

搾乳ロボットシステム牛群における自給粗飼料を活用した収益性向上の検討

岩崎駿・山崎彦樹*¹・兒玉卓也・脇大作・西博巳*²

要 約

搾乳ロボットシステムでは、搾乳ロボット内で配合飼料が給与され、牛舎ではその分の栄養価を調整した部分混合飼料（PMR：Partial Mixed Ration）が給与される。PMR において、自給粗飼料主体（自給区）と輸入粗飼料主体（輸入区）の 2 区を設定した結果、自給区は輸入区に比べ、3 産以上の搾乳回数と日乳量が有意に多く収益性が高かった。次に、自給区において、ロボット内配合飼料割合が高い配合多給区と PMR 中の濃厚飼料割合が高い濃 PMR 区を設定した結果、配合多給区は濃 PMR 区に比べ、3 産以上の日乳量が有意に多く収益性が高かった。さらに、自給区－配合多給区において、飼料中粗蛋白質（CP）が 14.2%（低 CP 区）と 16.3%（高 CP 区）を設定した結果、産乳性への影響は小さく、収益性は低 CP 区の方が高かった。

キーワード：搾乳ロボットシステム、産乳性、自給粗飼料、収益性、部分混合飼料

緒 言

近年、酪農家戸数の減少は加速しており、2024 年 10 月には国内の酪農家戸数が 1 万戸を下回った³⁾。本県においても、2020 年から 2024 年までの 5 年間で約 2 割の酪農家が離脱しており⁶⁾、酪農業の持続性が危惧される。酪農経営の経費のおよそ半分は飼料費が占め⁶⁾、2021 年以降の飼料価格の上昇による費用の高止まりは、酪農経営の収益性低下の主要因となっている。輸入される粗飼料や濃厚飼料に比べ、自給粗飼料の生産コストの増加幅は緩やかであることから¹⁵⁾、飼料費を削減するための自給粗飼料の生産拡大や利用率の向上は一層重要である。

また、近年、労働力不足や人材の高齢化などの問題が深刻化する中、搾乳ロボットシステム（AMS：Automatic Milking System）は、搾乳作業の省力化や軽労化に寄与するとともに、自給粗飼料の生産・調製に仕向ける時間を生み出す可能性がある^{9,14,18)}。

AMS では、搾乳ロボットで配合飼料（以下、ロボット内配合飼料）が給与され、牛舎ではその分の栄養価を調整した部分混合飼料（PMR：Partial Mixed Ration）が給与される。ロボット内配合飼料は牛が自発的に搾乳ロボットに進入するための「呼び餌」として機能し、ロボットへの進入回数や乳量などと密接に関わる^{8,21)}。また、ロ

ット内配合飼料と PMR の量やバランスにより、ルーメンアシドーシスなどが生じるリスクがあるため^{9,20)}、疾病にも注意が必要となる。

そこで本研究では、AMS 牛群の飼料設計において、粗飼料原料が自給粗飼料主体のモデルを設定し、収益性に及ぼす影響を検討した。さらに、自給粗飼料主体の条件下でロボット内配合飼料の給与量が異なる飼料モデルや、粗蛋白質（CP）水準が異なる飼料モデルを設定し、それらの給与が収益性や牛の健康に及ぼす影響を検討した。

試験材料および方法

1 飼養管理と給餌方法

畜産試験場（霧島市）において、供試したホルスタイン種乳用牛は、自由往来型移動方式のフリーストール牛舎で 1 群管理し、搾乳ロボット（Astronaut A4, Lely 社）1 台で自動搾乳した。搾乳ロボット内では個体ごとに設定した量の配合飼料を給与し、牛舎内では計量器付飼槽（RIC, Insentec 社）で PMR を不断給餌した。

2 試験方法と給与飼料設計

ロボット内配合飼料は、乾物 89.0%、TDN 74.0%、CP 17.0%、有効分解性蛋白質（ECPd）63.9%とし、PMR は粗飼料および単味濃厚飼料とした。ロボット内配合飼料の給与量は、試験開始時の牛群の平均値とした。

供試牛は全頭 1 群を用い、1 期 14 日間以上（予備期 9 日間以上＋調査期 5 日間）ごとに飼料モデルを切り替える反転法により実施した。試験 1 と 2 では、最初の飼料

（連絡先）大家畜部

*1 北薩地域振興局農林水産部農政普及課

*2 農業大学校畜産学部

モデルの給与を1期実施後、対照とするモデルに切り替えて1期行い、計1反復とした。試験3では同様の方法で計2反復行った。

(1) 試験1 PMR中の粗飼料原料が収益性に及ぼす影響

飼料の設計を表1に示す。飼料全体の粗飼料割合が約60%で、PMRの粗飼料原料における自給粗飼料の割合により、自給区（自給トウモロコシサイレージ 51.6%、自給イタリアンサイレージ 11.8%）と輸入区（輸入オーツヘイ 31.1%、輸入アルファルファ乾草 10.3%、自給トウモロコシサイレージ 20.5%）に分けた。PMR中の濃厚飼料源には大麦圧ぺんおよび大豆粕を用いた。

供試牛は3産未満群6頭、3産以上群8頭とし、試験は自給区、輸入区の順に、2022年10月14日から11月11日にかけて行った。

表1 試験1で用いた飼料モデルの設計値

給与方法および飼料原料	自給区	輸入区
牛舎飼槽内給与 (PMR)	—— 配合割合 (DM%) ——	
トウモロコシサイレージ(自給)	51.6	20.5
イタリアンサイレージ(自給)	11.8	-
オーツヘイ (輸入)	-	31.1
アルファルファ乾草(輸入)	-	10.3
大麦圧ぺん	14.5	19.3
大豆粕	12.2	9.0
ミネラル・ビタミン製剤	1.5	1.5
ロボット内給与		
配合飼料 ¹⁾	8.3	8.3
栄養価および成分 (設計値)	——— 含量 (%) ———	
TDN ²⁾	70.1	67.3
CP ²⁾	15.0	14.1
ECPd ³⁾	10.5	9.9
NDF ²⁾	38.0	40.9

