

## カリウムと窒素の同時制御による泌乳牛の尿量低減化

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2019-03-22 キーワード (Ja): キーワード (En): lactating dairy cows, potassium, nitrogen, nutritional management, urine volume reduction 作成者: 大谷, 文博, 樋口, 浩二, 小林, 洋介, 野中, 最子, 矢用, 健一, 須藤, まどか メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24514/00002262">https://doi.org/10.24514/00002262</a>

## カリウムと窒素の同時制御による泌乳牛の尿量低減化

大谷文博・樋口浩二・小林洋介・野中最子<sup>a</sup>・矢用健一<sup>1</sup>・須藤まどか

農研機構畜産草地研究所 家畜生理栄養研究領域, つくば市, 305-0901

<sup>1</sup>農業生物資源研究所, つくば市, 305-0901

### 要 約

尿生成に関わる主要な栄養素要因と考えられるカリウム (K) と窒素 (N) を同時に制御した栄養管理を泌乳牛で行い, 両栄養素の尿量に対する効果と, 尿量低減化における両栄養素同時制御の有効性について検証した。飼料処理区としてイタリアンライグラスサイレージを主な粗飼料源とし, それに大豆粕, トウモロコシおよび大麦を組み合わせた高 K 高粗タンパク質 (CP) 飼料区 (HH 区; K 1.75%, CP 18.1%), 主な粗飼料源にコーンサイレージを使用し, 配合飼料の多くの部分をビール粕, コーングルテンミール, 尿素および馬鈴薯デンプンに置き換えることで K 含量を低下させた低 K 高 CP 飼料区 (LH 区; K 0.94%, CP 17.6%) および LH 飼料のビール粕とコーングルテンミールの一部を大麦と馬鈴薯デンプンに置き換えて CP 含量も低下させた低 K 低 CP 飼料区 (LL 区; K 0.93%, CP 13.5%) の 3 区を設定し, 泌乳後期牛 4 頭を用いて 3×3 ラテン方格法で出納試験を実施した。低 K 飼料を給与した LH および LL 区では, 使用した低 K 飼料原料の影響で HH 区よりも成分消化率が低下したが, 乳量・乳成分率には飼料処理による有意な差は観察されず, K と N の制御によって乳生産に悪影響が生じることはなかった。尿量は HH 区の 14.5 kg/日から LH 区で 9.8 kg/日に減少し, さらに LL 区では 6.6 kg/日まで減少した。K および N 摂取量の減少は, 泌乳牛の尿量に対して同程度の低減効果を及ぼしていたと推測された。低 K 摂取量条件下でも N 摂取量の減少が相加的な尿量低減効果を発揮することが確認されたことから, 両成分の同時制御によって泌乳牛の尿量を効率的に減少させる栄養管理は有効であると考えられた。また, LH あるいは LL 飼料給与による尿量の減少は, 泌乳牛の総水分摂取量を減少させ, 糞中水分排せつ量も減少させる効果を有する可能性が示唆された。

キーワード: 泌乳牛, カリウム, 窒素, 栄養管理, 尿量低減化

### 緒 言

泌乳牛は乳を生産するために毎日大量の水分を摂取する一方で, 尿として排せつする水分も非常に多い。多量の尿は処理を要する排せつ物の総量を増大させるだけでなく, 畜舎内では糞と混合してスラリー状になり易いため, 放置すれば悪臭の発生や牛体の汚染の原因となる。また, 糞尿を堆肥化して利用する際には, 固液分離システムの設置や多大な水分調整材が必要となり, コスト負担を余儀なくされる<sup>35)</sup>。従って, 栄養管理によって泌乳牛の尿量を減少させることができれば, 酪農経営

の糞尿処理に要する労力と経済的負担は大いに軽減されるはずである。ただし, そのための栄養管理は乳牛の生産性に対して悪影響を与えるものであってはならず, 飲水制限のような手法では尿量を減少させる効果はあっても, 同時に乾物摂取量や乳量も低下させてしまうので<sup>27)</sup>, 乳牛の尿量低減化手法として適切なものとは言えない。

泌乳牛においてナトリウム (Na) とカリウム (K) の摂取量<sup>3)</sup>, あるいは窒素 (N) と K の摂取量<sup>28)</sup> を独立変数とする尿量の重回帰式は, 高い相関係数を示すことが報告されており, Na, K および N は泌乳牛の尿生

成に関わる主要な栄養素要因と考えられることから、これらの栄養素を制御する栄養管理を行えば、泌乳牛の生理に矛盾することなく、泌乳牛の尿量を減少させることが可能と思われる。しかし、一般的な飼養管理においては、Naは鉱塩として泌乳牛に自由摂取させる場合が多いため、酪農現場で利用するための栄養管理としては、KとNを対象とした制御技術が現実的である。

これまでにK給与量制御に関しては、泌乳牛の尿量低減化に対する有効性が確認されており<sup>14,21)</sup>、コーンサイレージやビール粕などの低K飼料資源を活用して設計した実用的な低K飼料の給与でも、泌乳牛の生産性を損なうことなく、尿量を低減できることが実証されている<sup>34)</sup>。これに対してNの制御に関しては、給与飼料中の粗タンパク質(CP)水準の低減によって、泌乳牛の尿量に有意な減少を観察した報告<sup>4,5,12,39)</sup>がある一方で、異なるCP含量の飼料を給与をしても、泌乳牛の尿量に変化が認められなかったとする報告<sup>6,20,31,36,45)</sup>もあり、N制御による尿量低減効果については、未だに判然とはしていない。また、KとNの尿中排泄については相互作用が存在することも報告されており<sup>19,37,45)</sup>、両者の制御を同時に行った場合に、尿量に対するそれぞれの作用が影響を及ぼしあう可能性も考えられる。しかし、実際に飼料中の両成分を同時に制御した飼料を乳牛に給与し、尿量にどのような効果が現れるのかを観察する試験は、これまでほとんど行われていない。

そこで本研究は、泌乳牛の尿量を規制する栄養素要因と考えられるKとNを同時に制御した栄養管理を行い、両栄養素の尿量に対する効果と同時制御の有効性を検証することを目的に実施した。

## 材料および方法

泌乳後期のホルスタイン種泌乳牛4頭を、温度20℃、湿度60%に調節した代謝実験施設に収容して出納試験を実施した。供試牛は試験開始時点で平均分娩後日数191 ± 30日、平均体重509 ± 40kgで、2頭が2産、2頭が3産であった。試験は予備期9日間、出納試験5日間、出納試験終了7日後に第一胃液および頸静脈血を採取するまでの連続した21日間を1期とし、3期3牛群(4頭の内2頭を同期同一処理)に3飼料処理区を割り付ける3 × 3ラテン方格法によって実施した。なお、試験は独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所動物実験指針に従って行った。

