrationen i blodet. I den fire ugers behandlingsperiode med propylenglykol observeredes ingen stigning i plasmakoncentrationen af BHB for PPG i forhold til prepartumperioden, mens den steg kraftigt for KON. Forskellen mellem PPG og KON forsvandt i opfølgingsperioden eftersom koncentrationen af β -hydroxybutyrat (**BHB**) for PPG begyndte at stige efter afslutning af propylenglykolbehandlingen. Stigende koncentration af BHB i plasma er et udtryk for at flere NEFA omsættes i leveren via ketogenesen. Sammenlignet med fedtmobilisering, viste forsøget således at den primære effekt af propylenglykolbehandlingen var relateret til glukosestofskiftet. Når resultaterne fra opfølgingsperioden tages i betragtning, tyder det på at propylenglykolbehandlingen medførte en metabolisk adaptation til laktation i to trin. Første trin sås efter kælvning, hvor de fede køer der fik propylenglykol ikke nåede samme lavpunkt i plasmakoncentrationen af glukose og samtidig steg plasmakoncentrationen af BHB ikke på samme måde som observeret ved kontrolkøerne (Figur 1). Andet trin i tilpasningen viste sig ved afslutning af

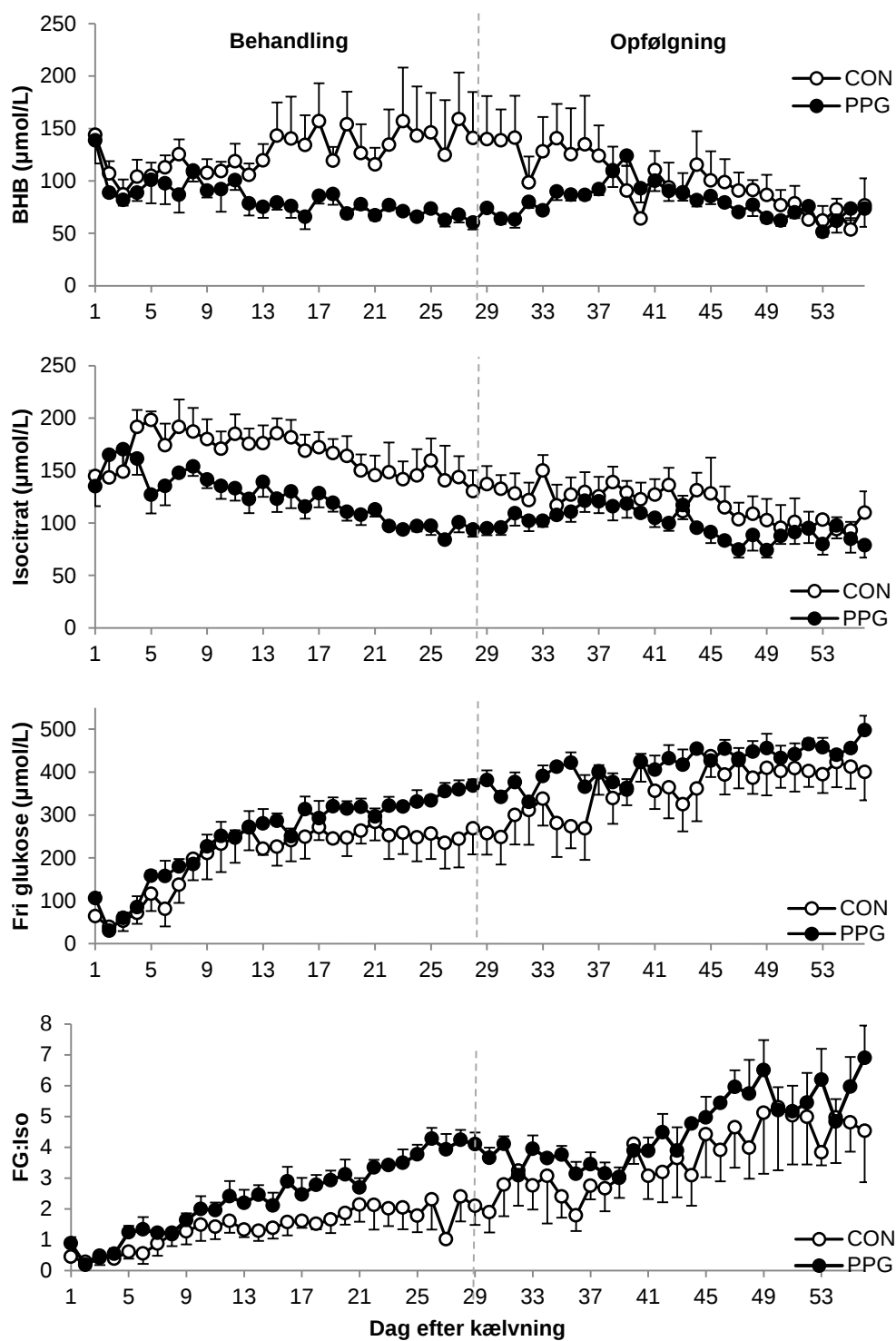
propylenglykolbehandlingen idet dette medførte hhv. et fald i glukosekoncentrationen og en stigning i koncentrationen af BHB, men uden at ramme det samme lavpunkt/toppunkt som blev observeret for kontrol køerne i de første uger efter kælvning. Dette tyder på at køerne i PPG var mindre metabolisk belastet i de første uger efter kælvning, men om denne to-trins adaptations i den tidlige laktation har nogen langtidsvirkninger for resten af laktationen kan forsøget ikke sige noget om.