注1)乳用牛飼育用配合飼料〔乾物89.0%、TDN 74.0%、CP 17.0%、CP中有効分解性蛋白質 (ECPd) 63.9%〕
 2)日本標準飼料成分表 (2009年版)の数値に基づき各飼料原料の配合割合から算出。
 3)配合飼料以外のECPd含量は、日本飼養標準・乳牛 (2017年版)の値を引用。

(2) 試験2 ロボット内配合飼料量が収益性に及ぼす影響

飼料の設計を表2に示す。試験1の自給区をベースに、ロボット内配合飼料の量により、配合多給区 (DM22.5%)と濃PMR区 (DM12.0%)を設定した。両区とも飼料全体の栄養価が同程度となるように調整した。供試牛は3産未満群8頭、3産以上群4頭とし、試験は配合多給区、濃PMR区の順に、2023年10月14日から11月17日にかけて行った。

表2 試験2で用いた飼料モデルの設計値

給与方法および飼料原料	配合多給区	濃PMR区
牛舎飼槽内給与 (PMR)	—— 配合割合 (DM%) ——	
トウモロコシサイレージ(自給)	50.0	50.0
イタリアンサイレージ(自給)	10.0	10.0
大麦圧ぺん	7.5	14.5
大豆粕	8.5	12.0
ミネラル・ビタミン製剤	1.5	1.5
ロボット内給与		
配合飼料 ¹⁾	22.5	12.0
栄養価および成分 (設計値)	——— 含量 (%) ———	
TDN ²⁾	69.3	70.5
CP ²⁾	14.2	15.1
ECPd ³⁾	9.8	10.6
NDF ²⁾	36.1	36.7

注1)乳用牛飼育用配合飼料〔乾物89.0%、TDN 74.0%、CP 17.0%、CP中有効分解性蛋白質 (ECPd) 63.9%〕
 2)日本標準飼料成分表 (2009年版)の数値に基づき各飼料原料の配合割合から算出。
 3)配合飼料以外のECPd含量は、日本飼養標準・乳牛 (2017年版)の値を引用。

(3) 試験3 飼料のCP水準が収益性に及ぼす影響

供試飼料の設計を表3に示す。試験2の配合多給区をベースに、CP水準が異なる低CP区 (CP 14.2%)および高CP区 (CP 16.3%)を設定した。両区ともTDN含量が同程度となるように乾物割合を調整した。供試牛は3産未満群10頭、3産以上牛6頭とし、試験は低CP区、高CP区の順に、2024年10月19日から12月13日にかけて行った。

表3 試験3で用いた飼料モデルの設計値

給与方法および飼料原料	低CP区	高CP区
牛舎飼槽内給与 (PMR)	—— 配合割合 (DM%) ——	
トウモロコシサイレージ(自給)	50.0	50.0
イタリアンサイレージ(自給)	10.0	10.0
大麦圧ぺん	6.0	-
ふすま	-	1.0
大豆粕	8.0	13.5
ミネラル・ビタミン製剤	2.0	1.5
ロボット内給与		
配合飼料 ¹⁾	24.0	24.0
栄養価および成分 (設計値)	——— 含量 (%) ———	
TDN ²⁾	69.1	69.2
CP ²⁾	14.2	16.3
ECPd ³⁾	9.8	11.1
NDF ²⁾	36.0	35.8

注1)乳用牛飼育用配合飼料〔乾物89.0%、TDN 74.0%、CP 17.0%、CP中有効分解性蛋白質 (ECPd) 63.9%〕
 2)日本標準飼料成分表 (2009年版)の数値に基づき各飼料原料の配合割合から算出。
 3)配合飼料以外のECPd含量は、日本飼養標準・乳牛 (2017年版)の値を引用。

3 調査項目

3 試験とも泌乳日数、体重、ロボット内配合飼料推定摂取量、PMR 摂取量、搾乳回数等を調査した。泌乳日数は調査期間の平均値とし、PMR の原物摂取量は RIC システムにより測定した。他の項目はロボットのデータを利用した。

試験 2, 3 ではボディコンディションスコア (BCS) と乳脂率、乳蛋白質率、P/F 比、無脂固形分率、乳糖率、乳中尿素窒素 (MUN) 濃度、乳中遊離脂肪酸 (FFA) 濃度、プレフォーム脂肪酸 (PrFA) 割合、デノボ Milk (DnM) 割合、デノボ脂肪酸 (DnFA) 割合を測定した。BCS は Ferguson の UV 法で測定した⁷⁾。さらに試験 3 では、血液成分として総コレステロール (T-Cho)、血糖 (Glu)、トリグリセリド (TG)、血清総蛋白 (TP)、血中尿素窒素 (BUN)、グルタミン酸オキサロ酢酸トランスアミナーゼ (GOT(AST))、 γ -グルタミルトランスペプチダーゼ (GGT)、カルシウム (Ca)、無機リン (iP)、マグネシウム (Mg)、血中遊離脂肪酸 (NEFA)、 β -ヒドロキシ酪酸 (BHBA) の濃度を測定した。

消化試験として、試験 1, 3 では 6 頭、試験 2 では 5 頭を用い、9:00 と 15:00 に直腸便を採取した。プールした糞便を用い、酸不溶性灰分 (AIA) を指示物質とした Index 法²³⁾により、乾物および成分消化率、栄養価を推定した。PMR と配合飼料の一般成分である水分、粗蛋白質 (CP)、粗脂肪 (EE)、粗繊維 (CF)、可溶無窒素物 (NFE) とデタージェント繊維の定量は常法¹⁷⁾により行った。

