

# 1 スマート酪農技術を活用した新たな気候変動対応技術の開発

担当部署名：乳牛研究室

担当者名：○渡邊萌々佳、栗原邦英

研究期間：令和3（2021）～令和7（2025）年度 予算区分：県単

---

## 1 目的

近年の猛暑は、酪農業に深刻な影響を及ぼしており、乳量や乳成分の低下、繁殖成績の悪化など、生産性の低下を招いている。これまでに基本的な暑熱対策技術が確立され、現場でも一定の成果を上げてきたが、気温の上昇傾向が続く中、既存技術のみでは十分な対応が困難となっている。そのため、より高い効果を持つ飼養技術の開発が急務となっている。

本研究では、抗酸化物質を含有する乾燥マンゴー皮を飼料添加物として搾乳牛に給与することで、暑熱ストレスの軽減効果を検証した。併せて、動態センサーによって取得した乳用牛の行動データを解析し、暑熱に応じた行動パターンの変化を明らかにすることで、暑熱環境に適応した飼養管理技術を検討した。

## 2 方法

### (1) 搾乳牛への乾燥マンゴー皮給与による暑熱対策効果の検討

供試牛：8頭（試験区：4頭、対照区4頭）

調査期間：令和6年7月24日～8月21日

調査項目：個体ごとの採食量・搾乳量・乳成分、体重、血液性状、ストレスマーカー（SH基、TBARS、血中コルチゾール）、行動データ（採食時間、動態時間、横臥時間、起立時間、横臥反芻時間、起立反芻時間）、温度湿度指数（THI）

調査方法：両区共に朝夕 TMR（50kg/日）を給与し、試験区の TMR にのみ乾燥マンゴー皮（500g/日）をトップドレスで添加した。試験区と対照区から得られた項目データを比較することで、乾燥マンゴー皮の給与効果を調査した。

### (2) 動態センサーによる搾乳牛の行動パターンの分析（行動パターン調査）

供試牛：搾乳牛470頭（センター及び酪農家2戸）

調査期間：令和4年4月～令和6年12月

調査項目：行動データ（採食時間、動態時間、横臥時間、起立時間、横臥反芻時間、起立反芻時間）、温度湿度指数（THI）

## 3 結果の概要

### (1) 乾燥マンゴー皮給与試験

試験区、対照区について、それぞれ試験開始前1週から試験終了までの週ごとの合計搾乳量を比較したところ、両区共に試験経過に伴って乳量が減少する傾向が見られ、統計的に有意な差は見られなかったものの、対照区に対し試験区の方が試験期間中の乳量の減少率が低く、期間の経過と共に両区間の差が広がる傾向が見られた（図1）。また、血中総コレステロール（Tcho）について、試験区と対照区間の平均血中濃度に有意差は認められなかったが、週数と区間との間に有意な交互作用が認められた（ $p < 0.018$ ）（図2）。このことから、週数の経過に伴う Tcho の変化傾向（低下率）が区間によって異なることが示唆された。

また、行動時間では、試験区で横臥時間および反芻時間が長い傾向が見られた。なお、試験期間中の血中 SH 基について対照区が低い値で推移する傾向が見られ、対照区の1頭が体細胞数の急激な上昇を示し乳房炎を発症した。

### (2) 行動パターン調査

当センター及び酪農家2戸の搾乳牛の行動パターンを比較したところ、10～12月よりも暑熱期の7～9月の方が、採食時間、横臥時間、横臥反芻時間が減少する傾向が見られた（表1）。ま

た、THI が 70 を超えた場合、個体間の起立反芻時間の差が広がる傾向が見られた。このことから、行動時間によって暑熱ストレス耐性が低い個体を判別できる可能性が示唆された (図 3)。

#### 4 今後の問題点と次年度以降の計画

- (1) 令和5年、令和6年の乾燥マンゴー皮給与試験において、対照区より試験区の方が、横臥時間が長い傾向が見られたことから、乾燥マンゴー皮が牛の体温に影響した可能性が考えられる。そのため、次年度では供試牛の体温測定を行うことで、乾燥マンゴー皮による体温への影響について調査する。また、試験期間を延長し、乾燥マンゴー皮の暑熱対策効果の評価を行う。

[具体的データ]

