

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23580369

研究課題名(和文)高乳量を持続する多回搾乳牛の乳腺組織と全身における代謝動態の解析

研究課題名(英文) Nutrient metabolism in mammary gland and whole body of high yielding dairy cows under frequent milking

研究代表者

小櫃 剛人 (Obitsu, Taketo)

広島大学・生物圏科学研究科・准教授

研究者番号：30194632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円、(間接経費) 1,260,000円

研究成果の概要(和文)：自動搾乳装置(搾乳ロボット)を用いた乳牛飼養では、1日に多回数の搾乳が行われ、乳生産量が増加するため、乳牛の必要栄養量が増加する。多回搾乳牛に適した栄養管理を行うために、搾乳ロボット飼養における多回搾乳下での乳牛の乳生産と栄養代謝の変化について検討した。いずれの泌乳期でも多回搾乳による乳量増加が認められ、それは乳腺組織の血流量の増加に起因していると考えられた。また、分娩2週目以降であれば乳量増加による過剰な体脂肪動員は起きないこと、さらに、分娩前に飼料増給を行っても多回搾乳時の栄養状態への影響は軽微であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Increasing milking frequency by automatic milking system is considered to improve milk production in dairy cows. However, the enhanced milk production may increase nutrient requirements and affect nutrient metabolism in mammary gland and whole body. The aim of this study was to investigate milk production and nutrient metabolism in cows under frequent milking by automatic milking system. Increasing daily milking frequency from 2 to 4 times enhanced milk production in cows at both early and middle to late lactation periods without an increase of feed intake. The increased milk production seemed to be caused by the increase of mammary blood flows. Increasing milking frequency did not seem to affect fat mobilization from day 20 postpartum onward. Increasing feeding levels before calving did not affect milk production in postpartum cows milked 4 times daily. These results indicate that frequent milking by automatic milking system increases the efficiency of milk production.

研究分野：家畜栄養学

科研費の分科・細目：畜産学・獣医学 畜産学・草地学

キーワード：高泌乳牛 搾乳ロボット 乳生産 乳腺組織 乳成分 アミノ酸 グルコース 搾乳方法

1. 研究開始当初の背景

わが国の酪農では1日2回の搾乳を行うことが一般的であるが、1日3回以上の多回搾乳を行うことによって乳量が15-20%増加することが知られている。国内での導入台数が増加しつつある搾乳ロボットを用いた場合では、牛が自発的に搾乳室に進入することによって1日に多回数の搾乳が行われ、乳生産量が増加する。このような多回搾乳下での乳量や乳成分の生産量増加に伴って、乳牛の個体レベルに必要な栄養量が増加すると考えられる。さらに、多回搾乳下で不適切な栄養管理を行うと、乳成分含量の低下、健康状態の悪化や代謝障害、繁殖成績の低下などの障害が生じる可能性がある。

多回搾乳による乳生産量の増加は、乳腺組織における局所的な調節によるものであると考えられている。すなわち、搾乳刺激によって内分泌反応や乳腺細胞の遺伝子発現が促進され、乳成分を合成する乳腺細胞の数や活性が増加することで、増乳効果が持続するとみられている。

前述したように、乳生産量の増加は、エネルギー必要量の増加を伴うと考えられるが、多回搾乳下では飼料摂取量が増加しなくても、乳量や乳成分生産量が増加することが多く報告されている。このことは、多回搾乳における乳腺組織での局所的な乳合成促進に対して、全身においても代謝調節がなされ、乳腺組織への栄養供給が増加することが予想される。しかし、搾乳回数の違いと栄養素代謝との関係やその調節機序については、不明な点が多い。多回搾乳牛に適した栄養管理を行うには、乳量増加に伴う体内での栄養代謝の変化について理解することが必要である。

2. 研究の目的

本研究では、搾乳ロボットによる自動搾乳下での搾乳回数の増加に伴う、乳成分前駆物質の乳腺組織での取り込み量や全身での代謝状況を明らかにすることで、多回搾乳に伴う代謝調節機構の一端を明らかにすることを目的に以下の実験を行った。