4 収益性の評価

飼料費は各飼料原料の給与 TDN 量に TDN kg 単価を乗じて求めた。TDN kg 単価は農林水産省の調査^{15,16)}と日本標準飼料成分表¹²⁾を用いて求めた。また、乳代は日乳量に生乳農家販売価格 122 円/kg¹¹⁾を乗じて求め、乳代と飼料費の差額を収益として算出した。

5 統計解析

有意差検定には Microsoft Excel アドインソフト Statcel4 を用いた。ウィルコクソンの符号付き順位和検定で各区間の比較を行い、有意水準 5%未満を有意差ありと判定した。

結果および考察

試験 1 PMR 中の粗飼料原料が収益性に及ぼす影響

自給区と輸入区が体重、乾物摂取量、搾乳特性に及ぼす影響を表 4 に示す。体重は 2 群とも自給区が輸入区よりも低値を示した ($p<0.05$)。また、PMR 乾物摂取量と

総乾物摂取量は 2 群とも自給区は輸入区に比べ、有意に少なかった ($p<0.05$)。2 区間の PMR 原物摂取量に有意差はなかったが、サイレージでは水分含量が高くなると乾物摂取量が低下するため¹³⁾、サイレージの割合が高い自給区は輸入区より PMR 乾物摂取量が少なかったと考えられ、このことが 2 区の体重差に繋がった可能性がある。さらに 3 産以上牛群の搾乳回数では、自給区が輸入区に比べて有意に多く、日乳量も多くなったため ($p<0.05$)、3 産以上牛群では 2 区間の体重差がさらに大きくなった可能性が考えられた。ロボット内配合飼料は、牛の AMS への訪問に対する報酬としてはたらく⁸⁾。牛舎内の PMR 乾物摂取量が輸入区より少なかった自給区の牛群は、ロボット内配合飼料を採食する目的で AMS を訪問するモチベーションが向上したため、搾乳回数が増加したと推察された。

自給区と輸入区の乾物消化率、成分消化率、栄養価および成分含量を表 5 に示す。総乾物摂取量は自給区が輸入区より有意に低値であり ($p<0.05$)、CP, CF, NFE, NDF, ADF の含量、および NDF, ADF の消化率も有意に低値を示した ($P<0.05$)。NDF 消化率は乾物摂取量に影響を及ぼす一方で、*in vivo* の NDF 消化率は乾物摂取量の影響を強く受ける¹⁹⁾。そのため、本試験で認められた NDF 消化率と PMR 乾物摂取量の違いが、いずれに起因するものかは明らかではなかった。EE 成分含量と EE 消化率は有意に高値を示した ($p<0.05$)。TDN 含量は同程度であったが、EE を除く成分含量と繊維消化率はいずれも輸入区の方が優れ、さらに乾物摂取量も輸入区の方が多かったことから、自給区のエネルギー摂取量は輸入区より少なく、両区の体重に影響を与えた可能性がある。

3 産以上牛群の収益性を表 6 に示す。自給区は日乳量が多く、輸入区より乳代が高かった。また、自給区は給与 TDN 総量と TDN kg 単価が低かったため、飼料費は輸入区より 595 円/頭・日低く、収益は 782 円/頭・日高くなった。輸入飼料価格が高止まりしている中、自給粗飼料主体の飼料モデルは経費である飼料費を低減させるとともに、3 産以上牛群では AMS の利用性を向上させ、収益性を高めることが示唆された。

表4 粗飼料原料が異なる飼料モデルの給与が体重、飼料摂取量、搾乳特性に及ぼす影響^{1,2)}

項目	3産未満牛群(n=6)		3産以上牛群(n=8)	
	自給区	輸入区	自給区	輸入区
泌乳日数(日)	271 ± 127	285 ± 127	286 ± 78	300 ± 78
体重(kg)	682 ± 51 a	691 ± 51 b	675 ± 36 c	689 ± 48 d
総乾物摂取量(kgDM/日)	18.3 ± 4.5 c	26.3 ± 8.0 d	16.6 ± 4.9 c	22.7 ± 7.8 d
ロボット内配合飼料推定乾物摂取量(kgDM/日)	1.7 ± 0.1	1.8 ± 0.2	1.7 ± 0.1	1.6 ± 0.1
PMR 乾物摂取量(kgDM/日)	16.7 ± 4.5 c	24.5 ± 8.0 d	14.9 ± 4.9 c	21.1 ± 7.8 d
PMR 原物摂取量(kg/日)	39.9 ± 10.9	38.8 ± 12.8	35.7 ± 11.8	33.3 ± 12.2
搾乳特性				
搾乳回数(回/日)	2.7 ± 0.9	2.7 ± 0.8	2.8 ± 0.9 d	2.4 ± 0.5 c
日乳量(kg/日)	34.1 ± 6.9	35.4 ± 6.5	30.5 ± 5.4 b	29.0 ± 6.0 a

注1) 平均±標準偏差

2) 泌乳日数を除く各項目をウィルコクソン符号付順位和検定(両側)で比較. 同産次牛群における各区分の異符号間に有意差あり(a,b: p<0.05, c,d: p<0.01)

