

13 ロボット搾乳体系を想定した多回搾乳による乳生産向上の可能性

畜産研究センター 家木一、畑野幹人

【緒言】

近年、愛媛県では酪農基盤の低下が著しく、直近10年間で酪農家戸数が約40%（平成24年149戸→令和3年91戸）⁸⁾、生乳生産量が約25%（平成23年40,815トン→令和2年30,431トン）⁹⁾、それぞれ減少している。また、愛媛県の酪農経営において、後継者が確保されている経営体数は全体の3割程度にとどまり（令和3年愛媛県畜産課調べ、未発表）、更なる生産力の低下が危惧される。

この課題の背景として、我々は、酪農経営の根幹をなす搾乳労務の実態に着目した。酪農経営にとって搾乳は、収益を得る上で欠かせない作業であると同時に、通年で朝・夕1日2回の従事を強いられる負担の大きい労務であるが、農林水産省が公表した「令和2年度畜産物生産費統計調査」¹⁰⁾によると、愛媛県の平均的規模にあたる搾乳牛30頭～50頭飼養では、搾乳牛1頭あたりの飼養に係る労働時間124.04時間のうち、搾乳作業は全体の約半分に当たる56.64時間を費やすとされ、酪農担い手の確保に向けて搾乳に係る労務負担の軽減が急務である。

この搾乳作業からの解放をなしえる新技術が、2000年代前半に国内で導入が始まった搾乳ロボットである。自動搾乳による従事者の負担軽減はもとより、1日3回以上の多回搾乳の実施による乳生産向上への期待から、北海道等の酪農主産地で導入が進む搾乳ロボットであるが、規模拡大の困難な中山間地酪農主体の地域では費用対効果への不安から普及が遅滞しており、愛媛県での導入事例も2件にとどまる（令和4年3月末現在）。

そこで本試験では、ロボット搾乳体系で行われる多回搾乳による収益向上効果を明らかにするため、搾乳回数が乳用牛での乳生産に及ぼす影響について、飼料給与の違いによる効果の差を交えて検証した。

【材料と方法】

(1) 供試動物と飼料給与

本試験は、表1に示す供試飼料により、基礎となるTMR（Total mixed ration）飼料に加えて搾乳回毎に配合飼料を給与するPMR（Partial mixed ration）方式で飼料給与を行う試験1と、粗飼料（スーダン乾草）および濃厚飼料（配合飼料と大豆粕）をそれぞれ搾乳回毎に分離給与する試験2を、それぞれ実施した。供試牛は、分娩後7か月以上が経過したホルスタイン種雌牛を各試験に4頭ずつ配置した。試験開始時における供試牛の分娩後日数および体重の平均値±標準偏差は、試験1が352±46日および677±15kg、試験2が301±65日および692±14kgであった。両試験とも、3回搾乳区（6時、16時および22時搾乳）と2回搾乳区（6時および16時搾乳）の2処理を設け、供試牛を2頭ずつ2群に分けて、予備期4日間・本期3日間を1試験期とするクロスオーバー法により行った。なお、試験開始前の3日間は供試飼料を給与する馴致期間とした。飼料の給与量は、試験開始直前の乳量、

表1 供試飼料

| 項目 | 試験1(PMR給与) | 試験2(分離給与) |
|------------------------|------------|-----------|
| 配合割合(% 乾物) | | |
| 搾乳牛用配合飼料 ¹⁾ | 32.4 | 31.9 |
| TMR ²⁾ | 67.6 | - |
| 大豆粕 | - | 8.0 |
| スーダン乾草 | - | 60.1 |
| 化学組成(% 乾物) | | |
| 粗タンパク質 | 15.4 | 15.1 |
| 粗脂肪 | 3.6 | 1.8 |
| 粗セーイ | 21.0 | 22.9 |
| TDN | 69.1 | 66.5 |

1) 養分含量(乾物中)は粗タンパク質19.3%、粗脂肪2.3%、粗セーイ9.1%、TDN 83.0%。

2) 飼料構成(乾物比)は搾乳牛用配合飼料18.4%、スーダン乾草34.6%、トウモロコシサイレージ14.5%、ケールジュース残さ11.2%およびビール粕21.8%。

TDN: 可消化養分総量

乳脂肪率および体重のデータを用い、日本飼養標準・乳牛⁷⁾に基づく体重の維持と乳生産に要する可消化養分総量 (TDN) 要求量の 100%相当量とした。供試牛の管理は、畜産研究センターの家畜飼養管理基準に準じてタイストールで繋養して行い、水および固形塩 (ソルトリック、共立製薬、東京) を自由摂取させた。

