

低カリウム飼料の給与が泌乳牛の尿量低減化に及ぼす効果

著者	大谷 文博, 田鎖 直澄, 甘利 雅弘, 小笠原 俊介, 森田 聡一郎, 松浦 庄司, 鈴木 知之, 栗原 光規, 樋口 浩二, 野中 最子
雑誌名	畜産草地研究所研究報告
巻	10
ページ	1-8
発行年	2010-03-01
URL	http://doi.org/10.24514/00002184

doi: 10.24514/00002184

低カリウム飼料の給与が泌乳牛の尿量低減化に及ぼす効果

大谷文博¹⁾・田鎖直澄²⁾・甘利雅抔³⁾・小笠原俊介⁴⁾・森田総一郎⁵⁾・
松浦庄司⁶⁾・鈴木知之⁷⁾・栗原光規⁸⁾・樋口浩二¹⁾・野中最子⁹⁾

¹⁾ 栄養素代謝研究チーム

²⁾ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター

³⁾ 畜産研究支援センター

⁴⁾ 長崎県農林技術開発センター

⁵⁾ 飼料作生産性向上研究チーム

⁶⁾ 草地多面的機能研究チーム

⁷⁾ 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター

⁸⁾ 独立行政法人農業生物資源研究所

⁹⁾ 畜産温暖化研究チーム

要 約

粗飼料および濃厚飼料にカリウム (K) 含量の少ない飼料資源を積極的に活用した実用的な低 K 飼料を泌乳牛 4 頭に給与し、生産性を損なうことなく効果的に尿量を減少させることができるか検証した。粗飼料源にイタリアンライグラスサイレージおよびアルファルファヘイキューブを使用した対照飼料区 (K 含量 1.80%) と、K 含量を低減するために粗飼料源をコーンサイレージとし、配合原料にもビール粕を利用した低 K 飼料区 (同 1.19%) の 2 区を設定した。両飼料区の乳成分率と成分消化率には差がなかったが、乾物摂取量は低 K 飼料区よりも対照飼料区の方が少なく、これを反映して乳量も対照飼料区の方が少なかった。この違いは対照飼料区で使用したイタリアンライグラスサイレージの嗜好性が悪かったことに起因するものであったが、少なくとも低 K 飼料の給与が乳牛の採食性と生産性に悪影響を与えることはなかったものと判断された。糞中への水分排せつ量は両飼料区で違いがなかったが、尿中への水分排せつ量は対照飼料区の 15.6kg/日 から、低 K 飼料の給与によって 9.2kg/日 まで有意に減少した。一方、低 K 飼料区は乾物摂取量と乳量が対照飼料区よりも多かったにもかかわらず、総水分摂取量が対照飼料区と変わらなかったことから、低 K 飼料区では尿量の減少に伴って自発的な飲水量の減少があったと推察された。加えて、血漿中のミネラル濃度と浸透圧および尿素濃度は両飼料区間に差がなく、低 K 飼料給与時も電解質と窒素の恒常性は保たれていたと考えられた。これらの結果は K 低減による泌乳牛の尿量減少が生理的な反応であったことを示唆している。また、両飼料区の固形塩も含めた総ナトリウム (Na) 摂取量に有意な差は観察されず、K 摂取量減少が代償的な Na 摂取量の増加を引き起こすことはなかった。

キーワード：泌乳牛，低カリウム飼料，尿量低減化

緒 言

乳牛の糞尿は我が国の家畜排せつ物量の約 3 分の 1 を占め、その処理には多大な労力とコストを必要とす

る⁹⁾。特に、泌乳牛は尿量が多く、また、糞中水分含量も高いことから、畜舎内で糞尿が混合したスラリー状になり易く、これを堆肥化して利用しようとするれば、固液分離システムの設置や多量の水分調整材の使用を余儀な