表5 粗飼料原料が異なる飼料モデルの消化試験に基づく消化率および栄養価^{1,4)}

項目	自給区	輸入区
総乾物摂取量(DMkg)	18.9 ± 2.1 a	27.4 ± 4.2 b
消化率(%) ²⁾		
DM	66.5 ± 2.5	67.4 ± 1.8
CP	65.2 ± 2.6	66.3 ± 1.6
EE	76.1 ± 3.1 b	71.9 ± 2.3 a
CF	46.8 ± 4.5	51.7 ± 3.8
NFE	74.4 ± 2.2	74.4 ± 1.6
NDF	44.3 ± 4.3 a	51.5 ± 3.4 b
ADF	41.7 ± 4.2 a	48.3 ± 4.7 b
栄養価および成分(%)		
TDN ^{2,3)}	66.4 ± 2.5	66.5 ± 1.8
CP	12.9 ± 0.1 a	13.3 ± 0.1 b
EE	2.9 ± 0.0 b	2.2 ± 0.0 a
CF	17.0 ± 0.1 a	17.6 ± 0.1 b
NFE	60.4 ± 0.0 a	60.6 ± 0.0 b
NDF	36.0 ± 0.2 a	37.7 ± 0.1 b
ADF	20.3 ± 0.1 a	20.8 ± 0.1 b

注1) 消化試験対象牛6頭の平均±標準偏差

2) Index法による推定値

3) TDN(%) = 可消化CP(%) + 可消化EE(%) × 2.25 + 可消化CF(%) + 可消化NFE(%)

4) ウィルコクソン符号付順位和検定(両側). 各区分の異符号間に有意差あり(a,b: p<0.05)

表6 粗飼料原料が異なる飼料モデルの給与による収益性の評価(3産以上)

項目	自給区	輸入区
収益(A-B)(円/頭・日)	2360	1578
乳代(円/頭・日) ^{1,2)} (A)	3727	3539
日乳量(kg)	30.5	29.0
飼料費(円/頭・日) ³⁾ (B)	1366	1961
給与TDN総量(kg/頭・日) ⁴⁾	10.6	14.3

注1) 乳代=乳価×日乳量.

2) 乳価: 122円/kg(2024年次生乳農家販売価格の平均額).

3) 飼料費=各飼料原料の給与TDN量×TDNkg単価. TDNkg単価は、「飼料をめぐる情勢(データ版)2025年4月」および「農業物価統計調査2024年7月」より算出.

4) 給与TDN総量: 各飼料原料の給与TDN量(「日本標準飼料成分表2009年版」より算出)の総和.

試験2 ロボット内配合飼料量が収益性に及ぼす影響

ロボット内配合飼料量の違いが牛のBCS、乾物摂取量、搾乳特性、乳成分に及ぼす影響を表7に示す. 試験2では体重データを取得できず、解析から除外した. 全体としての総乾物摂取量に有意差は認められなかったが、ロボット内配合飼料の推定乾物摂取量は、2群とも配合多給区が多かった. 一方で、配合多給区はPMR乾物摂取量が2群とも有意に少なかった(p<0.05). 一般に、ロボット内配合飼料量が増えるとPMR摂取量は減少する⁵⁾. Schwankeらは、乾草割合が高い飼料設計において、ロボット内配合飼料が6.0kgDM時(低栄養PMR)と3.0kgDM時(高栄養PMR)を比較した結果、6.0kgDM時でPMR摂取量が少なかったと報告しており²¹⁾、サイレージ割合が高い本試験でも同様の結果が得られた.

搾乳回数は、配合多給区が2群とも濃PMR区より有意に多かった(p<0.05). これは、ロボット内配合飼料が多いことで、牛がAMSに訪問するモチベーションが向上し、搾乳回数が増加したものと推察された. 日乳量は2群とも配合多給区の方が多く、3産以上牛群では有意差がみられた(p<0.05). Dahlらは、搾乳回数の増加による乳量の増加効果は、プロラクチン分泌量の増加による乳腺細胞の分化促進によると報告している⁴⁾. また、Astutiらは、多回搾乳時に乳腺の血流量が増加し、産乳効率が向上したと報告しており¹⁾、本試験でも搾乳回数の増加により同様の影響が及んだ可能性がある. 3産未満牛群の産乳能力は発達途上にあることから²⁾、日乳量では3産以上牛群で差が生じやすかった可能性が考えられた. 乳成分は多くの項目で有意差はみられなかったが、3産未満牛群のDnM割合とDnFA割合で有意差がみられた(p<0.05). 北海道では、DnM割合>0.90%(全乳期)、PrFA割合<40%(泌乳中期以降)、DnFA割合>28%

表7 濃厚飼料の給与方法が異なる飼料モデルの給与がBCS、乾物摂取量、搾乳特性、乳成分に及ぼす影響^{1,2)}

項目	3産未満牛群(n=8)		3産以上牛群(n=4)	
	配合多給区	濃PMR区	配合多給区	濃PMR区
泌乳日数(日)	185 ± 107	206 ± 107	174 ± 41	195 ± 41
BCS	3.1 ± 0.2	3.1 ± 0.2	2.8 ± 0.2	2.8 ± 0.1
総乾物摂取量(kgDM/日)	23.8 ± 6.7	24.5 ± 8.7	28.4 ± 8.1	28.1 ± 7.6
ロボット内配合飼料推定乾物摂取量(kgDM/日)	5.6 ± 0.9 d	2.7 ± 0.0 c	6.6 ± 0.7 d	2.7 ± 0.1 c
PMR 乾物摂取量(kgDM/日)	18.2 ± 6.2 c	21.8 ± 8.7 d	21.7 ± 8.3 a	25.4 ± 7.7 b
PMR 原物摂取量(kg/日)	45.9 ± 15.9 c	53.6 ± 21.3 d	54.6 ± 20.5	62.5 ± 18.8
搾乳特性				
搾乳回数(回/日)	4.0 ± 0.6 b	3.7 ± 0.7 a	3.6 ± 0.7 b	3.1 ± 0.6 a
日乳量(kg/日)	35.6 ± 3.0	35.1 ± 3.6	39.9 ± 6.4 d	35.9 ± 5.6 c
乳成分				
乳脂率(%)	3.8 ± 0.4	3.8 ± 0.4	3.7 ± 0.3	4.0 ± 0.5
乳蛋白質率(%)	3.3 ± 0.3	3.3 ± 0.3	3.2 ± 0.3	3.3 ± 0.3
P/F比	0.87 ± 0.10	0.87 ± 0.05	0.87 ± 0.07	0.83 ± 0.06
無脂固形分率(%)	8.9 ± 0.2	8.9 ± 0.2	8.7 ± 0.3	8.8 ± 0.3
乳糖率(%)	4.7 ± 0.1	4.7 ± 0.1	4.7 ± 0.1	4.6 ± 0.1
MUN(mg/dL)	7.4 ± 2.2	7.8 ± 1.4	6.8 ± 1.2	8.9 ± 1.2
BHB(mmol/L)	0.10 ± 0.03	0.11 ± 0.05	0.06 ± 0.03	0.07 ± 0.02
DnM(%)	0.95 ± 0.13 a	1.04 ± 0.15 b	1.00 ± 0.09	1.17 ± 0.16
FFA(mmol/100gFAT)	2.68 ± 1.17	2.20 ± 1.33	2.24 ± 0.79	1.43 ± 0.51
PrFA(%)	32.1 ± 3.5	31.2 ± 2.0	29.5 ± 0.4	30.1 ± 1.3
DnFA(%)	26.5 ± 2.5 a	28.8 ± 1.3 b	28.6 ± 1.0	30.3 ± 0.7