(2) 試料の採取と分析

本試験では、供試牛の乳量、乳成分および養分摂取量 (乾物、TDN、粗タンパク質) を、それぞれ試験本期間において定時に測定した。試験期間の搾乳はバケットミルクカーを用いて行い、乳量の測定と牛乳サンプルの採材は搾乳時に実施した。乳成分は赤外線自動分析計 (Milko Scan FT120, Foss Electric 社, Denmark) で分析し、搾乳回ごとの乳量による加重平均を求めて1日の乳成分値とした。

給与飼料と残飼のサンプルは、日量に応じて按分混合したものを1頭につき1点ずつ調整して分析に供し、一般成分を常法⁴⁾で分析した。養分摂取量は、本期中に計測した残飼量を給与量から差し引いて求めた。

(3) 統計処理

試験で得られたデータは、統計解析ソフト Statcel2 ((有) オーエムエス出版, 所沢市) を用い、搾乳回数を要因とする各処理の平均値の差を対応のある t 検定¹²⁾により解析した。また、2回搾乳区に対する3回搾乳区の乳量増加率について、試験1と試験2の平均値の差をシュエーデントの t 検定¹²⁾により解析した。

【結果】

(1) 乳量

1日あたりの平均乳量は (図1)、両試験とも3回搾乳区が2回搾乳区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。また、2回搾乳区に対する3回搾乳区の平均乳量増加率±標準偏差は、試験1の $9.3 \pm 4.9\%$ 増に対し、試験2では $4.9 \pm 1.6\%$ 増にとどまり、試験1の方が高い傾向を示した ($P = 0.098$)。

乳生産量を搾乳回で区分した時間帯別に比較すると (図2)、処理間の搾乳間隔が等しい6時~16時の乳生産量において両試験とも3回搾乳区が2回搾乳区よりも有意に高い値を示した ($P < 0.05$)。

(2) 乳成分

乳成分の1日あたり産生量、牛乳中含量および乳脂肪中遊離脂肪酸濃度を表2に示す。産生量は、両試験とも3回搾乳区で高い傾向を示し、試験1では乳

異符号間で処理による有意差あり (A,B : $P < 0.01$, a,b : $P < 0.05$)

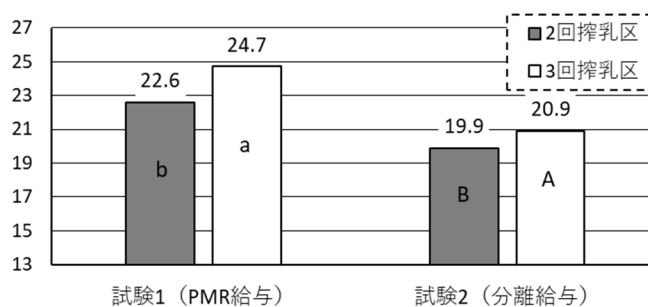


図1 平均乳量 (kg/日)

異符号間で処理による有意差あり (a,b : $P < 0.05$)

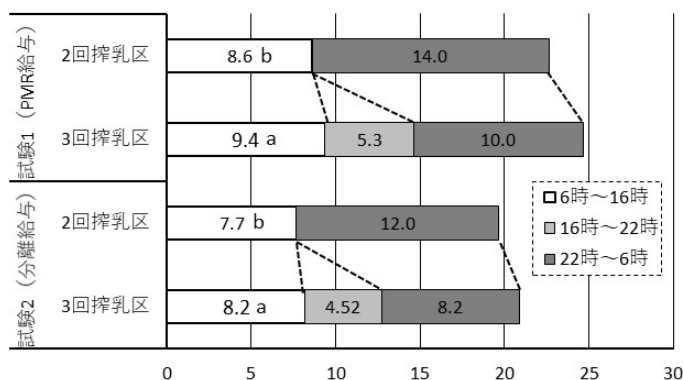


図2 時間帯別乳生産量 (kg)

糖と無脂固形分で、試験2ではすべての成分で、それぞれ有意差を認めた ($P < 0.05$)。一方、牛乳中含量では、両試験ともに乳タンパク質が3回搾乳区で有意に低かった ($P < 0.05$)。また、乳脂肪 100g 中の遊離脂肪酸 (FFA) 含量については、両試験とも処理間での有意な差を認めなかった。