Figur 1. Blodplasmakonzentration (middelværdi $\pm$ SE) af glukose, β -hydroxybutyrat (BHB) og ikke-esterificerede fedtsyrer (NEFA) hos fede nykælvere tildelt en daglig støddosis af enten 500 g propylen glykol (PPG, ●) eller 500 g vand (CON=KON, ○) direkte i vommen i de første 4 uger efter kælvning. De stiplede linjer viser inddelingen af forsøget i prepartum-, behandlings- og opfølgningsperiode.

Biomarkører i mælk

Rationalet bag at analysere for metabolitter i mælk er at ændringer i koens stofskifte vil påvirke puljen af metabolitter tilgængelig for yverets mælkeproduktion. Dermed vil yverets intermediære stofskifte ændres og påvirke koncentrationen af forskellige metabolitter der udskilles i mælken. Målinger af BHB i mælk (og urin) med forskellige strip-tests el. lign. har været brugt i de sidste årtier, og senest er målinger af BHB i mælk blevet en del af ydelseskontrollen. Cirka 14 dage efter kælvning var koncentrationen af BHB i mælk lavere i PPG sammenlignet med KON (Figur 2 og Tabel 1). Forskellen udlignedes da propylenglykol behandlingen stoppede, og således var der en stærk korrelation mellem BHB i plasma og BHB i mælken. Isocitrat og fri glukose er for nyligt blevet foreslået som metabolitter, der kan afspejle koens glukogene status (Larsen, 2014; Larsen og Moyes, 2015). Koncentrationen af isocitrat var lavere for PPG sammenlignet med KON (Figur 2). Isocitrat har betydning for de novo fedtsyre syntesen og hypotesen er at jo større de novo fedtsyre syntese i yveret er jo lavere er koncentrationen af isocitrat. Når der er mange NEFA til rådighed fra blodet for yverets fedtsyntese vil andelen af de novo syntetiserede fedtsyrer falde. Det var således på forhånd antaget at der ville være forskel på koncentrationen af isocitrat i mælken mellem de to behandlinger, idet det var forventet at propylenglykol behandlingen ville nedsætte mobiliseringen af NEFA fra fedtdepoterne. Men som det lige er blevet beskrevet var dette ikke tilfældet i det nærværende forsøg. Forsøget tyder derfor på at forskellen i den glukogene status hos de to grupper af køer også kan påvirke andelen af de novo syntetiserede fedtsyrer i yveret. Glukoseoptaget i yveret bliver først og fremmest brugt til laktoseproduktion. Derudover kan glukose i yveret bruges til energi og glycerolproduktion, og en lille andel udskilles som fri glukose i mælken. I dette forsøg var der i de første otte uger efter kælvning ingen forskel mellem behandlingerne mht. til koncentrationen af fri glukose i mælk selvom koncentrationen af fri glukose i mælken generelt var højere hos PPG sammenlignet med KON (Figur 2 og Tabel 1). Undersøgelser af isocitrat og fri glukose i mælk har vist at de to metabolitter responderer modsat hinanden i forhold til energibalance: isocitrat stiger og fri glukose falder i perioder med energi mangel eller sult (Chaiybutr et al., 1981; Larsen upublicerede data). Man kunne således spekulere i om en ratio mellem fri glukose (FG): isocitrat (Iso) kunne bruges til at identificere dyr, der er metabolisk stresset dvs. er i underskud af glukose og har en høj mobilisering af NEFA fra fedtvævet. I det nærværende forsøg var der ikke forskel på FG:Iso ratioen mellem behandlingerne, dog ses en mere stejl stigning af ratioen hos PPG i behandlingsperioden. Alt i alt viser forsøget at behandlingen med propylenglykol havde indflydelse på koncentrationerne af BHB, isocitrat og fri glukose i mælken. Dette tilkendegiver at isocitrat og fri glukose i mælk eventuelt ville kunne bruges som biomarkører på linje med den velkendte BHB. Forsøget indikerede at den øgede glukogene status hos de propylenglykol behandlede køer havde indflydelse på både fedtsyre metabolismen i form af hvor stor andel af mælkefedtet, der kommer fra de novo syntetiserede fedtsyrer og på glukose metabolismen i yveret både i form øget lactoseindhold og i form af andelen af fri glukose i mælken. Samtidig blev den stærke korrelation mellem BHB i plasma og BHB i mælk bekræftet.



Figur 2. Koncentration (middelværdi $\pm$ SE) af β -hydroxybutyrat (BHB), isocitrat og fri glukose i mælk samt fri glukose (FG): isocitrat (Iso) ratio hos fede nykælvere tildelt en daglig støddosis af enten 500 g propylen glykol (PPG, ●) eller 500 g vand (CON=KON, ○) direkte i vommen i de første 4 uger efter kælvning. De stiplede linjer viser inddelingen af forsøget i behandlings- og opfølgningsperiode.

Konklusion

I dette forsøg med tildeling af propylenglykol til fede nykælvare reduceredes mobiliseringen af fedt ikke nævneværdigt. Hovedvirkningen af propylenglykol var tilsyneladende relateret til glukosestofskiftet, hvor den glukogene status blev forhøjet hos køerne der fik tildelt propylenglykol og dermed var der ingen stigning i indholdet af BHB i blodet. Profilerne af glukose og BHB i blodet under den fire ugers behandlingsperiode og i den efterfølgende opfølgingsperiode tyder på at tildeling af propylenglykol resulterer i en to-trins adaptation til laktation. Derfor tyder disse resultater på at tildeling af propylenglykol til fede nykælvare kan udnyttes til at mindske risikoen for fedtlever og ketose hos sådanne højrisiko nykælvare. Det forslås, at de i forsøget viste indikationer angående brugen af isocitrat og fri glukose i mælk, som biomarkører for koens glukogene status, bliver efterprøvet i større datasæt.