注1) 平均±標準偏差

2) 泌乳日数を除く各項目をウィルコクソン符号付順位と検定(両側)で比較. 同産次牛群における各区分の異符号間に有意差あり(a,b: p<0.05, c,d: p<0.01)

(泌乳中期以降)が乳牛の適切な栄養状態の指標として示されている²²⁾. 今回, DnM 割合はどの群も 0.90 を超えていた一方, 配合多給区の3産未満牛群は DnFA 割合が 26.5%であった. これには, PMR 乾物摂取量が濃 PMR 区より少なかったことや, 4回/日の搾乳に伴う配合飼料の頻回採食による第一胃発酵への影響が考えられた.

配合多給区と濃 PMR 区の乾物消化率, 成分消化率, 栄養価および成分含量を表 8 に示す. 総乾物摂取量に有意差は認められなかった. 配合多給区は濃 PMR 区に比べ, DM と ADF の消化率が大きく (p<0.05), TDN と EE 含量も有意に高値であった (p<0.05). 配合飼料は通常, 消化率を高めるために加熱圧べん処理が施されている¹⁰⁾. このため, 配合多給区の方が濃 PMR 区より実際の消化率と栄養価が高かったと推察された.

3産以上牛群の収益性を表 9 に示す. 配合多給区は乳代が高く, 給与 TDN 総量と飼料費が濃 PMR 区より低かったことから, 収益は 677 円/頭・日高くなった.

以上の結果から, 自給粗飼料主体モデルにおいて, ロボット内配合飼料を多給する場合, 3産以上牛群では AMS の利用性を向上させ, 産乳性や収益性を高める可能性が示唆された.

表8 濃厚飼料の給与方法が異なる飼料モデルの消化試験に基づく消化率, 栄養価および成分^{1,4)}

項目	配合多給区	濃PMR区
総乾物摂取量(DMkg)	22.9 ± 7.6	23.2 ± 8.8
消化率(%) ²⁾		
DM	71.0 ± 2.6 b	68.8 ± 3.4 a
CP	69.1 ± 2.7	68.7 ± 3.9
EE	80.6 ± 2.7	80.9 ± 2.0
CF	54.9 ± 2.2	51.7 ± 6.2
NFE	78.5 ± 2.7	77.0 ± 2.8
NDF	54.2 ± 2.7	53.9 ± 5.2
ADF	50.9 ± 5.7 b	46.2 ± 5.3 a
栄養価および成分(%)		
TDN ^{2,3)}	71.2 ± 2.7 b	69.1 ± 3.2 a
CP	13.7 ± 0.6	13.4 ± 0.4
EE	3.0 ± 0.1 b	2.8 ± 0.1 a
CF	17.9 ± 1.2	18.5 ± 0.8
NFE	59.2 ± 0.7	58.8 ± 0.4
NDF	37.8 ± 1.9	38.8 ± 1.1
ADF	22.8 ± 1.1	21.7 ± 0.8

注1) 消化試験対象牛5頭の平均±標準偏差

2) Index法による推定値

3) TDN(%) = 可消化CP(%) + 可消化EE(%) × 2.25 + 可消化CF(%) + 可消化NFE(%)

4) ウィルコクソン符号付順位と検定(両側). 各区分の異符号間に有意差あり(a,b: p<0.05)

表9 濃厚飼料の給与方法が異なる飼料モデルの給与による収益性の評価 (3産以上)

項目	配合多給区	濃PMR区
収益 (A-B) (円/頭・日)	2528	1851
乳代 (円/頭・日) ^{1,2)} (A)	4870	4377
日乳量 (kg)	39.9	35.9
飼料費 (円/頭・日) ³⁾ (B)	2342	2526
給与TDN総量 (kg/頭・日) ⁴⁾	17.8	19.7

注1) 乳代=乳価×日乳量.

2) 乳価: 122円/kg (2024年次生乳農家販売価格の平均額).

3) 飼料費=各飼料原料の給与TDN量×TDNkg単価.

TDNkg単価は, 「飼料をめぐる情勢(データ版)2025年4月」および「農業物価統計調査2024年7月」より算出.

4) 給与TDN総量: 各飼料原料の給与TDN量(「日本標準飼料成分表2009年版」より算出)の総和.