実験1では、泌乳初期乳牛の乳腺組織の栄養素の正味取り込みと全身の栄養状態に関して、自動搾乳における搾乳回数(2回と4回)の影響について検討した。

実験2では、泌乳中・後期牛を用いて、同様に搾乳回数の影響を検討した。

実験3では、多回搾乳下の泌乳初期乳牛における乳生産と乳腺組織代謝に対する、分娩前の栄養条件の影響について検討した。

3. 研究の方法

(1) 搾乳回数の違いが泌乳初期乳牛の乳生産と乳腺組織代謝に及ぼす影響(実験1)

泌乳牛12頭(初産牛4頭、経産牛8頭)を供試し、分娩後に2回搾乳区と4回搾乳区に分けた。分娩後の回復期(分娩後10-18日

まで)は個別にペンで飼育し搾乳パーラーで1日2回搾乳を行った。その後はフリーストール牛舎に移動させ、自動搾乳装置(搾乳ロボット)による搾乳を開始した。各牛にはTMR(推定TDN70%、CP14%、乾物中)を自由採食させ、搾乳ロボット内で配合飼料を3から7kg/日、給与した。分娩後50日まで試験に供試し、その間、飼料摂取量と乳生産量を記録するとともに、分娩後20、35、50日において尾動脈および腹皮下静脈(乳房静脈)から採血(14:00)し、血漿中生化学成分を測定した。また同日に乳サンプルを採取し、乳成分含量を測定した。得られた結果は、産次(初産と経産牛)、搾乳回数、分娩後日数ならびに搾乳回数と日数の交互作用を固定効果、牛個体を変量効果とする混合モデルとして解析した。

(2) 搾乳回数の違いが泌乳中・後期牛の乳生産と乳腺組織代謝に及ぼす影響(実験2)

多回搾乳の乳生産への影響は、泌乳初期に乳量増加効果が大きいといわれており、泌乳後期牛における影響に関する研究は少ない。そこで泌乳中・後期牛を用いて自動搾乳下での搾乳回数の違いが乳生産と乳腺組織代謝に及ぼす影響を検討した。

試験には泌乳中・後期の泌乳牛4頭(経産牛2頭と初産牛2頭)を用いた。泌乳回数を2回または4回とする処理区を設け、1期9日間とする反転試験を行った。試験牛にはTDN要求量を満たすようにTMRおよび搾乳ロボット内配合飼料を給与した。摂取飼料全体のTDN含量とCP含量はそれぞれ74%および16%であった。毎日の乳量と飼料摂取量を記録するとともに、各期末に乳成分値を測定した。また、尾動脈および腹皮下静脈を10:00と15:00に採取し、血漿代謝物濃度の乳腺組織における動静脈差を測定した。得られた結果は、搾乳回数と期を固定効果、牛個体を変量効果とする混合モデルとして解析した。

(3) 分娩前栄養水準の違いが多回搾乳下の乳生産と乳腺組織代謝に及ぼす影響(実験3)

多回搾乳によって泌乳初期の乳生産量が増加するため、泌乳初期の負のエネルギーバランスが助長される恐れがある。そこで、分娩前の栄養水準を高めることが、分娩後の栄養状態、乳生産、乳腺組織での栄養代謝に及ぼす影響を検討した。

乾乳牛8頭を用い、分娩前8週から4週までは乾乳牛に必要なTDN量を給与した。分娩3週間前から分娩まで、乾乳牛のTDN要求量に対して1倍および1.2倍量を給与する2群に4頭ずつ分け、個別飼育した。分娩後の回復期(1日2回搾乳)の後、フリーストール牛舎に移し、搾乳回数を1日4回とする自動搾乳を開始した。回復期ではTMR(推定TDN70%、CP14%、乾物中)と配合飼料を徐々に増給した。フリーストール移行後はTMRを自由摂取させ、搾乳ロボット内で配合飼料を4から7kg/日、