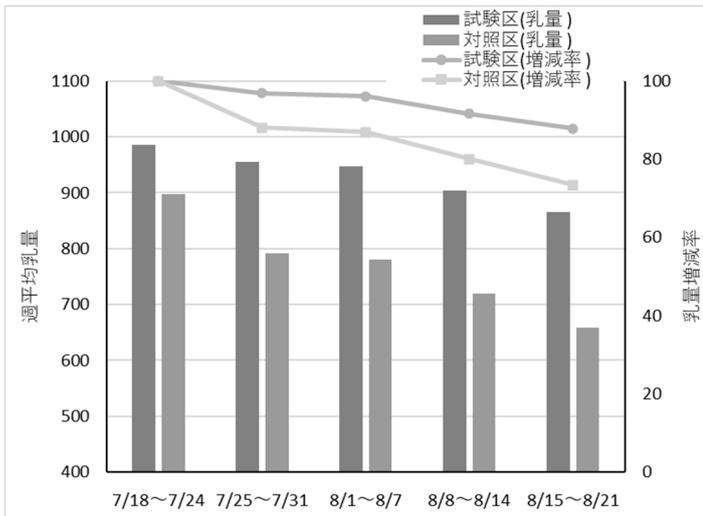


図1 マンゴー皮給与の有無による乳量及び乳量増減率の推移の比較

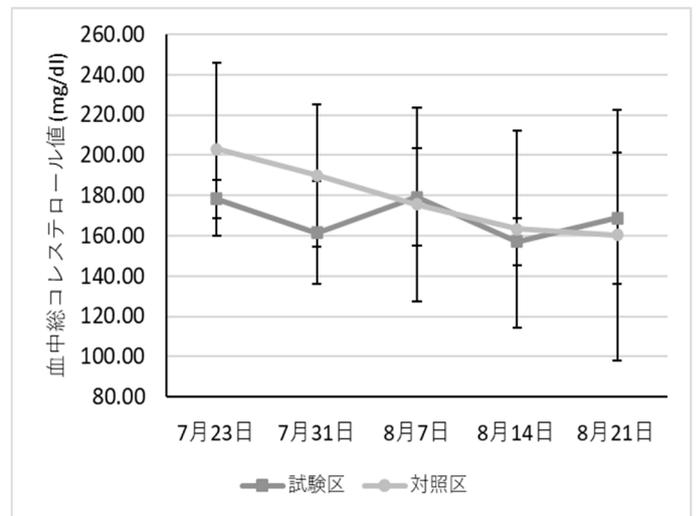


図2 マンゴー皮給与の有無による血中総コレステロール値の推移の比較

表1 令和6年7~9月及び10~12月の各農場における行動時間の比較 (単位: 分)

	畜産酪農研究センター		酪農家1		酪農家2	
	7~9月	10~12月	7~9月	10~12月	7~9月	10~12月
THI	78.3 ± 3.3	58.8 ± 7.1	78.2 ± 4.0	53.9 ± 10.0	77.0 ± 3.8	54.1 ± 9.5
採食	295.3 ± 30.2	389.2 ± 21.6	361.2 ± 17.2	395.0 ± 14.8	409.2 ± 38.7	419.6 ± 19.4
動態	102.3 ± 8.7	83.6 ± 8.5	125.7 ± 8.4	110.2 ± 12.0	147.4 ± 23.8	109.6 ± 13.7
横臥	297.7 ± 30.2	293.1 ± 19.5	278.1 ± 18.4	301.3 ± 16.8	247.2 ± 20.7	264.7 ± 20.1
起立	315.4 ± 24.1	256.4 ± 22.7	220.3 ± 13.3	199.6 ± 13.5	198.8 ± 14.8	189.9 ± 17.2
起立反芻	235.0 ± 35.5	179.9 ± 17.9	177.5 ± 25.2	133.3 ± 13.4	137.5 ± 21.3	120.9 ± 14.2
横臥反芻	194.3 ± 15.4	236.8 ± 22.8	271.0 ± 15.0	296.3 ± 19.4	299.8 ± 31.0	335.0 ± 27.2