試験3 飼料のCP水準が収益性に及ぼす影響の検討

CP水準が牛の体重やBCS, 乾物摂取量, 搾乳特性, 乳成分, 血液成分に及ぼす影響を表10に示す. 体重, PMR乾物摂取量, 総乾物摂取量は3産未満牛群で低CP区が高CP区よりも有意に低値であった(p<0.05). ロボット内配合飼料の推定乾物摂取量は3産以上牛群で低CP区が高CP区より有意に低値を示した(p<0.05). 乳成分については, 乳蛋白質率は3産未満牛群では低CP区が高CP区に比べ, 有意に高かったが(p<0.05), 3産以上牛群では有意に低かった(p<0.05). 乳脂率, 無脂固形分率, DnM割合は3産以上牛群で低CP区が高CP区より有意に低かったが(p<0.05), FFAとPrFA割合は有意に

表10 CP水準が異なる飼料モデルの給与が体重やBCS, 乾物摂取量, 搾乳特性, 乳成分, 血液成分に及ぼす影響^{1,2)}

項目	3産未満牛群(n=10)		3産以上牛群(n=6)	
	低CP区	高CP区	低CP区	高CP区
泌乳日数(日)	238 ± 131	252 ± 131	292 ± 121	306 ± 121
体重(kg)	681 ± 61 c	686 ± 66 d	736 ± 44	738 ± 48
BCS	3.3 ± 0.4	3.4 ± 0.3	3.1 ± 0.5	3.3 ± 0.4
総乾物摂取量(kgDM/日)	27.4 ± 8.2 a	28.8 ± 8.0 b	27.8 ± 8.6	27.6 ± 7.0
ロボット内配合飼料推定乾物摂取量(kgDM/日)	5.5 ± 1.7	5.7 ± 1.6	4.8 ± 1.2 a	5.0 ± 0.9 b
PMR乾物摂取量(kgDM/日)	21.5 ± 7.6 a	22.7 ± 7.6 b	23.0 ± 8.7	22.6 ± 6.8
PMR原物摂取量(kg/日)	52.6 ± 18.7	54.3 ± 18.1	56.3 ± 21.0	53.9 ± 16.3
搾乳特性				
搾乳回数(回/日)	3.6 ± 0.9	3.6 ± 0.9	3.0 ± 0.8	2.9 ± 0.7
日乳量(kg/日)	36.6 ± 5.5	36.3 ± 5.5	31.3 ± 7.3	31.1 ± 7.2
乳成分				
乳脂率(%)	3.9 ± 0.5	3.9 ± 0.4	4.1 ± 0.6 a	4.6 ± 0.6 b
乳蛋白質率(%)	3.6 ± 0.3 b	3.5 ± 0.2 a	3.5 ± 0.2 c	3.9 ± 0.3 d
P/F比	0.94 ± 0.10	0.89 ± 0.09	0.88 ± 0.12	0.86 ± 0.08
無脂固形分率(%)	9.1 ± 0.3	9.0 ± 0.3	9.0 ± 0.3 a	9.4 ± 0.3 b
乳糖率(%)	4.6 ± 0.1	4.6 ± 0.1	4.6 ± 0.1	4.6 ± 0.1
MUN(mg/dL)	12.1 ± 0.9 c	15.7 ± 2.6 d	12.4 ± 1.1 c	16.3 ± 1.6 d
BHB(mmol/L)	0.08 ± 0.03	0.10 ± 0.03	0.08 ± 0.04	0.07 ± 0.02
DnM(%)	1.07 ± 0.15	1.06 ± 0.14	1.11 ± 0.15 a	1.29 ± 0.17 b
FFA(mmol/100gFAT)	2.16 ± 0.97	1.65 ± 1.14	1.74 ± 0.89 b	1.23 ± 0.47 a
PrFA(%)	30.8 ± 1.6	31.6 ± 2.1	31.2 ± 3.3 b	29.0 ± 1.4 a
DnFA(%)	28.9 ± 0.8	28.3 ± 1.4	28.7 ± 1.5	29.5 ± 1.3
血液成分				
T-Cho(mg/dL)	161 ± 27	161 ± 26	136 ± 42	140 ± 48
血糖(mg/dL)	66 ± 4.8	69 ± 6.5	67 ± 5.2 a	70 ± 6.1 b
TG(mg/dL)	5.6 ± 1.6	6.0 ± 1.5	5.0 ± 1.4	6.1 ± 2.0
TP(g/dL)	6.7 ± 0.4 b	6.5 ± 0.5 a	6.8 ± 0.3	6.6 ± 0.5
BUN(mg/dL)	11.3 ± 3.0 c	16.6 ± 2.3 d	11.4 ± 3.2 c	16.2 ± 1.8 d
GOT(AST)(IU/L)	75 ± 20	80 ± 20	67 ± 9 c	75 ± 13 d
GGT(IU/L)	36 ± 6.9	36 ± 6.5	38 ± 7.7	38 ± 7.8
Ca(mg/dL)	11.8 ± 0.7	11.7 ± 0.5	11.8 ± 0.3	11.8 ± 0.6
iP(mg/dL)	5.9 ± 0.9	6.3 ± 0.9	5.7 ± 0.8	6.0 ± 1.0
Mg(mg/dL)	2.2 ± 0.2	2.2 ± 0.3	2.1 ± 0.2	2.0 ± 0.4
NEFA(mEq/L)	87 ± 67	96 ± 65	76 ± 54	77 ± 61
BHBA(mmol/L)	0.6 ± 0.2	0.7 ± 0.2	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.2

注1) 平均±標準偏差

2) 泌乳日数を除く各項目をウィルコクソン符号付順位と検定(両側)で比較. 同産次牛群における各区分の異符号間に有意差あり(a,b: p<0.05, c,d: p<0.01)