給与した。分娩後から 42 日目まで乳生産成績と飼料摂取量を記録した。また分娩後 7 週目まで 1 週間おきに乳サンプルおよび血液サンプル(尾動脈および腹皮下静脈)を採取した。得られた結果は、分娩日によって供試牛を 3 つのブロックに分け、ブロックおよび分娩前給与水準を固定効果とし、経日的な反復測定として解析した。

4. 研究成果

(1) 搾乳回数の違いが泌乳初期乳牛の乳生産と乳腺組織代謝に及ぼす影響(実験 1)

自動搾乳装置の設定を調節することによって、試験期間を通じた実際の搾乳回数は、2 回搾乳区で 2.02 回/日、4 回搾乳区で 3.95 回/日となり、計画通りに搾乳回数を設定することができた。

分娩から 14-20 日、28-34 日および 42-48 日後での乳量と飼料摂取量の平均値を表 1 に示した。これら 3 期間の平均値では、4 回搾乳区は 2 回搾乳区より 25%程、乳生産量が多かった($P<0.001$)。乳成分率には違いはなかったが、乳タンパクと乳糖の生産量は 4 回搾乳区の方が多かった($P<0.001$)。乳脂肪生産量も 4 回搾乳区の方が多量傾向にあった($P=0.07$)。乾物および推定 TDN 摂取量は、有意な違いはなかったが、4 回搾乳区の方が数値の上では多かった。体重変化やボディコンディションスコアにも搾乳回数の影響は認められなかった。

表 1. 搾乳回数の違いが乳生産に及ぼす影響(実験 1)

項目	分娩後日数 ¹			SEM
	20 日	35 日	50 日	
乳量(kg/日) ^{ab}				
2 回搾乳	31.1	34.9	36.8	1.31
4 回搾乳	40.3	46.7	49.1	
乾物摂取量(kg/日) ^b				
2 回搾乳	18.5	22.0	22.1	1.24
4 回搾乳	20.4	22.7	24.9	

¹ 20 日: 14-20 日の平均値、35 日: 28-34 日の平均値、50 日: 42-48 日の平均値。

^a 搾乳回数の効果($P<0.05$)。

^b 日数の効果($P<0.05$)。

動脈血漿中の代謝物のうち、グルコースとグルタミン酸の濃度は 4 回搾乳区の方が低かった(表 2、 $P<0.05$)。これは、乳糖および乳タンパク質の生産量が 4 回搾乳区で多かったことから、これらの前駆体である血漿のグルコースとグルタミン酸の濃度が低下したものと推察した。グルタミン酸濃度の低下は、乳タンパク質の前駆体としての利用が増加したためと考えられるが、糖新生の材料としての利用が増加した可能性もある。一方、体脂肪の動員の指標となる遊離脂肪酸(NEFA)やケトン体の動脈血漿濃度には、搾乳回数の影響は認められず、分娩後日数の進行に伴い両区とも同様に低下した($P<0.05$)。このことから、分娩後 20 日以降であれば、搾乳回数

の増加に伴う乳量の増加によって、体組織からの脂肪の動員が必ずしも助長されるわけではないことが示唆された。

表 2. 搾乳回数の違いが動脈血漿代謝物濃度に及ぼす影響(実験 1)

項目	分娩後日数 ¹			SEM
	20 日	35 日	50 日	
グルコース(mmol/L) ^{ac}				
2 回搾乳	3.38	3.35	3.59	0.124
4 回搾乳	2.81	3.04	3.40	
トリグリセリド($\mu\text{mol/L}$) ^b				
2 回搾乳	87.9	84.7	80.5	8.24
4 回搾乳	64.4	72.3	74.2	
遊離脂肪酸(mmol/L) ^c				
2 回搾乳	0.68	0.30	0.32	0.099
4 回搾乳	0.42	0.30	0.20	
ケトン体(mmol/L) ^c				
2 回搾乳	0.86	0.74	0.72	0.130
4 回搾乳	1.14	1.12	0.69	
グルタミン酸($\mu\text{mol/L}$) ^a				
2 回搾乳	47.6	48.2	40.1	3.03
4 回搾乳	41.2	36.5	32.6	