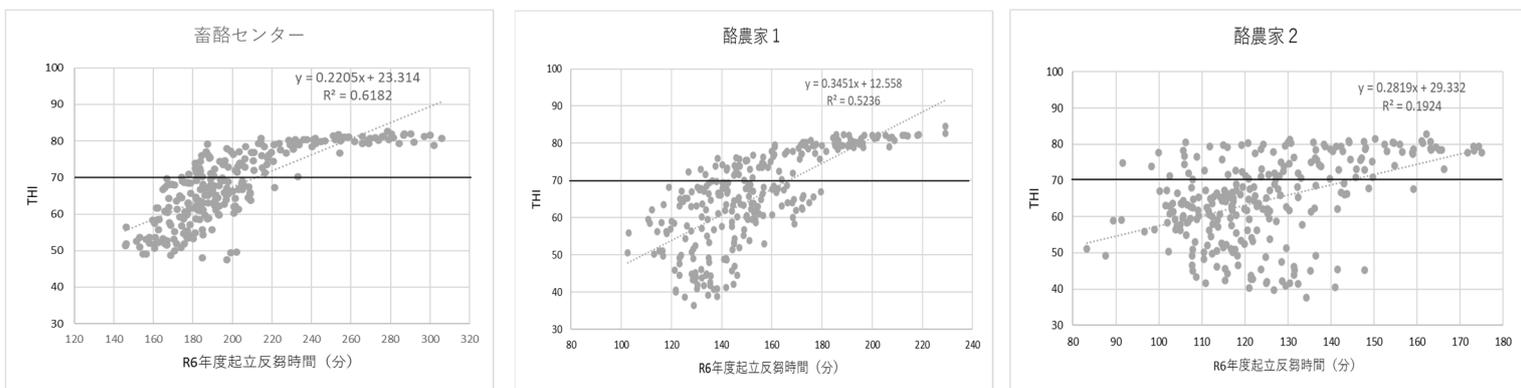


図3 R6年度各酪農家における起立反芻時間とTHIの相関図

## 2 乳蛋白質等に特色のある牛群の乳生産及び生乳を用いた乳製品の特性調査

担当部署名：乳牛研究室

担当者名：○渡邊萌々佳、栗原邦英

研究期間：令和3（2021）年度～令和6（2024）年度 予算区分：県単

---

### 1 目的

近年、飲用乳の需要が低下傾向で推移する中、乳牛が持つ乳タンパク質の遺伝子型に基づいて製品を差別化し、消費拡大や酪農家の所得向上を図る事例が報告されている。一方、ナチュラルチーズの国内生産量および消費量は年々増加しているものの、消費量全体に占める国産の割合は低く、高付加価値による輸入チーズとの差別化が求められている。

そこで、ゲノミック評価を行った乳牛において、個体の産乳成績とチーズ製造に適した遺伝的特性との比較を行うとともに、実際に遺伝的評価の異なる乳牛の生乳からチーズ製造を行いチーズの加工特性を比較することで、国産チーズ加工に取り組む酪農経営の所得向上に資することを目的とした。

### 2 方法

#### (1) 牛群検定成績とゲノミック評価の関連性の検証

供試牛：当センター飼養牛の内1産次の305日成績検定済みの経産牛57頭（一部欠損あり）

調査項目

- ① 牛群検定成績…1産次の補正乳量、乳脂率、蛋白質率、無脂固形分率  
(乳成分については、305日間成績の値を使用)
- ② ゲノミック評価…ネットメリット (NM)、チーズメリット (CM)、乳量、脂肪率、蛋白率、 $\kappa$ -カゼイン、 $\beta$ -ラクトグロブリン

調査方法

牛群検定成績とゲノミック評価の各項目値間の相関関係を分析

#### (2) 特色のある生乳を用いた乳製品の特性調査

供試サンプル：当センター飼養のCMが異なる乳牛（1産次の泌乳後期（分娩後日数220日以降））から採取した生乳

試験区

- ① CM高区…CMの高い個体（476）の生乳を原料としたチーズ製造
- ② CM低区…CMの低い個体（-100）の生乳を原料としたチーズ製造

調査方法

当センター評価加工棟チーズ製造室において、CMが異なる乳牛から採取した生乳12kgを用いて、それぞれゴーダタイプチーズを製造し3ヶ月間熟成させた。熟成期間中に乳酸菌生菌数測定及び遊離アミノ酸分析を行い、熟成終了後に食味に関する分析型官能評価を実施した。また、分析型官能評価については、令和5年製造チーズのCM高区、CM低区（各1サンプルずつ）も併せて評価し、令和6年製造チーズと比較した。

### 3 結果の概要

#### (1) 牛群検定成績とゲノミック評価の関連性の検証

牛群検定成績の乳蛋白質率とゲノミック評価の蛋白率の間、ゲノミック評価のNMとCMの間、ゲノミック評価の乳量とNMの間に強い正の相関が見られた ( $r > 0.7$ 、 $p < 0.01$ ) (表1)。