くされる²⁰⁾。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、糞尿の分離や水分調整が容易となり、酪農経営にとって大きな利益をもたらすものと考えられる。しかし、泌乳牛の栄養と尿量に関するこれまでの報告の多くは、主に回帰分析によって尿量とその規制要因との関係を解明することに主眼が置かれ^{3,10,13,15,21)}、積極的な尿量低減化を目的とした栄養管理については、あまり検討されていない。また、いくつかの報告^{2,4)}では尿量低減化手法として飲水制限が試みられているが、飲水制限は尿量を減少させる効果はあるものの、同時に乾物摂取量や乳量を低下させることから、泌乳牛にとっては非生理的な栄養管理手法であり、生産性の観点からも問題がある。

カリウム (K) はナトリウム (Na) および窒素 (N) とともに、生体内において乳牛の尿生成に関わる栄養素要因のひとつと考えられている^{3,8,12,13)}。従って、泌乳牛に給与する K 量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、尿量を減少させることが可能になると思われる。ただし、泌乳牛の飼料となる我が国の粗飼料に関しては、近年、K 含量の増加が問題化しており¹⁹⁾、2001 年版日本標準飼料成分表¹⁷⁾ではオーチャードグラスやイタリアンライグラスなどの牧草の K 含量に 4% を超える値も見られる現状にあるため、給与飼料の K 含量を日本飼養標準¹⁸⁾や NRC 飼養標準¹⁶⁾に示されている泌乳牛の要求量に近いレベルにまで制御するには、飼料原料の選択が重要となる。そこで本研究では、泌乳牛へ給与する粗飼料および濃厚飼料に K 含量の少ない飼料資源を積極的に活用することで、農家での給与を想定した実用的な低 K 飼料を設計し、その給与によって泌乳牛の生産性を損なうことなく、効果的に尿量を減少させることが可能かを、出納試験を実施して検証した。

材料および方法

泌乳中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、K 含量の異なる 2 飼料を給与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 90 ± 17 日、平均体重 566 ± 23kg で、3 頭が 2 産、1 頭が 3 産であった。試験は予備期 9 日間、出納試験 7 日間、出納試験終了 3 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 19 日間を 1 期とし、2 期 2 飼料処理区に 2 頭ずつを割り付けるクロスオーバー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。

飼料処理は対照飼料区と低 K 飼料区の 2 区で (表 1)、両区とも粗濃比は 1 : 1 とした。対照飼料はイタリアンライグラスサイレージおよびアルファルファヘイキューブを粗飼料源とした。一方、低 K 飼料は粗飼料源に K 含量が比較的少ないコーンサイレージを利用し、その分不足する蛋白質と繊維を補う配合原料として、K 含量の少ないビール粕を利用する飼料構成とした。その結果、K 含量は対照飼料の 1.80% に対して、低 K 飼料では 1.19% となった (表 2)。また、両飼料の成分組成は、乾物率が大きく異なり、ADF 含量もやや差があったが、その他の成分組成は概ね同程度であった (表 2)。

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¹⁸⁾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た。飼料は粗飼料と濃厚飼料のすべてを混合し、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。また、ウォーターカップからの飲水と固形塩の摂取は自由とした。

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、また残飼がある場合には残飼量を個体毎に定時に測定し、糞、尿、残飼は 7 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。固形塩摂取量は 7 日間の出納試験期間前後で固形塩重量を測定し、その差から求めた。

出納試験終了 3 日後の朝の搾乳が終了して飼料を給与する直前に、真空採血管を用いた頸静脈血の採取と、第一胃液の経口的な採取を行った。採取した第一胃液は二重ガーゼでろ過した後、一部は直ちにアンモニア濃度を測定し、残りは分析用サンプルとして凍結保存した。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、残飼、糞の一般成分と乳および尿中の水分と N は常法¹⁾に従い、また、飼料、残飼、糞の NDF²⁵⁾ および ADF²⁴⁾ はデタージェント法により分析した。また、それらサンプルと血漿および第一胃液サンプルは硝酸-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

Table 1. Ingredient composition of control and low K diets, and K content of each feedstuffs (% DM)

Ingredient	(K content)	Control	Low K
Corn silage	(1.54)	–	49.3
Italian ryegrass silage	(2.65)	40.3	–
Alfalfa hay cube	(2.64)	10.0	–
Brewer's grains	(0.01)	–	13.4
Barley	(0.50)	9.9	10.1
Corn	(0.39)	16.9	5.1
Oats	(0.60)	11.2	10.2
Soybean meal	(2.66)	10.0	10.2
Vitamin-Mineral mixture		1.7	1.7