飼料処理は高K高CP飼料区(HH区)、低K高CP飼料区(LH区)および低K低CP飼料区(LL区)の

3区で(Table 1)、いずれの区も粗濃比は6:4とした。主な粗飼料源をHH区ではイタリアンライグラスサイレージ(2番草・出穂期)とし、LH区およびLL区ではK含量の少ないコーンサイレージ(黄熟期)とした。さらに、HH区では配合飼料中の主なタンパク質源を大豆粕、炭水化物源をトウモロコシと大麦としたが、LH区とLL区では飼料の低K化を図るためにこれらを減らし、代わりにK含量の低いビール粕、コーングルテンミール、尿素および馬鈴薯デンプンを加えた。また、LL区の飼料構成はLH区をベースとし、タンパク質源のビール粕とコーングルテンミールの一部を大麦および馬鈴薯デンプンに置き換えることによって、飼料のCP水準を低下させた。

各飼料の成分組成をTable 2に示した。K含量はHH区の1.75%に対して、LH区とLL区ではそれぞれ0.94%および0.93%と、HH区の半分程度の水準であった。CP含量はHH区とLH区が18%程度(それぞれ18.1%と17.6%)の水準なのに対し、LL区は両区よりも4%以上低い13.5%であった。また、コーンサイレージと馬鈴薯デンプンを用いたLH区とLL区では、HH区と比べて中性デタージェント繊維(aNDFom)と酸性デタージェント繊維(ADFom)含量が低く、デンプン含量が高かった。Na含量はHH区がやや高かった。

飼料給与量は試験開始に先だつ馴致期間中に、当所の慣行的な飼養条件下で観察された各試験牛の乳量と試験飼料の栄養価から、日本飼養標準<sup>28)</sup>の要求量に基づいたTDN充足率が概ね100%となるように給与量を設定し、定量を給与した。飼料は粗飼料と濃厚飼料のすべ

Table 1. Ingredient composition of the experimental diets (% DM)

Ingredient	Diets <sup>1</sup>		
	HH	LH	LL
Italian ryegrass silage	45.0	—	—
Corn silage	—	50.0	50.0
Alfalfa hay cube	15.1	10.1	10.1
Corn	11.7	4.9	4.9
Barley	12.3	8.9	9.4
Soybean meal	13.5	2.1	2.0
Brewer's grains	—	10.1	9.1
Corn gluten meal	—	6.1	2.0
Potato starch	—	5.0	9.6
Vegetable oil calcium soap	1.5	1.0	1.0
Urea	—	0.5	0.5
Vitamin-Mineral mixture	0.9	1.4	1.4

<sup>1</sup>HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet

DM : dry matter

てを混合し、1日2回に分けて朝夕の搾乳(8:30および18:00)終了後に給与したが、試験期間を通して、すべての牛で残飼は観察されなかった。また、ウォーターカップからの飲水は自由とした。

出納試験は全糞尿採取法により実施した。出納試験期間中は毎日、飲水量、乳量、糞量、尿量を個体毎に定時に測定し、糞および尿は5日分を日量に応じて按分混合して分析サンプルとした。牛乳も各搾乳時毎の乳量に応じて按分混合して分析サンプルとしたが、乳脂肪、乳蛋白質、乳糖および全固形分については各搾乳時毎のサンプルを分析し、乳量による加重平均を行って出納試験期間における成分値を算出した。

出納試験終了7日後の朝の搾乳が終了して飼料を給与する直前に、第一胃液の経口的な採取および真空採血管を用いた頸静脈血の採取を行った。採取した第一胃液は四重ガーゼでろ過した後、一部は直ちにpHとアンモニア濃度を測定し、残りは揮発性脂肪酸(VFA)濃度分析用に凍結保存した。血液は3,000rpm、30分間の遠心分離により得られた血漿を分析用サンプルとして凍結保存した。

飼料および糞の一般成分と乳および尿中の水分とNは常法<sup>1)</sup>に従って分析し、飼料および糞のaNDFomおよびADFomはデタージェント法<sup>48)</sup>によって分析した。デンプンは過塩素酸抽出-グルコースオキシダーゼ比色法<sup>1)</sup>によって分析したが、その際のグルコース分析にはグルコースC IIテスト(ワコー純薬)を使用した。また、それらサンプルと乳および尿サンプルは、硝酸-過塩素酸による湿式灰化後、原子吸光分光分析計(AA-

6400F, 島津製作所)によりKとNa濃度を測定した。乳脂肪、乳蛋白質、乳糖および全固形分の分析には赤外線自動分析計(ミルコスキャン133B, ホスエレクトリック社)、第一胃液VFA濃度の測定にはガスクロマトグラフィー(6890シリーズ, ヒューレットパッカード社)、血漿浸透圧の分析には浸透圧計(OSMOMAT 030, ゴノテック社)をそれぞれ用いた。血漿および乳中尿素濃度と第一胃液アンモニア濃度は市販キット(尿素窒素Bテストワコーおよびアンモニアテストワコー, 和光純薬)を用いて分析を行った。また、血漿Na, K, 塩素(Cl), グルコース、遊離脂肪酸および乳酸濃度は株式会社エスアールエル(東京)に分析を依頼し、Na, KおよびClは電極法により、グルコース、遊離脂肪酸および乳酸は酵素法によって測定した。

出納試験の測定結果から、K, NおよびNaの見かけの蓄積量(発汗等による損失量を含む)は、各成分の摂取量(Naの場合は飲水からの摂取量を含む)から総排せつ量(糞中および尿中排せつ量と乳中移行量の合計)を差し引いて求めた。また、見かけの水分保持量(蒸発量を含む)は飼料水量、飲水量および代謝水量を合計した総水分摂取量から、糞中および尿中水分排せつ量と乳中水分移行量(乳中全固形分から算出)を合計した総水分排せつ量を差し引いて求め、代謝水量は可消化CP摂取量と可消化非タンパク質有機物摂取量から算出した<sup>13)</sup>。

統計処理はSASのGLMプロシジャ<sup>40)</sup>によって行い、データは最小二乗平均値と標準誤差で記載した。分散分析で飼料処理に有意な効果が検出された場合には、ボンフェローニの方法により最小二乗平均値の多重比較検定を行った。また、有意水準は危険率5%未満として表中に示したが、5%以上10%未満の場合は傾向があるものとして本文中に危険率を記載した。

## 結 果

Table 3に乾物摂取量、排せつ物量、乳量、乳成分率、消化率および栄養価の測定結果を示した。定量給与条件で残飼がなかったことから、乾物摂取量はすべての区で同じであった。糞量はHH区が最も多く、次いでLL区、LH区の順に少なくなり、HH区とLH区の間には有意な差が認められた。尿量はHH区の14.5 kg/日に対して、LH区で約3割少ない9.7 kg/日、さらにLL区ではHH区の半分以下の6.6 kg/日へと有意な減少が観察された。LL区の尿量はLH区に対しては減少傾向であった(P=0.070)。糞尿合わせた排せつ物量ではLH区とLL区がほぼ同程度であり、HH区よりも10 kg以上少