(2) 特色のある生乳を用いた乳製品の特性調査

原乳量の乳脂率、乳蛋白質、体細胞、また、チーズ製造時における歩留まりでCM低区よりCM高区の方が高い傾向が見られた(表2)。一方、チーズ中の総遊離アミノ酸量は、熟成1週間、1ヶ月、3ヶ月の全てにおいてCM高区よりもCM低区の方が高い傾向が見られた(図2)。これは令和4年及び令和5年の結果とも一致する。分析型官能評価の結果、令和5年製造チーズは、CM高区よりCM低区の方が、ミルク臭が有意に強かった(p<0.05)。また、酸味の強さは令和5年製造CM高区で最も高くなり、令和6年製造のCM高区及びCM低区よりも強い結果となった(p<0.05)(図1)。

4 今後の問題点と次年度以降の計画

今回の成果を基盤として、次年度以降の乳製品開発に向けた新たな研究課題へと展開していく。

[具体的データ]

表1 牛群検定成績とゲノミック評価値の相関関係

項目		P値	相関係数
補正乳量	乳蛋白質率	<0.01	-0.3590
乳蛋白質率	Pro %	<0.01	0.7620
乳脂率	Fat %	<0.01	0.5530
Net Merit (\$)	Cheese Merit	<0.01	0.9996
Milk Yield	Net Merit (\$)	<0.01	0.7240

※灰色：牛群検定成績の項目、白色：ゲノミック評価の項目

表2 乳成分及び歩留まり

		CM高区(n=1)	CM低区(n=1)
CM		476	-100
原料乳	乳脂率(%)	5.33	1.94
	無脂固形分率(%)	9.27	9.32
	蛋白質率(%)	3.81	3.55
	体細胞数(万/mL)	3	5
歩留	型詰め時(%)	14.48	11.41
	熟成前(%)	11.86	8.98

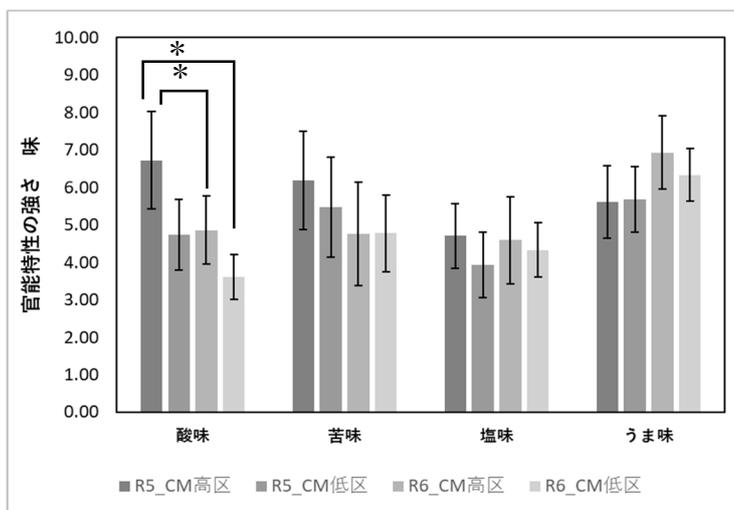
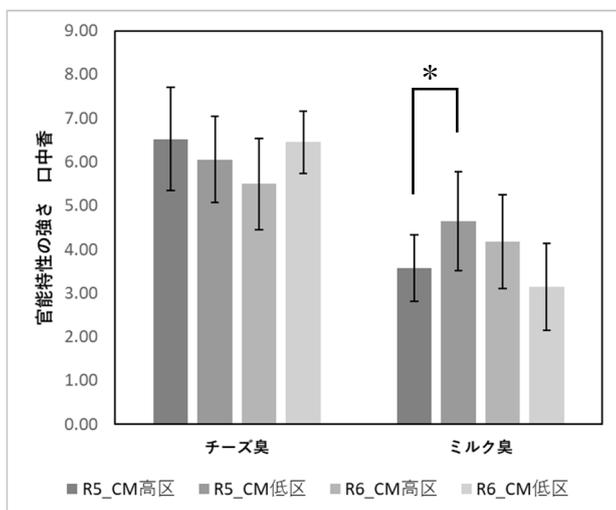