Tabel 1. Foderoptagelse, mælkeydelse og plasma- og mælkekoncentrationer af metabolitter (LSM $\pm$ SEM)¹.

	Prepartum ²		Postpartum ²		<i>P</i> -værdier ³						
			Behandling		Opfølgning						
Item	KON	PPG	KON	PPG	KON	PPG	SEM	Beh	Per	Beh × per	Beh × per × tid
TS optag (kg/d)	12,8	10,6	19,0	17,7	22,1	22,9	1,2	0,58	<0,01	<0,01	0,81
Mælkeydelser, kg/d											
Mælk			42,5	40,3	47,4	45,9	2,3	0,59	<0,01	0,42	0,94
Fedt			1,98	1,62	1,98	1,87	0,16	0,31	0,03	0,03	0,19
Protein			1,50	1,34	1,39	1,35	0,06	0,26	0,23	0,09	0,78
Laktose			1,97	1,91	2,22	2,19	0,11	0,77	<0,01	0,55	0,69
Mælkesammensætning, %											
Fedt			4,63	4,11	4,18	4,07	0,24	0,37	0,02	0,01	0,04
Protein			3,58	3,44	2,94	2,96	0,06	0,48	<0,01	0,03	0,88
Laktose			4,66	4,81	4,70	4,79	0,05	0,12	0,91	0,36	0,77
Mælkemetabolitter											
BHB (µmol/L)			127	83†	101	79	14	0,18	<0,01	<0,01	0,09
Isocitrat (µmol/L)			165	124*	124	98	11	0,07	<0,01	<0,01	0,24
Fri glukose (µmol/L)			204	250	357	418	34	0,30	<0,01	0,46	0,46
Fri glucose:Isocitrat			1,4	2,3	3,5	4,6	0,5	0,18	<0,01	0,64	0,91
Plasma ugeprøver											
Glukose (mmol/L)	3,87	3,90	2,58	3,57*	2,91	3,11	0,09	<0,01	<0,01	<0,01	0,28
NEFA (µeq/L)	59	106	351	277	231	250	41	0,95	<0,01	0,41	0,94
BHB ⁴ (mmol/L)	0,53	0,55	2,07	0,47*	1,44	1,25	0,21	<0,01	<0,01	<0,01	0,05
Plasma dagsprøver											
Glucose (mmol/L)	3,94	3,93	2,93	3,55*			0,08	0,01	<0,01	<0,01	0,15
NEFA ⁴ (µeq/L)	143	187	499	321*			56	0,92	<0,01	<0,01	0,95
BHB ⁴ (mmol/L)	0,73	0,64	1,12	0,57*			0,04	<0,01	0,02	<0,01	0,02

¹ Behandlingerne: kontrolgruppen (KON) fik tildelt 500 g vand (n = 4) og propylenglykolgruppen (PPG) fik tildelt 500 g propylenglykol (n = 5) én gang dagligt i de første 4 uger efter kælvning.

² Prepartum perioden udgør uge -4 til uge -1 eller dag -7 til dag -1, postpartum perioden deles i to perioder: behandlingsperioden, som udgør uge 1 til uge 4 eller dag 1 til dag 7 og opfølgningsperioden der udgør uge 5 til uge 8.

³ Beh: behandling, per: periode, tid: udgør inden for hver periode (prepartum, behandling og opfølgning) dag 1-28 for TS optag, mælkeydelse og mælkemetabolitter, prøve 1-8 for mælkesammensætning og ydelserne af fedt, protein og glukose, dag 1-7 for dagsprøvernes plasma variable eller uge 1-4 for ugentlige plasma variable.

⁴ P-værdierne er fra ln transformede data.

⁵ Kun prøver fra postpartum perioden er analyseret.

* $P \leq 0.05$, † $P \leq 0.10$: symbolerne angiver en forskel i LSM mellem behandlingerne inden for perioden.

Tabel 2. Kropsvægt, huld, kropsfedtpulje og leverkoncentration af glykogen og fedt (LSM $\pm$ SEM)¹.

	-14 DFK ²		+4 DFK		+15 DFK		+29 DFK			P-værdier ³			
Item	KON	PPG	KON	PPG	KON	PPG	KON	PPG	SEM	Beh	DFK	Beh × DFK	Trans × beh
Kropsstatus													
Kropsvægt (kg)	723	689	691	625	652	607	620	609	29	0,35	<0,01	0,05	0,17
Huld ⁴	3,81	3,75	3,75	3,50	3,31	3,25	3,25	3,05	0,19	0,49	0,06	0,42	0,31
Fedtpulje (kg)	119	109	104	91	93	110	82	75	14	0,98	0,06	0,27	0,90
Leptin (ng/ml)	18,8	17,9	6,5	4,0	12,1	9,4	16,7	10,1	4,1	0,48	0,01	0,59	0,82
Leverkoncentration													
Glykogen (μmol/g)	230,6	189,0	63,4	115,7†	63,6	123,4*	101,6	153,1*	12,3	0,01	<0,01	0,65	<0,01
TAG ⁵ (μmol/g)	5,7	6,6	24,1	96,0	125,4	64,2	68,4	104,5	32,8	0,56	0,31	0,10	0,16

¹ Behandlingerne: kontrolgruppen (KON) fik tildelt 500 g vand (n = 4) og propylenglykolgruppen (PPG) fik tildelt 500 g propylenglykol (n = 5) én gang dagligt i de første 4 uger efter kælvning.