Table 2. Chemical composition of the experimental diets (% DM)

	Diets <sup>1)</sup>		
	HH	LH	LL
DM (% FM)	76.2	46.1	46.0
OM	92.0	93.6	93.8
CP	18.1	17.6	13.5
EE	3.8	4.4	4.1
aNDFom	46.8	39.9	38.8
ADFom	26.8	21.5	20.7
Starch	16.0	29.4	33.4
K	1.75	0.94	0.93
Na	0.27	0.19	0.20

<sup>1)</sup> HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet

DM: dry matter, FM: fresh matter, OM: organic matter, CP: crude protein, EE: ether extracts, aNDFom: neutral detergent fiber, ADFom: acid detergent fiber

Table 3. Dry matter intake, excreta, milk performance, digestibility and nutrient values of cows fed the experimental diets

	Diets <sup>1</sup>			SE
	HH	LH	LL	
DM intake (kg/day)	15.8	15.8	15.8	0.0
Excreta (kg/day)				
Feces	40.2 <sup>a</sup>	33.7 <sup>b</sup>	36.1 <sup>ab</sup>	1.1
Urine	14.5 <sup>a</sup>	9.8 <sup>b</sup>	6.6 <sup>b</sup>	0.7
Feces + Urine	54.7 <sup>a</sup>	43.5 <sup>b</sup>	42.7 <sup>b</sup>	1.3
Milk yield (kg/day)	22.2	23.7	21.7	0.4
Milk composition (%)				
Fat	4.26	4.29	4.36	0.14
Protein	3.08	3.08	3.16	0.06
Lactose	4.56	4.58	4.60	0.08
Digestibility (%)				
DM	69.8 <sup>a</sup>	65.2 <sup>b</sup>	64.0 <sup>b</sup>	0.6
OM	72.1 <sup>a</sup>	67.1 <sup>b</sup>	65.8 <sup>b</sup>	0.6
CP	70.5 <sup>a</sup>	67.2 <sup>a</sup>	59.2 <sup>b</sup>	0.7
EE	72.3	65.0	62.4	3.2
aNDFom	63.4 <sup>a</sup>	51.4 <sup>b</sup>	48.3 <sup>b</sup>	2.0
ADFom	61.2 <sup>a</sup>	48.1 <sup>ab</sup>	44.7 <sup>b</sup>	2.7
Starch	97.4 <sup>a</sup>	92.3 <sup>b</sup>	92.1 <sup>b</sup>	0.9
TDN (%DM)	69.7 <sup>a</sup>	66.4 <sup>b</sup>	64.9 <sup>b</sup>	0.7
TDN/CP	3.85 <sup>b</sup>	3.78 <sup>b</sup>	4.82 <sup>a</sup>	0.04
<sup>2</sup> CP sufficiency rate (%)	132 <sup>a</sup>	121 <sup>b</sup>	99 <sup>c</sup>	1

<sup>a,b,c</sup>Means in a row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

<sup>1</sup>HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet

<sup>2</sup>CP sufficiency rate = CP intake / CP requirement x 100

DM : dry matter, OM : organic matter, CP : crude protein, EE : ether extracts, aNDFom : neutral detergent fiber, ADFom : acid detergent fiber, TDN : total digestible nutrients

なかった。また、乳量および乳成分率には飼料処理による統計的に明確な差は観察されなかった。

乾物、有機物、aNDFom およびデンプン消化率は、HH 区に比べて LH および LL 両区で有意に低下した。ADFom 消化率も HH 区に対して LL 区で有意に低下し、LH 区でも 10% 以上低下する傾向が観察された (P=0.052)。また、粗脂肪 (EE) 消化率も LH および LL 区の方が HH 区よりも低かったが、その違いは統計的に明確なものではなかった。CP 消化率は HH および LH 両区に対して LL 区で有意に低下したが、LH 区も HH 区よりも約 3% 低い傾向にあった (P=0.067)。これらの各成分の消化率の違いを反映して、可消化養分総量 (TDN) は HH 区よりも LH および LL 区が有意に低くなった。また、TDN/CP 比は CP 水準の低い LL 区が他の 2 区よりも有意に高かった。日本飼養標準<sup>28)</sup>の要求量に基づいて算出した CP 充足率は、HH、LH および LL 区でそれぞれ 132、121 および 99% で、各処理間

の差は有意であった。

Table 4 に K、N および Na 出納の結果を示した。K 摂取量は HH 区の 277 g/日に対して、LH 区と LL 区でそれぞれ 149 g/日および 147 g/日で、HH 区よりも約 130 g/日少なかった。K の糞中への排せつ量に飼料処理の影響は観察されなかったが、尿中への排せつ量は摂取量の違いに反応して、LH および LL 区で HH 区よりも 100 g/日以上減少した。また、乳中への K 移行量にも処理間の差がなかったことから、糞尿合計した排せつ物中への K 排せつ量および排せつ物と乳を合わせた総 K 排せつ量の変化は、尿中排せつ量の変化が反映される結果となった。さらに、見かけの K 蓄積量も HH 区に比べて LH 区と LL 区が有意に減少し、その減少量は両区で同程度であった。

N 摂取量は HH 区の 457 g/日に対して LH 区は 443 g/日で 14 g/日少なかったが、LL 区は 340 g/日と他の 2 区よりも 100 g/日以上少なかった。しかし、乳中へ

Table 4. K, N and Na balance of cows fed the experimental diets

	Diets <sup>1</sup>			SE
	HH	LH	LL	
K intake (g/day)	276.8 <sup>a</sup>	149.0 <sup>b</sup>	147.1 <sup>b</sup>	1.0
K excretion (g/day)				
Feces	66.4	62.5	62.9	3.8
Urine	149.1 <sup>a</sup>	40.9 <sup>b</sup>	42.5 <sup>b</sup>	2.2
Milk	36.3	38.6	35.2	1.8
Feces + urine	215.5 <sup>a</sup>	103.4 <sup>b</sup>	105.5 <sup>b</sup>	3.7
Total <sup>2</sup>	251.8 <sup>a</sup>	142.0 <sup>b</sup>	140.7 <sup>b</sup>	3.9
K balance <sup>3</sup> (g/day)	25.1 <sup>a</sup>	7.0 <sup>b</sup>	6.5 <sup>b</sup>	3.6
N intake (g/day)	457.1 <sup>a</sup>	443.3 <sup>b</sup>	340.1 <sup>c</sup>	1.4
N excretion (g/day)				
Feces	135.2 <sup>b</sup>	145.1 <sup>a</sup>	138.6 <sup>ab</sup>	2.0
Urine	148.9 <sup>a</sup>	117.3 <sup>b</sup>	70.5 <sup>c</sup>	5.2
Milk	106.2	110.8	103.2	1.6
Feces + urine	284.1 <sup>a</sup>	262.5 <sup>b</sup>	209.1 <sup>c</sup>	4.1
Total <sup>2</sup>	390.3 <sup>a</sup>	373.2 <sup>b</sup>	312.3 <sup>c</sup>	3.1
N balance <sup>3</sup> (g/day)	66.8 <sup>a</sup>	70.1 <sup>a</sup>	27.8 <sup>b</sup>	2.8
Na intake <sup>4</sup> (g/day)	44.9 <sup>a</sup>	30.8 <sup>c</sup>	32.2 <sup>b</sup>	0.1
Na excretion (g/day)				
Feces	25.5	13.7	14.5	3.3
Urine	6.9	5.9	5.4	1.3
Milk	6.0	6.6	5.9	0.2
Feces + urine	32.4 <sup>a</sup>	19.6 <sup>b</sup>	19.8 <sup>b</sup>	2.3
Total <sup>2</sup>	38.3 <sup>a</sup>	26.2 <sup>b</sup>	25.8 <sup>b</sup>	2.3
Na balance <sup>3</sup> (g/day)	6.6	4.7	6.5	2.2