DM : dry matter

Table 2. Chemical composition of control and low K diets (% DM)

	Control	Low K
DM (% FM)	81.1	40.3
OM	91.5	94.3
CP	16.0	15.6
EE	2.9	3.9
ADF	19.6	15.5
NDF	38.1	38.2
K	1.80	1.19
Na	0.04	0.03

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

脂肪、乳蛋白質、乳糖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）、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。血漿カルシウム（Ca）、マグネシウム（Mg）、塩素（Cl）、尿素および第一胃アンモニア濃度は市販キット（それぞれカルシウム C テスト、マグネシウム B テスト、クロライドテスト、尿素窒素テストおよびアンモニアテスト、和光純薬）を用いて分析を行った。

見かけの K 蓄積量（発汗による損失量を含む）は、K 摂取量から総 K 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。見かけの水分保持量（蒸発量を含む）は総水分摂取量（飼料水量、飲水量、代謝水量の合計）から総水分排せつ量（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、代謝水量は Dennis ら⁶⁾ の報告に従って、可消化粗蛋白

質摂取量と可消化非蛋白質有機物摂取量から算出した。

統計処理は統計解析ソフト StatView（5.0 日本語版）を用い、処理区間の平均値の差を対応のある t 検定によって比較し、危険率 5% 水準で有意な差があるものとした。

結 果

表 3 に摂取量、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。低 K 飼料区ではいずれの牛も定量給与した飼料のほとんどを食べ、残飼はわずかであったが、対照飼料区ではすべての牛が 1kgDM/ 日以上を食べ残したため、平均の乾物摂取量は低 K 飼料区の 21.7kg/ 日に対して対照飼料区では 19.0kg/ 日と、対照飼料区の方が少なかった。この乾物摂取量の違いを反映して、N 摂取量は低 K 飼料区の方が対照飼料区よりも有意に多くなったが、K 摂取量については低 K 飼料区が対照飼料区よりも 73g/ 日少なかった。Na は飼料および飲水に由来する摂取量が低 K 飼料区で有意に少なかったものの、鉍塩由来の摂取量を含めた総摂取量では両飼料区間に有意な違いはなかった。ただし、鉍塩由来の Na 摂取量は個体間の変動が大きく、飼料処理間の統計的な差は検出されなかった。

原物の排せつ糞量には飼料処理による差が認められなかったが、尿量は対照飼料区の 16.3kg/ 日が低 K 飼料区の 9.7kg/ 日へと、約 4 割も減少した。そのため、糞尿合わせた排せつ物量も、低 K 飼料の給与によって対照飼料よりも約 1 割減少する低減効果が示された。平均日乳量は乾物摂取量の多かった低 K 飼料区が 31.4kg と、対照飼料区の 25.9kg と比べて 5kg 以上多かったが、乳成分率には乳中 K 濃度も含め有意な差は認められなかった。また、各飼料成分の消化率と可消化養分総量および可消化粗蛋白質含量にも有意な差は観察されなかった。

両飼料を給与した際の K および水分出納の結果を表 4 に示した。K の糞中への排せつ量には両飼料区間の違いは観察されなかったが、尿中への排せつ量が対照飼料区に比べて低 K 飼料区で半減したため、糞尿合わせた排せつ物中への K 排せつ量は低 K 飼料区の方が有意に少なくなった。一方、低 K 飼料区では乳量の多かった分、乳中への K 移行量が有意に増加した。糞尿中への K 排せつ量と乳中への K 移行量を合計した値は、対照飼料区が約 301g/ 日、低 K 飼料区が約 230g/ 日であり、その差 71g/ 日は両飼料区の K 摂取量の差 73g/ 日にはほぼ相当するものであった。そのため、摂取量と総排せつ量

の差から算出された見かけの K 蓄積量は、両飼料区でほぼ等しいという結果であった。

飼料水摂取量および代謝水量は、給与飼料の水分含量が高く乾物摂取量が多かった低 K 飼料区で有意に多くなり、逆に飲水量は対照飼料区の方が有意に多かったが、総水分摂取量は対照飼料区と低 K 飼料区でそれぞれ 106kg/日および 107kg/日で、両飼料区間に違いは