^a 搾乳回数の効果($P<0.05$)。 ^b 搾乳回数の効果 ($P<0.15$)。

^c 日数の効果($P<0.05$)。

血漿代謝物の動脈濃度と乳房静脈濃度との濃度差は、乳腺組織への乳成分前駆体の取り込み程度の指標となる。グルコース、トリグリセリド、酢酸、ケトン体、アミノ酸など、乳成分の前駆体の動脈差には搾乳回数による影響は認められなかった。4 回搾乳による乳量や乳成分量の増加は、前駆体の動脈差よりも乳腺組織の血流量の増加が関与していると考えられた。

乳腺組織でのタンパク質合成に対して不足する必須アミノ酸ほど、乳腺組織での取り込み率(動脈差/動脈濃度)が高くなることが指摘されている。本研究で、2 回搾乳区ではリジンの取り込み率が最も高かったが、4 回搾乳区では 35 日以降、メチオニンの取り込み率が最も高かった(表 3)。多回搾乳による乳タンパク質生産量の増加によって乳タンパク質合成の制限アミノ酸が変化するのかもしれない。

表 3. 搾乳回数の違いが乳腺組織でのアミノ酸の取り込み率(%)に及ぼす影響(実験 1)

項目	分娩後日数 ¹			SEM
	20 日	35 日	50 日	
メチオニン				
2 回搾乳	66.7	66.2	62.0	7.68
4 回搾乳	73.2	73.5	69.0	
リジン ^{ab}				
2 回搾乳	76.0	74.3	72.5	3.34
4 回搾乳	74.5	68.0	60.6	

アミノ酸取り込み率(%) = (動脈血漿中濃度 / 乳房静脈血漿中濃度) / 動脈血漿中濃度 $\times 100$ 。

^a 搾乳回数の効果($P<0.10$)。 ^b 日数の効果($P<0.05$)。

動脈血漿中の代謝関連ホルモン濃度に関しては、インスリン、IGF-1、成長ホルモン、プロラクチンいずれも搾乳回数による影響は認められなかった。

以上のように、本実験では、分娩後 20 日から 50 日にかけて、自動搾乳装置による 4 回搾乳では、2 回搾乳に比べて乳量と乳成分が増加することが確認された。この乳生産量の増加は、飼料摂取量のわずかな増加を反映しているようであったが、乳量増加によって体脂肪の動員が助長されるような傾向は認められなかった。また、乳成分量の増加は、前駆体成分の動脈濃度よりも血流量による影響が大きいことが示唆された。

(2) 搾乳回数の違いが泌乳中・後期牛の乳生産と乳腺組織代謝に及ぼす影響 (実験 2)

乳生産量は 4 回搾乳区の方が 2 回搾乳区に比べて約 4 kg (11%) 多かった ($P < 0.05$, 表 4)。乳脂率と乳タンパク率は 2 回搾乳区の方が高い傾向にあったが ($P = 0.06$ および $P = 0.04$)、乳糖率には搾乳回数による違いはなかった。乳タンパク質と乳糖の生産量はいずれも 4 回搾乳区の方が多かった ($P < 0.05$)。泌乳中・後期においても、搾乳回数を増加することによって乳生産量が増加することが確認できた。

TMR 摂取量は 4 回搾乳区の方が多かったが ($P < 0.05$)、その違いは大きなものではなかった。また、総乾物摂取量は 2 回搾乳区の方が高い傾向にあった ($P = 0.07$, 表 4)。そのため、TDN (推定) および粗タンパク質 (実測) の摂取量は、2 回搾乳区で 17.3 および 3.90 kg/日、4 回搾乳区で 17.0 および 3.81 kg/日、いずれも 2 回搾乳区がわずかに多かった ($P < 0.05$)。体重には搾乳回数間で差はなかったが、試験期間中での体重変化では、2 回搾乳区で増加したのに対して、4 回搾乳区では減少した。

表 4. 泌乳中後期での搾乳回数の違いが乳生産成績に及ぼす影響 (実験 2)

