

原 著

舎飼い飼養から放牧飼養への移行時期における牛乳成分の変動

三谷 朋弘¹・佐藤 悠二²・上田宏一郎²・高橋 誠³・中辻 浩喜²・近藤 誠司³¹北海道大学創成研究機構 ²北海道大学大学院農学研究院 ³北海道大学北方生物圏フィールド科学センター
札幌市北区北21条西10丁目 001-0021

Change in milk compositions from cows during transition period from barn feeding to grazing

Tomohiro MITANI¹ Yuji SATO² Koichiro UEDA² Makoto TAKAHASHI³ Hiroki NAKATSUJI² Seiji KONDO³¹Creative Research Institute, Hokkaido University, ²Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, ³Field Science Center for Northern Biosphere, Hokkaido University
Kita-ku Sapporo, 001-0021

キーワード：放牧飼養, 移行時期, 脂肪酸, カロテノイド

Key word : Grazing, Transition period, Fatty acid, Carotenoid

要約

舎飼いから放牧への移行時期における乳成分の経時変動を検討した。ホルスタイン種泌乳牛8頭を供試し、舎飼い期3日分、放牧期9日分(放牧開始から1、2、3、7、10、16、30、44、58日目)の生乳を採取した。舎飼い期はコーンサイレージ主体飼養であり、放牧期は1日目から昼夜放牧を実施した。乳量、一般乳成分、乳中脂肪酸組成、レチノールおよびβ-カロテン含量を測定した。乳量に、採取日間で有意な差はなかった。放牧開始後3日間の乳脂率(4.64%)は、舎飼い期(4.14%)や放牧開始7日目以降(3.74%)と比較して高かった。同様に、放牧開始後3日間の乳中尿素態N濃度(21.2 mg/dL)も、舎飼い期(12.6 mg/dL)や放牧開始7日目以降(13.8 mg/dL)と比較して高かった。乳中脂肪酸組成は大きく変動し、特に乳中*trans*-11 C18:1、*cis*-9, *trans*-11 C18:2 および *cis*-9, 12, 15 C18:3 割合は、放牧開始から7日目以降は舎飼い期の2から5倍程度の値で高く推移した。レチノール濃度は放牧開始後から急激に上昇し、一旦低下するものの、その後は高い値で推移した。β-カロテン濃度は舎飼い期と比較して、放牧開始後3日間で差はないものの、徐々に上昇し、その後は高く推移した(4.8 vs 17.8 μg/dL)。以上から、いくつかの乳成分は舎飼い期から放牧期への移行時期の短い期間で急激に変動することが

明らかとなった。これらの変動は摂取飼料の急激な変化が乳牛の代謝に影響したことが要因であろう。

ABSTRACT

Eight Holstein dairy cows were used to investigate a temporal change in milk compositions from cows during transition from barn feeding to grazing. Cows fed mainly corn silage during barn period and grazed 18 hours a day during grazing period. Milk samples were collected during 3-day period in the barn period and 58-day period in grazing period (1, 2, 3, 7, 10, 16, 30, 44 and 58 day after transition) and were measured milk yield and composition, fatty acid profile, retinol and β-Carotene concentration. Milk yields did not differ during transition period. Milk fat concentration during 3-day period after transition (4.64%) was extremely high compared with that during barn period (4.14%) and during period 7 day after transition (3.74%). Milk urea N concentration during 3-day period after transition (21.2 mg/dL) was higher than those during barn period (12.6 mg/dL) and during 7 day after transition (13.8 mg/dL). Fatty acid proportions changed largely during transition period, especially proportions of *trans*-11 C18:1, *cis*-9, *trans*-11 C18:2 and *cis*-9, 12, 15 C18:3 during grazing period were 2-5 times higher than those during barn period. Retinol concentration sharply increased after transition, and once

decreased, then gradually increased. β -Carotene concentration gradually increased after transition, that during barn period was lower than that during grazing period (4.8 vs 17.8 $\mu\text{g/dL}$). In conclusion, some of milk compositions sharply changed during transition period from barn feeding to grazing. Those changes should be influenced by metabolic change due to a sudden alternation of feed ingested.