Table 3. Intake, excreta, milk performance, digestibility and nutrient values of cows fed control and low K diets ¹

	Control	Low K
Intake		
DM (kg/day)	19.0 ± 1.0	21.7 ± 1.8 *
N (g/day)	494.4 ± 32.4	547.1 ± 38.7 *
K (g/day)	332.5 ± 23.9	259.4 ± 20.6 *
Na (g/day)		
Feed	8.1 ± 0.3	5.8 ± 0.7 *
Drinking water	3.7 ± 0.3	2.6 ± 0.3 *
Salt block	4.8 ± 6.7	7.1 ± 4.3
Total	16.6 ± 6.7	15.6 ± 4.1
Excreta (kg/day)		
Feces	51.3 ± 5.5	50.5 ± 5.1
Urine	16.3 ± 4.2	9.7 ± 2.7 *
Feces + Urine	67.6 ± 5.2	60.2 ± 7.0 *
Milk yield (kg/day)		
	25.9 ± 4.4	31.4 ± 5.0 *
Milk composition (%)		
Fat	4.34 ± 0.65	4.69 ± 0.37
Protein	3.18 ± 0.37	3.35 ± 0.31
Lactose	4.44 ± 0.14	4.48 ± 0.13
K	0.17 ± 0.01	0.17 ± 0.01
Digestibility (%)		
DM	67.0 ± 1.8	66.9 ± 0.9
OM	69.1 ± 1.6	69.0 ± 1.0
CP	64.8 ± 4.8	63.3 ± 2.5
EE	78.8 ± 2.4	81.2 ± 2.8
ADF	50.9 ± 12.2	45.8 ± 10.9
NDF	49.2 ± 4.3	52.7 ± 4.7
Nutritive values (%DM)		
TDN	66.3 ± 1.6	69.0 ± 1.0
DCP	10.5 ± 0.9	10.0 ± 0.3

¹ Mean ± SD, * P<0.05

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

なかった。一方、水分排せつ量では低 K 飼料区で尿中への排せつ量が有意に減少したため、糞尿中への水分排せつ量が対照飼料区よりも平均で約 8kg/日の有意な減少を示した。しかし、低 K 飼料区では乳量の増加によって乳中への水分移行量が増えたため、糞尿中排せつ量と乳中移行量を合計すると対照飼料区が 83kg/日、低 K 飼料区が 80kg/日となって差がなく、見かけの水分保持量についても両区には有意な差はないという結果であった。

異なる K 含量の飼料を給与しても、朝の給飼前に採取した血漿中のミネラル濃度、浸透圧および尿素濃度には有意な変化は認められなかった (表 5)。一方、第一胃液中の K 濃度は低 K 飼料区でやや低下する傾向にあり、第一胃液 Na/K 比には低 K 飼料区で有意な上昇が観察された。第一胃液アンモニア濃度には両飼料区間に差はなかった。

Table 4. K and water balance of cows fed control and low K diets ¹

	Control	Low K
K intake (g/day)	332.5 ± 23.9	259.4 ± 20.6 *
K excretion (g/day)		
Feces	90.0 ± 28.9	97.1 ± 6.0
Urine	166.5 ± 47.2	79.6 ± 17.4 *
Milk	44.6 ± 8.2	53.2 ± 8.1 *
Feces + urine	256.6 ± 19.3	176.7 ± 16.2 *
Total ²	301.1 ± 19.8	229.9 ± 21.1 *
K balance ³ (g/day)	31.4 ± 12.9	29.5 ± 2.2
Water intake (kg/day)		
Feed	3.7 ± 0.4	31.6 ± 3.2 *
Drinking	96.1 ± 6.8	68.2 ± 6.7 *
Metabolic ⁴	5.9 ± 0.3	7.0 ± 0.5 *
Total ⁵	105.7 ± 7.4	106.8 ± 10.4
Water excretion (kg/day)		
Feces	45.0 ± 5.2	43.3 ± 4.4
Urine	15.6 ± 4.0	9.2 ± 2.5 *
Milk	22.5 ± 4.0	27.1 ± 4.5 *
Feces + urine	60.6 ± 4.8	52.6 ± 6.1 *
Total ²	83.2 ± 8.6	79.7 ± 10.5
Water balance ³ (kg/day)	22.6 ± 4.7	27.1 ± 2.5