表2 乳成分

| 項目 | 試験1 (PMR給与) | | 試験2 (分離給与) | |
|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | 3回搾乳 | 2回搾乳 | 3回搾乳 | 2回搾乳 |
| 乳成分量 (g/日) | | | | |
| タンパク質 | 857.3 | 792.1 | 710.9 ^A | 640.9 ^B |
| 脂肪 | 974.3 | 921.0 | 864.4 ^a | 801.4 ^b |
| 乳糖 | 1110.1 ^a | 983.9 ^b | 883.9 ^A | 768.2 ^B |
| 無脂固形分 | 2224.1 ^a | 2004.9 ^b | 1777.0 ^A | 1571.9 ^B |
| 乳成分率 (%) | | | | |
| タンパク質 | 3.49 ^B | 3.65 ^A | 3.61 ^b | 3.71 ^a |
| 脂肪 | 4.11 | 4.22 | 4.51 ^b | 4.62 ^a |
| 乳糖 | 4.54 | 4.53 | 4.48 ^a | 4.45 ^b |
| 無脂固形分 | 9.08 ^B | 9.23 ^A | 9.01 | 9.11 |
| 遊離脂肪酸 (mmol)※ | 0.95 | 0.98 | 0.87 | 0.66 |

異符号間に有意差あり (A, B: $P < 0.01$, a, b: $P < 0.05$)

※乳脂肪100g中含量

(3) 飼料摂取

飼料の摂取状況を表3に示す。TDNと粗タンパク質の摂取量は両試験ともに処理による差がなく、また両試験が同等の量であった。泌乳成績と摂取量から求めたTDN充足率については、乳量の増加を反映して3回搾乳区で有意に低かった ($P < 0.05$)。

表3 飼料摂取

| 項目 | 試験1 (PMR給与) | | 試験2 (分離給与) | |
|------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 3回搾乳区 | 2回搾乳区 | 3回搾乳区 | 2回搾乳区 |
| 摂取量 (kg/日) | | | | |
| 乾物 | 18.7 | 18.7 | 19.6 | 19.7 |
| TDN | 12.9 | 12.9 | 13.0 | 13.1 |
| 粗タンパク質 | 2.87 | 2.87 | 2.97 | 2.98 |
| TDN充足率 (%) | 97.0 ^b | 102.4 ^a | 106.5 ^b | 109.8 ^a |

異符号間に有意差あり (a, b: $P < 0.05$)

TDN: 可消化養分総量

【考察】

多回搾乳による乳量増加は一般に知られており⁵⁾、本試験の結果もこれを認めるものとなった。我々は当初、3回搾乳での乳量増加は夜間 (22時) 搾乳による乳房での貯乳量増大のためと考えていたが、時間帯ごとの乳量でみると、予想に反して処理間で搾乳間隔の等しい16時の乳量が3回搾乳区で高くなった。多回搾乳による乳量増加の要因については、搾乳刺激が増えたことによる乳腺細胞の分化促進³⁾や乳腺への血流量増加²⁾などの泌乳作用への影響が指摘されており、本試験の結果も搾乳回数の増加で牛の泌乳作用が活性化されたためと考えられる。

本試験における2回搾乳に対する3回搾乳での乳量増加は、PMR給与の方が分離給与よりも4.4ポイント高い値を示し、PMR給与の方が高い効果を得られる可能性が示唆された。一方、乾物、TDNおよび粗タンパク質の摂取量は、試験1と試験2が同等であった。養分摂取が等しいにも関わらず乳量増加効果に差が生じた理由について、試験2で給与した粗飼料 (スーダン乾草) は細断処理を施しておらず、TMRをベースとするPMR給与の試験1に比べて試験2では給与飼料の消化性が低いと推察され、この飼料消化を加味した供試牛における養分吸収の違いが3回搾乳による乳量増加効果の差に表れた可能性がある。

本試験と同様に2回搾乳と3回搾乳の乳量を比較した海外の知見¹⁴⁾では、3回搾乳での乳量増加率は6%から25%まで幅が広く、多回搾乳の効果への定量的な評価は定まっていない。また、わが国の2019年度牛群検定成績においても、多回搾乳を実施している搾乳ロボット導入農家での305日乳量の全国平均は2回搾乳に比べて+1,319kgであるが、地域別にみると北海道平均が+1,449kgに対し都道府県平均は+548kgであり⁵⁾、効果に開きがある。搾乳ロボット導入の費用対効果の検証にあたり、多回搾乳の効果に差を生む要因の解明が不可欠である。

乳成分への影響については、1日あたりの産生量としてみた場合にはすべての成分が3回搾乳区で高い傾向を示し、乳量と同様に多回搾乳による向上効果を認めた。他方、牛乳中含量としてみると、乳タンパク質率が両試験とも3回搾乳区で低下した。乳タンパク質率は飼料からのエネルギー摂取に影響を受けることが知られているが⁷⁾、飼料摂取によるTDN充足率は乳量が増加した3回搾乳区が2回搾乳区よりも低く、このエネルギー摂取の多寡が処理間での乳タンパク質率の差に表れたものと推察される。乳タンパク質率のモニタリングは、乳量増加でエネルギー要求量の高まる多回搾乳において重要といえる。