<sup>a,b,c</sup>Means in a row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

<sup>1</sup>HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet

<sup>2</sup>Sum of feces, urine and milk

<sup>3</sup>Subtracted total excretion from total intake

<sup>4</sup>From feed and drinking water

のN移行量には、乳タンパク質率の結果と同様に、飼料処理の影響は認められなかった。糞中N排せつ量はLH区が最も多く、最少のHH区との差は約10gで統計的に有意であった。LL区は他の2区に対して、Nの尿中排せつ量、糞尿中排せつ量、乳中移行量も含めた総排せつ量および見かけの蓄積量のいずれも有意に少なかった。また、LH区はHH区と比較して、N蓄積量に違いはなかったが、尿中排せつ量、糞尿中排せつ量および総排せつ量は有意に少なく、その差は摂取量における差よりも大きかった。

Na摂取量はHH, LH, LL区でそれぞれ45, 31, 32g/日であり、NやKと比べると各処理区間の差は小さかったものの、その差は統計的にすべて有意であった。Naの尿中排せつ量、乳中移行量および見かけの蓄積量には飼料処理による有意な効果は観察されなかった。糞中Na排せつ量も統計的な差は検出されなかったものの、HH区の糞尿中Na排せつ量と総Na排せつ量は他

の2区よりも有意に多く、その差は概ね糞中Na排せつ量における処理間の差と一致していた。

飼料からの水分摂取量は給与飼料の水分含量が低いHH区で少なく、飲水量は逆にHH区が有意に多かった(Table 5)。HH区では代謝水生成量も他の2区と比べてわずかではあるが有意に多かった。これらを合計した総水分摂取量はHH, LHおよびLL区でそれぞれ84.8, 75.1および71.9kg/日で、HH区と他の2区の間には有意差が観察されたが、LH区とLL区の差は統計的に有意ではなかった。一方、糞中および尿中への水分排せつ量と乳中への水分移行量で観察された各飼料処理間関係は、上述の原物糞量および原物尿量と乳量で観察された結果と同様であった。ただし、HH区における糞中水分排せつ量の高値には、LH区に対する有意な差に加え、LL区との差にも一定の傾向が検出された(P=0.093)。糞尿中水分排せつ量と乳も含めた総水分排せつ量は、HH区に対してLHおよびLL区が10kg/

日以上の有意味な減少を示したが、見かけの水分保持量には飼料処理による影響は観察されなかった。

各飼料の給与による生体液成分の反応を Table 6 にまとめた。第一胃液では pH および VFA 濃度に飼料

処理による影響は観察されなかったが、アンモニア濃度は HH 区で 11.8 mgN/dl であったものが、LH 区で 7.2 mgN/dl と低下傾向を示し (P=0.054)、さらに LL 区では 3.8 mgN/dl まで有意に低下した。血漿では浸

Table 5. Water balance of cows fed the experimental diets

	Diets <sup>1</sup>			SE
	HH	LH	LL	
Water intake (kg/day)				
Feed	5.0 <sup>b</sup>	18.4 <sup>a</sup>	18.6 <sup>a</sup>	0.1
Drinking	74.7 <sup>a</sup>	51.8 <sup>b</sup>	48.5 <sup>b</sup>	1.3
Metabolic <sup>2</sup>	5.1 <sup>a</sup>	4.9 <sup>b</sup>	4.8 <sup>b</sup>	0.1
Total <sup>3</sup>	84.8 <sup>a</sup>	75.1 <sup>b</sup>	71.9 <sup>b</sup>	1.5
Water excretion (kg/day)				
Feces	35.4 <sup>a</sup>	28.3 <sup>b</sup>	30.5 <sup>ab</sup>	1.2
Urine	13.8 <sup>a</sup>	9.3 <sup>b</sup>	6.2 <sup>b</sup>	0.7
Milk	19.4	20.6	18.9	0.4
Feces + urine	49.2 <sup>a</sup>	37.6 <sup>b</sup>	36.7 <sup>b</sup>	1.3
Total <sup>4</sup>	68.5 <sup>a</sup>	58.2 <sup>b</sup>	55.5 <sup>b</sup>	1.4
Water balance <sup>5</sup> (kg/day)	16.2	16.9	16.3	1.2

<sup>a,b,c</sup>Means in a row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

<sup>1</sup>HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet

<sup>2</sup>Calculated from the intake of digestible crude protein and digestible non-protein organic matter<sup>13)</sup>

<sup>3</sup>Sum of feed, drinking and metabolic

<sup>4</sup>Sum of feces, urine and milk

<sup>5</sup>Subtracted total excretion from total intake

Table 6. Ruminal fluid, plasma and milk constituent concentration and urinary constituent excretion of cows fed the experimental diets

	Diets <sup>1</sup>			SE
	HH	LH	LL	
Ruminal fluid				
pH	7.35	7.33	7.38	0.13
Ammonia (mgN/dl)	11.8 <sup>a</sup>	7.2 <sup>ab</sup>	3.8 <sup>b</sup>	0.9
Acetic acid (mmol/L)	46.3	42.6	37.0	8.1
Propionic acid (mmol/L)	9.9	8.6	7.7	2.0
Butyric acid (mmol/L)	7.2	7.4	6.4	0.9
Acetic/Propionic	4.7	5.0	4.8	0.2
Plasma				
Osmolality (mOsm/kg)	284.8	284.1	282.1	1.4
Na (mEq/L)	137.9	138.5	137.7	0.8
K (mEq/L)	4.0	3.9	4.2	0.2
Cl (mEq/L)	100.9	103.3	103.1	1.4
Glucose (mg/dl)	69.9	72.3	69.3	4.6
Free fatty acid (μEq/L)	177.7	178.2	202.6	52.4
Lactic acid (mg/dl)	8.4	7.8	9.0	0.9
Urea (mgN/dl)	21.4 <sup>a</sup>	16.8 <sup>a</sup>	9.4 <sup>b</sup>	1.0
Milk				
Urea (mgN/dl)	22.0 <sup>a</sup>	17.1 <sup>b</sup>	10.5 <sup>c</sup>	0.5
Urine				
Urea (gN/day)	117.3 <sup>a</sup>	87.9 <sup>b</sup>	42.9 <sup>c</sup>	4.3