項目	2 回搾乳	4 回搾乳	SEM	P 値
乳生産量 (kg/日)	33.6	37.4	1.08	0.019
乳成分率 (%)				
乳脂率	4.08	3.89	0.116	0.059
乳タンパク率	3.38	3.32	0.069	0.041
乳糖率	4.47	4.49	0.028	0.544
乳成分量 (kg/日)				
乳脂肪	1.37	1.45	0.030	0.108
乳タンパク	1.14	1.24	0.050	0.033
乳糖	1.50	1.68	0.053	0.008
乾物摂取量, kg/日	23.4	23.1	0.64	0.066

血漿中の生化学成分濃度は正常値の範囲内であり、NEFA 濃度には処理間の違いはなかったが、ケトン体については 4 回搾乳区の方が 2 回搾乳区に比べて高値を示した ($P < 0.05$)。他の成分では搾乳回数による違いは認めら

れなかった。搾乳回数の増加による乳量の増加によって、体脂肪の動員によるケトン体濃度の上昇と体重減少がみられたのかもしれない。

動脈濃度を反映して、BHBA でのみ動脈と乳房静脈の濃度差が 4 回搾乳区で大きい傾向にあった ($P = 0.06$)。乳腺組織での取り込み率には、いずれの成分にも搾乳回数による影響は認められなかった。

アミノ酸の動脈血漿中濃度は、搾乳回数による影響は明確でなかった。アミノ酸取り込み率については、メチオニン、リジン、アルギニン、グルタミン酸、グルタミンの取り込み率が 4 回搾乳区で高い傾向がみられた ($P < 0.10$)。

以上のように、泌乳中・後期でも搾乳回数の増加によって乳生産量が増加することが確認された。飼料の制限給与下では、搾乳回数の増加による乳生産量の増加によって、体脂肪の動員が増加する可能性がある。そのため、多回搾乳は泌乳後期での過度の体重増加を抑える効果があるかもしれない。

表 5. 泌乳中後期での搾乳回数の違い(2 回と 4 回)が動脈血漿代謝物濃度に及ぼす影響 (実験 2)

項目	10:00		15:00		SEM
	2 回	4 回	2 回	4 回	
動脈血漿中濃度					
グルコース (mg/dL)	59.6	60.4	58.5	55.8	1.67
TG (mg/dL)	7.30	7.93	9.08	8.18	0.963
遊離脂肪酸 (mmol/L)	0.13	0.14	0.14	0.14	0.016
ケトン体 (mmol/L) ^a	0.37	0.59	0.74	0.92	0.087
動静脈差					
グルコース (mg/dL)	14.8	16.3	14.8	15.0	2.32
TG (mg/dL)	3.93	4.52	5.58	4.90	1.05
ケトン体 (mmol/L) ^b	0.18	0.27	0.33	0.39	0.045

10:00 と 15:00 に採血。

動静脈差 = 動脈血漿中濃度 - 乳房静脈血漿中濃度。

^a 搾乳回数の効果 ($P < 0.05$)。 ^b 搾乳回数の効果 ($P < 0.10$)。

(3) 分娩前栄養水準の違いが多回搾乳下の乳生産と乳腺組織代謝に及ぼす影響 (実験 3)

実験 1 では、泌乳初期での搾乳回数の増加によって乳量と乳成分量が増加した際、体脂肪動員の増加を示す血漿代謝像は得られなかったが、乳量増加に伴い負のエネルギーバランスの状態が助長されていた。そこで実験 3 では、多回搾乳牛の分娩後の栄養状態を改善することを目的に、分娩前に飼料を増給することが、泌乳初期での多回搾乳による乳生産に及ぼす影響を検討した。分娩前 3 週から分娩までの乾物摂取量は、飼料を増給した高水準区の方が多かった。両区とも、分娩後 2 週間以内に自動搾乳装置での 4 回搾乳を開始したが、分娩後の飼料摂取量、乳量および乳成分率に

は、分娩前の飼料給与水準の影響は認められなかった。しかし、高水準区では多回搾乳開始後に乳量が増加する傾向がみられた (図 1)。

血漿生化学成分の動脈濃度および乳腺組織での動静脈差には群間に有意な違いはなかったが、分娩7日目での血漿 NEFA 濃度が高水準区で高い傾向にあった。以上のことから、乾乳後期で飼料増給にしても、多回搾乳牛の乳生産への影響は軽微であることが示唆された。

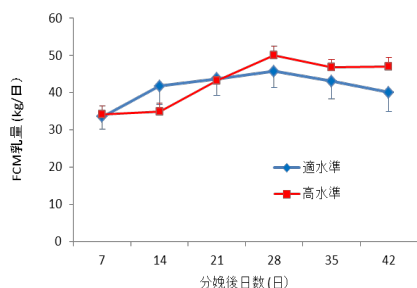


図1. 分娩後のFCM生産量に及ぼす分娩前飼料給与水準の影響。適水準:乾乳牛のTDN要求量の1.0倍給与。高水準:分娩3週間前からTDN要求量の1.2倍給与。両区とも分娩2週目から4回搾乳を開始。FCM:4%脂肪補正乳量。適水準区では28、35日目、高水準では28、35、42日目で7日目に比べて有意に増加($P<0.05$)。

(4) まとめと展望

実験1と2の結果より、自動搾乳下での搾乳回数を2回から4回にすることで、乳期にかかわらず、乳生産量が増加することが確認できた。搾乳回数の増加による乳生産量の増加は、それにみあう飼料摂取量の増加を必ずしも伴わなかった。それにもかかわらず、体脂肪の動員の指標となる血漿 NEFA 濃度の顕著な増加は認められず、搾乳回数の増加によって乳生産効率が高まることが示唆された。この乳生産の増加は、乳腺組織での乳前駆体血漿濃度の動静脈差では説明できなかったことから、血流量の増加による前駆体取り込み量の増加あるいは、乳腺組織内での乳成分合成効率の増加が、搾乳回数の増加による乳量増加に関与していることが伺えた。

現在、国内で普及しつつある自動搾乳装置では、搾乳装置内での濃厚飼料給与量が乳量に応じて調節されるシステムが採用されている。泌乳中後期では、この濃厚飼料補給量を調節することによって、泌乳後期で見られる過剰な体重増加を抑えることができるかもしれない。また、泌乳初期では、分娩後日数によって搾乳装置内の濃厚飼料給与量を増加させる方法がとられている。分娩後の乳生産量の増加程度によっては、泌乳初期での負のエネルギーバランスが助長される可能性があるが、分娩2週目以降に自動搾乳を開始することによって、乳生産効率の高い生産を達成することが可能であると考えられた。今後は、繁殖成績や乳房炎発症などの健康面への影響も含めて、乳期全体での生産性や生涯生産性などに関する検討が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

小櫃剛人・佐々木理沙・杉野利久・谷口幸三. 泌乳中後期における搾乳回数の変更が乳生産に及ぼす影響. 広大 FSC 報告. 10: 1-8. 2012. (査読無)

〔学会発表〕(計2件)

Andriyani Astuti, Obitsu T, Sugino T, Taniguchi K, Kurokawa Y, Okita M, Tanaka A. Effect of milking frequency on plasma profile and mammary uptake of metabolites in early lactation cows under automatic milking system. 第63回関西畜産学会. 2013年9月5日. 滋賀県立大学(彦根市).

小櫃剛人, 佐々木理沙, Andriyani Astuti, 杉野利久, 谷口幸三, 沖田美紀, 黒川勇三. 多回搾乳が泌乳初期乳牛の乳生産と乳腺組織の栄養素取り込みに及ぼす影響. 日本畜産学会第115回大会. 2012年3月29日. 名古屋大学(名古屋市).

〔その他〕

ホームページ

<http://home.hiroshima-u.ac.jp/shiyou/index.shtml>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小櫃 剛人 (OBITSU, Taketo)
 広島大学・大学院生物圏科学研究科・准教授
 研究者番号: 30194632

(2) 研究分担者

杉野 利久 (SUGINO, Toshihisa)
 広島大学・大学院生物圏科学研究科・助教
 研究者番号: 90363035

黒川 勇三 (KUROKAWA, Yuzo)
 広島大学・大学院生物圏科学研究科・准教授
 研究者番号: 00234592