図1 令和5年及び令和6年製造チーズの香り及び味の官能特性の強さ

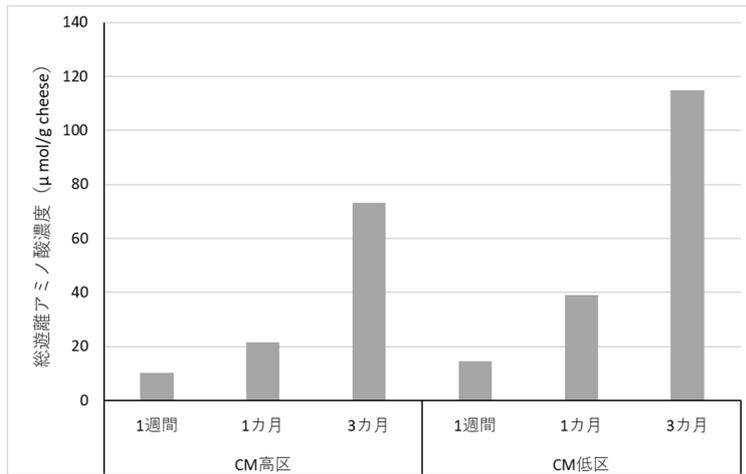


図2 令和6年製造チーズの各試験区における熟成期間中の総遊離アミノ酸量

### 3 日本の食習慣に対応した乳製品の開発

担当部署名：乳牛研究室

担当者名：○渡邊萌々佳、栗原邦英

研究期間：令和3（2021）年度～令和7（2025）年度 予算区分：県単、一部受託（国産チーズ・イノベーション事業）

#### 1 目的

ナチュラルチーズの国内生産量および消費量は年々増加しているが、消費量全体に占める国産の割合は低く、国産ナチュラルチーズには、高付加価値や輸入チーズとの差別化が求められている。

チーズの品質には使用する乳酸菌が大きく影響し、国内の発酵食品から採取した乳酸菌を用いることで、チーズのフレーバー改善等に寄与する事例が報告されている。

そこで、本研究では、地域に根付く地域常在の乳酸菌等の特性を明らかにし、それを用いて製造したチーズの特徴を調査する。これにより、日本の食習慣に対応した乳製品を開発し、輸入チーズとの差別化を図るとともに、チーズ製造を行う酪農家の所得向上に資することを目的とする。

#### 2 方法

##### チーズ製造方法

当センター産の生乳 800ml を用いて、サブスターターの添加量が異なる3つの試験区を設定し、各試験区2サンプルずつミニチュアチーズを製造した。また、サブスターター無添加のものを対照区とした。チーズ製造後、熟成を3か月間行った。メインスターターとして市販のCHN-11を使用し、サブスターターとして栃木県の漬物から採取された乳酸菌（OY-37）を使用した。メインスターター（CHN-11）及びサブスターター（OY-37）の添加量は以下の通りとした。

試験区①：CHN-11 + OY-37 ( $10^5$ cfu/ml)

試験区②：CHN-11 + OY-37 ( $10^6$ cfu/ml)

試験区③：CHN-11 + OY-37 ( $10^7$ cfu/ml)

対照区：CHN-11のみ

調査項目：カッティング後のホエイ pH の経時的変化

熟成1ヶ月及び3ヶ月のチーズ中乳酸菌生菌数

#### 3 結果の概要

チーズ製造過程におけるカッティング後の pH の推移は全ての区で 6.4 以下まで低下した。低下速度は試験区②>試験区①>試験区③の順で早く、このうち、試験区①、②は対照区よりも早く試験区③は対照区を下回る結果となった（図1）。また、熟成1ヶ月の乳酸菌生菌数は pH 低下速度と同様の傾向が見られ、試験区②が最も菌数が多かったのに対し、試験区③が最も少ない結果となった。しかし、熟成3ヶ月の乳酸菌生菌数では、試験区①が最も菌数が多い結果となった（図3）。

#### 4 今後の問題点と次年度以降の計画

##### (1) OY-37について

遊離アミノ酸分析を行い、旨味や苦味に関与するアミノ酸の量を調査する。その結果を踏まえ、工房レベルのサイズでチーズ製造を行う際のOY-37添加量を検討する。

##### (2) 他の乳酸菌に関する検証

OY-37と同様に栃木県で採取された乳酸菌OY-12を用いてミニチュアチーズを試作し、pH低下速度や乳酸菌生菌数等を検証することで、チーズ製造における適切な利用条件を明らかにする。

[具体的データ]