緒言

放牧主体飼養で生産された牛乳は、舎飼い飼養でサイレージや乾草、穀物飼料を主体として生産された牛乳と比較して、異なる特徴を持つことはよく知られている (CLANCY, 2006)。特に、反芻家畜特有の脂肪酸である *cis*-9, *trans*-11 共役リノール酸 (CLA) や放牧草由来のカロテノイド (β -カロテン) の含量が放牧飼養で大きく増加することはよく知られており、これらの成分はヒトの健康にも寄与する機能性成分であるため、これらの制御に関する報告は数多くある (SCHOEDER *et al.*, 2003; CHILLIARD *et al.*, 2004; WALKER *et al.*, 2004)。しかしながら、年中放牧が可能な地域は限られ、放牧に適した寒冷地域の冬期間は必然的に舎内で保存飼料を主体として飼養せざるを得ない。したがって、1年に2回、舎飼い飼養から放牧飼養、放牧飼養から舎飼い飼養へ移行する時期があるが、この移行時期の栄養管理、牛乳成分の変動に関する知見は数限られる (KELLY *et al.*, 1998; KHANAL *et al.*, 2008; ELGELSMAN *et al.*, 2004)。

放牧主体飼養で生産された牛乳成分が特徴的であるということは、放牧草という飼料がサイレージや乾草と比較して、飼料として異なる特徴を持つことを示している。したがって、放牧に関連する移行時期は飼料の劇的な変化を意味し、飼料の劇的な変化は乳牛の消化や吸収、代謝に影響を及ぼすと考えられ、上記で挙げたCLAやカロテノイド以外の乳成分にも影響を及ぼすことは充分考えられる。しかしながら、これらの視点から舎飼い飼養から放牧飼養もしくは放牧飼養から舎飼い飼養への移行時期の乳成分を短い間隔で検討した報告はほとんどない (KHANAL *et al.*, 2008)。

放牧飼養から舎飼い飼養への移行時期は放牧草量の減少を伴うことが多いため、飼料構成が急激に変化することは少ない。そのため、それほど大きな問題が起こることは少ない。しかしながら、舎飼い飼養から放牧飼養への移行時期は、予備放牧を行わずに移行することも珍しくない。これは、この時期が放牧草の成長が旺盛な時期と重なり、草地管理を考慮すると、なるべく早く放牧地に対する圧力を上げる放牧管理が望ましいためである。したがって、この移行時期には飼料構成が激変することがよくあり、この時期の乳牛の代

謝的变化を理解することは重要である。そこで、本研究では、舎飼い飼養から放牧飼養への移行時期における乳成分の変動を明らかにするとともに、その変動から舎飼い飼養から放牧飼養への移行が乳牛の代謝に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、放牧開始の前後に短い間隔で牛乳を採取し、乳成分の詳細な経時変動を検討した。

材料および方法

本試験は、北海道大学北方生物圏フィールド科学センターで飼養されている泌乳初期および中期のホルスタイン種泌乳牛8頭を用いて、2008年の4月16日から6月18日まで行った。試験は反復のある一元配置法に従って行った。放牧開始は4月21日の夕方からであり、放牧開始日を0日目として、-5、-4、-3、1、2、3、7、10、16、30、44および58日目に牛乳を採取し、それぞれを分析に供した。試験開始時における供試牛の分娩後日数、産次および体重は、それぞれ112 \pm 85日、2.3 \pm 1.4産および593 \pm 56kgであった。

舎飼い期は、粗飼料としてコーンサイレージ、グラスサイレージおよびアルファルファ乾草を71:12:17で混合した飼料を飽食給与し、濃厚飼料として大豆粕および大麦を2:3で混合した飼料を乳期に応じて給与した (泌乳初期:中期=6:5 kg/日)。放牧は、北海道大学北方生物圏フィールド科学センターのペレニアルライグラス主体放牧地2haを用い、8頭を2群に分け、定置放牧方式で実施した。放牧開始初日から、搾乳を含む牛舎内に繋留した時間を除き、1日18時間の昼夜放牧を行った。放牧期の補助飼料は、繊維性飼料として乾草もしくはビートパルプを原物で1日2kg、非繊維飼料として圧片コーンもしくは大麦を原物で1日4kg給与した。

搾乳は、朝(9:00)および夕(16:00)の1日2回行い、乳量は毎日測定した。牛乳サンプルは、サンプル採取日の朝および夕のサンプルを乳量比で混合したものをを用いた。合乳サンプルの一部は、その日の内に冷蔵状態で(社)北海道酪農検定検査協会に郵送し、一般乳成分(脂肪、タンパク質、乳糖および尿素態窒素濃度)をフーリエ変換型中間赤外分光分析装置(MilkoScan; Foss Electric, Hillerød, Denmark)を用い、分析した。その他のサンプルは、2mlのポリプロピレンチューブに1.5mLずつ分注し、分析まで-80°Cで冷凍保存した。