<sup>a,b,c</sup>Means in a row with different superscripts differ significantly (P<0.05)

<sup>1</sup>HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet

透圧や Na, K, Cl, グルコース, 遊離脂肪酸および乳酸濃度には飼料処理間の違いはなかったが, 尿素濃度は HH, LH および LL 区がそれぞれ 21.4, 16.8 および 9.4 mgN/dl で, LL 区が他の 2 区と比較して有意に低く, また LH 区も HH 区に対して低くなる傾向にあった ( $P=0.073$ )。また, 同様の尿素濃度の反応は乳中でも観察され, 乳中濃度ではすべての飼料処理間に統計的な有意差が認められた。尿中への尿素排せつ量の反応は, 尿中 N 排せつ量で観察されたものと同様で, 各飼料処理間に有意な差が検出され, 特に LL 区の減少が顕著であった。

## 考 察

本試験の 2 つの低 K 飼料区の飼料中 K 含量は, 日本飼養標準・乳牛<sup>28)</sup>で泌乳牛の要求量として呈示されている 0.8% に近い水準であった。我々は K 含量を 1.2% まで低減した飼料を泌乳牛に給与しても, 採食量, 乳生産および消化率に悪影響が観察されなかったことを報告した<sup>34)</sup>。本試験はそれよりもさらに低 K 水準の飼料を給与したが, 採食量と乳生産への影響は観察されなかったものの, 飼料成分の消化率が高 K 飼料給与の HH 区に対して有意に低下した。K が大きく欠乏する場合に消化管運動が低下することは報告されているが<sup>25)</sup>, 両低 K 飼料区ともに見かけの K 蓄積量は正の値を示しており, K が欠乏する状態ではなかった。おそらく, この両低 K 飼料区における成分消化率の低下は, K 摂取量の減少が直接引き起こしたのではなく, 低 K 飼料を調製するために使用した飼料原料の消化性が影響したものと考えられる。すなわち, 本試験では 1% を下まわる含量の低 K 飼料を設計するために, K 含量の低い飼料原料を多用したが, 粗飼料に用いたコーンサイレージは, HH 区で用いたイタリアンライグラスサイレージに比べると CP や繊維の消化率が低い<sup>27)</sup>。さらに, 濃厚飼料では馬鈴薯デンプンやコーングルテンミールなどのデンプンや CP の消化率が高い飼料原料も使用してはいるものの, 全般的に成分消化率の高い大豆粕, コーンおよび大麦を大幅に減らして, 比較的消化率が低いビール粕を多用しており, これらが LH および LL 区の消化率を低下させたものと思われる。加えて, LL 区では摂取 N 量の減少により内因性糞 N の比率が相対的に増加したことも, 見かけの CP 消化率の低下を大きくした原因と考えられる。

本試験は K および N の摂取水準を変化させて, その尿量への効果を調べることを意図して設計されたが, 尿

量を規制するもう一つの主要な栄養要因である Na の摂取量も飼料処理区間で有意に異なり, HH 区の Na 摂取量は LH および LL 区の 1.4 倍程度あった。しかし, HH 区は統計的に有意ではないものの, 糞中への Na 排せつ量も他の 2 区よりも多く, 見かけの Na 吸収量 (摂取量 - 糞中排せつ量) を計算すると, HH, LH および LL 区でそれぞれ 19.4, 17.1 および 17.8 g/日となり, 各飼料区で概ね同程度であった。HH 区で糞中 Na 排せつ量が多かった理由は明らかではないが, 消化管における Na の吸収は水分の吸収と密接に関係するので<sup>46)</sup>, HH 区の糞中水分排せつ量が他の 2 区よりも多かったことが関係しているかもしれない。いずれにしても, 吸収された Na 量が各処理区で同程度であれば, Na が尿量の試験結果に及ぼした影響は少なかったと推定できるので, K と N の効果を検討する上で, Na 摂取量の違いが問題になることはない判断した。

本試験では HH 区と LH 区の比較から尿量に対する K 摂取量の効果を, また LH 区と LL 区との比較から尿量に対する N 摂取量の効果を, それぞれ定量的に把握することを試みた。HH 区から LH 区へは有意に, LH 区から LL 区へは統計的な傾向として, 尿量の減少が確認された。K 摂取量が 127.8 g 減少した HH 区から LH 区への尿量減少は 4.7 kg, N 摂取量が 103.2 g 減少した LH 区から LL 区への尿量減少は 3.2 kg である。ただし, HH 区から LH 区にも 13.8 g の N 摂取量の減少があり, LH 区から LL 区でもわずかではあるが 1.9 g の K 摂取量の減少があったので, これらの分を差し引いた上で, それぞれの栄養素摂取量減少と尿量減少との関係を計算してみると, HH 区から LH 区への K 摂取量 1 g の減少は尿量を 30.0 g 減少させ, LH 区から LL 区への N 摂取量 1 g の減少は尿量を 29.9 g 減少させたものと算出される。すなわち, 両栄養素摂取量は尿量に対して同程度の効果を及ぼしていたと推測される結果であった。一方, 日本飼養標準・乳牛<sup>28)</sup>で呈示された K 摂取量および N 摂取量を独立変数とする尿量の重回帰式 [尿量 (kg) =  $-8.3575 + 0.0167 \times N$  摂取量 (g) +  $0.0509 \times K$  摂取量 (g)] から示唆される両栄養素摂取量の尿量に及ぼす効果は, K 摂取量 1 g あたり尿量 50.9 g および N 摂取量 1 g あたり尿量 16.7 g であり, N 摂取量の効果は K 摂取量の効果の約 1/3 と推定される。これと比較すれば, 本試験の結果は尿量に対する K 摂取量の効果が小さく, 逆に N 摂取量の効果は大きく現れたと言える。

K も N も腎尿細管において浸透圧作用を及ぼすことにより, 水分再吸収に影響して尿量を左右すると考えられる<sup>24)</sup>。しかし, K がイオン態としてそのまま排せつ