高かった ($p<0.05$)。MUN 濃度は 2 群とも低 CP 区が高 CP 区より有意に低かった ($P<0.05$)。血液成分については、TP は 3 産未満牛群で低 CP 区が高 CP 区より有意に高かった ($p<0.05$)。血糖値、GOT (AST) 濃度は 3 産以上牛群で低 CP 区が高 CP 区より有意に低かった ($p<0.05$)。BUN 濃度は 2 群とも低 CP 区が高 CP 区より有意に低かった ($p<0.05$)。これらの結果から、飼料中 CP 含量が 14.2~16.3% の範囲内では、搾乳回数と日乳量に大きな影響はないが、MUN 濃度と BUN 濃度に顕著な影響を及ぼし、特に 3 産以上牛群の乳成分と血液成分に影響があることがわかった。

低 CP 区と高 CP 区の乾物消化率、成分消化率、推定栄養価を表 11 に示す。総乾物摂取量に有意差は認められなかった。DM, CP, CF, NDF の消化率は、低 CP 区が高 CP 区より有意に低値であったが ($p<0.05$)、EE, NFE, ADF の消化率に有意差は認められなかった。CP と CF 含量は低 CP 区が高 CP 区に比べ、有意に低値であったが ($p<0.05$)、NFE と ADF 含量は有意に高値であった ($p<0.05$)。

3 産以上牛群の収益性を表 12 に示す。乳代が高く、飼料費も低かったことから、収益は低 CP 区が高 CP 区に比べ、184 円/頭・日高かった。3 産以上牛群では、低 CP 設計により飼料費を抑え、収益性を高める可能性が示唆された。

表 11 CP 水準が異なる飼料モデルの消化試験に基づく消化率および栄養価^{1,4)}

項目	低CP区	高CP区
総乾物摂取量 (DMkg)	31.7 ± 5.0	32.5 ± 4.7
消化率 (%) ²⁾		
DM	63.1 ± 5.0 a	64.3 ± 4.6 b
CP	58.3 ± 6.6 c	61.4 ± 5.8 d
EE	63.5 ± 8.4	64.3 ± 9.5
CF	52.1 ± 3.5 c	58.0 ± 5.0 d
NFE	70.8 ± 5.5	70.6 ± 5.3
NDF	49.5 ± 4.8 c	53.6 ± 4.5 d
ADF	51.6 ± 4.1	54.0 ± 4.7
栄養価および成分 (%)		
TDN ^{2,3)}	63.4 ± 5.0	64.0 ± 4.7
CP	13.4 ± 0.3 c	14.7 ± 0.7 d
EE	2.7 ± 0.0	2.9 ± 0.3
CF	18.0 ± 1.6 c	19.3 ± 0.8 d
NFE	59.2 ± 1.7 d	56.1 ± 0.5 c
NDF	38.5 ± 2.9	37.5 ± 1.2
ADF	23.9 ± 2.0 b	22.3 ± 0.6 a

注1) 消化試験対象牛6頭の平均±標準偏差

2) Index法による推定値

3) TDN (%) = 可消化CP (%) + 可消化EE (%) × 2.25 + 可消化CF (%) + 可消化NFE (%)

4) ウィルコクソン符号付順位と検定(両側)。各区分の異符号間に有意差あり(a,b $p<0.05$, c,d $p<0.01$)

表 12 CP 水準が異なる飼料モデルの給与による収益性の評価 (3 産以上)

項目	低CP区	高CP区
収益性 (A-B) (円/頭・日)	1648	1464
乳代 (円/頭・日) ^{1,2)} (A)	3820	3800
日乳量 (kg)	31.3	31.1
飼料費 (円/頭・日) ³⁾ (B)	2172	2336
給与TDN総量 (kg/頭・日) ⁴⁾	16.7	17.5

注1) 乳代 = 乳価 × 日乳量。

2) 乳価：122円/kg (2024年次生乳農家販売価格の平均額)。

3) 飼料費 = 各飼料原料の給与TDN量 × TDNkg単価。

TDNkg単価は、「飼料をめぐる情勢(データ版)2025年4月」および「農業物価統計調査2024年7月」より算出。

4) 給与TDN総量：各飼料原料の給与TDN量(「日本標準飼料成分表2009年版」より算出)の総和。

まとめ

本研究ではまず試験 1 として、自給粗飼料を主体とした飼料給与による収益性を検討した。その後、試験 1 の結果を踏まえ、自給粗飼料主体の飼料設計でロボット内配合飼料量の異なる給与方法(試験 2)、さらに自給粗飼料主体-ロボット内配合飼料多給で異なる CP 水準の飼料モデルを設定し(試験 3)、それぞれについて収益性や牛の健康に及ぼす影響を検討した。その結果、自給粗飼料を給与の主体とすることで、産乳に必要な乾物摂取量を維持しつつ、飼料費の低減が可能であると考えられた。また、PMR 中の濃厚飼料割合よりも、ロボット内配合飼料の給与量を重視する方が AMS の利用性を向上させ、牛群の収益性を向上させると考えられた。さらに、飼料全体の設計が CP 14.2% と 16.3% では、CP 設計値の低い方が飼料費を低減できる可能性があると考えられた。3 産未満牛群では泌乳期間中も産乳能力が発達段階にあるため、収益性は 3 産以上牛群がより安定していると思われる。以上より、AMS は自給粗飼料の活用による収益性向上に寄与すると思われ、搾乳作業の省力化を通じた自給粗飼料の増産にも貢献すると期待される。

引用文献

- 1) Astuti, A., Obitsu, T., Sugino, T., Taniguchi, K., Okita, M., and Kurokawa, Y. 2015. Milk production, plasma metabolite profiles and mammary arterial-venous differences of milk precursors in early lactation cows milked at different frequencies by an automatic milking system. *Animal Science Journal*, 86(5):499-507
- 2) Berry, D. P., and Downing, K. 2025. Relationship between cow parity and maternal parity on dairy cow lactation performance. *JDS Communications*, 6(4):544-547