² Prepartum data: -14 DFK (-16 $\pm$ 3 d; middelværdi $\pm$ standard afvigelse) var ikke inkluderet i den statistiske analyse.

³ Beh: behandling, DFK: Dage fra kælvning, Trans $\times$ beh: tester om prepartum CON til +4 DFK CON er forskellig fra prepartum PPG til +4 DFK PPG.

⁴ Den huldscore der var målt tættest på DFK datoen blev brugt i analysen af huldet.

⁵ P-værdier er fra ln transformede data, TAG: triglycerid.

* $P \leq 0.05$, [†] $P \leq 0.10$: symbolerne angiver en forskel i LSM mellem behandlingerne indenfor DFK.

Referencer

- Andrew, S. M., R. A. Erdman, and D. R. Waldo. 1995. Prediction of body-composition of dairy-cows at 3 physiological stages from deuterium-oxide and urea dilution. *J. Dairy Sci.* 78(5):1083-1095.
- Berge, A. C. and G. Vertenten. 2014. A field study to determine the prevalence, dairy herd management systems, and fresh cow clinical conditions associated with ketosis in western European dairy herds. *J. Dairy Sci.* 97(4):2145-2154.
- Block, S. S., W. R. Butler, R. A. Ehrhardt, A. W. Bell, M. E. Van Amburgh, and Y. R. Boisclair. 2001. Decreased concentration of plasma leptin in periparturient dairy cows is caused by negative energy balance. *J. Endocrinol.* 171(2):339-348.
- Bobe, G., J. W. Young, and D. C. Beitz. 2004. Invited review: Pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87(10):3105-3124.
- Chaiyabutr, N., A. Faulkner, and M. Peaker. 1981. Changes in the concentrations of the minor constituents of goats milk during starvation and on refeeding of the lactating animal and their relationship to mammary-gland metabolism. *Br. J. Nut.* 45(1):149-157.
- Drackley, J. K., H. M. Dann, G. N. Douglas, N. A. J. Guretzky, N. B. Litherland, J. P. Underwood, and J. J. Loores. 2005. Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Ital. J. Anim. Sci.* 4(4):323-344.
- Friggens, N. C., P. Berg, P. Theilgaard, I. R. Korsgaard, K. L. Ingvarsen, P. Lovendahl, and J. Jensen. 2007. Breed and parity effects on energy balance profiles through lactation: Evidence of genetically driven body energy change. *J. Dairy Sci.* 90(11):5291-5305.
- Garnsworthy, P. C. and J. H. Topps. 1982. The effect of body condition of dairy-cows at calving on their food-intake and performance when given complete diets. *Anim. Prod.* 35(Aug):113-119.
- Larsen, T. 2014. Fluorometric determination of free and total isocitrate in bovine milk. *J. Dairy Sci.* 97(12):7498-7504
- Larsen, T. and K. M. Moyes, 2015. Are free glucose and glucose-6-phosphate in milk indicators of specific physiological states in the cow? *Animal.* 9, 86-93.
- McNamara, J. P. and J. K. Hillers. 1986. Adaptations in lipid-metabolism of bovine adipose-tissue in lactogenesis and lactation. *J. Lipid Res.* 27(2):150-157.

Proteinværdien i kløvergræsensilage øges ved højere tørstofprocent

Marianne Johansen¹, Thorkild Nissen², Anne Louise Frydendahl Hellwing¹ og Martin Riis Weisbjerg,

¹ Aarhus Universitet, Foulum. ² Økologisk Landsforening

Sammendrag

En bedre udnyttelse af proteinet i kløvergræsensilage vil bidrage til større selvforsyning i den økologiske mælkeproduktion. Det er derfor undersøgt, om proteinværdien i kløvergræsensilage kan øges ved at øge tørstofindholdet inden ensilering. Fire multifistulerede malkekøer blev fodret med kløvergræsensilage, der varierede fra 28,3-72,5 % i tørstofindhold. Flowet af aminosyrer i duodenum steg ved højere tørstofindhold i ensilagen, og stigningen skyldtes både øget mikrobiel proteinsyntese og lavere nedbrydning af foderprotein i vommen. Mængden af aminosyrer absorberet i tyndtarmen steg med 5,6 g/kg tørstofoptag for hver 10 %-enheder øgning i tørstofindholdet i ensilagen

Summary

A better utilisation of the protein in grass-clover silage will contribute to higher self-sufficiency in the organic dairy production. Therefore, the potential for increased protein value by increased pre-wilting in grass-clover silage before ensiling was investigated. Four multifistulated dairy cows were fed with grass-clover silage, which ranged from 28.3-72.5 % in dry matter content. The flow of amino acids in the duodenum increased by higher dry matter content in the silage, and the increase was caused both by increased microbial protein synthesis and decreased degradation of feed protein in the rumen. The amount of amino acids absorbed in the small intestine increased with 5.6 g/kg dry matter intake per 10 %-units increase in dry matter content in the silage.