されるのに対し、Nの腎臓における主たる排せつ形態は蛋白質・アミノ酸代謝の最終産物の尿素であり、腎尿細管では主に尿素として浸透圧作用を発揮して水分排せつ量に影響を及ぼす<sup>46)</sup>。そのため、N摂取量の尿量に対する効果には、血中尿素濃度の変化が重要な役割を果たしており、それは泌乳牛においても同様と考えられるが<sup>39)</sup>、泌乳牛の血中尿素濃度の変動には、N摂取量以外に複数の栄養要因が関与し、特に第一胃内における微生物のN利用性に影響を与える要因は、泌乳牛の血漿尿素濃度を大きく左右する。本試験のLH区からLL区への血漿尿素濃度の変化は7.4 mg/dlとかなり大きく、統計的にも有意な低下を示していた。この血漿尿素濃度の大きな変化に、LL区で3.8 mg/dlまで低下した第一胃液アンモニア濃度の変化が大きく寄与したことは間違いない。そして、このアンモニア濃度の低下には一義的な原因であるN摂取量の減少に加え、蛋白質飼料を代替するのに馬鈴薯デンプンを多給したことも影響したと推測される。すなわち、第一胃において速やかに分解・発酵される馬鈴薯デンプンは、第一胃微生物にエネルギーを供給して菌体蛋白質合成へのアンモニア利用を促進させるため、第一胃液中のアンモニア濃度を低下させる<sup>29,33)</sup>。従って、LL区の飼料条件では、N摂取量の減少の効果が代替した飼料の効果が加わることで、血漿尿素濃度に大きな低下を引き起こした結果、N摂取量減少による尿量低減効果が比較的大きく現れた可能性が考えられる。ただし、血中尿素が尿量を決定する要因であることは疑いないところであるものの、その定量的な効果については必ずしも明確となっているわけではない。Nennichら<sup>26)</sup>は日内変動のある血中尿素濃度の代わりに、平均的な血中尿素レベルを安定して反映するとされる乳中尿素濃度<sup>18)</sup>を用いて、尿量推定式を作成しているが、実際に我々の個別データをその推定式に適用してみても、乳中尿素濃度から推定される尿量と実尿量が一致しない場合の方が多い。血中尿素濃度と尿量との関係を定量的に評価するためには、他の尿量規制要因との相互関係や牛の生理状態の影響などについて、さらに研究を積み重ねることが必要である。

Kはアルカリ産生効果を有するミネラルであり、Kを多く含む牧草を摂取する乳牛の尿pHは、通常はアルカリ性である。K摂取量の減少<sup>9,22,23)</sup>あるいは飼料陽イオン陰イオン差(DCAD)の低下<sup>10,11,15)</sup>はこの尿pHを低下させ、酸性側にも傾かせる。尿pHが低下すると、腎尿細管による水素イオンの分泌量が増加するが、その多くはアンモニアイオンとして排せつされるため<sup>42)</sup>、K摂取量の減少<sup>44)</sup>あるいはDCAD<sup>42,47)</sup>の低下によって、

乳牛の尿中アンモニア排せつ量が増加する。さらに、K摂取量の減少<sup>17,30)</sup>あるいはDCADの低下<sup>8,16)</sup>が、尿中へのカルシウム(Ca)排せつ量を増加させることも知られており、これは骨におけるCa沈着が低下する一方で、腎でのCa再吸収が減少するためと考えられる<sup>43)</sup>。本試験におけるHH区からLH区への大幅なK摂取量の減少からすれば、LH区でアンモニアやCaの尿中排せつ量が増加していた可能性は十分に考えられる。そして、これらの成分が腎臓において浸透圧効果を及ぼせば、減少したKの浸透圧作用の一定分が相殺されることになるので、尿量に対するKの効果が、見かけ上小さく評価された可能性は考えられる。従って、Kの尿量への効果を定量化するための今後の課題として、低K条件下で泌乳牛の腎浸透圧形成にどのような成分が関与するのか、明らかにすることが重要である。

KとNの尿中への排せつには相互作用があり<sup>37)</sup>、飼料CP含量の低下によって尿中K排せつ量に有意な減少が観察されたことが報告されている<sup>45)</sup>。また、パス解析を用いた統計研究<sup>19)</sup>では、乳牛の尿中N排せつ量の約1/4はK摂取量によって説明できるとされ、それはK摂取量の変化による尿量の変動がN排せつに影響するためと考察されている。従って、Kを制御した条件下でNの制御を行った場合に、そのような相互作用に影響されて尿量に対するN制御の効果が十分に現れない可能性も想定された。本試験では高K低CP飼料区を設定していないので、K制御とN制御の尿量効果における量的な相互作用については、明確な判断を下すことはできないが、低K飼料給与条件下のLH区からLL区へのN摂取量の減少によって確認された尿量低減効果が、飼養標準の回帰式から予想される効果を下まわらなかったことから、少なくともK制御下でもN制御が尿量低減に対して一定の相加的效果を及ぼすと判断できる。従って、KとNの同時制御は、効率的に乳牛の尿量を低減する有効な栄養管理手法として利用できるものと考えられた。

上述の通り、Nを制御したLL区では第一胃アンモニア濃度が3.8 mg/dlまで低下して、最終的に大きな尿量低減効果を発揮したが、第一胃内微生物合成に対してバランスのとれた最適なアンモニア濃度は5 mg/dl前後とされていることからすると<sup>28,41)</sup>、LL区の第一胃アンモニア濃度はやや低下しすぎであったかもしれない。確かに、統計的な差はないものの、LL区では他の2区よりもVFA濃度に若干の数値的な低下も窺われた。しかし、第一胃液pHや血漿乳酸濃度に第一胃の恒常性の乱れを窺わせる徴候はなく、血漿のグルコースや遊離脂肪

酸濃度にも特段の変化は認められなかったため、生体に対するエネルギー供給に支障をきたすような微生物合成への悪影響はなかったと推測され、結果的に他の2区と同様な乳生産が維持されたものと考えられる。ただし、LL区では他の2区で70 g/日程度あった正味のN蓄積量が、30 g/日程度まで有意に減少した。これはN摂取量が減少した泌乳牛のN分配において、尿中への排せつ量の減少に加え、蓄積に向かう量も減少させて、乳へのN利用が優先されていたことを示唆している。泌乳後期は乳牛のボディーコンディションを回復させる時期でもあり、扇ら<sup>32)</sup>も40頭の泌乳後期経産牛のN蓄積量の平均値を、HH区およびLH区と同程度の約70 g/日と報告している。従って、尿量低減化のために制御するN摂取量の水準については、泌乳後期牛のN蓄積という観点からも、さらに検討する余地があるかもしれない。

LHおよびLL区ではHH区に対する有意な尿中水分排せつ量の減少に加え、糞中水分排せつ量にも有意な減少あるいは減少傾向が観察された。我々の以前の低K飼料給与試験<sup>34)</sup>では尿量の減少は観察されても、糞中水分排せつ量に変化は認められなかった。Paquayら<sup>38)</sup>は泌乳牛100頭の水分出納試験成績に基づいた統計研究から、糞中水分排せつ量は総水分摂取量と高い相関( $r=0.713$ )があることを明らかにしている。さらに、実際に泌乳牛の飲水を通常の半分に制限して総水分摂取量を減少させた試験では、糞中水分排せつ量がほぼ半減することも報告されている<sup>7)</sup>。本試験ではLHおよびLL区の総水分摂取量はHH区よりも有意に減少していた。これは牛が尿量の減少に応じて、HH区との飼料水摂取量の違い以上に飲水量を減少させたことによるものであり、生理的な水分調節反応が行われた結果と考えられる。我々の以前の低K飼料給与試験<sup>34)</sup>でも、低K飼料給与による尿量減少時に、飲水量の減少反応があったと推察はされたものの、対照の高K飼料区と低K飼料区とで採食量と乳量の水準が異なったために、両区の総水分摂取量には差がなかった。そのため、同じ低K飼料給与試験でも、今回のような糞中水分排せつ量の変化が観察されなかった可能性が考えられる。糞中水分は糞の物性に大きな影響を与え、排せつ物処理の労力を左右する主たる要因の一つであるので、給与飼料中のK低減(あるいはKとNの低減)が、尿量のみならず糞中水分排せつ量の削減にも有効である可能性が示唆されたことは重要であり、今後のさらなる研究が期待される。

