

Effekt af fodring med rapsfrø på mælkeproduktion og mælkens klimaaftryk

Forfattere: Frederikke Hahn Lau-Jensen, Martin Øvli Kristensen, Anne Mette Hostrup Kjeldsen og Nicolaj Ingemann Nielsen



STØTTET AF

Mælkeafgiftsfonden

Sammendrag

Denne afprøvning undersøgte effekten af fodring med rapsfrø på foderoptagelse, mælkeproduktion og mælkens klimaaftryk i 10 besætninger, heraf 3 økologiske og 7 konventionelle. Rapsfrøene blev enten formalet eller valset på bedrifterne med undtagelse af én besætning, hvor rapsfrøene blev leveret som en del af kraftfoderblandingen. Fodringen med rapsfrø øgede mængden af fedtsyrer i rationen, som steg fra 33 til 41 g/kg tørstof (TS), mens mælkeydelsen steg med 1,4 kg/ko/dag fra 31,4 til 32,8 kg/ko/dag. Grundet et fald i mælkens fedt- og proteinindhold på hhv. 0,20 og 0,11 %-enheder, var der ingen signifikant effekt på EKM-ydelsen, som var hhv. 34,0 og 34,5 kg EKM/ko/dag i kontrol- og rapsfrøperioden. Der var en tendens til, at besætninger der ikke anvendte mættet fedt i kontrolperioden (n=5), herunder de 3 økologiske besætninger, havde en stigning i EKM-ydelsen på 1,3 kg EKM/ko/dag, når de fodrede med rapsfrø. I besætninger hvor mættet fedt blev erstattet med rapsfrø, var der ingen ændring i EKM-ydelsen. Restbeløbet blev ikke påvirket af fodringen med rapsfrø. Indholdet af fedt i gødningen steg fra 48 til 61 g/kg TS, hvilket svarer til, at ca. 25% af råfedtet i rapsfrø ikke blev fordøjet. NIR-analyser af mælk udtaget ved ydelseskontrol viste, at mælkens indhold af langkædede, enkeltumættede og flerumættede fedtsyrer steg ved fodring med rapsfrø, mens indholdet af kortkædede og mellemkædede fedtsyrer i mælken faldt. Klimaberegninger i DMS_NorFor viste, at rapsfrøene reducerede metanudledningen med 5,0% fra 498 til 473 g metan/ko/dag, mens mælkens klimaaftryk faldt fra 722 til 698 g CO₂e/kg EKM, hvilket svarer til en reduktion på 3,4%. Når regnskovsrydning (dLUC) medtages blev mælkens klimaaftryk reduceret med 3,9% ved fodring med rapsfrø. Der var ingen effekt på mælkens sensorik i form af smag og udseende ved at fodre med rapsfrø.

Introduktion

Landbrugssektoren stod for 23% af den samlede udledning af drivhusgasser fra Danmark i 2018¹, og heraf stammede 35% fra metan fra enterisk fordøjelse (Nielsen, et al., 2020). Fodring med fedt er et virkemiddel til at nedbringe klimaaftrykket fra kvæg. Mekanismen hvorved fedt nedsætter metanudledningen er flerfoldig:

- Fedt erstatter især kulhydrater, som energikilde
- Fedt omsættes ikke vommen
- Umættede fedtsyrer (fx rapsfedt) binder hydrogen, som er substrat til metandannelse
- Visse fedtsyrer kan have en hæmmende effekt på metandannende mikroorganismer

Virkemiddelkataloget fra Aarhus Universitet (Andersen, et al., 2023) fastslår, på baggrund af forsøg med rapsfrø med henblik på at reducere metan mest muligt, at konventionelle malkekøer af stor race og jerseykøer kan fodres med op til hhv. 53 og 57 g fedtsyrer/kg tørstof (TS) – vel at mærke uden væsentlig risiko for at reducere mælkeydelse. Virkemiddelkataloget ligger til grund for diskussionen om at indføre lovkrav om "fedt i foder".

Man har ved tidligere forsøg fundet reduktioner af metan ved fodring med rapsfrø (Brask, et al., 2013). Studier og beregninger i NorFor har vist, at metanproduktionen falder med 0,4 til 4,5% for hver procent råfedtandelen per kg TS blev øget (NorFor, u.d.; Brask, et al., 2013; Hellwing, et al., 2014). Generelt ses der ikke en signifikant effekt på den totale fordøjelighed af organisk stof eller NDF (Brask, et al., 2013). Danske og internationale studier finder generelt at mælke- og EKM-ydelsen stiger numerisk, men ikke altid signifikant ved fodring med rapsfrø. Effekten varierer en del fra 0,7 til 4,6 kg mælk/ko/dag og fra -0,2 til 3,3 kg EKM/ko/dag, idet et enkelt studie af Giagnoni, et al. (2022) så en nedgang ved en høj andel af raps, mens de andre studier så positive effekter på mælkeproduktionen (Brask, et al., 2013; Hellwing, et al., 2014; Alstrup, et al., 2015). Fedtsyresammensætningen i mælken kan desuden påvirkes af fodring med rapsfrø, så andelen af langkædede og umættede fedtsyrer stiger, mens andelen af kort- og mellemkædede fedtsyrer falder.

For at opnå den bedst mulige effekt på mælkeydelse og metan er det vigtigt at få brudt den hårde skal på rapsfrøene. En afprøvning har vist, at flere skive- og valsemøller, der er tilgængelige på det danske marked, udfører et tilfredsstillende arbejde i forarbejdning af frøene (Kalms, et al., 2021). Der er således gode tekniske løsninger til at processere rapsfrø på malkekvægsbedrifter i Danmark.

Rapsfrø indeholder 48% råfedt, og ca 90% af disse er umættede fedtsyrer (NorFor, u.d.). Den metanreducerende effekt af fodring med umættet fedt har tidligere været tilskrevet en mindre tilgængelighed af brint til de metanproducerende mikroorganismer, da brint bruges til at hydrogenere de umættede fedtsyrer i koens vom, samt toksicitet af flere fedtsyrer overfor metanogene bakterier (McAllister, et al., 1996; Patra,

¹ Ekskl. Land Use, Land Use Change og Forestry.

et al., 2017). Således har *in vitro* forsøg vist, at nogle fedtsyrer reducerede metan ift. andre fedtsyrer, idet linolsyre (C18:2) og myristinsyre (C14:0) reducerede metan med hhv. 25 og 18% i sammenligning med palmitinsyre (C16:0) og stearinsyre (C18:0) (Dohme, et al., 2001). Ca 20% af fedtsyre-indholdet i rapsfrø består af linolsyre (NorFor, u.d.). En mulig forklaring på denne effekt er, at metanogenernes metaboliske aktiviteter ændres af mellemkædede og flerumættede fedtsyrer, hvorved deres cellevæg ødelægges (Patra, et al., 2017).

Formål

Projektet "Lavere klimaaftryk og sundere mælk ved fodring med rapsfrø" havde til formål at undersøge effekten af fodring med rapsfrø på mælkeydelse, mælakens sammensætning, mælakens sensorik, foderoptagelse, fodereffektivitet samt mælakens klimaaftryk.