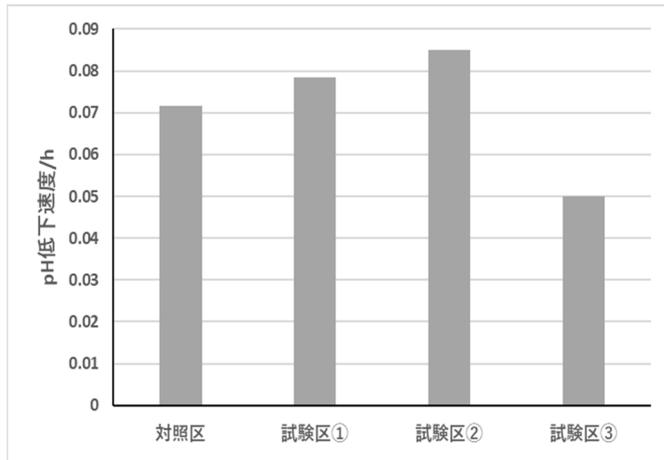


図1 カutting後のホエイのpH低下速度

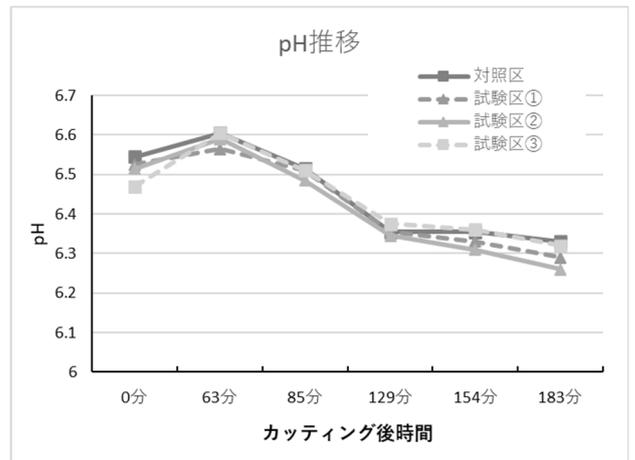


図2 カutting後のホエイのpH推移

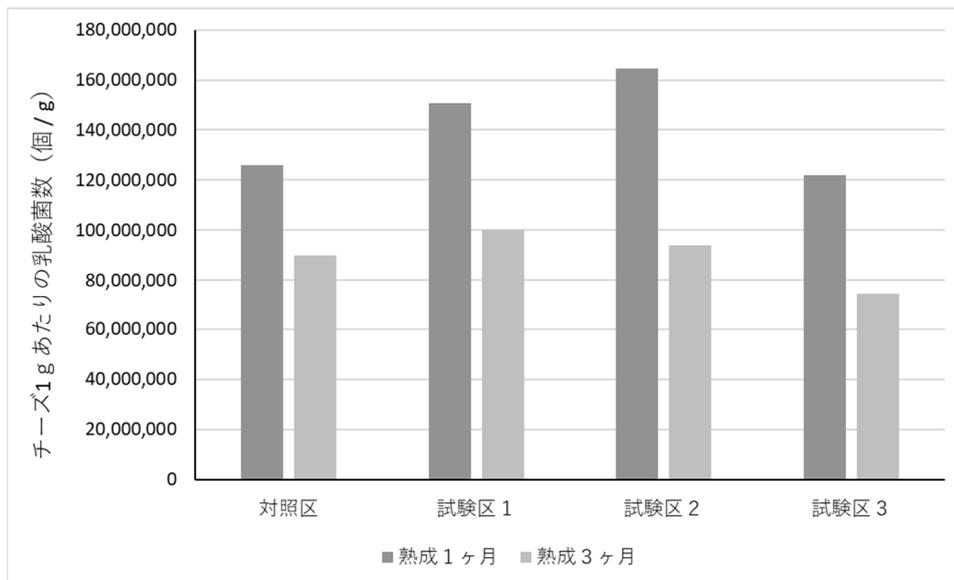


図3 熟成1ヶ月及び3ヶ月時点のチーズ中乳酸菌生菌数

## 4 牛の呼気からメタン産生量を推定する方法の有効性検証

担当部署名：乳牛研究室

担当者名：○栗原邦英、奥平季之、川田智弘

研究期間：令和4（2022）～令和8（2026）年度 予算区分：受託（畜産GHG削減プロ）

---

### 1 目的

地球温暖化の大きな要因である温室効果ガスの削減は喫緊の課題である。畜産分野では、牛のゲップや排せつ物に由来するメタンや一酸化二窒素が、日本の農林水産分野全体の温室効果ガス排出量の約3割を占めている。