- 3) 中央酪農会議 2024. 日本の酪農家が1万戸割れ酪農家の6割が赤字で、8割が経営環境の悪さを実感。生産コストの上昇と収入の減少の下、半数の酪農家が離農を検討。
<https://www.dairy.co.jp/20241202.pdf>
- 4) Dahl, G. E., Wallace, R. L., Shanks, R. D., and Lueking, D. 2004, Hot topic: Effects of frequent milking in early lactation on milk yield and udder health. *Journal of dairy science*, 87(4): 882-885
- 5) 泉賢一 2024. 搾乳ロボット内配合飼料の給与方法、家畜診療 71(11):651-659
- 6) 鹿児島県農政部畜産振興課・家畜防疫対策課 2025. かごしまの畜産 令和6年度版, 15-17
- 7) 水谷尚 2018. これから始める人のための代謝プロフィール試験講座 第3回 ボディーコンディションスコアとは①. *LIAJ News*, 168:2-5
- 8) 森田茂・富田翔美・野田頭昂寿・加藤万奈・干場信司・小宮道士・高橋圭二 2016. 双方向移動方式を採用した酪農場における配合飼料給与量と乳牛群の自動搾乳機への進入回数との関係, 日本家畜管理学会誌・応用動物行動学会誌 52(3):145-152
- 9) 森田茂・窪田明日香・相原光夫・日向貴久 2021. 搾乳ロボットを利用した酪農場での飼養管理(自動搾乳システム). 農産漁村文化協会編, 最新農業技術 畜産 vol.13, 農山漁村文化協会, 東京.7-34
- 10) 村上求 2020. 配合飼料とは何か. 獣医師のための飼料入門. 臨床獣医臨時増刊号, 38:48-54
- 11) 農畜産業振興機構 2025. 生乳農家販売価格.
<https://lin.alic.go.jp/alic/statis/dome/data2/OldDate/5051aD.xlsx>
- 12) 農業・食品産業技術総合研究機構編 2010. 日本標準飼料成分表(2009年版), 中央畜産会, 東京.52-93
- 13) 農業・食品産業技術総合研究機構編 2017. 農業・食品産業技術総合研究機構編 日本飼養標準・乳牛(2017年版).中央畜産会, 東京. 4-5,108-111,133-138
- 14) 農林水産省畜産局畜産振興課 2024. 乳用牛をめぐる情勢.
https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_katiku/attach/pdf/r6_nyuuyougyuu-12.pdf
- 15) 農林水産省畜産局飼料課, 消費・安全局畜産安全管理課 2025. 飼料をめぐる情勢(データ版)
https://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/lin/l_siryo/attach/pdf/index-1351.pdf
- 16) 農林水産省 大臣官房統計部経営・構造統計課 2024. 令和5年農作物価統計. https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&lid=000001439663&toukei=00500204&tstat=000001170266&tclass1=000001201980&tclass2=000001219400&cycle=7&year=20230&month=0&tclass3val=0&stat_infid=000040197033
- 17) 農林水産消費安全技術センター(FAMIC) 2025. 飼料分析基準.
[http://www.famic.go.jp/ffis/feed/bunseki/bunsekikijun/01_01\(general\)-04\(inorganic\).pdf](http://www.famic.go.jp/ffis/feed/bunseki/bunsekikijun/01_01(general)-04(inorganic).pdf)
- 18) 乳用牛群検定全国協議会 2018. 搾乳ロボットの基礎～繁殖編～ https://liaj.lin.gr.jp/wp-content/uploads/2024/01/robotto2_hanshoku.pdf
- 19) Oba, M., Allen, M. S. 1999. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 82(3): 589-96
- 20) 小櫃剛人 2020. ロボット搾乳群の栄養管理, 獣医師のための飼料入門. 臨床獣医臨時増刊号 38:105-108
- 21) Schwanke, A. J., Dancy, K. M., Didry, T., Penner, G. B. and DeVries, T. J. 2019. Effects of concentrate location on the behavior and production of dairy cows milked in a free-traffic automated milking system. *Journal of Dairy Science*, 102(11): 9827-9841
- 22) 田中義春 2022. あらたな乳からの情報を生かして管理する, 牧草と園芸 70(4):4-10
- 23) 寺田文典・岩崎和雄・田野良衛・針生程吉 1979. 反芻家畜における消化率測定のための内部指示物質としての酸不溶性灰分の利用, 畜産試験場研究報告 36:75-79

Improving Economic Returns in Automatic Milking System Herds through the Use of Homegrown Forages

Shun Iwasaki, Genki Yamasaki, Takuya Kodama, Daisaku Waki and Hiromi Nishi

Summary

This study evaluated the effects of feeding strategies based on homegrown forages on milk production, nutritional indicators, and economic performance in automated milking system (AMS) herds. In AMS, concentrate is fed within the robot, and a partial mixed ration (PMR) with adjusted nutrient value is provided in the barn. In the first trial, cows were assigned to two PMR treatments based on either homegrown or imported forages. The homegrown group showed significantly higher milking frequency and daily milk yield in cows of third or greater parity, resulting in greater profitability, despite lower dry matter intake. In the second trial, two homegrown forage-based strategies with similar nutritional value were compared: one with higher concentrate allocation in the AMS (High-Con) and the other with a higher concentrate proportion in the PMR (High-PMR). The High-Con group showed significantly greater daily milk yield in cows of third or greater parity and higher economic returns than the High-PMR group. In the third trial, crude protein (CP) levels (14.2% vs. 16.3%) were examined within the High-Con strategy. Although the differences in milk production were minimal, the lower-CP group achieved higher profitability. These findings suggest that feeding strategies based on homegrown forages, when combined with optimized concentrate allocation and appropriate CP levels, can improve production efficiency and profitability in AMS dairy herds.

Keywords : automatic milking system, homegrown forages, milk production performance, partial mixed ration, profitability