¹ Mean ± SD, * P<0.05

² Sum of feces, urine and milk

³ Subtracted total excretion from total intake

⁴ Calculated from the intake of digestible crude protein and digestible non-protein organic matter ⁴⁾

⁵ Sum of feed, drinking and metabolic

Table 5. Composition of ruminal fluid and plasma of cows fed control and low K diets ¹

	Control	Low K
Ruminal fluid		
K (mmol/L)	20.0 ± 4.3	15.1 ± 3.7
Na (mmol/L)	115.4 ± 14.5	124.1 ± 3.2
Na/K ratio	5.9 ± 1.3	8.5 ± 1.7 *
Ammonia (mgN/dl)	12.8 ± 2.8	10.3 ± 2.0
Plasma		
K (mmol/L)	4.3 ± 0.2	4.1 ± 0.1
Na (mmol/L)	137.4 ± 2.1	137.5 ± 1.7
Na/K ratio	31.9 ± 2.0	33.3 ± 1.0
Ca (mg/dl)	10.7 ± 0.3	10.8 ± 0.3
Mg (mg/dl)	2.7 ± 0.2	2.8 ± 0.1
Cl (mEq/L)	98.9 ± 5.6	100.1 ± 1.0
Osmolality (mOsm/kg)	283.5 ± 2.1	283.5 ± 3.4
Urea (mgN/dl)	18.3 ± 0.8	17.0 ± 3.0

¹ Mean ± SD, * P<0.05

考 察

対照飼料区と低 K 飼料区の乾物摂取量には明らかな差が観察された。これは低 K 飼料の摂取量が想定通りであったのに対し、対照飼料の摂取量が想定よりも大きく減少したものである。本試験の対照飼料区では当研究所で生産されたイタリアンライグラス 2 番草のロールバールサイレージを粗飼料として使用したが、発酵品質があまり良好ではなかったことから牛の嗜好性が悪く、それが対照飼料区における乾物摂取量の低下を引き起こした大きな原因であったと思われる。

対照飼料区でこのような採食量の減少があったことから、低 K 飼料給与の採食性と生産性への影響については、対照飼料区との単純な比較からは結論し難いが、対照飼料区とは異なり、低 K 飼料区の乾物摂取量と乳量は、慣行的な飼養管理を行った馴致期間にこれらの供試牛で想定された水準が維持されており、乳成分率の低下も観察されなかった。給与飼料中の最適な K 含量に関しては、Sanchez ら²²⁾ が泌乳牛を用いた栄養試験成績のデータベースから検討しており、彼らは K 含量に対する乾物摂取量と乳量の反応が曲線的であり、乳牛の最大の生産能力は K 含量 1.5% の時に発揮されると結論した。しかし、この結論に対しては、データの元となった試験の飼料が K 以外のミネラル含量も大きく変動していることから、他のすべてのミネラルが要求量を十分に満たした場合にも、このような結果になるかは不明との指摘もな

されている¹⁶⁾。一方、実験的な飼料を給与して乳牛の K 要求量を検討した研究^{6,7)} は、K 含量が概ね 0.6% 以下になるまでは採食量の低下は観察されないことを報告している。これらのことを勘案すれば、本試験で用いた K 含量 1.19% という低 K 飼料が、少なくとも泌乳牛の採食性や生産性に悪影響を与えることはなかったと判断しても妥当と思われる。