このため、産生量低減に効果的とされる資材（飼料添加物）や、メタン産生量の少ない牛の育種改良、さらに農場におけるメタン測定方法などの技術開発が進められている。

そこで、本研究では、酪農現場において搾乳牛の呼気を測定し、このデータに基づくメタン産生量の簡易推定方法（スニファー法）の有効性を実証するとともに、その手法を活用して温室効果ガス排出抑制効果が期待される資材（飼料添加物）給与によるメタン削減効果の評価を実施することで、本県畜産分野からのメタン排出量削減を推進することを目的とする。

### 2 方法

調査地：栃木県畜産酪農研究センター（以下「センター」）及び酪農家（1戸）

調査期間

センター

令和6年8月22日～30日、

令和7年1月22日～29日、2月20日～28日、3月14日～21日（延べ34日）

酪農家

令和6年9月26日～10月4日（延べ9日）

調査頭数 センター：239頭（延べ）、酪農家：66頭

調査項目

ア メタン排出量：搾乳ロボットにガス測定器（ガスアナライザー）を設置し、搾乳中の牛の呼気を個体ごとに1秒間隔で測定

イ 乳量、体重、飼料給与量：搾乳ロボット付随のセンサー等で測定

ウ 乳成分：牛群検定時の乳サンプルデータを活用

エ SNP解析（センターのみ）：血液サンプルを家畜改良センターで分析

データ解析 メタン排出量は、農研機構で作成したR（統計解析向けプログラミング言語）によるプログラムによりガス測定データと搾乳ロボットデータによる測定値に基づき解析を行い推定した。

### 3 結果の概要

センターでの収集データの概要を表1に示した。4期間ともに呼気の測定は成功し、それに基づき試算したメタン産生推定量はそれぞれ585.1L/日、663.5L/日、563.2L/日、633.6L/日であった（表1）。

酪農家での収集データを表2に示した。推定したメタン産生量は455.9L/日であった（表2）。これらの結果から、現場環境においてもスニファー法によるメタン産生量推定が可能であることが示唆された。

### 4 今後の問題点と次年度以降の計画

有効性をさらに検証するため、多くのデータを継続的に収集する。

メタン削減効果が期待される飼料添加物を選定し、その効果をスニファー法で検証する評価体系

を確立する。

[具体的データ]

表1 収集データの概要 (畜産酪農研究センター)

測定日	R6/8/22~30	R7/1/22~29	R7/2/20~28	R7/3/14~21
測定頭数 (延べ)	57	60	59	63
産次	1.9 ± 1.0	1.8 ± 0.9	2.0 ± 0.9	2.0 ± 0.9
分娩後日数 (日)	182 ± 85	167 ± 115	148 ± 104	137 ± 102
体重 (kg)	680.3 ± 83.7	687.6 ± 69.2	690.7 ± 64.8	685.1 ± 66.3
ECM (L/日) ※	27.0 ± 3.8	33.3 ± 6.1	33.0 ± 6.2	35.0 ± 7.4
メタン産生量 (L/日)	585.1 ± 82.5	663.5 ± 84.5	563.2 ± 85.4	633.6 ± 92.3
CH4/CO2比	0.0953 ± 0.0087	0.0886 ± 0.0207	0.0797 ± 0.0086	0.0838 ± 0.0134

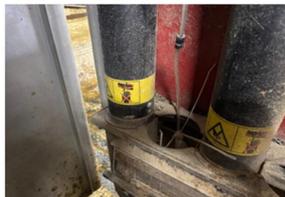
※ECM (エネルギー補正乳量) =

乳量 × (376 × 乳脂肪 + 209 × 乳タンパク質 + 948) × 3138

表2 収集データの概要 (酪農家)

測定日	R6/9/26~10/4
測定頭数	66
産次	2.1 ± 1.0
分娩後日数 (日)	195 ± 112
体重 (kg)	515.0 ± 44.5
ECM (L/日)	23.0 ± 9.8
メタン産生量 (L/日)	455.9 ± 103.9
CH4/CO2比	0.0906 ± 0.00147

栃木県畜産酪農研究センター 設置写真



※本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「畜産からの GHG 排出削減のための技術開発 (JPJ011299)」の補助を受けて行うものです。