Indledning og formål

I den økologisk mælkeproduktion kan det ofte være svært at opfylde behovet for AAT (aminosyrer absorberet i tarmen) i foderrationen uden energikrævende varmebehandling eller import af dyrt proteinfoder. En bedre udnyttelse af proteinet i kløvergræsensilagen vil kunne bidrage til øget AAT samt større selvforsyning i den økologiske produktion. Forvejring af kløvergræs til et højere tørstofindhold vil reducere den mikrobielle fermentering under ensileringsprocessen, hvilket reducerer proteinnedbrydningen og koncentrationen af forgæringsprodukter i ensilagen samt øger koncentrationen af sukker (Muck et al., 2003). Dette vil teoretisk medføre en øget mikrobiel syntese i vommen samt at en højere andel af oprindelig foderprotein vil passere unedbrudt gennem vommen, hvorved der vil være flere aminosyrer tilgængelig for absorption i tyndtarmen. En dataanalyse af kløvergræsensilager analyseret ved Eurofins/Steins viste, at den beregnede AAT i NorFor-systemet stiger med ca. 4 g/kg tørstof når tørstofindholdet stiger med 10 %-enheder (Thøgersen et al., 2014). Formålet med dette forsøg var således at undersøge, om det er praktisk muligt at opnå højere proteinværdi i kløvergræsensilage ved at øge tørstofprocenten.

Materialer og metoder

De otte kløvergræsensilager, der er anvendt i dette forsøg, blev produceret af to økologiske landmænd i 2013 fra marker udsået med blanding 42 (alm. rajgræs, hybridrajgræs, hvidkløver og rødkløver), hvor landmand 1 havde iblandet alm. rajgræs, timoté og cikorie. Første og anden slæt fra begge landmænd blev anvendt for at opnå variation i den kemiske sammensætning mellem ensilagepartier. Efter skårlægningen blev halvdelen af hvert slæt forvejret til et forventet tørstofindhold på ca. 35 %, mens den resterende del blev forvejret til et forventet tørstofindhold på ca. 70 %. Kløvergræsset blev ensileret i rundballer uden brug af ensileringsmiddel og efter seks måneder blev ballerne transporteret til AU-Foulum. Inden forsøgsstart blev den mængde af hver ensilage, der skulle bruges til hele forsøget, sammenblandet i en Cormall horisontalblander i 30 minutter, og blev efterfølgende vakuumpakket i 7-15 kg poser. Dette blev gjort for at sikre ensartet ensilage af høj kvalitet gennem hele forsøgsperioden.

Fire Holstein køer (551 ± 33 kg kropsvægt) med fistler i vom, duodenum og ileum indgik i fodringsforsøget. Da køerne ikke skulle have kraftfodertilskud, blev der valgt senlakterende køer, og ved forsøgsstart var køerne 216 ± 23 dage fra kælvning. Ensilagerne blev tildelt til køerne *ad libitum* i et overkrydsningsforsøg med fem perioder af hver 3 ugers varighed. Mineraler og vitaminer blev tildelt dagligt, men ingen kraftfoder blev tildelt. Tre eksterne markører (Cr_2O_3 , TiO_2 og $\text{YbCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) blev indgivet i vommen to gange dagligt til estimering af flow i duodenum, ileum og fæces. Foderoptagelse blev målt dagligt, og mælkeydelse og -sammensætning blev målt over ét døgn (2 malkninger) hver uge. I den sidste uge i hver periode blev der over 94 timer udtaget 12 underprøver for at afdække variationen over døgnet fra henholdsvis duodenum, ileum og fæces, og en samleprøve fra hvert tarmsegment blev efterfølgende analyseret. Efter samme tidsskema blev der udtaget væske fra den ventrale del af vommen, hvor alle enkeltprøver efterfølgende blev analyseret for kortkædede fedtsyrer og ammonium kvælstof. Mikrober blev isoleret fra vommen og analyseret for aminosyrer og puriner til kvantificering af flowet af mikrobiel protein i duodenum. I de sidste to dage af hver periode blev køerne flyttet til metankamre for måling af metanproduktionen.

Alle data er analyseret som regressionsanalyser, hvor der er taget højde for variationen mellem slæt indenfor landmand samt variationen mellem køer. Resultaterne er givet som niveauet ved gennemsnitlig tørstofindhold i ensilagen (48,8 %) beregnet ud fra modellen, samt effekten af at øge tørstofindholdet i ensilagen med 10 %-enheder.

Resultater og diskussion

Ensilager

Tørstofindholdet i ensilagerne varierede fra 28,3-72,5 % (Tabel 1). Selvom det planlagte tørstofindhold på henholdsvis 35 og 70 % ikke altid blev opnået, var der for alle fire ensilagepartier en betydelig forskel på tørstofindholdet mellem de to forvejringer. Ved øget tørstofindhold var der et højere indhold af sukker i ensilagen, hvilket gjaldt for både total sukker og frit glukose. Den totale mængde af

Tabel 1. Sammensætning af de otte kløvergræsensilager (g/kg tørstof, hvis ikke andet er angivet) samt effekt af en ændring på 10 %-enheder i tørstofindholdet (TS).

	Landmand 1				Landmand 2				Ændring ved		P-værdier ³			
	1. slæt		2. slæt		1. slæt		2. slæt		10 % højere TS	SE	TS	LM	S	LM*S
Tørstof [%]	28,3	64,4	32,2	42,7	49,2	66,0	37,7	72,5						
Aske	84	85	126	139	89	82	120	89	-3,53	3,15	0,34	0,53	0,04	0,22
C	443	441	425	420	435	438	427	441	+1,47	1,43	0,38	0,94	0,14	0,13
Råprotein	158	149	176	180	133	125	148	163	+0,41	2,14	0,86	0,01	<0,0 ₁	0,88
NDF	429	484	390	390	490	480	364	381	+8,25	3,99	0,13	0,80	<0,0 ₁	0,10
iNDF [% af NDF]	11,0	10,7	11,8	11,5	9,6	10,5	16,1	12,5	-0,43	0,32	0,27	0,34	0,13	0,12
Råfedt	33	23	33	32	25	21	34	25	-2,51	0,20	<0,0 ₁	0,63	0,02	0,03
Total sukker	47	123	14	43	107	145	73	164	+23,54	1,40	<0,0 ₁	0,04	0,12	0,02
Glukose ¹	5	32	5	13	25	34	18	38	+6,44	0,59	<0,0 ₁	0,06	0,40	0,27
% af total N														
Opløselig N	63,2	42,4	56,1	52,2	59,2	39,8	59,1	29,5	-7,40	1,14	0,01	0,25	0,09	0,80
Ammonium N	5,5	2,2	6,5	6,7	3,9	2,3	7,1	1,6	-1,15	0,24	0,02	0,80	0,09	0,59
AA-N	60,1	63,3	62,2	63,6	61,7	64,4	62,7	65,2	+0,90	0,15	0,01	0,90	0,03	0,33
Bruttoenergi [MJ/kg TS]	18,0	17,7	17,1	17,0	17,4	17,5	17,1	17,6	+0,03	0,07	0,72	0,74	0,17	0,14
pH	4,17	5,85	4,04	4,20	5,50	5,56	4,28	5,48	+0,36	0,08	0,02	0,59	0,04	0,98
L-mælkesyre ²	20,5	0,6	34,3	23,4	1,9	0,4	22,7	0,4	-5,62	1,04	0,01	0,16	0,02	0,51
Eddikesyre	11,9	0,0	21,8	14,7	1,9	0,0	14,7	0,0	-3,61	0,62	0,01	0,25	0,01	0,36
Smørsyre	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,0	-0,27	0,06	0,02	0,43	0,73	0,03

¹ Fri glukose i vandig ekstrakt. ² L-mælkesyre udgør ca. halvdelen af total mængde mælkesyre.

³ TS: effekt af ændring i tørstofindhold, LM: effekt af landmand, S: effekt af slæt, LM*S: vekselvirkning mellem landmand og slæt.

råprotein var upåvirket af tørstofindholdet, men andelen af opløseligt råprotein i forhold til total råprotein faldt med øget tørstofindhold. Ligeledes var der et fald i andelen af ammonium kvælstof, mens andelen af kvælstof bundet i aminosyrer (AA-N) var højere ved øget tørstofindhold i ensilagen. Mængden af forgæringsprodukterne mælkesyre, eddikesyre og smøresyre blev reduceret ved øget tørstofindhold, hvorved den opnåede pH var højere i ensilagerne med et højt tørstofindhold. Samlet viser dette, at den mikrobielle fermentering har været lavere i kløvergræsensilagerne med højere tørstofindhold, hvilket er i overensstemmelse med forventningerne (Muck et al., 2003). Derudover var mængden af råfedt reduceret ved øget tørstofprocent, mens de andre næringsstoffer var upåvirkede, og der var ingen effekt af tørstofindholdet i ensilagen på bruttoenergiindholdet. For begge landmænd var der et højere NDF indhold i første slæt sammenlignet med anden slæt, mens proteinindholdet var højest i anden slæt. Desuden var der et højere proteinindhold i ensilagerne fra landmand 1 end fra landmand 2, hvorved den ønskede variation i kemisk sammensætning mellem ensilagepartierne var opnået. De to forvejringer for anden slæt fra landmand 2 varierede lidt i kemisk sammensætning, da der var et højere indhold af aske og iNDF i den våde ensilage sammenlignet med den tørre, men dette har ikke haft afgørende indflydelse på de overordnede resultater.

Foderoptag og mælkeydelse

Der var ingen generel effekt af tørstofindholdet i ensilagen på tørstofoptaget, mælkeydelsen samt mælkens sammensætning (Tabel 2). Tørstofoptagelsen var meget stabil gennem hele forsøgsperioden. Mælkeydelsen var som forventet lav, da det var køer i senlaktationen, der udelukkende blev fodret med kløvergræsensilage. Der var et lille fald i mælkeydelsen henover hele forsøgsperioden, tilsvarende det forventede fald over de 3,5 måneders forsøgsperiode.

Tabel 2. Niveau ved gennemsnitlig tørstofindhold (48,8 %) i ensilagen for tørstofoptag, mælkeydelse og -sammensætning samt effekt af en ændring på 10 %-enheder i tørstofindholdet (TS).

	Ved 48,8 % TS	Ændring ved 10 % højere TS	SE	P-værdi¹
Tørstofoptag [kg/d]	12,4	+0,26	0,39	0,59
Mælkeydelse [kg/d]	14,5	+0,07	0,54	0,91
Fedt [%]	4,28	-0,05	0,04	0,52
Protein [%]	3,23	+0,05	0,04	0,36
Laktose [%]	4,46	+0,02	0,01	0,14

¹Effekt af ændring i tørstofindhold.

Vomfordøjelighed

Vomfordøjeligheden (beregnet som sand vomfordøjelighed, hvor mængden ved duodenum er korigeret for mikrobiel andel) af både organisk stof og NDF var upåvirket af tørstofindholdet i

Tabel 3. Niveau ved gennemsnitlig tørstofindhold (48,8 %) i ensilagen for vomfordøjelighed af organisk stof (OS), NDF, råprotein og aminosyrer (AA) samt effekt af en ændring på 10 %-enheder i tørstofindholdet (TS), beregnet som sande vomfordøjeligheder, hvor flow ved duodenum er korrigeret for bidraget fra mikrober.