低 K 飼料の給与は尿量を 10kg/日以下にまで減少させた(表 3)。低 K 飼料区では、尿量の増加を引き起こすもう一つの栄養素要因と考えられる N の摂取量が¹⁶⁾、対照飼料区よりも有意に多かったにもかかわらず、尿量には明確な低減効果が現れるという結果であった。しかし、水分出納の結果を見る限りでは(表 4)、低 K 飼料区で対照飼料区よりも減少した尿中水分排せつ量 6.4kg/日の大部分は、乳中水分移行量増加分の 4.6kg/日に分配されたかたちであり、一見すると尿量減少の多くが乳量の増加によって引き起こされた様に見える。実際に、乳量と尿量には負の相関があることが知られており、乳量の増加は尿量を減少させる^{15,21)}。しかし、Holter ら¹⁰⁾ が 329 例の泌乳牛を用いた出納試験の結果を基にして算出した乳牛の尿量推定式では、独立変数のひとつである乳量の係数は -0.2175 とされており、通常であるならば、本試験で観察された 4.6kg/日の乳中水分移行量の増加によって減少する尿中水分排せつ量は、1.0kg/日程度と推定される。これは通常の場合、乳量が増加すると同時に飲水量が増加して総水分摂取量が増えるため、乳量の増加分がそのまま尿量に反映されることにはならないからである^{15,21)}。また、総水分摂取量は乾物摂取量とも高い正の相関があることも確認されており^{15,21)}、本来ならば乳量も乾物摂取量も多い低 K 飼料区で総水分摂取量が増加しても然るべきところであるが、本試験の両飼料区間に総水分摂取量の違いは観察されなかった。

両飼料の乾物率は大きく異なり、低 K 飼料区の飼料水摂取量は対照飼料区を大きく上まわったため、飼料水摂取量と相補的な関係にある飲水量が²¹⁾、低 K 飼料区で少なくなるのは当然のことである。一般的に高水分サイレージベースの飼料を給与した時に飲水量が減少することは良く知られている⁵⁾。しかし、Holter ら¹⁰⁾ が報告している泌乳牛の飲水量を乾物摂取量、乳量、飼料乾物率、年日数の 4 つの変数から推定する式に本試験の条件を当てはめてみると、対照飼料区と低 K 飼料区でそれぞれ 88.4kg/日および 73.0kg/日という飲水量の推定値が得られる。低 K 飼料区の推定値が対照飼料区より

も 15.4kg/日 少なくなるのは、飼料乾物率の違いであることは言うまでもない。ところが、実測の飲水量はそれぞれ 96.1kg/日 と 68.2kg/日 であり、その差は推定値の差の倍近い 27.9kg/日 もあった。これは実際の両飼料区の飲水量に、飼料乾物率の違いに起因する以上の大きな差があったことを示している。すなわち、乳量と乾物摂取量が対照飼料区よりも増加したにもかかわらず、総水分摂取量が増えなかった低 K 飼料区では、飼料水摂取量が増えたことによる以上に、実質的な飲水量の減少があったと考えられる。従って、低 K 飼料区の尿量減少は、乳量増加の直接的な結果と言うよりは、むしろこの実質的な飲水量の減少によってもたらされたものと解釈すべきである。

このように、K 給与量の低減による尿量減少は、強制的な飲水制限²⁴⁾ によって引き起こされる尿量減少とは異なり、泌乳牛の自発的な飲水調節に基づいた生理的な反応であると言える。生体液成分の動態も、これが生理的な反応であったことを示している。すなわち、第一胃液中では低 K 飼料区の K 濃度がやや低下傾向にあったことによって、第一胃液 Na/K 比が有意に低 K 飼料区で高くなっていったものの、血漿中のミネラル濃度および浸透圧は両飼料区に差はなく、低 K 飼料区でも電解質の恒常性は良く保たれていたと考えられる。また、K の摂取量が乳牛の N 動態に影響を及ぼす可能性も報告されているが¹¹⁾、本試験では第一胃液アンモニア濃度も血漿尿素濃度も両飼料区に差は認められず、N の恒常性に関しても K 摂取量減少による顕著な影響はなかったものと思われる。

K 出納の結果から明らかなように、低 K 飼料の給与による K 摂取量の減少は、K の糞中排せつ量や見かけの蓄積量は変化させず、尿中排せつ量の減少となって現れた (表 4)。今回は乳量増加による乳中 K 移行量の増加があったため、量的には摂取量の減少分以上に尿中 K 排せつ量の減少が見られたが、腎臓における K の排せつが K の摂取量によって直接左右されることは疑いがなく、尿量の変化もそれに伴った反応であると考えられる。腎臓における K の排せつはアルドステロンによる調節を受けるが、アルドステロンは K 排せつに付随して Na の再吸収を促進する²³⁾。また、泌乳牛では飼料中 K 含量によって唾液中 Na 濃度が変化することや、採食量と乳量に対して飼料中 K 含量と Na 含量の相互作用があることなども報告されおり¹⁴⁾、K と Na は生体内で密接に関連した動態を示すと考えられる。Erdman ら⁷⁾ は飼料中 K 含量の低下によって起こる乳牛の採食量の減