Materialer og metoder

Design og behandlinger

Afprøvningerne blev udført som overkrydsningsforsøg, hvor 10 besætninger deltog, heraf 3 økologiske og 7 konventionelle besætninger.

Alle besætningerne havde som minimum to perioder af 4 ugers varighed; en kontrolperiode og en forsøgsperiode. Nogle besætninger havde dertil en ekstra kontrolperiode efter forsøgsperioden, men pga. risikoen for overslæb mellem forsøgsperioden og den sidste kontrolperiode anvendes den sidste kontrolperiode ikke.



Figur 1: Illustration af forsøgsdesign, hvor den sidste kontrolperiode ikke indgår i dataopgørelsen pga. overslæb fra forsøgsperioden til kontrolperioden.

I kontrolperioden (**kontrol**) blev der fodret efter bedriftens eksisterende foderplan, mens der i forsøgsperioden (**rapsfrøperioden**) blev tilføjet rapsfrø til den eksisterende foderplan. Mængden af rapsfrø varierede mellem 0,7 til 1,0 kg per ko per dag, og erstattede et evt. fedttilskud, som i fire besætninger bestod af mættet palmefedt i form af Lipitec eller Bergafedt. Rapsfrøene erstattede typisk en andel af kornprodukter og proteinfodermidler således, at råprotein og kraftfoder-grovfoder forholdet forblev det samme, mens fedtsyreniveauet steg i rapsfrøperioden sammenlignet med

kontrolperioden. Rapsfrøene blev valset eller formalet inden udfodring, afhængig af hvilken valsemetode som var tilgængelig på bedriften.

Dataindsamling

Alle besætninger registrerede dagligt de enkelte mængder af hvert fodermiddel som blev læsset i fuldfoderblanderen og mængderne der blev udfodret til de malkende køer. Desuden blev antal malkende køer, mængden af mælk til hjemmeforbrug, samt kasseret eller solgt mælk noteret, så den totale mælkeproduktion kunne beregnes. Gødningsprøver blev taget i 7 ud af 10 besætninger og disse blev analyseret med NIR på Kvægbrugets Forsøgslaboratorium i Skejby. Tankmælk og registreringer af mælk og foder i de sidste 8-14 dage af de to første perioder (Kontrol- og rapsfrøperiode) blev anvendt til dataopgørelse til at lave en-dags foderkontrol i DMS. Derudover blev der i slutningen af den første kontrol- og rapsfrøperiode udført en ydelseskontrol, samt udtaget prøver af fuldfoder, ensilage og råvarer (inkl. rapsfrø) som blev analyseret med NIR på Kvægbrugets Forsøgslaboratorium i Skejby eller af Eurofins Agro Testing Danmark. Mælkeprøver fra ydelseskontrollen er analyseret for indhold af fedtsyrer af Eurofins Agro Testing Danmark. Desuden er der udført kemiske analyser for indhold på tankmælk af Aarhus Universitet. Til analyserne af tankmælk inkl. hjemmeforbrug bruges de samme perioder som beskrevet ovenfor til foderkontrollen, hvor de sidste 8-14 dage af hver periode analyseres.

Databehandling/statistik

De statistiske analyser blev brugt til at analysere både ydelseskontrol- og mejeridata inkl. eventuelt hjemmeforbrug. Nedenstående model blev brugt til at analysere effekten af rapsfrø på en række parametre, og effekterne er signifikante hvis P-værdien er mindre end 0,05 ($P < 0,05$).

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_1(\text{Race}_{ij}) + \alpha_2(\text{Forventet ydelse}_{ij}) + \alpha_3(\text{Behandling}_{ij}) + \alpha_4(\text{Mættet fedt}_{ij}) + \alpha_5(\text{Behandling} * \text{Mættet fedt}_{ij}) + A_6(\text{Besætning}_{ij}) + \epsilon_{ij}$$

Hvor:

α_1 = Effekt af køernes race

α_2 = Lineær effekt af den forventede ydelse i den pågældende periode i den pågældende besætning. Denne er kun inkluderet i modellerne for ydelsen

α_3 = Effekt af behandling (kontrol, rapsfrø)

α_4 = Effekt af, om der bruges mættet fedt i besætningen.

α_5 = Vekselvirkning mellem behandling og brug af mættet fedt i besætningen.

A_6 = Effekt af j'te besætning – tilfældig effekt ($A_6 \sim N(0, \sigma_j)$).

ϵ_{ij} = Den tilfældige variation for den i'te periode fra den j'te besætning ($\epsilon_{ij} \sim N(0, \sigma_{ij})$)

Den forventede ydelse er beregnet ud fra formlerne for målydelsen i DMS (Skjøth & Trinderup, 2005).

Resultater

Rationen

Tabel 1 viser resultaterne for en række rationsparametre for kontrol- og rapsfrøperioden. Af tabellen fremgår det at NDF, råprotein og grovfoder/kraftfoder-forholdet blev holdt konstant og at fedtsyreindholdet steg fra 33 til 41 g/kg TS, når rapsfrøene blev tilsat til rationen ligesom råfedtindholdet steg fra 47 til 57 g/kg TS.

Tabel 1: Rationens indhold af rapsfrø og næringsstoffer, når besætningerne fodrede med hhv. kontrol- og rapsfrø-ration i 10 besætninger.

Parametre	Behandlinger			
	Enhed	Kontrol	Rapsfrø	Signifikans ¹
Rapsfrø	g TS ² /ko	50	740	
Fedtsyrer ³	g/kg TS	33	41	S
Fedtsyrer	g/ko/dag	755	966	S
Stivelse	g/kg TS	196	190	S
NDF	g/kg TS	299	299	NS
Råprotein	g/kg TS	167	167	NS
Kraftfoderandel	% af TS	43,6	44,3	NS
Energi	MJ/kg TS	6,67	6,74	S
Råfedt	g/kg TS	47	57	S

¹ NS: ikke signifikant, P>0,05, S: signifikant, P<0,05

² TS = tørstof.

³ Opgjort i forhold til produktionsform steg mængden af fedtsyrer fra 37 til 44 g/kg TS i de konventionelle rationer (+7 g fedtsyrer), mens mængden af fedtsyrer i de økologiske besætninger blev øget fra 23 til 34 g fedtsyrer/kg TS (+11 g fedtsyrer).

Mælkeproduktion, foderoptagelse og fodereffektivitet

Tabel 2 viser at foderoptagelsen var uændret ift. kontrolperioden, når der blev fodret med rapsfrø. Der var dog en signifikant vekselvirkning af mættet fedt, idet foderoptagelsen i rapsfrøperioden var signifikant lavere (0,6 kg TS/ko) end i kontrolperioden, for besætninger der fodrede med mættet fedt i kontrolperioden.

Resultaterne for tankmælksdata (leveret mælk til mejeri + hjemmeforbrug og evt. kasseret mælk) viste et signifikant fald i fedt- og proteinprocenten når der blev fodret med rapsfrø, men samtidig var der en signifikant stigning i mælkeydelsen i kg mælk, som opvejede faldet i fedt og protein og derfor var der ingen signifikant effekt på EKM-ydelsen. Der var en tendens til at de besætninger, der ikke fodrede med mættet fedt i kontrolperioden, steg i EKM-ydelse (1,3 kg EKM/ko/dag) når der blev fodret med rapsfrø. Der var ligeledes en tendens til at urea i mælk var lavere når der blev fodret med rapsfrø, hvilket indikerer en bedre udnyttelse af proteinet som ellers var ens i kontrol- og rapsperioden (se Tabel 1). Der var desuden en tendens til, at fodereffektiviteten steg i rapsfrøperioden. Dette kan muligvis forklares af, at energikoncentrationen er højere i rapsfrøperioden end i kontrolperioden (se Tabel 1).

Overordnet var effekterne på mælkeproduktion de samme uafhængigt af om der blev anvendt data fra mejeri eller ydelseskontrollen.

Tabel 2: Foderoptagelse, mælkemængde, mælkenes sammensætning og fodereffektivitet i kontrol- og rapsfrøperioden i 10 besætninger. Mælkeproduktionen er beregnet på baggrund af mejerileverancer (tankmælk).

Parametre	Behandlinger			
	Enhed	Kontrol	Rapsfrø	Signifikans ¹
Foderoptagelse ²	kg TS/ko	23,4	23,3	NS
Mælkeydelse	kg/ko	31,4	32,8	S
Fedt	%	4,61	4,41	S
Protein	%	3,75	3,64	S
EKM ³	kg/ko	34,0	34,5	NS
Fodereffektivitet	kg EKM/kg TS	1,45	1,48	T
Urea ⁴		3,84	3,46	T

¹ NS: ikke signifikant, $P > 0,05$, S: signifikant, $P < 0,05$, T: tendens, $0,05 < P < 0,1$

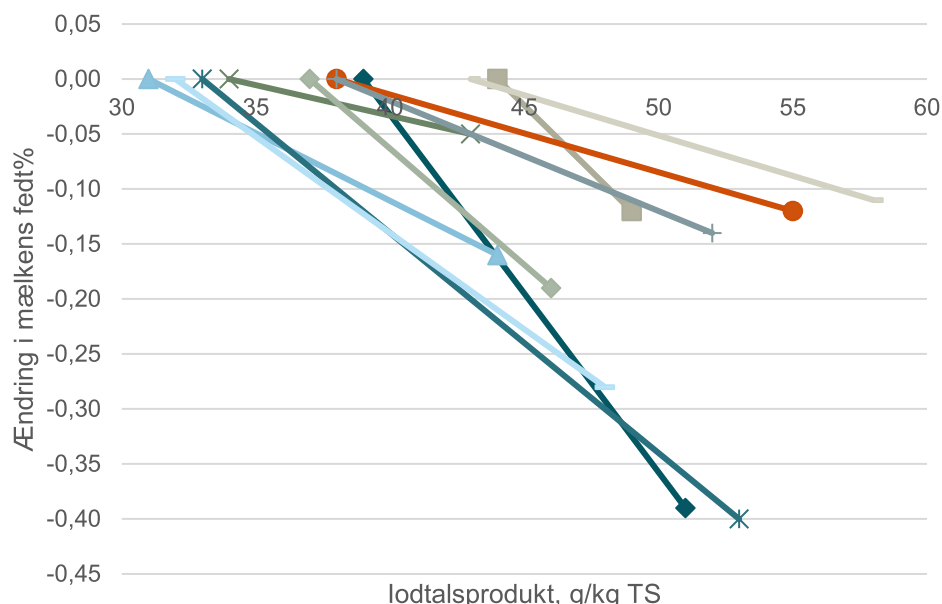
² Foderoptagelsen var signifikant lavere (23,4 vs. 22,8 kg TS) i rapsfrøperioden i besætninger der fodrede med mættet fedt i kontrolperioden ($P < 0,01$)

³ I besætninger der ikke fodrede med mættet fedt i kontrolperioden var der en tendens til, at EKM til mejeri steg med 1,32 kg/ko/dag i rapsfrøperioden.

⁴ Urea-indholdet stammer fra ydelseskontrollen, ikke tankmælk. n=9 besætninger.

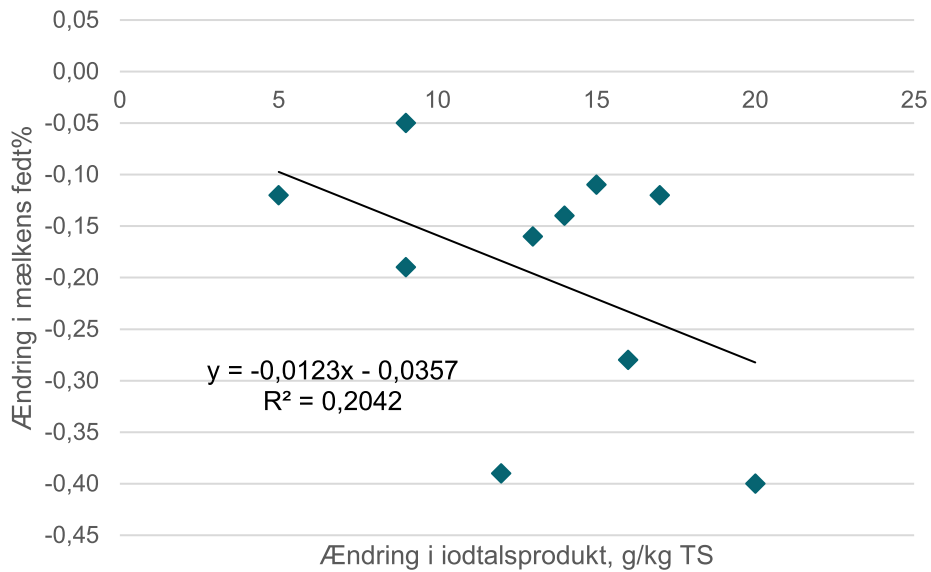
Iodtalsprodukt

I denne afprøvning var der en negativ sammenhæng mellem iodtalsproduktet i fodret og tankmælkenes fedtprocent, idet fedtprocenten faldt når iodtalsproduktet steg, som det fremgår af Figur 2. I denne afprøvning øgedes det gennemsnitlige iodtalsprodukt fra 37 i kontrolperioden til 50 i rapsfrø-perioden.



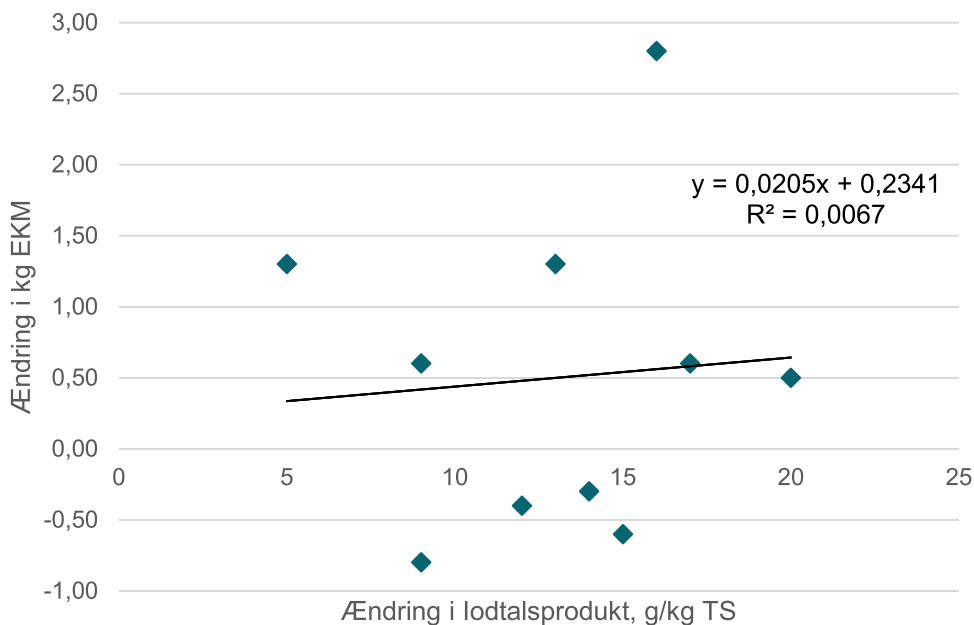
Figur 2: Sammenhæng mellem iodtalsproduktet i fodrationen og ændringen i fedtprocenten i mælk til mejeri mellem kontrol- og rapsfrøperioden i 10 besætninger.

Som det fremgår af Figur 3 var der ikke en entydig sammenhæng mellem størrelsen af iodtalsændringen og responset i mælkenes fedtprocent om end alle besætningerne havde et negativt respons.



Figur 3: Sammenhæng mellem ændringen i iodtalsprodukt i foderrationen og ændringen i mælkenes fedtprocent mellem kontrol- og rapsfrøperioden i 10 besætninger.

Der var ikke entydig sammenhæng mellem ændringen i iodtalsproduktet og ændringen i EKM-ydelsen som det fremgår af Figur 4.



Figur 4: Sammenhæng mellem ændringen i iodtalsproduktet i foderrationen og ændringen i kg EKM/ko/dag mellem kontrol- og rapsfrøperioden i 10 besætninger.

Fedtsyresammensætning i mælken

Ydelseskontroller blev udført i slutningen af hver periode og Tabel 3 viser resultaterne for fedtsyrer herfra. Fodring med rapsfrø resulterede i en reduktion af kort- (C4-C10) og mellemkædede (C12-C16) fedtsyrer, mens andelen af langkædede (C18-), enkeltumættede og flerumættede fedtsyrer steg.

Tabel 3: Fedtsyreindhold i mælk fra ydelseskontroller i 9 besætninger i kontrol- og rapsfrøperioden.

Parametre	Behandlinger		
	Kontrol	Rapsfrø	Signifikans ¹
% af FS ²			
Kortkædede fedtsyrer (C4-C10)	11,7	10,9	S
Mellemkædede fedtsyrer (C12-C16)	48,6	43,7	S
Langkædede fedtsyrer (C18-)	36,8	42,8	S
Enkeltumættede fedtsyrer	24,9	28,2	S
Flerumættede fedtsyrer	3,6	4,1	S

¹ S: Signifikant, P <0,05

² FS = fedtsyrer

Der blev også udført mere omfattende fedtsyre analyser på Aarhus Universitet, som viste, at andelen af mellemkædede fedtsyrer (C12-C16) i mælken faldt signifikant, mens andelen af langkædede fedtsyrer (C18-) steg ved fodring med rapsfrø (se Tabel 4). Der var ikke en signifikant effekt på linolsyre, konjugeret linolsyre (CLA) eller alfa-linolensyre (ALA).

Tabel 4: Fedtsyreandel i tankmælksprøver i 10 besætninger fra kontrol- og rapsfrøperioden.

% af FS ¹	Kontrol	Rapsfrø	Signifikans ²
Smørsyre, C4	7,05	7,31	S
Capronsyre, C6	3,15	3,16	NS
Caprylsyre, C8	1,59	1,56	T
Caprinsyre, C10	3,58	3,35	S
Laurinsyre, C12	3,97	3,59	S
Myristinsyre, C14	11,1	10,6	S
Myristolein syre, C14:1 cis	1,03	0,92	S
Pentadecylsyre, C15	1,16	0,99	S
Palmitinsyre, C16	27,9	23,7	S
Palmitoleinsyre, C16:1 cis	1,71	1,39	S
Stearinsyre, C18	9,47	11,4	S
Oliesyre, C18:1 n9 cis	21,0	23,7	S
Vaccensyre, C18:1 n11 trans	1,82	2,38	S
Linolsyre, C18:2 n6 cis (Omega 6)	1,97	2,08	NS
Konjugeret linolsyre, CLA, C18 :2 9,11 (Omega-6)	0,54	0,64	NS
Linolensyre,, ALA, C18:3 n-3 cis (Omega-3)	0,55	0,59	NS
Icosapentaensyre, C20:5 n-3 cis (Omega-3)	0,06	0,06	NS
Andre Omega-6 FS³	0,21	0,20	
Andre (under 1% af FS)⁴	2,05	2,29	

¹ FS = fedtsyrer

² NS: ikke signifikant, P>0,05, S: signifikant, P<0,05, T: tendens, 0,05<P<0,1

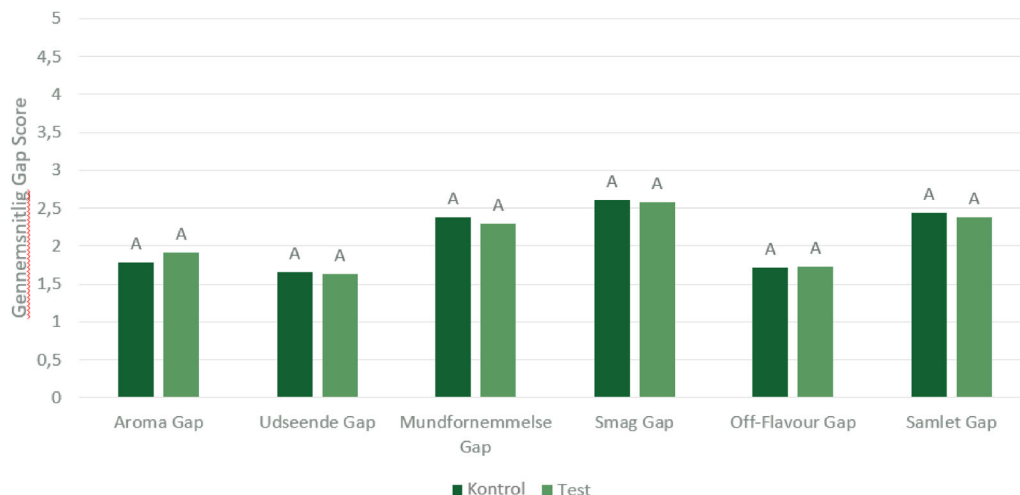
³ Fedtsyrer i denne kategori er følgende omega-6-fedtsyrer: Linolelaidinsyre, C18:2 n6 trans (Omega-6 trans); Gamma-linolensyre, C18 :3 n6 cis; Dihomo-gamma-linolensyre, C20:3 n6 cis; Arakidonsyre, C20:4 n6 cis.

⁴ Fedtsyrer i denne kategori; Undecylensyre, C11; Tridecylsyre, C13; Margarinsyre, C17; Heptadecensyre, C17:1; Elaidinsyre, C18:1 n9 T; Arachinsyre, C20; Gongodinsyre, C20 :1;

C20:2; Heneicosylisk syre, C21; Behensyre C22; C22 :2; Tricosansyre, C23 :0; Lignocerin-syre, C24 :0.

Sensorik

Figur 5 viser resultatet af en sensorik-analyse udført af Arla Foods (Harwood & Bech, 2021). Analysen viser, at der ikke var signifikante forskelle i mælken sensorik.



Figur 5: Resultater fra sensorik-undersøgelse af mælken, udført og analyseret af Arla Foods (Harwood & Bech, 2021) i hhv. kontrol- og rapsfrøperioden i 8 besætninger. Når bogstaver (A) er ens udtrykker det at der ingen forskel er mellem kontrol og rapsfrø (Test). Gap-scoren udtrykker forskellen mellem den mælk man tester, dvs. i denne afprøvning enten kontrol- eller rapsfrø-mælken og en kontrol-mælk, der er den samme i hele analysen.

Fæces

Indholdet af råfedt i gødningen steg fra 48,1 til 60,9 g/kg TS gødning, når der blev fodret med rapsfrø. Dette fremgår af Tabel 5. Det svarer til at ca. 25 % af det indtagne raps-råfedt ikke fordøjes. Indholdet af NDF i gødningen var lavere ved fodring med rapsfrø (445 vs. 433 g/kg TS), hvilket var overraskende da NDF-niveauet i rationen var uændret og rapsfrø er kendetegnet ved en høj andel ufordøjeligt NDF (NorFor, u.d.). Der var en tendens til, at fordøjeligheden af NDF i gødningen (FK-NDF) var højere ved fodring med rapsfrø (46,2 vs. 43,6 %), hvilket indikerer, at når der blev fodret med rapsfrø blev NDF udnyttet ringere, idet en højere FK-NDF udtrykker en lavere udnyttelse i koen. Der var ikke forskel i tørstof-, stivelses- eller proteinindholdet i gødningen.

Tabel 5: Indhold i gødningsprøver taget i kontrol- og rapsfrøperioder i 7 besætninger.

Parametre	Behandlinger			
	Enhed	Kontrol	Rapsfrø	Signifikans ¹
TS ²	g/kg	132	130	NS
FK-NDF ³	%	43,6	46,2	T
NDF	g/kg TS	445	433	S
Stivelse	g/kg TS	7,3	7,4	NS
Råfedt	g/kg TS	48,1	60,9	S
Råprotein	g/kg TS	174	175	NS

¹ NS: ikke signifikant, P>0,05, S: signifikant, P<0,05, T: tendens, 0,05<P<0,1

² TS= Tørstof

³ FK-NDF = udtryk for koens evne til at fordøje NDF

Økonomi

Tabel 6 viser, at mælkeindtægterne, udregnet på baggrund af leveret mælk til mejeriet, faldt fra 2,85 til 2,83 kr./kg EKM når der fodredes med rapsfrø.

Der var ingen signifikant ændring i foderomkostningerne mellem kontrol- og rapsfrøperioden. I praksis vil dette dog afhænge af indkøbspriserne på rapsfrø og de foderemner det erstatter i rationen, eller hvorvidt rapsfrøene hjemmedyrkes. Rapsfrøene til denne afprøvning blev købt i vinteren/foråret 2020/2021, hvor prisen på rapsfrø svingede mellem 2,80 og 4,62 kr./kg. Restbeløb på tværs af besætninger blev ikke ændret af at fodre med rapsfrø.

Tabel 6: Mælkeindtægter, foderomkostninger samt restbeløbet i kontrol- og rapsfrøperioden for 10 besætninger.

Parametre	Behandlinger			
	Enhed	Kontrol	Rapsfrø	Signifikans ¹
Mælkeindtægter	Kr./kg EKM	2,85	2,83	S
Foderomkostninger	Kr./kg EKM	1,08	1,10	NS
Restbeløb²	Kr./ko	59,9	59,5	NS

¹ NS: ikke signifikant, P>0,05, S: signifikant, P<0,05

² Restbeløbet i konventionelle besætninger faldt med 40 øre/ko/dag, mens restbeløbet steg 70 øre/ko/dag i de økologiske besætninger.

Metan og klimaaftryk

Tabel 7 viser at fodring med rapsfrø resulterede i en lavere metanudledning (g/ko/dag) på 5,0% sammenlignet med kontrolperioden. Mælakens klimaaftryk blev også reduceret og faldt med 3,4%. Hvis dLUC (direkte arealændringer, dvs. f.eks. regnskovsrydning) inkluderes opnås en reduktion på 3,9%. Det skyldes at palmefedt, som blev anvendt i fire besætninger i kontrolperioden, får et markant højere klimaaftryk, da det dyrkes i områder hvor der sker regnskovsrydning. Metanudledningen og mælakens klimaaftryk er beregnet i DMS_NorFor. Mælakens klimaaftryk er beregnet for de malkende køer og hvor der indgår udledninger fra koen, foderdyrkning, gødningshåndtering og kulstofændringer i jord. Der er ikke indregnet udledning fra goldkøer og opdræt.

Tabel 7: Beregnet metanproduktion og klimaaftryk i kontrol- og rapsfrøperioden for 10 besætninger.

Parametre	Behandlinger				
	Enhed	Kontrol	Rapsfrø	Signifikans ¹	%-vis reduktion
Metan	g/ko/dag	498	473	S	5,0
Klimaaftryk inkl. kulstof i jord¹	g CO ₂ e/kg EKM	722	698	S	3,4
Klimaaftryk inkl. kulstof i jord & regnskovsrydning²	g CO ₂ e/kg EKM	727	698		3,9

¹ Inkluderer metan, foderdyrkning, kulstofændringer i jord og emissioner fra gylle beregnet i DMS_NorFor for de malkende køer.

² Inkluderer metan, foderdyrkning, kulstofændringer i jord og emissioner fra gylle samt arealændringer/regnskovsrydning beregnet i DMS_NorFor for de malkende køer.

Diskussion

Mælkeproduktion

Resultaterne i denne afprøvning viser, at fodring med rapsfrø ikke har en negativ effekt på foderoptagelse eller mælkeproduktion idet EKM-ydelsen var uændret ved fodring med rapsfrø da mælkeydelsen steg og mælkenes fedt- og proteinindhold faldt. I besætninger der ikke fodrede med mættet fedt i kontrolperioden, steg EKM-ydelsen med 1,32 kg/ko/dag. Mælkeydelsen var højere ved fodring med rapsfrø i flere studier (Brask, et al., 2013; Hellwing, et al., 2014; Alstrup, et al., 2015; Giagnoni, et al., 2022). Giagnoni, et al. (2022) så dog en negativ effekt på mælkeydelsen ved den højeste dosis af rapsfrø i dosisresponsforsøget, der viste, at mængden af rapsfrø resulterede i en kurvelineær effekt på mælke- og EKM-ydelsen. Det betyder, at der ved mindre mængder rapsfrø var en positiv effekt på EKM-ydelsen på 2-3% mens den højeste dosis ikke resulterede i ydelsesfremgang (Giagnoni, et al., 2022). I studierne steg EKM-ydelsen generelt med mellem 0,7-3,3 kg EKM/ko/dag ved fodring med rapsfrø, med undtagelse af den højeste dosis i Giagnoni, et al. (2022), hvor EKM-ydelsen faldt 0,2 kg/ko/dag (se Tabel 8).

Iodtalsproduktet beskriver hvor umættet en fedt-kilde er i foderet (Knothe, 2002). Jo flere fedtsyrer med dobbeltbindinger, dvs. umættede fedtsyrer, jo højere iodtalsprodukt. Et meta-studie indikerer, at mælkenes fedtprocent falder når iodtalsproduktet stiger (Firkins & Eastridge, 1994). Denne sammenhæng findes også i denne afprøvning hvor tankmælkenes fedtprocent reduceres med stigende iodtalsprodukt.

I analyserne fra ydelseskontrollen i denne afprøvning steg andelen af langkædede, enkeltumættede og flerumættede fedtsyrer i mælken, mens andelen af kort- og mellemkædede fedtsyrer faldt, når der blev fodret med rapsfrø. Fedtsyreanalyser fra Aarhus Universitet (se Tabel 4) viste ligeledes at andelen af langkædede fedtsyrer steg, ligesom andelen af enkelte umættede fedtsyrer som vaccen- og oliesyre steg. Et forsøg fra Schweiz fandt at fodring med vasede rapsfrø øgede koncentrationen af enkeltumættede fedtsyrer, mens effekten på flerumættede fedtsyrer ikke var signifikant (Collomb, et al., 2004). Et engelsk studie der undersøgte effekten af rapsfrø på økologiske og konventionelle køer, fandt ligeledes at indholdet af enkelt- og flerumættede fedtsyrer i mælken steg, mens indholdet af kortkædede fedtsyrer faldt ved fodring med rapsfrø og havre (Butler et al., 2019).

Table 8: Overview of the effect of feeding rapeseed on milk production and feed intake and efficiency.

Study	Råfedt (g/kg TS)	Fedtsy-rer (g/kg TS)	Behandling	% raps-produkt af TS	Mælk (kg/ko/dag)	EKM (kg/ko/dag) ¹	Pro-tein %	Fedt%	TS (kg/ko/da)	Foder-effek-tivitet (kg EKM/kg TS)	CH ₄ (g/ko/dag)	%-ændring i CH ₄ pr. 10 g ekstra rå-fedt/kg TS
Brask, et al. (2013)	35	26	Kontrol		27,4	27,4	3,35	4,04	18,3	1,50	408	
	55	43	Rapskage	15,6	31,2	30,6	3,31	3,91	18,9	1,62	381	-4,6
	62	50	Rapsfrø, valset	6,9	28,1	28,3	3,29	4,12	17,9	1,58	343	-4,8
	62	53	Rapsolie	3,3	26,3	25,3	3,24	3,79	15,8	1,60	331	-4,0
Helling, et al. (2014)	21		Kontrol		31,8 ^b	31,0 ^b	3,45	3,89 ^a	22,5	1,40	446	
	56		Rapsfrø, forma-let	8,3	35,7 ^a	33,8 ^a	3,39	3,58 ^b	22,5	1,50	445	-0,5
Alstrup, et al. (2015)	26	18	Kontrol		30,3 ^a	34,2	3,89 ^a	4,75	22,4	1,53	480	
	56	43	Rapsfrø, valset	6,8	34,9 ^b	37,5	3,46 ^b	4,58	19,3	1,94	400	-0,9
Giagnoni, et al. (2022) ²	31	19	Kontrol		32,3	34,0	3,78 ^a	4,20 ^a	22,0 ^a	1,55	368	
	44	30	Rapsfrø, valset	3,0	33,1	34,7	3,73 ^a	4,20 ^a	21,9 ^a	1,59	351	-3,1
	56	42	Rapsfrø, valset	5,9	34,3	35,3	3,63 ^b	4,10 ^b	21,4 ^a	1,65	339	-2,3
	69	54	Rapsfrø, valset	8,9	33,6	33,8	3,63 ^b	3,90 ^b	20,7 ^b	1,63	317	-2,4

¹ EKM calculated from milk yield, protein- and milk yield (Martinussen, 2021).

² Data are based on data from Giagnoni, et al. (2022). Statistics from Giagnoni (2023).

^{a, b} Study has found that significant differences exist between different rapeseed treatments at 5% significance level.

Foderoptagelse og fodereffektivitet

Foderoptaget blev ikke påvirket af fodringen med rapsfrø i denne afprøvning. Der synes ikke at være klarhed over om rapsfrø påvirker foderoptagelsen, idet studier ingen effekt finder (Hellwing, et al., 2014), mens foderoptagelsen falder numerisk i andre studier (Alstrup, et al., 2015; Giagnoni, et al., 2022). I studiet af Giagnoni, et al., (2022) afhænger nedgangen i foderoptagelse af mængden af rapsfrø, idet den næsthøjeste og højeste dosis (hhv. 56 og 69 g råfedt/kg TS) reducerer optaget med hhv. 0,5 og 5,5%. Studiet af Alstrup, et al. (2015) så en numerisk nedgang på ~13% i foderoptagelse ved fodring med rapsfrø.

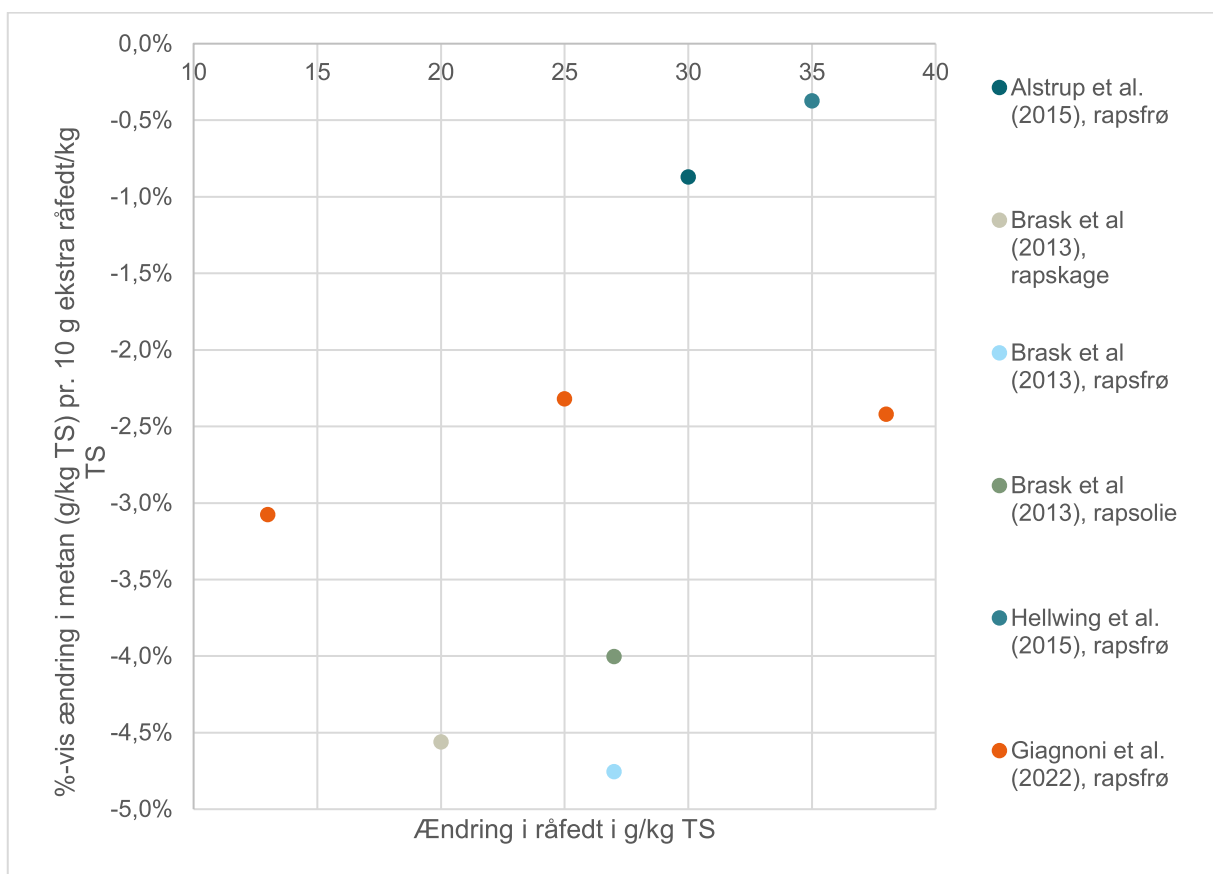
Der var en tendens til, at fodereffektiviteten steg med 0,03 kg EKM/kg TS i denne afprøvning ved fodring med rapsfrø (se Tabel 2). Typisk har rapsfrø øget fodereffektiviteten med 0,04-0,10 kg EKM/kg TS (se Tabel 8) (Brask, et al., 2013; Hellwing, et al., 2014; Giagnoni, et al., 2022), men i disse studier er niveauet af rapsfrø en anelse højere end hvad der er anvendt i afprøvningen.

Fæces

I denne afprøvning steg indholdet af råfedt i gødningen, mens indholdet af NDF faldt, hvilket også forekom i studiet af Hellwing, et al. (2014). Generelt ses der ikke signifikante effekter på fordøjeligheden af NDF i studierne, men et dansk studie så en ikke-signifikant, numerisk effekt af at fodre med knækkede rapsfrø, idet den totale fordøjelighed af NDF reduceredes (Brask, et al., 2013), mens Hellwing, et al. (2014) så den modsatte effekt, nemlig at fordøjeligheden af NDF var højere ved fodring med rapsfrø, men heller ikke denne effekt var signifikant.

Metan

Metanproduktionen blev ikke målt i denne afprøvning, men udregnet i NorFor (NorFor, u.d.). Disse beregninger viste en reduktion i metanproduktionen i g/ko/dag på 5% ved fodring med rapsfrø sammenlignet med kontrol-perioden uden rapsfrø, hvilket svarer til en metanreduktion på 4,2% udtrykt i g/kg TS.



Figur 6: Sammenhæng mellem ændringen i råfedtindholdet i fodrationen og procentvis ændring i metan (g/kg TS) pr. 10 g ekstra råfedt/kg TS fra forsøg, hvor ændringen i råfedtindholdet skyldes tilførsel af en rapsfedtkilde.

Et dansk forsøg, der fodrede med fedt i form af rapskager, valsede rapsfrø eller rapsolie (55, 62 eller 65 g råfedt/kg TS) fandt, at metanudledningen (g/kg TS) reduceredes hhv. 4,6, 4,8 og 4,0% per 10 g ekstra råfedt/kg TS (Brask, et al., 2013) (se Tabel 8). Alstrup, et al. (2015) fandt imidlertid at fodring med valsede rapsfrø (56 g råfedt/kg TS) reducerede metan (g/kg TS) 0,9% per 10 g ekstra råfedt/kg TS (Alstrup, et al., 2015). Ligeledes fandt Hellwing, et al. (2014) en reduktion af metan (g/kg TS) på 0,4% per 10 g ekstra råfedt/kg TS ved fodring med formalede rapsfrø (56 g fedt/kg TS). Giagnoni, et al. (2022) fandt desuden, at metanproduktionen (g/kg TS) faldt med hhv. 3,1, 2,3 og 2,4 % per 10 g ekstra råfedt/kg TS ved fodring med 3 forskellige doser af valsede rapsfrø med hhv. 44, 56 og 69 g råfedt/kg TS. Resultaterne viser således, at metanreduktionen (g/kg TS) varierer mellem 0,4 og 4,8 % per 10 g ekstra råfedt/kg TS og at den gennemsnitlige metan-reduktion (g/kg TS) i studierne ligger på 2,2 % per 10 g ekstra råfedt/kg TS. Det er dog vigtigt at pointere, at udgangspunktet for fodrationens fedtindhold vil have betydning på effekterne af at fodre med mere rapsfedt, idet et for højt niveau af fedt kan betyde, at produktionen påvirkes negativt. F.eks. viste studiet af Giagnoni, at når man øger mængden af rapsprodukt og dermed råfedtindholdet fra 5,6 til 6,9 % af rationens tørstof, så falder EKM-ydelsen numerisk med 1,5 kg/dag. Den beregnede reduktion i metan på 5% (g/ko/dag) i denne afprøvning svarer til en reduktion i metan på 4,2% (g/kg TS) per

10 g ekstra råfedt/kg TS, hvilket er noget højere end den gennemsnitlige reduktion set i litteraturen.

Konklusion

Fodring med gennemsnitlig 0,74 kg TS rapsfrø/ko/dag i 3 økologiske og 7 konventionelle besætninger viste, at mælkeydelsen steg med 1,4 kg/ko/dag (fra 31,4 til 32,8), når der blev fodret med rapsfrø, mens fedtprocenten faldt med 0,2%-point (fra 4,61 til 4,41%) og proteinprocenten faldt med 0,11%-point (fra 3,75 til 3,64 %). EKM-ydelsen var således generelt uændret, men der var en tendens til, at besætninger, der ikke fodrede med mættet fedt i kontrolperioden steg 1,32 kg EKM/ko/dag, når de fodrede med rapsfrø.

Restbeløbet på tværs af besætninger blev ikke påvirket af fodring med rapsfrø. Restbeløb var varierende mellem bedrifter og for de økologiske bedrifter var der generelt en positiv gevinst på restbeløbet ved fodring med rapsfrø.

Fedtindholdet i gødningen steg ved fodring med rapsfrø, selvom der var en succesfuld formaling eller valsning af rapsfrøene. Mælkens indhold af langkædede, enkeltumættede og flerumættede fedtsyrer steg, mens indholdet af kortkædede og mellemkædede fedtsyrer faldt. Der var ikke en effekt af fodring med rapsfrø på mælkens sensorik. Beregninger i DMS_NorFor viste, at den anvendte rapsfrø-fodring medførte en reduktion i metan på 5,0% og at mælkens klimaaftryk blev reduceret med 3,4%.

Anerkendelser

En meget stor tak til alle forsøgsværter, der deltog i afprøvningen og leverede arbejdskraft til indsamling af data fra bedriften. Tak til Moderne Kornbehandling og SKI-OLD for samarbejdet om opstilling af formalingsanlæg på de enkelte bedrifter. Tak til Vestjyllands Andel for hjælp med blanding af rapsfrø i kraftfoder. Tak til Arla Foods for samarbejde omkring sensorik på mælk.

Undersøgelsen blev gennemført med støtte fra Mælkeafgiftsfonden og GUDP, tak.

Referencer

Bibliografi

Aaes, O. & Lund, P., 2013. Fedt i rationen og dets betydning for metan fra malkekøer. *KvægInfo* 2335.

Alstrup, L., Hellwing, A. L. F., Lund, P. & Weisbjerg, M. R., 2015. Effect of fat supplementation and stage of lactation on methane production in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, Årgang 207, pp. 10-19.

Andersen MN, Adamsen AP, Hansen EM, Thomsen IK, Hutchings NJ, Elsgaard L, Jørgensen U, Munkholm L, Børgesen CD, Sørensen P, Petersen SO, Lærke PE, Olesen JE, Børsting CF, Lund P, Kjeldsen MH, Maigaard M, Villumsen TM, Dalby FR, Kai P, Nørremark M, Blicher-Mathiesen G, Audet J, Bruus M, Krogh PH, Kronvang B, Winding A, Kristensen HL. 2023. Virkemidler til reduktion af klimagasser i landbruget. 303 sider. Rådgivningsnotat fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet, leveret: 21.04.2023

Brask, M., Weisbjerg, M.R., Hellwing, A.L.F., Poulsen, M., Larsen, M.K. & Hvelplund, T., 2013. Methane production and digestion of different physical forms of rapeseed as fat supplements in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 4(96), pp. 2356-23.

Butler, G., Stergiadis, S., Chatzidimitriou, E., Franceschin, E., Davis, H.R., Leifert, C. & Steinshamn, H., 2019. Differing responses in milk composition from introducing rapeseed and naked oats to conventional and organic dairy diets. *Sci Rep* 9, 8115.

Collomb, M., Sollberger, H., Bütikofer, U., Sieber, R., Stoll, W., Schaeren, W., 2004. Impact of a basal diet of hay and fodder beet supplemented with rapeseed, linseed and sunflowerseed on the fatty acid composition of milk fat. *International Dairy Journal*, Årgang 6, pp. 549-559.

Dohme, F., Machmüller, A., Wasserfallen, A. & Kreuzer, M., 2001. Ruminant methanogenesis as influenced by individual fatty acids supplemented to complete ruminant diets. *Letters in Applied Microbiology*.

Firkins, J. L. & Eastridge, M. L., 1994. Assessment of the Effects of Iodine Value on Fatty Acid Digestibility, Feed Intake, and Milk Production. *J Dairy Science*.

Giagnoni, G., 2023. *Personlig kommunikation*.

Giagnoni, G., Lund, P., Johansen, M. & Weisbjerg, M. R., 2022. *Effect of rapeseed and palm kernel oil dietary inclusion levels on milk production, feed efficiency, methane and economy*, s.l.: AU Viborg, Aarhus Universitet.

Harwood, W. & Bech, A. B., 2021. *Gap testing milks: SEGES rapeseed project*.

Hellwing, A., Weisbjerg, M. & Møller, H., 2014. Enteric and manure-derived methane emissions and biogas yield of slurry from dairy cows fed grass silage or maize silage with and without supplementation of rapeseed. *Livestock Science*, pp. 189-199.

Kalms, D., Martinussen, H. & Nielsen, N. I., 2021. *KvægInfo 2605: Formaling og holdbarhed af rapsfrø*. [Online].

Knothe, G., 2002. Structure Indices in FA Chemistry. How Relevant is the Iodine Value?. *Journal of the American Oil Chemists' Society*.

Martinussen, H., 2021. *Beregning af kg EKM*. [Online]

Tilgængelig via:

https://www.landbrugsinfo.dk/basis/0/6/2/malkning_malkekvalitet_beregning_af_kg_ekm

McAllister, T. A., Okine, E. K., Mathison, G. W. & Cheng, K. -J., 1996. Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, Årgang 2.

Nielsen, O.-K., Plejdrup, M.S., Winther, M., Nielsen, M., Gyldenkærne, S., Mikkelsen, M.H., Albrektsen, R., Thomsen, M., Hjelgaard, K., Fauser, P., Bruun, H.G., Johannsen, V.K., Nord-Larsen, T., Vesterdal, L., Callesen, I., Caspersen, O.H., Scott-Bentsen, N., Rasmussen, E., Petersen, S.B., Olsen, T. M. & Hansen, M.G., 2020. *Denmark's National Inventory Report*, s.l.: Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment and Energy.

NorFor, u.d. *NorFor Feed Table*. [Online]

Tilgængelig via: <https://www.norfor.info/feed-table/>

NorFor, u.d.. *IT tools*. [Online]

Tilgængelig via: <https://www.norfor.info/services/it-tools/>

Patra, A., Park, T., Kim, M. & Yu, Z., 2017. Rumen methanogens and mitigation of methane emission by antimethanogenic compounds and substances. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 8(13).

Skjøth, F. & Trinderup, M., 2005. *Standard Laktationskurver til Produktionskontrol – anvendelse og udformning.*, s.l.: Dansk Landbrugsrådgivning, Dansk Kvæg.

Stergiadis, S. et al., 2014. Improving the fatty acid profile of winter milk from housed cows with contrasting feeding regimes by oilseed supplementation.. *Food Chemistry*, Årgang 1, pp. 293-300.

Zhou, X., Meile, L., Kreuzer, M. & Zeitz, J. O., 2013. The Effect of Saturated Fatty Acids on Methanogenesis and Cell Viability of *Methanobrevibacter ruminantium*. *Archea*.