脂肪酸測定用サンプルは、冷凍サンプルを解凍したのち、IDF(2001)の方法に基づき、脂質を抽出し、2N-ナトリウムメトキシド・メタノール溶液、14%-3フッ化ホウ素・メタノール溶液を用いてメチル化し、ヘキサンで再溶解したものをを用いた(CHRISTIE *et al.*, 2001)。脂肪酸はガスクロマトグラフィー(GC-2010,

株式会社島津製作所, 京都, 日本) を用いて分析した。分析はスプリット分析で行い、気化室温度は250℃、スプリット比は75:1、キャリアーガスはヘリウムを用い、ガス流量は1.5ml/分であった。分析カラムは50mの融解石英を固定相としたキャピラリーカラム (ULBON HR-SS-10, 50m×0.25mm, 膜厚0.25μm; 信和化工株式会社, 京都, 日本) を用いた。検出器は水素炎イオン検出器を用い、検出器の温度は250℃であった。

レチノールおよびカロテノイド測定用サンプルは、冷凍サンプルを解凍したのち、エキネノン溶液 (内部標準) を加え、レーゼ・ゴードリッフ法を一部改変した方法 (IDF, 2001) で脂質を抽出し、5%-水酸化カリウム・エタノール溶液 (ピロガロール添加) でケン化し (暗所で3時間)、ヘキサンで抽出した。ヘキサン抽出物はNガスを用いて乾固させ、メタノール・テトラヒドロフラン溶液に再溶解したものをレチノール・カロテノイド測定用サンプルとして用いた。レチノールおよびカロテノイドは高速液体クロマトグラフィー (LaCrom Elite; 日立ハイテック, 東京, 日本) を用いて分析した。分離カラムは、C18系ODSカラム (Cadenza CD-C18, 150×2mm; Imtakt, 京都, 日本) を用いた。分析はグラジエント分析で行い、グラジエント条件は溶離液A (メタノール/水/テトラヒドロフラン/トリエチルアミン=87.9/10.0/2.0/0.1) を0.2分保持したのち、溶離液B (メタノール/テトラヒドロフラン/トリエチルアミン=92.4/7.5/0.1) に0.3分かけてグラジエントし、溶離液Bを20分まで保持した。カラム流速は0.4ml/分であり、注入量は10μlであった。検出器はダイオードアレイ検出器 (L-2450; 日立ハイテック, 東京, 日本) を用い、カロテノイドは450nm、レチノールは325nmで測定した。

統計解析は、統計解析ソフトSAS9.1のMIXEDプロシジャ (SAS Institute Inc., Cary, USA) を用いて行った。供試牛8頭の内1頭が乳房炎に罹患し、データが欠損したため、実際には7頭分のデータを解析に用いた。舎飼い期のデータは3日分を平均したものを、そ

の他の採取日については各採取日のデータを解析に用いた。解析は牛を変量効果、採取日を反復効果とする反復のある一元配置分析で行った。自由度の計算にはKenward-Roger法、反復効果の共分散構造は一次自己回帰構造を採用した。最小2乗平均間に有意な差がある場合は、最小2乗平均間の差をTukey-KramerのHSD多重検定により検定した。

結果

乳生産量に採取日間で有意な差はなかったが、数値上では放牧開始後やや増加する傾向がみられた (Table 1)。乳脂率は、放牧開始後に速やかに上昇し、放牧開始後の3日間は舎飼い期と比較して0.5%ポイント高かった。その後、放牧開始後7日目には舎飼い期と同程度まで低下し、放牧開始後10日目からは3.7%前後と低い値で推移した ($P < 0.01$)。乳タンパク質率は、放牧開始後、舎飼い期の3.08%から緩やかに上昇し、放牧開始後7日目をピークに3.2%前後で推移した ($P = 0.02$)。乳糖率は採取日間で有意な差はあったものの、その変動幅は小さく、その変化に一定の傾向はみられなかった ($P < 0.01$)。乳脂肪、乳タンパク質および乳糖生産量は乳量に有意な差がなかったため、各乳成分率とほぼ同様の変動を示した。乳中尿素態N濃度は、放牧開始後に速やかに上昇し、放牧開始後の3日間は舎飼い期と比較して有意に高かった。その後、放牧開始後7日目には舎飼い期と同程度まで低下し、その後は緩やかに上昇する変動を示した ($P < 0.01$)。