## 謝 辞

本研究の動物試験の遂行にあたり多大なご協力をいただいた、畜産研究支援センター業務第一科C棟作業班の皆様へ厚く御礼申し上げます。また、試験データの統計解析手法に関して貴重なご助言をいただいた、家畜育種繁殖研究領域佐々木修主任研究員に深く感謝いたします。

## 引用文献

- 1) 阿部亮 (2001). 栄養実験のための分析方法, 新編動物栄養試験法 (石橋晃監修), 養賢堂, 東京, 455-564.
- 2) Agricultural Research Council (1980). The nutrient requirement of ruminant livestock, Commonwealth Agricultural Bureaux, England, 295-306.
- 3) Bannink, A., Valk, H. and Van Vuuren, A.M. (1999). Intake and excretion of sodium, potassium, and nitrogen and the effects on urine production by lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 82, 1008-1018.
- 4) Broderick, G.A. (2003). Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 86, 1370-1381.
- 5) Broderick, G.A., Stevenson, M.J., Patton, R.A., Lobos, N.E. and Olmos Colmenero, J.J. (2008). Effects of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 91, 1092-1102.
- 6) Broderick, G.A., Stevenson, M.J. and Patton, R.A. (2009). Effect of dietary protein concentration and degradability on response to rumen-protected methionine in lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 92, 2719-2728.
- 7) Burgos, M.S., Senn, M., Sutter, F., Kreuzer, M. and Langhans, W. (2001). Effect of water restriction on feeding and metabolism in dairy cows, *Am. J. Physiol.*, 280, R418-R427.
- 8) Charbonneau, E., Pellerin, D. and Oetzel, G.R. (2006). Impact of lowering dietary cation-anion difference in nonlactating dairy cows: A meta-analysis, *J. Dairy Sci.*, 89, 537-548.

- 9) Constable, P.D., Gelfert, C.C., Furl, M., Staufenbiel, R. and Stampfli, H.R. (2009). Application of strong ion difference theory to urine and the relationship between urine pH and net acid excretion in cattle, *Am. J. Vet. Res.*, 70, 915-925.
- 10) DeGaris, P.J. and Lean, I.J. (2009). Milk fever in dairy cows: A review of pathophysiology and control principles, *Vet. J.*, 176, 58-69.
- 11) Delaquis, A.M. and Block, E. (1995). Acid-base status, renal function, water, and macromineral metabolism of dry cows fed diets differing in cation-anion difference, *J. Dairy Sci.*, 78, 604-619.
- 12) Dinn, N.E., Shelford, J.A. and Fisher, L.J. (1998). Use of the Cornel Net Carbohydrate and Protein System and rumen-protected lysine and methionine to reduce nitrogen excretion from lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 81, 229-237.
- 13) Faichney, G.J. and Boston, R.C. (1985). Movement of water within the body of sheep fed at maintenance under thermoneutral conditions, *Aust. J. Biol. Sci.*, 38, 85-94.
- 14) Fisher, L.J., Dinn, N., Tait, R.M. and Shelford, J.A. (1994). Effect of level of dietary potassium on the absorption and excretion of calcium and magnesium by lactating cows, *Can. J. Anim. Sci.*, 74, 503-509.
- 15) Hu, W. and Murphy, M.R. (2004). Dietary cation-anion difference effects on performance and acid-base status of lactating dairy cows: A meta-analysis, *J. Dairy Sci.*, 87, 2222-2229.
- 16) Hu, W., Murphy, M.R., Constable, P.D. and Block, E. (2007). Dietary cation-anion difference and dietary protein effects on performance and acid-base status of dairy cows in early lactation, *J. Dairy Sci.*, 90, 3355-3366.
- 17) Hu, W. and Kung, L.Jr. (2009). Effect of dietary ratio of Na:K on feed intake, milk production, and mineral metabolism in mid-lactation dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 92, 2711-2718.
- 18) 生田健太郎・小鴨睦・篠倉和己・函城悦司 (2000). 乳中尿素態窒素測定法の比較と測定値に及ぼす乳汁採取・保存方法の影響, *日獣会誌*, 53, 285-288.
- 19) Kojima, H., Kume, S., Nonaka, K., Oshita, T., Kozakai, T. and Hirooka, H. (2005). Effects of feeding and animal performance on nitrogen, phosphorus and potassium excretion by Holstein cows, *Anim. Sci. J.*, 76, 139-145.
- 20) Krober, T.F., Kulling, D.R., Menzi, H., Sutter, F. and Kreuzer, M. (2000). Quantitative effects of feed protein reduction and methionine on nitrogen use by cows and nitrogen emission from slurry, *J. Dairy Sci.*, 83, 2941-2951.
- 21) 久米新一・野中和久・大下友子・小酒井貴晴・小島英紀 (2004). 自給粗飼料多給時における乾乳牛、妊娠牛および泌乳牛のカリウム排せつ量, *日畜会報*, 75, 179-184.
- 22) Kume, S., Sato, T., Murai, I., Kitagawa, M., Nonaka, K. and Oshita T. (2011). Relationships between urine pH and electrolyte status in cows fed forages, *Anim. Sci. J.*, 82, 456-460.
- 23) Leiber, F., Wettstein, H.R. and Kreuzer, M. (2009). Is the intrinsic potassium content of forages an important factor in intake regulation of dairy cows?, *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 93, 391-399.
- 24) 松田浩二郎・市岡正道・東建彦・林秀生・菅野富雄・中村嘉男・佐藤昭雄 共訳 (1986). 原書12版 医科生理学展望, 丸善, 東京, 644-645.
- 25) National Research Council (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th. ed. National Academy Press, Washington, D.C., 124-128.
- 26) Nennich, T.D., Harrison, J.H., Van Wieringen, L.M., St-Pierre, N.R., Kincaid, R.L., Wattiaux, M.A., Davidson, D.L. and Block, E. (2006). Prediction and Evaluation of urine and urinary nitrogen and mineral excretion from dairy cattle, *J. Dairy Sci.*, 89, 353-364.
- 27) 農業技術研究機構 (2001). 日本標準飼料成分表, 2001年版, 245p.
- 28) 農業・食品産業技術総合研究機構編 (2006). 日本飼養標準 乳牛, 2006年版, 中央畜産会, 東京, 205p.
- 29) Obara, Y., Dellow, D.W. and Nolan, J.V. (1990). The influence of energy-rich supplements on nitrogen kinetics in ruminants, In *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants*, 515-539, Academic Press, San Diego.
- 30) O'Connor, A.M., Beede, D.K. and Wilcox, C.J. (1988). Lactational responses to dietary magnesium, potassium, and sodium during winter in Florida, *J. Dairy Sci.*, 71, 971-981.