## 5 簡易型メタン測定法のメタン削減資材（飼料添加物）評価への応用

担当部署名：乳牛研究室

担当者名：○栗原邦英、奥平季之、川田智弘

研究期間：令和5（2023）～令和8（2026）年度 予算区分：受託（畜産GHG削減プロ）

---

### 1 目的

地球温暖化の大きな要因である温室効果ガスの削減は喫緊の課題である。畜産分野では、牛のゲップや排せつ物に由来するメタンや一酸化二窒素が、日本の農林水産分野全体の温室効果ガス排出量の約3割を占めている。

このため、産生量低減に効果的とされる資材（飼料添加物）や、メタン産生量の少ない牛の育種改良、さらに農場におけるメタン測定方法などの技術開発が進められている。

そこで、本研究では、酪農現場において搾乳牛の呼気を測定し、このデータに基づくメタン産生量の簡易推定方法（スニファー法）の有効性を実証するとともに、その手法を活用して温室効果ガス排出抑制効果が期待される資材（飼料添加物）給与によるメタン削減効果の評価を実施することで、本県畜産分野からのメタン排出量削減を推進することを目的とする。

### 2 方法

搾乳牛に対し、飼料添加物（ルミナップP）を給与して、メタン産生量の推定方法（スニファー法）の有効性を実証するとともに、メタン排出削減効果を検証した。また、ルミナップ給与終了後の削減効果の持続性について検証し、そのことがスニファー法による推定結果に与える影響についても調査を行った。

供試牛：畜産酪農研究センター（以下「センター」）飼養の搾乳牛

試験期間：

令和7年1月22日～29日（対照区）

2月20日～28日（試験区）

3月14日～21日（残効区）

試験区分

- ・試験区：センターのPMRにルミナップPを160g/日を添加し3週間給与（3週目に測定）
- ・対照区：センターの通常の飼養管理下で測定
- ・残効区：ルミナップPの添加終了後測定（3週目に測定）

試験頭数

試験区59頭、対照区60頭、残効区63頭

試験項目

- ア メタン排出量：搾乳ロボットにガス測定器（ガスアナライザー）を設置し、搾乳中の牛の呼気を個体ごとに1秒間隔で測定
- イ 乳量、体重、飼料給与量：搾乳ロボット付随のセンサー等で測定
- ウ 乳成分：牛群検定時の乳サンプルデータを活用

### 3 結果の概要

試験区においては、メタン産生量、エネルギー補正乳量（ECM）、およびCH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>比が有意に減少した（表）。

また、残効区においても、メタン産生量およびCH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>比が対照区と比較して有意に減少しており、ルミナップP給与終了後も3週間にわたり削減効果が持続することが示唆された。

一方、ECMは試験区で有意に減少したが、体重については試験区間で有意な差は認められなかった。

#### 4 今後の問題点と次年度以降の計画

- (1) スニファー法によるメタン産生量の推定方法の有効性を実証するには多くのデータ蓄積が必要のため、継続してセンター及び酪農家で測定を実施する。
- (2) ルミナップPにおける削減効果が給与終了後も継続することが示唆されたため、次年度以降は、他の給与資材（3-NOP）を用いてスニファー法の有効性の実証を行う。

#### [具体的データ]

表 収集データの概要（畜産酪農研究センター）

測定日	R7/1/22~29(対照区)	R7/2/20~28(試験区)	R7/3/14~21(残効区)
測定頭数（延べ）	60	59	63
産次	1.8 ± 0.9	2.0 ± 0.9	2.0 ± 0.9
分娩後日数（日）	167 ± 115	148 ± 104	137 ± 102
体重（kg）	687.6 ± 69.2	690.7 ± 64.8	685.1 ± 66.3
ECM（L/日）※	33.3 ± 6.1 a	33.0 ± 6.2 b	35.0 ± 7.4 a
メタン産生量（L/日）	663.5 ± 84.5 a	563.2 ± 85.4 b	633.6 ± 92.3 c
CH4/CO2比	0.0886 ± 0.0207 a	0.0797 ± 0.0086 b	0.0838 ± 0.0134 c

※ECM（エネルギー補正乳量） = 異符号間に有意差あり(P<0.05)  
乳量 × (376 × 乳脂肪 + 209 × 乳タンパク質 + 948) × 3138

※本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「畜産からの GHG 排出削減のための技術開発（JPJ011299）」の補助を受けて行うものです。