北海道において、多回搾乳を行う搾乳ロボット利用農家で、バルク乳におけるランシッド臭（脂肪分解臭）様の異常風味の発生事例が報告されている¹⁾。ランシッド臭は、乳脂肪を構成する脂肪酸が脂肪分解酵素の作用で遊離した乳脂肪中FFAに由来し、搾乳回数が多くなると増加することが知られている⁶⁾。本試験の3回搾乳区における乳脂肪100g中FFA含量の平均値は、試験1が0.98mmol、試験2が0.87mmolで、いずれもランシッド臭の閾値とされる2mmol¹¹⁾を下回り、2回搾乳区との有意差も認められなかった。青木ら¹⁾は4回以上の搾乳で乳脂肪中FFA濃度が高水準となるリスクが高まる可能性を指摘しており、本試験のような3回搾乳ではランシッド臭発生のリスクは低いと思われるが、ロボット搾乳の普及に向けて、搾乳回数と牛乳中遊離脂肪酸含量の関係性を明確にする必要がある。

試験1で算出された2回搾乳に対する3回搾乳での平均乳量増加率の約9%を基に、搾乳ロボット1台の対応頭数とされている搾乳牛60頭飼養の条件で、搾乳ロボット導入の費用対効果を試算してみる。まず収入に関しては、牛1頭当たりの平均年間乳量を10,000kg、乳価を115円/kgとして、多回搾乳による乳量9%の増加で年間6,210千円の増（≒乳量900kg増×乳価115円/kg×搾乳牛60頭）となる。一方、支出に関しては、横溝¹³⁾の事例報告を参考に、搾乳ロボットの減価償却費1,500千円（=ロボット価格30,000千円÷耐用年数20年）、ロボットのメーカーメンテナンス料とランニングコスト2,400千円/年およびロボット設置に係る牛舎改築の減価償却費500千円（=改築費用10,000千円÷耐用年数20年）として、年間4,400千円の増となる。これら収入と支出それぞれの増額分を差し引いて求めた費用対効果は年額1,810千円となり、搾乳作業の省力化と併せて十分な導入効果であると評価できよう。また、搾乳自動化で発生する余剰労力をもって、自給飼料の増産や6次産業化へのチャレンジなど更なる収益向上に向けた展開も可能となる。

以上の結果から、多回搾乳で乳生産は向上するが、飼料給与の違いにより効果に差が生じる可能性が示唆された。多額の投資を要する搾乳ロボットの導入にあたっては綿密な経営計画を立てる必要がある⁷⁾、搾乳ロボット体系で実施できる多回搾乳による収益向上効果の精緻な検証が不可欠である。今後、泌乳ステージの違いや養分供給レベルなど様々な条件下での多回搾乳の影響を明らかにする。

【引用文献】

- 1) 青木康浩, 片岡美幸, 上田靖子, 佐藤聡浩, 川目剛: 北海道畜産草地学会報, 6, 23~27(2018)
- 2) Atsuti, A., Obitsu, T., Sugino, T., Taniguchi, K., Okita, M., Kurokawa, Y.: Animal Science Journal 86, 499~507(2015)

- 3) Dahl, G. E., Wallance R. C., Shanks, R. D., Lueking, D. : Journal of Dairy Science 87, 882~885(2004)
- 4) 自給飼料品質評価研究会編：改定粗飼料の品質評価ガイドブック, 5~76, 東京, 社団法人日本草地種子協定(2001)
- 5) 森田茂, 窪田明日香, 相原光夫, 日向貴久：最新農業技術・畜産 Vol. 13, 7~34, 東京, 一般社団法人農山漁村文化協会(2021)
- 6) 中江利孝：乳・肉・卵の科学—特性と機能, 108~140, 川崎市, 弘学出版(1986)
- 7) 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), 126~128・200~208, 東京, 中央畜産会(2017)
- 8) 農林水産省. 2022. 畜産統計調査 [homepage on the internet]. 農林水産省, [Cited 2 May 2022] Available from URL: <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/>
- 9) 農林水産省. 2022. 牛乳乳製品統計調査 [homepage on the internet]. 農林水産省, [Cited 2 May 2022] Available from URL: <https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/gyunyu/>
- 10) 農林水産省. 2022. 畜産物生産費統計調査 (令和2年度) [homepage on the internet]. 農林水産省, [Cited 2 May 2022] Available from URL: https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_tikusan/index.html
- 11) 斎藤善一：日本畜産学会北海道支部会報, 29, 16~27(1987)
- 12) 柳井久江：4 Steps エクセル統計第2版, 75~93・95~104, 所沢市, オーエムエス出版(2004)
- 13) 横溝功：畜産の情報 (2020年7月号), 58~70(2020)
- 14) Wall, E. H., McFadden, T. B. : Journal of Animal Science 86, 27~36(2008)