- 31) 扇勉・糟谷広高・藤田眞美子・斉藤繁・原悟志 (2003) . 魚粉利用による泌乳牛の窒素排泄量低減, 日畜会報, 74, 509-515.
- 32) 扇勉・峰崎康裕・西村和行・糟谷広高・藤田眞美子・原悟志 (2003) . 牧草サイレージ主体飼養における泌乳牛の糞尿量および窒素排泄量, 日畜会報, 74, 525-530.
- 33) 大谷文博・田鎖直澄・上野孝志 (2001) . 飼料への易発酵性炭水化物の添加が乳牛の糞尿窒素排泄量に及ぼす影響, 日畜会報, 72, J239-J246.
- 34) 大谷文博・田鎖直澄・甘利雅弘・小笠原俊介・森田総一郎・松浦庄司・鈴木知之・栗原光規・樋口浩二・野中最子 (2010) . 低カリウム飼料の給与が泌乳牛の尿量低減化に及ぼす影響, 畜草研報, 10, 1-8.
- 35) 岡本英竜・原田靖生 (2006) . 新編畜産ハンドブック (扇元敬司他編), 講談社, 東京, 471-484.
- 36) Olmos Colmenero, J.J. and Broderick, G.A. (2006). Effect of dietary crude protein concentration on milk production and nitrogen utilization in lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 89, 1704-1712.
- 37) Paquay, R., Lomba, F., Lousse, A. and Bienfet, V. (1969). Statistical research on the fate of dietary mineral elements in dry and lactating cows. V. Potassium, *J. Agric. Sci.*, 73, 445-452.
- 38) Paquay, R., De Baere, R. and Lousse, A. (1970). Statistical research on the fate of water in the adult cow. II. The lactating cow, *J. Agric. Sci.*, 75, 251-255.
- 39) Sannes, R.A., Messman, M.A. and Vagnoni, D.B. (2002). Form of rumen-degradable carbohydrate and nitrogen on microbial protein synthesis and protein efficiency of dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 85, 900-908.
- 40) SAS Institute (2008). SAS/STAT 9.2 User's Guide: The GLM Procedure (Book Excerpt). SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- 41) Satter, L.D. and Slyter, L.L. (1974). Effect of ammonia concentration on rumen microbial protein production in vitro, *Br. J. Nutr.*, 32, 199-208.
- 42) Schneider, P.L., Beede, D.K. and Wilcox, C.J. (1988). Effects of supplemental potassium and sodium chloride salts on ruminal turnover rates, acid-base and mineral status of lactating dairy cows during heat stress, *J. Anim. Sci.*, 66, 126-135.
- 43) Schonewille, J.Th., Van't Klooster, A.Th., Dirckzwager, A. and Beynen, A.C. (1994). Stimulatory effect of an anion(chloride)-rich ration on apparent calcium absorption in dairy cows, *Livest. Prod. Sci.*, 40, 233-240.
- 44) St. Omer, V.V.E. and Roberts, W.K. (1967). Some effects of dietary potassium upon digestibility, serum electrolytes and utilization of potassium, sodium, nitrogen and water in heifers, *Can. J. Anim. Sci.*, 47, 39-46.
- 45) Tomlinson, A.P., Powers, W.J., Van Horn, H.H., Nordstedt, R.A. and Wilcox, C.J. (1996). Dietary protein effects on nitrogen excretion and manure characteristics of lactating cows, *Transactions of the ASAE*, 39, 1441-1448.
- 46) 津田恒之・小原嘉昭・加藤和雄 (2004) . 家畜生理学, 第二次改訂増補版, 養賢堂, 東京, 321p.
- 47) Vagnoni, D.B. and Oetzel, G.R. (1998). Effect of dietary cation-anion difference on the acid-base status of dry cows, *J. Dairy Sci.*, 81, 1643-1652.
- 48) Van Soest, P.J., Robertson, J.B. and Lewis B.A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition, *J. Dairy Sci.*, 74, 3583-3597.

## Simultaneous Control of Potassium and Nitrogen to Reduce Urine Volume in Lactating Dairy Cows

Fumihiro OHTANI, Kouji HIGUCHI, Yousuke KOBAYASHI, Itoko NONAKA<sup>a</sup>,  
Kenich YAYOU<sup>1</sup> and Madoka SUTOH

Animal Physiology and Nutrition Research Division,  
NARO Institute of Livestock and Grassland Science, Tsukuba, 305-0901 Japan

<sup>1</sup>National Institute of Agrobiological Science, Tsukuba, 305-0901 Japan

### Summary

An experiment that simultaneously controlled dietary potassium (K) and nitrogen (N) in lactating dairy cows was carried out to determine the effects of each nutrient on urine volume and whether simultaneous control of both nutrients could reduce urine volume effectively. Three feed treatments were arranged; high K high crude protein (CP) diet (HH diet: 1.75% of K, 18.1% of CP) which combined soybean meal, corn and barley as formula feed with Italian ryegrass silage as a main roughage, and low K high CP diet (LH diet: 0.94% of K, 17.6% of CP) which reduced K content by using corn silage as a main roughage and replacing a substantial portion of formula feed with brewer's grain, corn gluten meal, urea and potato starch, and low K low CP diet (LL diet: 0.93% of K, 13.5% of CP) which reduced CP content by replacing a part of brewer's grain and corn gluten meal in LH diet with barley and potato starch. Diets were fed to four dairy cows in late lactation assigned to 3 x 3 Latin square design and balance trials were conducted. When LH and LL diets were fed, several nutrient digestibilities were lower than HH diet in consequence of poor digestibilities of ingredients constituted low K diets, although there were no differences in milk yield and composition rates among treatments, indicating that the control of K and N in diets did not exert adversely effects on milk production of dairy cows. Urine volume decreased from 14.5 kg/day in HH diet to 9.8 kg/day in LH diet and moreover decreased to 6.6 kg/day in LL diet. It was deduced that either decrease in K or N intake produced comparable reduction effect on urine volume of cows. Because it was confirmed that lower N intake could show additive reduction effect on urine volume even under lower K intake condition, it was thought that simultaneous control of both nutrients would be useful nutritional management to decrease urine volume in lactating dairy cows efficiently. In addition, it was suggested that the decrease in urine volume by feeding LH or LL diets might be able to reduce fecal water excretion, presumably in association with reduction of total water intake of dairy cows.

**Key words:** lactating dairy cows, potassium, nitrogen, nutritional management, urine volume reduction

---

<sup>a</sup> Present address: NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, Koshi, 861-1192 Japan