C15以下の脂肪酸割合は、放牧開始後一旦低下し (2および3日目)、その後、放牧開始後7日目には上昇し、その後は舎飼い期と比較してやや高い値で推移した (Table 2; $P < 0.01$)。C16の脂肪酸割合は、放牧開始から速やかに低下し、放牧開始後2日目には舎飼い期と比較して8%ポイント低く、その後も低い値で推移した ($P < 0.01$)。C17以上の脂肪酸割合は、放牧開始後速やかに上昇し、舎飼い期と比較して放牧開始後2

Table 1. Milk yield and milk composition on days after transition from barn feeding to grazing

	Days after transition from barn feeding to grazing										SEM	P value
	Pre ¹	Day 1	Day 2	Day 3	Day 7	Day 10	Day 16	Day 30	Day 44	Day 58		
Milk yield, kg/d	25.0	25.2	26.2	26.8	30.1	28.2	28.6	27.6	25.0	23.5	2.8	0.12
Milk composition, %												
Fat	4.14 ^b	4.64 ^a	4.62 ^a	4.66 ^a	4.04 ^b	3.77 ^{bc}	3.81 ^{bc}	3.75 ^{bc}	3.41 ^c	3.64 ^c	0.21	<.01
Protein	3.08 ^c	3.16 ^{bc}	3.22 ^{bc}	3.25 ^{ab}	3.40 ^a	3.28 ^{ab}	3.25 ^{ab}	3.23 ^{bc}	3.21 ^{bc}	3.17 ^{bc}	0.11	0.02
Lactose	4.45 ^{abcd}	4.39 ^{cde}	4.47 ^{ab}	4.46 ^{abc}	4.39 ^{cde}	4.38 ^{de}	4.51 ^a	4.44 ^{bcd}	4.37 ^e	4.35 ^e	0.07	<.01
Milk composition yield, kg/d												
Fat	1.01	1.15	1.19	1.24	1.23	1.07	1.10	1.04	0.84	0.86	0.12	0.62
Protein	0.76 ^b	0.79 ^{bc}	0.83 ^{ab}	0.85 ^{ab}	1.03 ^a	0.91 ^{ab}	0.92 ^{ab}	0.88 ^{ab}	0.79 ^b	0.73 ^b	0.08	0.02
Lactose	1.12	1.10	1.17	1.20	1.32	1.24	1.29	1.23	1.09	1.02	0.12	0.08
Milk urea nitrogen, mg/dL	12.6 ^d	22.4 ^a	21.8 ^a	19.2 ^b	13.8 ^{cd}	12.7 ^d	12.8 ^d	14.0 ^{cd}	13.9 ^{cd}	15.5 ^c	1.18	<.01

^{a, b, c, d, e} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹ Average of data during 3-day period before transition from barn feeding to grazing

Table 2. Fatty acids (FA) profile on days after transition from barn feeding to grazing