少は、Na を増給しても回復しないと報告しているが、Na は乳牛の尿量を規制する主要な栄養要因のひとつであることから¹⁵⁾、固形塩を不断給与する飼養体系で K 摂取量を減少させた時に、もしも乳牛が代償的に固形塩を介した Na 摂取を増加させるようなことがあれば、尿量の低減効果は相殺されてしまう可能性がある。しかし、本試験の結果では、両飼料区の総 Na 摂取量に有意な差は見られず (表 3)、Na が K の尿量低減効果を減じるようなことはなかったと推察される。ただし、低 K 飼料区では飼料および飲水に由来する Na 摂取量が対照飼料区よりも有意に少なかったにもかかわらず、総 Na 摂取量が対照飼料区と同じレベルになっており、統計的な差はないものの、固形塩からの Na 摂取量が増加傾向にあった可能性は否定できない。従って、K 給与量低減飼養時の乳牛の固形塩摂取行動については、今後さらに検討する必要があると思われる。

今回の試験では粗飼料にコーンサイレージ、配合飼料にビール粕を利用して調製した実用的な低 K 飼料を乳牛に給与し、生産性を損なうことなく尿量が減少できることを実証した。低 K 粗飼料源としてのコーンサイレージの有用性については久米ら¹²⁾ も指摘しているところであるが、国内の牧草の K 含量が高まっている現状¹⁷⁾ を考えれば、広く酪農現場で低 K 飼料を設計していくためには、コーンサイレージ以外の有用な低 K 粗飼料源を探索していくことが必要と思われる。同時に、その粗飼料と組み合わせる K 含量の少ない配合原料についても、食品製造副産物などを中心としたどのようなものが利用できるか検討することも必要である。さらに、暑熱環境のようなミネラルと水分の代謝が大きく変動する条件下で、乳牛の生産性に悪影響を与えずに尿量を低減できる K 給与技術の開発も今後の課題である。

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, 455-466.
- 2) Agricultural Research Council (1980). The nutrient requirement of ruminant livestock, 259-309, Commonwealth Agricultural Bureaux, England
- 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) 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.
- 5) Dahalborn, K., Akerlind, M. and Gustafson, G. (1998). Water intake by dairy cows selected for high or low milk-fat percentage when fed two forage to concentrate ratios with hay or silage, *Swedish J. Agric. Res.*, 28, 167-176.
- 6) Dennis, R.J., Hemken, R.W. and Jacobson, D.R. (1976). Effect of dietary potassium percent for lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 59, 324-328.
- 7) Erdman, R.A., Hemken, R.W. and Bull, L.S. (1980). Effect of dietary calcium and sodium on potassium requirement for lactating dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 63, 538-544.
- 8) 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.
- 9) Haga, K. (1998). Animal waste problems and their solution from the technological point of view in Japan, *Jap. Agric. Res. Quart.*, 32, 203-210.
- 10) Holter, J.B. and Urban Jr., W.E. (1992). Water partitioning and intake prediction in dry and lactating Holstein cows, *J. Dairy Sci.*, 75, 1472-1479.
- 11) Kojima, H., Kume, S., Nonaka, K., Ohsita, 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.
- 12) 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, *日本畜産学会報*, 75, 179-184.
- 13) Kume, S., Nonaka, K., Ohsita, T., Kozakai, T. and Hirooka, H. (2008). Effects of urinary excretion of nitrogen, potassium and sodium on urine volume in dairy cows, *Livestock Sci.*, 115, 28-33.
- 14) Mallonee, P.G., Beede, D.K. and Wilcox, C.J. (1982). Lactational and physiological responses of dairy cows to varying potassium and sodium quantities and rations in complete mixed diets, *J. