

農林水産省委託事業

令和 3 年度

温室効果ガス削減飼料に関する調査委託事業

結果報告書

農林水産省委託事業 「令和２年度温室効果ガス削減飼料に関する調査委託事業」

事業概要

（１）事業目的

我が国の畜産業が将来にわたって持続的に発展していくためには、環境負荷の軽減を図ることが重要である。畜産業からは、主に家畜排せつ物管理に由来するメタン及び一酸化二窒素、消化管内発酵に由来するメタンの温室効果ガスが排出されており、農林水産業由来の温室効果ガスの約１／３を畜産業が占めている。

本事業は、脂肪酸カルシウム等の家畜への給与等による温室効果ガス削減の効果及び飼養成績への影響等を調査し、畜産分野における温室効果ガス削減対策に資すること目的とする。

（２）事業の履行機関

契約締結日から令和４年３月１０日（木）

（３）事業内容

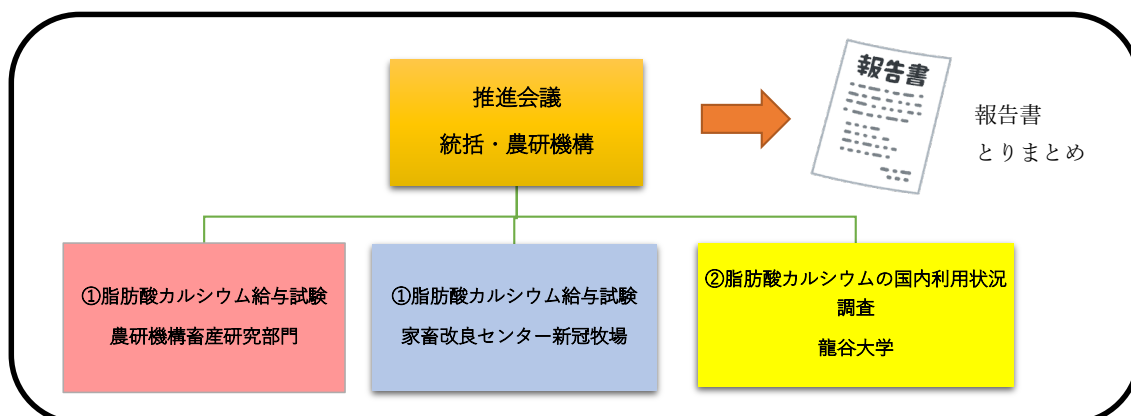
家畜に給与することにより温室効果ガス（メタン）の発生抑制の効果のある脂肪酸カルシウム等の給与等による温室効果ガス削減の効果・飼養成績への影響等について、次のとおり、文献、アンケート調査及び飼養実施調査を行い、データの分析及び評価手法の検討を行う。

- １．脂肪酸カルシウム等による温室効果ガス削減の長期的な効果について調査分析を行うため、文献調査、専門家への聞き取り、脂肪酸カルシウム等を利用している酪農家等への書面等による数十人規模（有効回答率７０％以上）のアンケート調査、飼養実施調査によるデータ等の収集を行い、その結果について分析、評価手法の検討を行う。具体的には、主として搾乳牛に脂肪酸カルシウム等を添加することにより、温室効果ガスとして知られるメタンの牛体内での産生量が削減されるが、どの程度の効果が持続するかを長期間の飼養実施調査、流通・使用実態調査等により調査・分析する。
- ２．１の結果に基づき、脂肪酸カルシウム等による温室効果ガス削減効果の評価手法の検討及び結果の取りまとめを複数名の専門家による２回以上の評価検討会により行う。
- ３．調査等による専門家への聞き取りに当たり謝金等を支払う場合は、本事業により受託者が負担するものとする。

事業参画メンバーと研究実施体制

佐々木 修 （国研）農研機構畜産研究部門 研究の統括、評価検討会の運営 小林 洋介 （国研）農研機構畜産研究部門 課題①脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および消化管からのメタン発生量削減効果の調査（長期的影響の分析）を担当、研究の統括、評価検討会の運営
真崎 匡 （独）家畜改良センター新冠牧場 課題①脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および消化管からのメタン発生量削減効果の調査（長期的影響の分析）を担当 舩田 正博 （独）家畜改良センター新冠牧場 課題①脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および消化管からのメタン発生量削減効果の調査（長期的影響の分析）を担当 西田 理恵 （独）家畜改良センター新冠牧場 課題①脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および消化管からのメタン発生量削減効果の調査（長期的影響の分析）を担当 内沢 航太 （独）家畜改良センター新冠牧場 課題①脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および消化管からのメタン発生量削減効果の調査（長期的影響の分析）を担当 有坂 京祐 （独）家畜改良センター新冠牧場 課題①脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および消化管からのメタン発生量削減効果の調査（長期的影響の分析）を担当
淡路 和則 学校法人 龍谷大学 課題②脂肪酸カルシウムの国内利用状況調査を担当（再委託として実施予定。配分額：98万円）

【実施体制図】



課題別報告書

課題①脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および 消化管からの
メタン発生量削減効果の調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・4～9

課題②脂肪酸カルシウムの国内利用状況調査・・・・・・・・・・・・10～13

令和3年度温室効果ガス削減飼料に関する調査委託事業 推進会議 課題成績書

課題名 : ①脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および消化管からのメタン発生量削減効果の調査（長期的影響の分析）

担当組織名 : (国研) 農研機構畜産研究部門

担当者名 : 小林洋介、佐々木修

1. 目的

我が国の畜産業が将来にわたって持続的に発展していくためには、環境負荷の軽減を図ることが重要である。畜産業からは、主に家畜排せつ物管理に由来するメタン及び一酸化二窒素、消化管内発酵に由来するメタンの温室効果ガスが排出されており、農林水産業由来の温室効果ガスの約1/3を畜産業が占めている。本事業は、脂肪酸カルシウム等の国内流通量などを調査し、脂肪酸カルシウム等の家畜への給与等による温室効果ガス削減の効果及び飼養成績への影響等を調査し、畜産分野における温室効果ガス削減対策に資することとする。

課題①「脂肪酸カルシウム長期給与による反芻家畜の飼養成績および消化管からのメタン発生量削減効果の調査」は、脂肪酸カルシウムを長期間給与した場合、反芻家畜の生産性や第1胃からのメタン発生量にどのような影響を及ぼすか検討することを目的として、ヤギおよび乳牛を用いた飼養試験を実施した。

2. 方法

i 日本在来種ヤギを用いた長期給与試験

6歳のヤギ（日本在来種、去勢）5頭を用い、脂肪酸Ca（不飽和脂肪酸含量を高めた製品を使用。不飽和脂肪酸含量約70%）の長期給与試験を実施した。試験開始～3週間はチモシー乾草+市販濃厚飼料（基礎飼料とする）をTDN要求量の110%を満たすように継続して定量給与（1日2回9:00、16:00）し、その後3ヶ月間（12w）、脂肪酸カルシウム添加飼料を継続して給与した。

脂肪酸カルシウム添加飼料は基礎飼料と等しいTDN含量とし、乾物中粗脂肪含量が約6%になるように調製した。給与方法は基礎飼料と同様であるが、食滞等起こらないよう、まずは粗脂肪含量4%の飼料を1週間給与した後に6%に引き上げ、継続的に給与した。

各週に一度、経静脈から採血（10ml）およびルーメン液の経口採取（50ml）を実施した。

ii 乳牛を用いた長期給与試験

ホルスタイン種乳牛（2～3産、泌乳後期）10頭を供試し、そのうち6頭には約3ヶ月間の脂肪酸Ca長期給与試験を実施した。給与飼料は、チモシー乾草およびビートパルプ等を中心に構成された配合飼料（基礎飼料）に脂肪酸Ca（1頭当たり650g/day、乾物中粗脂肪含量が約6%になるように調整）を添加したものをを用いた。なお、脂肪酸Caの種類および給与量は昨年度試験を参考にした（令和2年度温室効果ガス削減飼料に関する調査委託事業 第2回推進会議報告書）。4頭は対照区として基礎飼料のみを給与した。飼料給与は1日2回、フリーストールによる自由採食であるが、1頭当たりの摂取エネルギーはTDN要求量の100%程度になるように餌槽への投入量を調整した。鉱塩および飲水は自由摂取とした。

サンプリングは月に一回（10/20、11/25、12/21、翌1/20：計4回）、経静脈から採血（10ml）およびルーメン液の経口採取（100ml）を実施し、サンプリングと同様のタイミングで体重・乳量および乳成分の測定を行った。

3. 結果

i 日本在来種ヤギを用いた長期給与試験

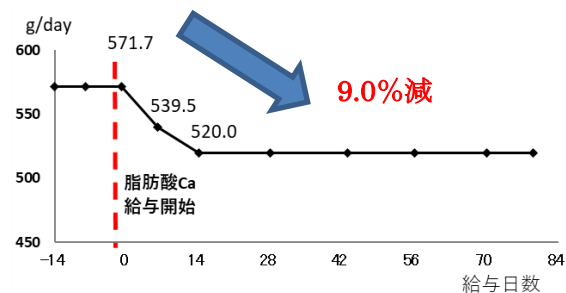
(脂肪酸 Ca は不飽和脂肪酸含量を高めた製品を使用。不飽和脂肪酸含量約 70%)

○飼料組成と乾物摂取量

表 1 給与飼料の成分組成

配合率 (DM%)	基礎飼料		4%粗脂肪飼料		6%粗脂肪飼料	
	チモシー乾草	40.2	基礎飼料	97.0	基礎飼料	95.0
	市販濃厚飼料	59.8	脂肪酸Ca	3.0	脂肪酸Ca	5.0
成分組成 (%DM)						
粗脂肪	2.1		4.9		6.6	
粗蛋白質	15.2		14.8		14.5	
可溶無窒素物	57.5		56.5		55.9	
粗繊維	18.2		17.7		17.3	
粗灰分	6.7		6.5		6.4	

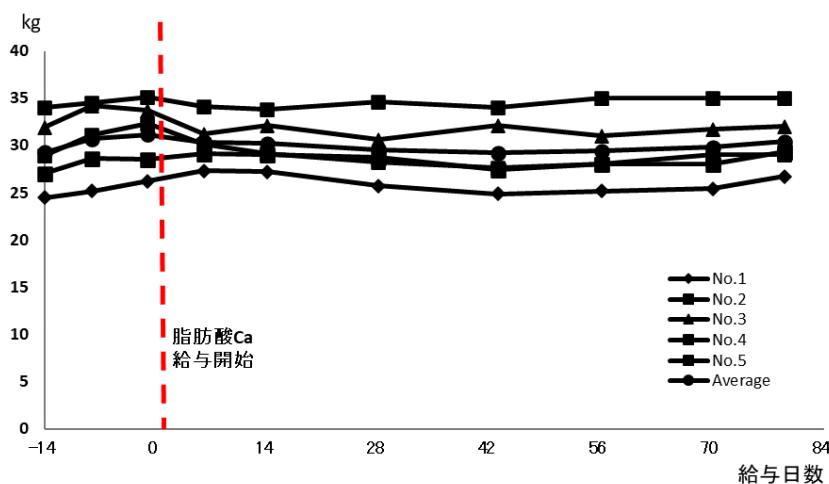
図 1 試験期間中の乾物摂取量



脂肪酸 Ca 給与により、乾物摂取量を 9.0%低減化

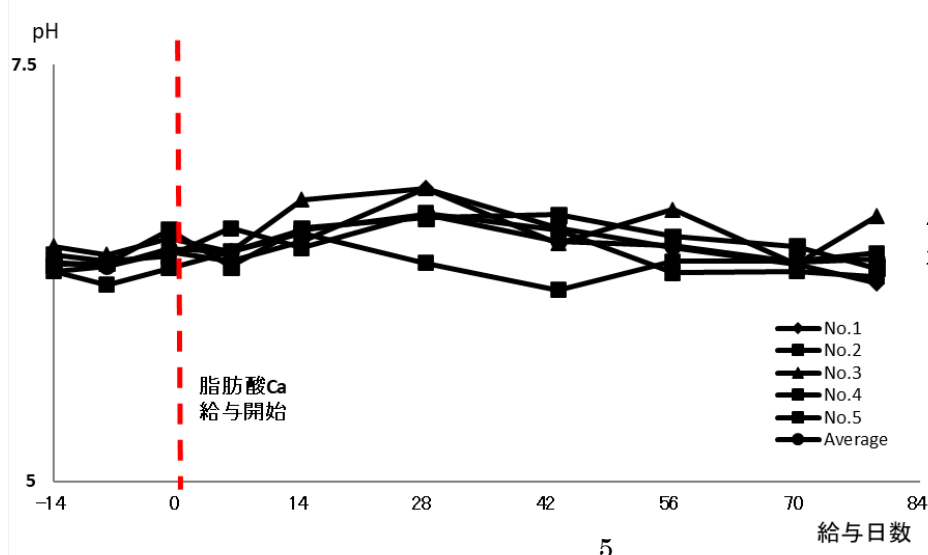
○体重およびルーメン液 pH への影響

図 2 試験期間中の体重変動



脂肪酸 Ca 給与による体重への影響は観察されず

図 3 試験期間中の第一胃（ルーメン）液の pH 変動



脂肪酸 Ca 給与による pH への影響は観察されず

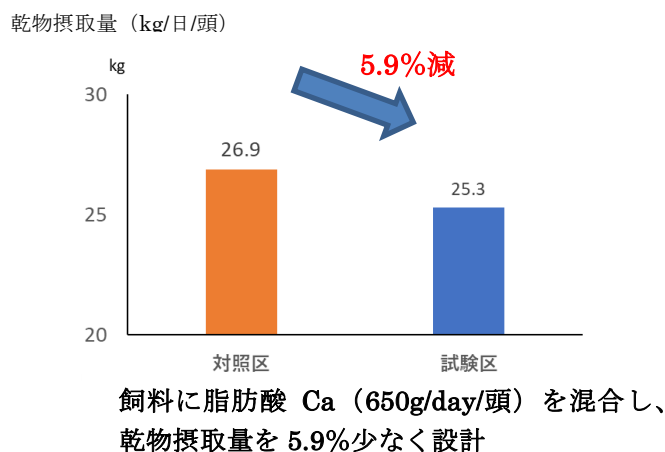
ii 乳牛を用いた長期給与試験

(脂肪酸 Ca はパーム油由来の市販製品を使用。不飽和脂肪酸含量約 50%)

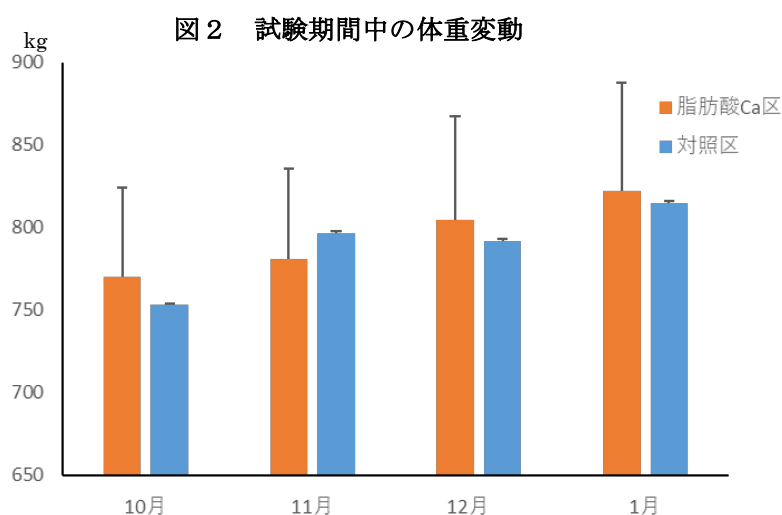
○飼料組成と乾物摂取量

成分組成 (%DM)	脂肪酸Ca飼料	基礎飼料
	表 1 給与飼料の成分組成	
NFC	36.4	37.1
NDF	37.7	38.8
ADF	21.8	22.4
粗脂肪	6.0	4.1
粗蛋白質	14.9	15.2
TDN (%)	72.9	70.1

図 1 試験期間中の乾物摂取量設計値



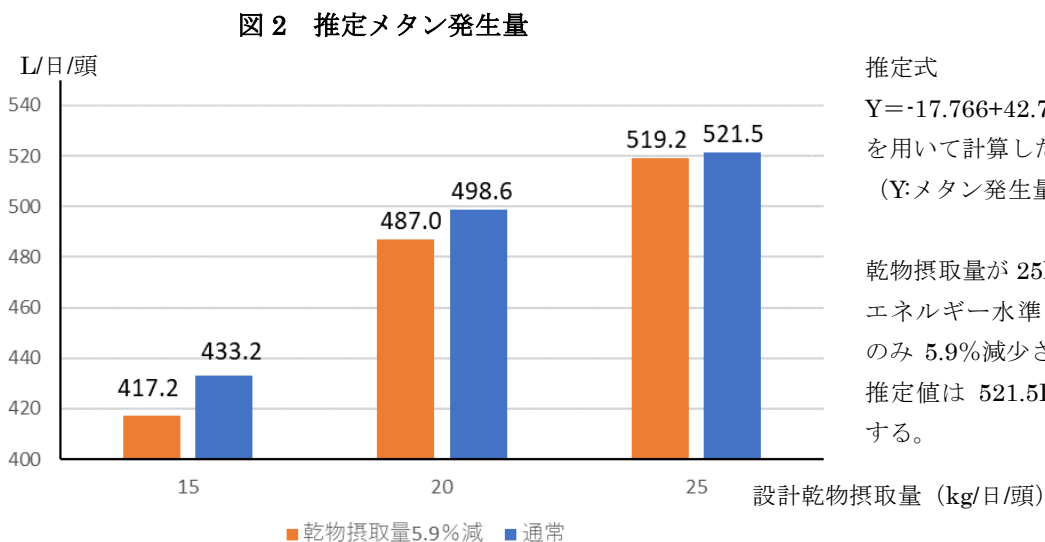
○体重への影響



- 体重減少は見られない
- 試験区と対照区は同様の変動パターン

設計飼料の成分および給与量に問題はなく、脂肪酸 Ca による影響はないと考えられる。

○乾物摂取量から推定されるメタン発生量



推定式

$$Y = -17.766 + 42.793X - 0.849X^2 \quad (※)$$

を用いて計算した。

(Y: メタン発生量 X: 乾物摂取量)

乾物摂取量が 25kg/日/頭で比較した場合、エネルギー水準を同一にして乾物摂取量のみ 5.9% 減少させると、メタン発生量の推定値は 521.5L から 519.2L へと減少する。

○ルーメン液成分への影響

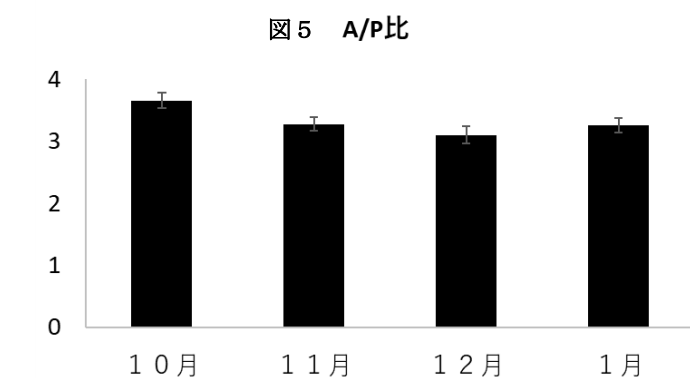
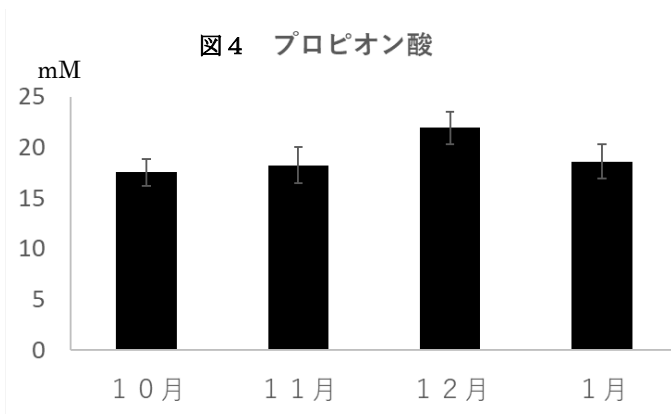
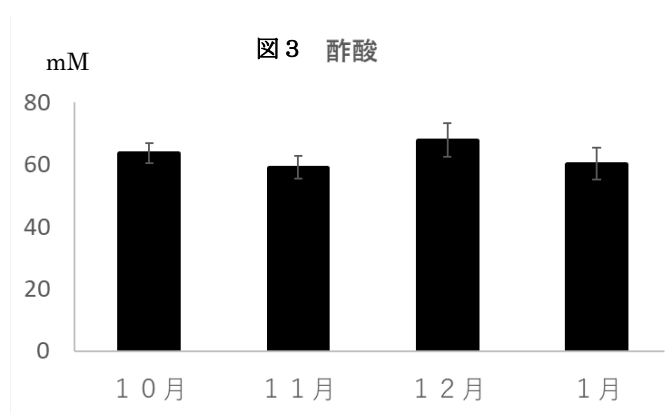


図3～5より、
酢酸、プロピオン酸は、脂肪酸 Ca 給与による濃度の変化は見られなかった。
酢酸/プロピオン酸比 (A/P 比) についても試験期間中の変化はなかった。

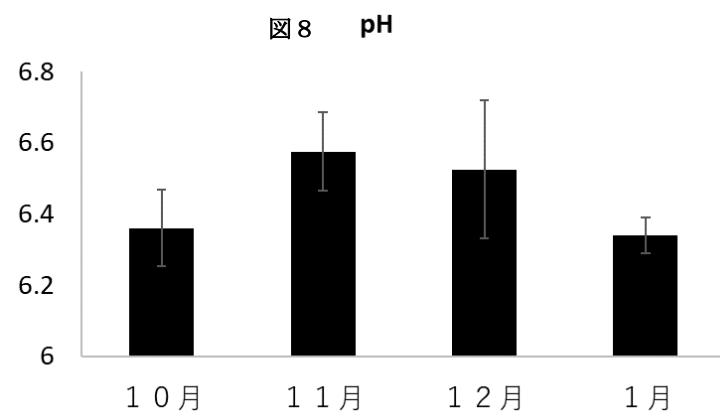
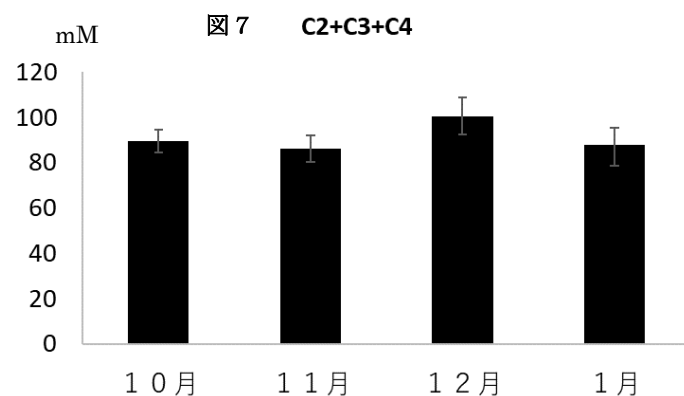
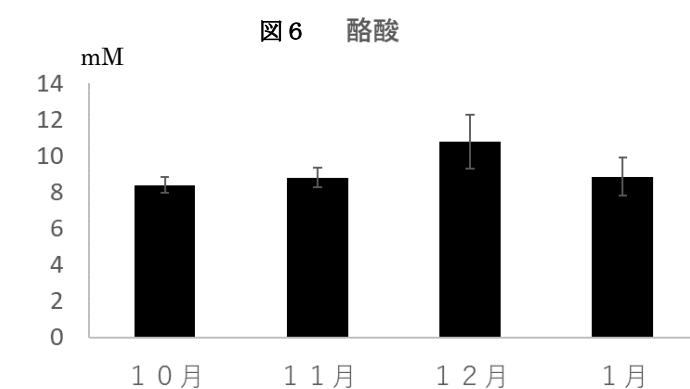


図6～8より、
揮発性脂肪酸の産生量や pH にも影響はなかったと考えられる。

※対照区においても有意な変動は見られず、
脂肪酸 Ca 区と同様の値を示した
(データ示さず)

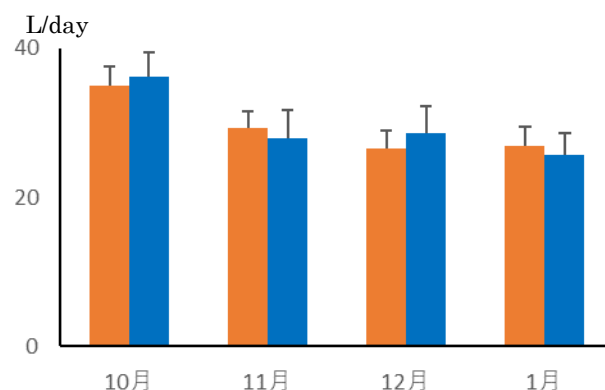
○乳量・乳成分への影響

表2 乳検成績表のデータ

	10月	11月	12月	1月
乳量 (kg/day)	34.9	29.3	26.6	26.9
乳脂率 (%)	4.5	4.8	5.0	4.8
無脂固形分 (%)	9.3	9.3	9.3	9.3
乳タンパク質 (%)	3.8	3.9	3.9	4.0
乳糖 (%)	4.5	4.5	4.4	4.3
乳中尿素窒素 (mg/dl)	10.7	11.1	9.6	12.3
P/F比	84.2	80.8	77.4	82.4
BHB (mM)	0.03	0.03	0.01	0.03

乳量・乳質に有意な変動なし

※対照区においても有意な変動は見られず、
脂肪酸 Ca 区と同様の値を示した
(乳量のみ以下に示す)



○乳中脂肪酸組成

乳中脂肪酸組成 (g/100g乳)

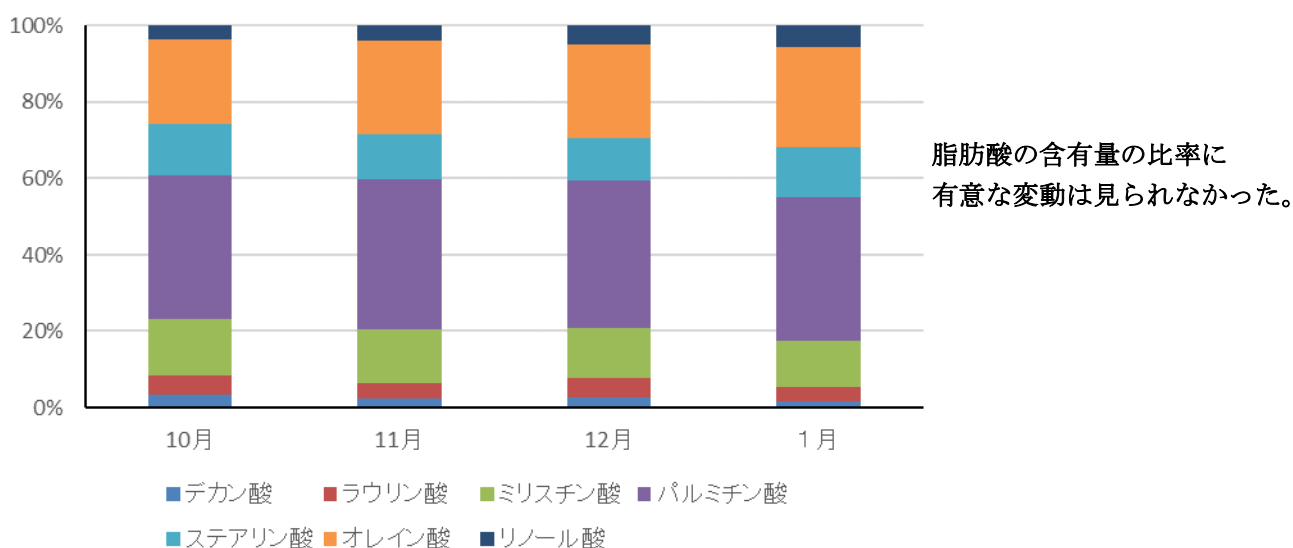
	10月	11月	12月	1月	P値
総脂肪酸	2.82	3.175	3.425	3.66	0.02
飽和脂肪酸	2.1	2.275	2.425	2.52	
1価不飽和脂肪酸	0.62	0.775	0.825	0.94	
多価不飽和脂肪酸	0.1	0.125	0.175	0.2	
n-3不飽和脂肪酸	0	0	0	0	
n-6不飽和脂肪酸	0.1	0.125	0.175	0.2	
n-9不飽和脂肪酸	0.62	0.725	0.825	0.94	
デカン酸 10:0	0.1	0.075	0.1	0.1	
ラウリン酸 12:0	0.14	0.125	0.175	0.14	
ミリスチン酸 14:0	0.42	0.45	0.45	0.44	
パルミチン酸 16:0	1.06	1.25	1.325	1.36	<0.01
ステアリン酸 18:0	0.38	0.375	0.375	0.48	
オレイン酸 18:1n-9	0.62	0.775	0.825	0.94	
リノール酸 18:2n-6	0.1	0.125	0.175	0.2	

総脂肪酸およびパルミチン酸の
含有量に、脂肪酸 Ca による
有意な効果を確認した。

※分散分析ののち、10月と1月で比較

※対照区に有意な変動は見られなかった (データ示さず)

○乳中脂肪酸 含有量の比率



4. 考察

i 日本在来種ヤギを用いた長期給与試験

(不飽和脂肪酸含量を高めた製品を給与。不飽和脂肪酸含量約 70%)

脂肪酸カルシウムを添加することにより、飼料中粗脂肪含量(乾物中)は 6.6%に上昇し、乾物摂取量は 9.0%低下した。一方で、体重の減少や食滞・下痢、ルーメン液 pH の異常等も観察されなかったことから、不飽和脂肪酸含量の高い脂肪酸 Ca を給与した場合においても、生産性に悪影響を及ぼすことなく 3 ヶ月程度の長期的な給与が可能であることが示唆される。一方で、乳の生産性や品質に及ぼす影響を検討するためには、乳牛を用いた精密な飼養試験の実施が必要である。

ii 乳牛を用いた長期給与試験

(パーム油由来の製品を給与。不飽和脂肪酸含量約 50%)

脂肪酸カルシウムを添加することにより、飼料中粗脂肪含量(乾物中)は 6.0%に上昇し、乾物摂取量は 5.9%低下した。一方で、体重・乳量の有意な減少や食滞・下痢およびルーメン液 pH の異常等も観察されなかったことから、生産性に悪影響を及ぼすことなく 3 ヶ月程度の長期的な給与が可能であることが示唆される。また、Shibata らの推定式を用いて、乾物摂取量の低減化によるメタン産生量の減少量を推定すると(※)、乾物摂取量が 25kg の乳牛から排出されるメタン(L/日/頭)を 521.5L から 519.2L に減少させることができることになるが、基礎飼料中の粗脂肪含量や脂肪酸カルシウムの種類の影響、および乾物摂取量が 25kg 以上の場合など、より精度の高いデータを獲得するためにはさらなる検証が必要であると考えられる。

乳中脂肪酸組成については、総脂肪酸およびパルミチン酸の含有量に有意な増加が見られた。一方で、乳検成績書における乳量および乳脂率においては有意な変化は観察されなかった。脂肪酸 Ca の給与は、乳量低下や負のエネルギーバランスの防止を目的とする事が多く、乳脂率や脂肪酸合成量の増加に対する効果はあまり期待できない。このことから、本結果はより多くの例数を用いて再検証する必要がある。なお、脂肪酸の含有量の比率については、給与する脂肪酸 Ca の種類(不飽和脂肪酸含量の違い)が影響する事が報告されているため、本事業におけるヤギの試験と同様の試験を乳牛においても実施し、本結果と比較検討することが必要であると考えられる。

※M. Shibata, F. Terada, M. Kurihara, T. Nishida, K. Iwasaki. Estimation of methane production in ruminants. Anim. Sci. Technol. (Jpn.), 64: 790-796. 1993.

令和3年度温室効果ガス削減飼料に関する調査委託事業 推進会議 課題成績書

課題名 : ②脂肪酸カルシウム給与の国内利用状況調査

担当組織名: 龍谷大学

担当者名: 淡路和則

1. 目的（全課題共通）

我が国の畜産業が将来にわたって持続的に発展していくためには、環境負荷の軽減を図ることが重要である。畜産業からは、主に家畜排せつ物管理に由来するメタン及び一酸化二窒素、消化管内発酵に由来するメタンの温室効果ガスが排出されており、農林水産業由来の温室効果ガスの約1/3を畜産業が占めている。

本事業は、脂肪酸カルシウム等の国内流通量などを調査し、脂肪酸カルシウム等の家畜への給与等による温室効果ガス削減の効果及び飼養成績への影響等を調査し、畜産分野における温室効果ガス削減対策に資することとする。

2. 方法

温室効果ガス削減への効果に期待が寄せられる脂肪酸カルシウム等の脂肪酸製剤の普及を考えるうえでは、①利用実態を把握し、②利用している経営の特徴を浮き彫りにし、③そこでの経営的メリット解明することが必要である。そのために、酪農経営を対象として利用事例のヒアリング調査とアンケート調査を実施した。

事例調査は、九州、東海において脂肪酸製剤を使用している事例（5事例）を酪農団体および普及組織から紹介を受け、現地訪問調査およびオンライン・ヒアリングによって実施した。

アンケート調査は、愛知県で愛知県酪農農業協同組合を通じて、全組合員229戸を対象にアンケート票を送付して実施した。

3. 結果

事例調査からは、脂肪酸製剤の利用について、主として乳脂肪の含有量を上げる目的で使われていたが、経営的メリットについては次のことが指摘できた。乳脂肪含有率を上げて乳価の加算を追求することについては、乳脂肪が4.0%といった高位で搾乳牛1頭当たり乳量が25kg/日以上といった限定的なケースに限られ、費用対効果としては大きいとはいえなかった。しかしながら、乳脂肪含有率が取引基準である3.5%を割る水準になった場合のペナルティーに対しては、費用対効果が高いことが明らかとなった。例としては、乳脂肪率が基準の3.5%より0.1%低くなり、販売乳価が3円/kgの減算となる場合、搾乳牛1頭当たり乳量が20kg/日としても1日1頭当たり60円の減収となり、脂肪酸製剤の投入によって減算を回避できるのであれば、投入費用が1頭当たり25円/日（使用事例）である現状においては費用対効果があると判断できた。実際に、事例経営では脂肪酸製剤の添加によって乳脂肪率0.1%の向上は1日、2日で効果が表れるとしている。つまり、脂肪酸製剤の使用については、乳脂肪取引における加算に対するインセンティブよりも、乳脂肪含有率が基準を下回ることによる減算予防といったリスク回避の意義が大きいことが明らかとなった。

愛知県におけるアンケート調査では、229戸を対象にアンケート票を送付し、203戸からの回答を得た（回収率88.6%）。このアンケートから次の利用実態が明らかとなった。

(1) 脂肪酸製剤の使用については、「現在使用している」73戸（36.0%）、「過去に使用したこ

とがあるが現在は使用していない」24戸（11.8%）、「使用していない、また使用したことがない」106戸（52.2%）であり、3分の1を超える経営が使用していることが把握できた。（表1）

（2）脂肪酸製剤を使用している経営についての特徴を頭数規模と乳量・乳質からみると、①経産牛の平均飼養頭数は、使用している経営が127.7頭、過去に使用経験がある経営が79.0頭、使用していない経営が68.4頭で有意な差が認められた。②経産牛1頭当たり乳量は、使用している経営が9,410kg、過去に使用経験がある経営が8888.0kg、使用していない経営が7,945kgと有意な差が認められた。③乳脂肪率については、使用している経営が3.81%、過去に使用経験がある経営が3.86%、使用していない経営が3.93%と有意な差が認められた。これらのことから、脂肪酸製剤を使用している経営について、多頭飼育で乳量水準が高いが、乳脂肪率は相対的に低いという特徴が明らかとなった。（表2）

（3）飼養形態と給餌方式については、脂肪酸製剤を使用している経営の30.1%がフリーストール、20.5%がフリーバーンであり、使用していない経営の84.9%がつなぎ飼いであった。さらに、給餌方式については、脂肪酸製剤を使用している経営の72.6%がTMRであり、使用していない経営の67.9%が分離給餌であった。（表3）

（4）脂肪酸製剤の使用目的については、乳脂肪量を増大させる目的が主となっていることが把握できた。のべ使用製剤数に対する割合は、62.0%が乳脂肪量を上げる目的であった。次いで乳量の増大38.0%、繁殖成績の向上32.0%であった。また脂肪酸製剤を使用している経営73戸のうち20戸（27.4%）が複数の製剤を使用していた。このことから、目的に応じた製剤の使い分けがなされていることが示唆された。（表4）

以上のことから、脂肪酸製剤の使用については、大規模多頭でTMRを採用している経営が高い乳量を追求する一方で相対的に低くなる乳脂肪量を向上させる目的で添加しているという経営像とその行動像を捉えることができた。

これらの結果は、今後の普及を図るためのターゲット経営像を絞るうえで、示唆に富むものといえた。

（図表）

表1 脂肪酸製剤の使用

	実数（戸）	割合
使用している	73	36.0%
過去に使用経験あり	24	11.8%
使用していない	106	52.2%
計	203	100.0%

表2 脂肪酸製剤の使用と飼養規模・乳量・乳質

脂肪酸製剤	経産牛飼養頭数 (頭)	経産牛1頭当たり乳量 (kg)	乳脂肪率 (%)
使用している	127.7	9410.4	3.81
過去に使用経験あり	79.0	8888.0	3.86
使用していない	68.4	7945.0	3.93

表3 脂肪酸製剤の使用と飼養方式・給餌形態

		飼養方式			給餌形態	
		つなぎ	フリーストール	フリーパース	分離	TMR
実数	使用している	45	22	15	20	53
	過去に使用経験あり	20	4	1	12	12
	使用したことがない	90	14	5	72	35
割合	使用している	61.6%	30.1%	20.5%	27.4%	72.6%
	過去に使用経験あり	83.3%	16.7%	4.2%	50.0%	50.0%
	使用したことがない	84.9%	13.2%	4.7%	67.9%	33.0%

注：複数回答

表4 脂肪酸製剤の使用目的

		乳量アップ	乳脂肪量アップ	繁殖成績の向上	その他
回答数		38	62	32	0
対使用製剤数		38.0%	62.0%	32.0%	0.0%

注：複数回答

4. 遂行上の問題点

新型コロナ感染拡大で実態調査を計画通り遂行することに困難があったが、許可が得られる範囲で実態調査を行い、必要に応じてオンラインで補足した。

脂肪酸コントロール技術に関するアンケート調査

1. 農場の概要

(1) 乳牛飼養頭数

1) 総頭数: ___頭 2) うち経産牛頭数: ___頭

(2) 乳量と乳脂肪

1) 経産牛1頭当たり乳量: ___kg 2) 乳脂肪率: ___%

(3) 舎飼い方法(該当項目にチェック✓願います 複数回答も可能です)

☐ つなぎ飼い ☐ フリーストール ☐ フリーバーン

(4) 給餌方法(該当項目にチェック✓願います)

☐ 分離給与

☐ TMR →→→ 調達方法を回答ください。 ☐ 自家調整 ☐ TMRセンター ☐ その他

2. 脂肪酸製剤の利用について(該当項目にチェック✓願います)

☐ 使用していない、また使用したことがない

☐ 過去に使用していたことがあるが、現在は使用していない

☐ 使用している⇒以下の表で可能な範囲でご回答ください。

使用銘柄名	添加期間 (該当項目にチェック✓願います)	添加量 (1日1頭当り)	添加の目的 (該当項目にチェック✓願います)
	☐ 通年 ☐ 時期的(月～ 月) ☐ 必要に応じて不定期	g	☐ 乳量アップ ☐ 乳脂肪量アップ ☐ 繁殖成績の向上 ☐ その他()
	☐ 通年 ☐ 時期的(月～ 月) ☐ 必要に応じて不定期	g	☐ 乳量アップ ☐ 乳脂肪量アップ ☐ 繁殖成績の向上 ☐ その他()
	☐ 通年 ☐ 時期的(月～ 月) ☐ 必要に応じて不定期	g	☐ 乳量アップ ☐ 乳脂肪量アップ ☐ 繁殖成績の向上 ☐ その他()

質問は以上となります。ご協力ありがとうございました。