	Days after transition from barn feeding to grazing										SEM	P value
	Pre ¹	Day 1	Day 2	Day 3	Day 7	Day 10	Day 16	Day 30	Day 44	Day 58		
Carbon number, % of total FA												
≤ C15 ²	18.29 ^c	17.92 ^c	15.80 ^d	15.29 ^d	21.28 ^a	20.90 ^a	18.39 ^c	18.83 ^{bc}	21.46 ^a	20.85 ^{ab}	0.86	<.01
C16	35.46 ^a	33.33 ^a	28.75 ^{bc}	27.42 ^{cd}	27.80 ^{bcd}	26.88 ^{cd}	26.00 ^d	26.85 ^{cd}	29.47 ^b	30.07 ^b	0.93	<.01
≥ C17 ³	38.69 ^d	41.20 ^{cd}	47.00 ^a	48.96 ^a	40.41 ^{cd}	42.34 ^{bc}	45.95 ^{ab}	45.08 ^{ab}	40.17 ^{cd}	40.45 ^{cd}	1.42	<.01
Saturated and unsaturated FA, % of total FA												
Saturated FA	64.90 ^a	64.22 ^a	59.09 ^{bc}	57.10 ^{cd}	58.15 ^{bcd}	56.52 ^{cd}	55.81 ^d	57.09 ^{cd}	60.74 ^b	60.47 ^b	1.18	<.01
Mono-unsaturated FA	29.30 ^d	29.92 ^d	34.34 ^{abc}	36.34 ^a	33.08 ^{bc}	35.33 ^{ab}	36.39 ^a	35.58 ^a	32.07 ^{cd}	32.71 ^c	1.07	<.01
Poly-unsaturated FA	2.49 ^d	2.62 ^{cd}	3.14 ^c	3.18 ^c	3.98 ^b	5.03 ^a	4.37 ^b	4.10 ^b	4.13 ^b	3.85 ^b	0.22	<.01
Isomer of C18, % of total FA												
Stearic acid (C18:0)	12.02 ^{bc}	13.65 ^{ab}	14.81 ^a	14.86 ^a	9.87 ^d	9.64 ^d	11.97 ^{bc}	11.85 ^{bc}	10.68 ^{bcd}	10.42 ^{cd}	0.52	<.01
Oleic acid (<i>cis</i> -9 C18:1)	22.61 ^{bcd}	22.32 ^{bcd}	24.91 ^{ab}	26.91 ^a	20.29 ^d	21.33 ^{cd}	23.42 ^{bc}	23.92 ^{ab}	20.72 ^d	21.78 ^{cd}	1.07	<.01
Trans-vaccenic acid (<i>trans</i> -11 C18:1)	1.21 ^c	2.21 ^c	3.72 ^b	3.58 ^b	5.56 ^a	5.72 ^a	5.74 ^a	4.77 ^{ab}	4.22 ^b	3.94 ^b	0.41	<.01
Linoleic acid (<i>cis</i> -9,12 C18:2)	1.48 ^b	1.39 ^{bcd}	1.27 ^{cd}	1.25 ^d	1.27 ^{bcd}	1.86 ^a	1.31 ^{bcd}	1.31 ^{bcd}	1.46 ^{bcd}	1.40 ^{bcd}	0.08	<.01
Conjugated linoleic acid (<i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 C18:2)	0.43 ^c	0.62 ^c	1.06 ^b	1.09 ^b	1.61 ^a	1.80 ^a	2.01 ^a	1.83 ^a	1.67 ^a	1.66 ^a	0.15	<.01
α -Linolenic acid (<i>cis</i> -9,12,15 C18:3)	0.30 ^a	0.32 ^a	0.45 ^d	0.50 ^{cd}	0.64 ^b	0.80 ^a	0.66 ^b	0.61 ^{bc}	0.63 ^b	0.50 ^{cd}	0.05	<.01

^{a, b, c, d, e} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹ Average of data during 3-day period before transition from barn feeding to grazing

² Sum of FAs (carbon number from 8 to 15)

³ Sum of FAs (carbon number more than 16)

および3日目は約10%ポイント高かった。その後、速やかに低下したが、舎飼い期と比較して2-7%ポイント高いまま推移した ($P < 0.01$)。飽和脂肪酸割合は放牧開始後速やかに低下し、放牧開始2日目には舎飼い期と比較して6%ポイント低く、その後も舎飼い期と比較して低い値で推移した ($P < 0.01$)。一価および多価不飽和脂肪酸割合は、飽和脂肪酸割合と正反対の変動を示した ($P < 0.01$)。

ステアリン酸 (C18:0) およびオレイン酸 (*cis*-9 C18:1) 割合は、ほぼ同様の変動を示した。両脂肪酸割合は、放牧開始後速やかに上昇し、放牧開始後2および3日目には舎飼い期と比較して2-4%ポイント高く、その後放牧開始後7日目には速やかに低下し、その後は舎飼い期と同程度もしくはやや低い値で推移した ($P < 0.01$)。リノール酸 (*cis*-9,12 C18:2) 割合は、放牧開始後10日目が他の採取日と比較して高かったが、その他の採取日は舎飼い期と比較して大きな差はなく、ほぼ一定の割合で推移した ($P < 0.01$)。トランス-バクセン酸 (*trans*-11 C18:1)、CLA (*cis*-9, *trans*-11 C18:2) および α -リノレン酸 (*cis*-9,12,15 C18:3) 割合はほぼ同様の推移を示した。これらの脂肪酸割合は、放牧開始後から徐々に上昇し、放牧開始後2および3日目には舎飼い期の2-3倍程度まで上昇し、その後も2-5倍程度高く推移した ($P < 0.01$)。

ルテインおよびゼアキサンチン、 β -カロテン含量

は、それぞれ同様の変動を示した。放牧開始から緩やかに上昇し、放牧開始後2および7日目には舎飼い期と比較して有意に高かった (Table 3; $P < 0.01$)。ルテインおよびゼアキサンチン含量は、その後も舎飼い期の約1.5から2倍程度で推移し、 β -カロテン含量はその後も緩やかに上昇し、放牧開始後30日目には舎飼い期の6倍程度まで上昇した。レチノール含量は、放牧開始から速やかに上昇し、放牧開始後2および3日目には舎飼い期のほぼ2倍程度まで上昇した ($P < 0.01$)。レチノール含量はその後一旦低下するものの、放牧開始後16日目以降は舎飼い期の約2倍で高く推移した。

考察

放牧草とサイレージなど、粗飼料源の違いが摂取量や乳生産に及ぼす影響を検討した報告は数多くある (e.g. KOLVER and MULLER, 1998; BARGO *et al.*, 2002)。ほとんどの報告で、放牧飼養はTMRなどを給与した舎飼い飼養と比較して、摂取量は低く、乳生産量も低かったと報告されている。また、舎飼い飼養から放牧飼養への移行時期 (KELLY *et al.*, 1998)、放牧飼養から舎飼い飼養への移行時期 (BARGO *et al.*, 2004; ELGELSMA *et al.*, 2004) およびその両者の移行時期 (KHANAL *et al.*, 2008) における乳量の変動を検討した報告でも、舎飼

Table 3. Retinol and carotenoids concentration on days after transition from barn feeding to grazing

	Days after transition from barn feeding to grazing										SEM	P value
	Pre ¹	Day 1	Day 2	Day 3	Day 7	Day 10	Day 16	Day 30	Day 44	Day 58		
Lutein + Zeaxanthin, $\mu\text{g/dL}$	0.78 ^e	0.80 ^e	1.10 ^{bcd}	1.38 ^a	1.29 ^{ab}	0.91 ^{de}	1.18 ^{abc}	1.05 ^{cd}	1.06 ^{cd}	1.13 ^{bc}	0.11	<.01
β -Carotene, $\mu\text{g/dL}$	4.77 ^c	4.89 ^c	6.88 ^c	9.19 ^c	18.06 ^b	18.30 ^b	21.24 ^b	27.71 ^a	28.11 ^a	25.41 ^a	2.56	<.01
Retinol, $\mu\text{g/dL}$	29.2 ^c	43.6 ^b	54.9 ^a	56.1 ^a	51.2 ^{ab}	41.0 ^b	54.4 ^a	53.2 ^a	50.3 ^{ab}	46.6 ^b	2.7	<.01

^{a, b, c, d, e} Means in the same row with different superscripts differ ($P < 0.05$).

¹ Average of data during 3-day period before transition from barn feeding to grazing

い飼養のTMR給与から放牧飼養へ移行した場合、急激に乳量は減少し、放牧飼養から舎飼い飼養のTMR給与へ移行した場合も、乳量が増加したと報告されている。一方、本試験の結果では、採取日間に乳量に有意な差はなく、数値上では若干の上昇がみられた。乳期が異なるため一概には比較できないが、先行研究の多くでは舎飼い時期に粗濃度が1:1程度のTMRを給与した試験が多く、放牧飼養への移行で乳量が低下したのは当然の結果である。舎飼い時期および放牧時期ともに粗飼料割合が多い、もしくは放牧時期にも多くの濃厚飼料を給与した試験では、移行時期の乳量の変動は小さかった(BARGO *et al.*, 2004; KHANAL *et al.*, 2008)。本試験のように、粗飼料割合を7割程度で維持した場合、舎飼い飼養から放牧飼養の移行時期における乳量の低下は小さいであろう。

本試験では、放牧開始直後数日間を除き、舎飼い期と比較して、放牧期の乳脂肪率は低く、乳脂肪生産量も同様の傾向を示した。本試験の乳脂肪率および生産量の変動は、乳量の変動が大きい場合を除き他の試験結果と一致する(KELLY *et al.*, 1998; KOLVER and MULLER, 1998; ELGELSMA *et al.*, 2004)。放牧飼養時における乳脂肪率および生産量の低下は、摂取エネルギー不足による乳量の低下が大きな一因であるが、近年、多価不飽和脂肪酸の多量摂取が乳脂肪率を低下させる大きな要因であることが示されている(JENKINS and MCGUIRE, 2006)。これは乳腺に流れ込む多価不飽和脂肪酸が増加すると、乳腺でのC16までの新規脂肪酸合成を阻害するためである。本試験および他の報告(KELLY *et al.*, 1998; KHANAL *et al.*, 2008)でも、舎飼い飼養から放牧飼養への移行で乳中のリノール酸以外の多価不飽和脂肪酸割合は大きく増加した。これは放牧草に含まれる脂肪酸の50から60%がリノレン酸であり(WALKER *et al.*, 2004)、一部が反芻胃での水素添加や異性化を受けるものの、多くが不飽和脂肪酸のまま吸収されたためである(JENKINS and MCGUIRE, 2006)。放牧飼養時における乳脂肪率低下の主要因が多価不飽和脂肪酸の多量摂取であるならば、この乳脂肪率の低下を防ぐことは困難である。

近年、畜産物製品に含まれ抗ガン作用、抗動脈硬化作用などが認められるCLAやその前駆体であるトランス-バクセン酸、 α -リノレン酸が注目され、放牧飼養でこれらの脂肪酸の含量が大きく増加することが明らかになっている(CLANCY, 2006)。舎飼い飼養から放牧飼養への移行時期における乳成分の変動を検討した先行研究(KELLY *et al.*, 1998; KHANAL *et al.*, 2008)でも、これらの脂肪酸割合が移行後何日目で最大になり、その後安定するかを主点においている。舎飼い飼養から放牧飼養へ急激に移行させたKHANAL *et al.* (2008)の試験では、トランス-バクセン酸、CLAおよびリノレン酸は移行後20日前後で舎飼い期の2から4倍と最大にな

り、徐々に移行させたKELLY *et al.* (1998)の試験でも移行3週間後には舎飼い期の2から3倍になったことが報告されている。本試験では、移行後10から16日前後でこれらの脂肪酸割合は最大になり、その後も高く推移した。同様に、放牧飼養下の牛乳で増加することが古くから知られている β -カロテン濃度は上記の脂肪酸と比較して最大値に達するまでの日数は長くかかったが、放牧移行後30日程度で最大値に達し、その後も高く推移した。

以上の結果から、舎飼い飼養から放牧飼養へ急激に移行させた場合、乳成分の変動結果から放牧飼養に代謝が馴化し安定するまでには、放牧移行後2週間程度は必要であることが推測された。これは他の試験結果ともほぼ一致するが、放牧移行後数日間の変動については他の報告ではほとんど触れられていない(KELLY *et al.*, 1998; KHANAL *et al.*, 2008)。本試験では、放牧移行後3日間は、舎飼い期やそれ以降の時期と比較して、乳脂肪率、C17以上の脂肪酸割合およびレチノール濃度の急激な上昇がみられた。乳腺での脂肪酸合成はステアリン酸(C16)までしか合成されないため、一般的にC17以上の脂肪酸は飼料由来の脂肪酸とされている。しかし、放牧草由来の脂肪酸であるトランス-バクセン酸、CLAおよびリノレン酸は段階的に増加したことから、本試験におけるC17以上の脂肪酸割合の増加は放牧草摂取の影響とは考えづらい。潜在性ケトシス罹患牛の乳中には、長鎖脂肪酸、特にオレイン酸の顕著な増加がみられた(VAN HAELEST *et al.*, 2008)。本試験でも、移行後3日間はステアリン酸およびオレイン酸の増加がみられ、このことから放牧移行後3日間に体脂肪が動員されたことは明らかである。同様に、この時期の急激なレチノール濃度の増加は貯蓄脂肪に蓄積されていたレチノールもしくは β -カロテン由来のものと同様に推察でき、体脂肪の動員を裏付ける。また、放牧移行後3日間の乳中尿素態N濃度の増加も摂取飼料の影響とは考えづらく、肝臓におけるアミノ酸からの糖新生が活発となった結果であろう。これらの放牧移行後3日間の乳成分の変動から、この時期に一時的なエネルギー不足状態に陥ったことは容易に推察される。しかしながら、この原因が放牧草摂取量の不足によるものか、反芻胃内での消化が放牧草に対応できなかったのか、体内の代謝が対応できなかったのかについては本試験の結果からこれ以上の考察は不可能である。

以上より、舎飼い飼養から馴致放牧をせずに昼夜放牧飼養に移行させた場合、乳成分の変動から放牧飼養に消化や代謝が馴化するまでに2週間程度は必要であることが明らかとなった。また、乳脂肪率、脂肪酸組成および乳中尿素態N濃度の変動から、放牧移行後数日間は一時的なエネルギー不足状態に陥ったことが推測された。本試験で用いた一般的な乳量レベルの牛群で

あれば1週間後にはほぼ正常値に戻っていたことから、エネルギー不足状態に陥りやすい乳量レベルの高い牛群や分娩直後の牛でなければ予備放牧をせずに舎飼い飼養から昼夜放牧へ移行しても大きな問題はないであろう。今後、血液性状の変動などのより詳細な栄養学的検討が必要であるとともに、放牧飼養への移行時期の栄養管理方法についても検討が必要であろう。

謝辞

本研究の遂行にあたり、(社)北海道酪農検定検査協会には一般乳成分の分析を実施頂いた。この場をかりて、深く感謝する。

参考文献

- BARGO, F., J.E. DELAHOY and L.D. MULLER. (2004). Milk production of dairy cows fed total mixed rations after a grazing period. *Prof. Anim. Sci.*, 20:270-276.
- BARGO, F., L.D. MULLER, J.E. DELAHOY and T.W. CASSIDY. (2002). Performance of high producing dairy cows with three different feeding systems combining pasture and total mixed rations. *J. Dairy Sci.*, 85:2948-2963.
- CHILLIARD, Y. and A. FERLAY. (2004). Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Reprod. Nutr. Dev.*, 44:467-492.
- CHRISTIE, W.W. (2001). A practical guide to the analysis of conjugated linoleic acid (CLA). *Inform*, 12:147-152.
- CLANCY, K. (2006). *Greener Pastures How grass-fed beef and milk contribute to healthy eating*. UCS Publications, Cambridge.
- ELGERSMA, A., G. ELLEN, H. VAN DER HORST, H. BOER, P.R. DEKKER and S. TAMMINGA. (2004). Quick changes in milk fat composition from cows after transition from fresh grass to a silage diet. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 117:13-27.
- INTERNATIONAL DAIRY FEDERATION (2001) International standard method (ISO 14156; IDF 172); Milk and milk products - Extraction methods for lipids and liposoluble compounds. International Dairy Federation. Brussels.
- JENKINS, T.C. and M.A. MCGUIRE. (2006). Major advances in nutrition: impact on milk composition. *J. Dairy Sci.*, 89:1302-1310.
- KELLY, M.L., E.S. KOLVER, D.E. BAUMAN, M.E. VAN AMBURGH and L.D. MULLER. (1998). Effect of intake of pasture on concentrations of conjugated linoleic acid in milk of lactating cows. *J. Dairy Sci.*, 81:1630-1636.
- KHANAL, R.C., T.R. DHIMAN and R.L. BOMAN. (2008). Changes in fatty acid composition of milk from lactating dairy cows during transition to and from pasture. *Livest. Sci.*, 114:164-175.
- KOLVER, E.S. and L.D. MULLER. (1998). Performance and nutrient intake of high producing Holstein cows consuming pasture or a total mixed ration. *J. Dairy Sci.*, 81:1403-1411.
- SCHROEDER, G.F., J.E. DELAHOY, I. VIDAURRETA, F. BARGO, G.A. GAGLIOSTRO and L.D. MULLER. (2003). Milk fatty acid composition of cows fed a total mixed ration or pasture plus concentrates replacing corn with fat. *J. Dairy Sci.*, 86:3237-3248.
- VAN HAELEST, Y.N., A. BEECKMAN, A.T. VAN KNEGSEL and V. FIEVEZ. (2008). Short communication: elevated concentrations of oleic acid and long-chain fatty acids in milk fat of multiparous subclinical ketotic cows. *J. Dairy Sci.*, 91:4683-4686.
- WALKER, G.P., F.R. DUNSHEA and P.T. DOYLE. (2004). Effects of nutrition and management on the production and composition of milk fat and protein: a review. *Aust. J. Agric. Res.*, 55:1009-1028.