	Ved 48,8 % TS	Ændring ved 10 % højere TS	SE	P-værdi ¹
Sand vomfordøjelighed [%]				
OS	56,5	-0,63	0,36	0,15
NDF	76,1	+0,29	0,54	0,60
Råprotein	18,6	-4,41	1,63	0,02
AA	15,6	-4,04	1,53	0,04

¹Effekt af ændring i tørstofindhold.

ensilagen (Tabel 3), hvorimod der var et fald i vomfordøjeligheden af både råprotein og total aminosyrer. Vomfordøjeligheden af aminosyrer faldt med 4 %-enheder når tørstofprocenten i ensilagen steg med 10 %-enheder. Dette betyder, at flere aminosyrer fra foderet passerede unedbrudt gennem vommen.

At der reelt var et fald i proteinnedbrydningen i vommen understøttes af sammensætningen af kortkædede fedtsyrer (VFA) i vommen (Tabel 4), beregnet som gennemsnit af koncentrationen over døgnet for hver enkelt syre. Den totale mængde af VFA i vommen var upåvirket af tørstofindholdet i ensilagen, men andelen af iso-smørsyre og iso-valerianesyre faldt med øget tørstofindhold. Iso-syrerne er forgrenede fedtsyrer, der er et produkt fra proteinnedbrydningen (Allison, 1978), hvorved en lavere koncentration af disse syrer skyldes en reduceret nedbrydning af protein. pH i vommen var upåvirket af tørstofindholdet i ensilagen.

Aminosyrer i tyndtarmen

Det totale flow af aminosyrer ved duodenum steg ved øget tørstofindhold i ensilagen (Figur 1). Denne stigning skyldtes både en stigning i aminosyrer fra unedbrudt foderprotein samt en stigning af aminosyrer fra mikrobielt protein. Flowet af aminosyrer fra unedbrudt foderprotein kunne ikke adskilles fra flowet af endogene aminosyrer, men under antagelse af, at flowet af endogene aminosyrer er konstant, vil ændringer i det samlede flow skyldes ændringer i unedbrudt foderprotein. Ved en øgning af tørstofindholdet i ensilagen fra 35 til 70 % blev mængden af totale aminosyrer, der flyder til duodenum, øget med 15 %, og bidraget fra henholdsvis mikrobielt protein og foderprotein var ligeværdig, da disse blev øget med henholdsvis 15 % og 17 %.

Absorptionen af aminosyrer i tyndtarmen, målt som differencen i flowet af aminosyrer mellem duodenum og ileum som et direkte mål for AAT, steg når tørstofindholdet i ensilagen blev øget (Figur 1). AAT steg med 5,6 g/kg TS optag for hver 10 %-enheder øgning i tørstofindholdet i ensilagen. Dette

Tabel 4. Niveau ved gennemsnitlig tørstofindhold (48,8 %) i ensilagen for pH samt koncentrationen af kortkædede fedtsyrer (VFA) og ammonium N i vommen samt effekt af en ændring på 10 %-enheder i tørstofindholdet (TS).

	Ved 48,8 % TS	Ændring ved 10 % højere TS	SE	P-værdi ¹
pH	6,62	0,00	0,02	0,95
VFA total [mmol/L]	100,4	-1,69	2,43	0,52
% af total VFA				
Mælkesyre	0,32	-0,02	0,05	0,74
Eddikesyre	66,27	+0,38	0,62	0,54
Propionsyre	17,78	+0,40	0,58	0,55
Iso-smørsyre	0,90	-0,09	0,02	0,06
Smørsyre	10,20	+0,06	0,21	0,99
Iso-valerianesyre	1,78	-0,39	0,06	0,01
Valerianesyre	1,88	-0,06	0,04	0,24
Capronsyre	0,95	-0,16	0,11	0,24
Ammonium N [mmol/L]	5,39	-0,92	0,21	0,01

¹Effekt af ændring i tørstofindhold.

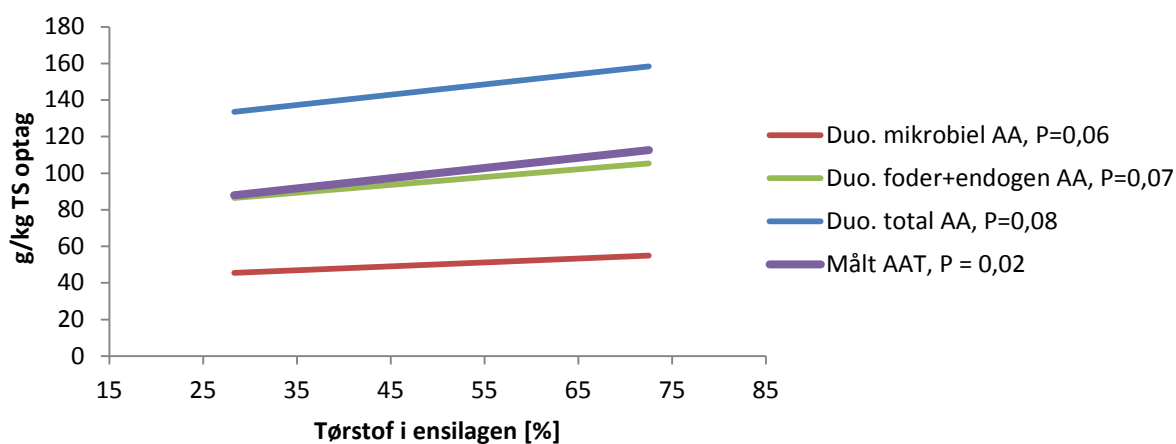
bevirker, at AAT kunne hæves med 19,5 g/kg TS ved at forvejre kløvergræsset til 70 % tørstof frem for 35 % tørstof inden ensilering.

Den tilsyneladende fordøjelighed af aminosyrer i tyndtarmen steg ved højere tørstofindhold i ensilagen (Tabel 5). Dette er overensstemmelse med forventningen om, at potentielt fordøjeligt foderprotein, der passerer unedbrudt igennem vommen, har en høj fordøjelighed.

Foder-fæces fordøjelighed

Den tilsyneladende foder-fæces fordøjelighed af organisk stof og NDF var upåvirket af tørstofindholdet i ensilagen, men der var en tendens til, at den tilsyneladende foder-fæces fordøjelighed af råprotein var lavere i ensilage med højere tørstofindhold. Dette kan hænge sammen med, at en større mængde protein passerer unedbrudt igennem vommen, og hvis fordøjeligheden af dette ekstra protein ikke er 100 % i tyndtarmen, vil en større mængde passere ud med fæces. Ligeledes er mikrobielt protein ikke 100 % fordøjeligt, og således vil øget syntese af mikrobielt protein medføre en reduceret tilsyneladende foder-fæces fordøjelighed.

Den tilsyneladende foder-fæces-fordøjelighed af råfedt var lavere, når tørstofindholdet i ensilagen steg. Dette kan skyldes, at der generelt var et lavt indhold af råfedt i ensilagerne, og at indholdet faldt med øget tørstofindhold.



Figur 1. Flow af mikrobielle aminosyrer, foder + endogene aminosyrer og total aminosyrer ved duodenum som funktion af tørstofindholdet i ensilagen, samt den målte absorption af aminosyrer i tyndtarmen (AAT).

Tabel 5. Niveau ved gennemsnitlig tørstofindhold (48,8 %) i ensilagen for tilsyneladende tyndtarmsfordøjelighed af aminosyrer (AA) samt tilsyneladende foder-fæces fordøjelighed af organisk stof (OS), NDF, råprotein og råfedt samt effekt af en ændring på 10 %-enheder i tørstofindholdet (TS).

	Ved 48,8 % TS	Ændring ved 10 % højere TS	SE	P-værdi ¹
Tilsyneladende tyndtarmsfordøjelighed [%]				
AA	68,6	+1,27	0,39	0,03
Tilsyneladende foder-fæces fordøjelighed [%]				
OS	72,7	-0,52	0,37	0,23
NDF	77,0	-0,14	0,57	0,82
Råprotein	60,2	-1,44	0,64	0,10
Råfedt	47,2	-3,10	0,96	0,04

¹ Effekt af ændring i tørstofindhold.

Metanproduktion

Produktionen af metan (CH₄) og hydrogen (H₂) var upåvirket af tørstofindholdet i ensilagen (Tabel 6), hvorved der ligeledes ikke var nogen forskel på metantabet som andel af bruttoenergi. Der er derved ikke nogle negative konsekvenser i form af øget energitab eller større produktion af metan ved at øge tørstofindholdet i kløvergræsensilagen.

Tabel 6. Niveau ved gennemsnitlig tørstofindhold (48,8 %) i ensilagen for produktionen af metan (CH₄) og hydrogen (H₂) og energitabet (energi i metan i % af bruttoenergi indtag), samt effekt af en ændring på 10 %-enheder i tørstofindholdet (TS).

	Ved 48,8 % TS	Ændring ved 10 % højere TS	SE	P-værdi ¹
CH ₄ [L/kg TS optag]	31,24	-0,06	0,28	0,87
H ₂ [L/kg TS optag]	0,48	+0,09	0,04	0,12
Energi tab [%]	7,09	-0,02	0,07	0,88

¹Effekt af ændring i tørstofindhold.

Konklusion og perspektivering

Resultaterne fra dette forsøg har vist, at AAT-værdien kan øges ved at forvejre kløvergræs til et højere tørstofindhold inden ensileringen, og at dette er gældende på tværs af ensilager, der varierer i kemisk sammensætning. Den viste effekt i dette forsøg er af en betydelig størrelse, der vil have en betydning i praksis. Ændringen i AAT ved at øge tørstofindholdet i ensilagen stemmer overens med den beregnede ændring af Thøgersen et al. (2014), men der er forskel i niveauet af AAT/kg TS. Fordelen i en øget AAT-værdi skal sammenholdes med de managementmæssige udfordringer, der vil være i at forvejre kløvergræs til et højere tørstofindhold inden ensilering. Således kan øget forvejring øge risikoen for bladtab i marken. Samtidig vil tørt materiale være sværere at sammenpresse, og det kan være svært at opnå iltfrie forhold under ensileringsprocessen, hvorved en fejlensilering kan finde sted, og den aerobe stabilitet ved udtagningen kan blive reduceret (Kung, 2014). Med rette management omkring ensileringen vil der være potentiale for at øge selvforsyningen med foder og AAT ved at forvejre kløvergræsset til et højere tørstofindhold inden ensilering.

Finansiering

Undersøgelsen er gennemført vha. en bevilling fra Mælkeafgiftsfonden og Fonden for Økologisk Landbrug til Økologisk Landsforening.

Referencer

Allison, M.J. 1978. Production of branched-chain volatile fatty-acids by certain anaerobic bacteria. Appl. Environ. Microbiol. 35, 872-877.

Kung, L. Jr. 2014. Managing the aerobic stability of silages. In: Proceedings of the 5th Nordic Feed Science Conference, Uppsala, Sweden, Rapport 290, 10-14.

Muck, R.E., Moser, L.E. & Pitt, R.E. 2003. Postharvest Factors Affecting Ensiling. In: Buxton, R.R., Muck, R.E. & Harrison, J.H. (Co-Editors), Silage Science and Technology. Agronomy no. 42, ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 251-304.

Thøgersen, R., Fisker, I. & Kjeldsen, A.M. 2014. Høsilage – en vej til højere AAT. KvægInfo – 2405.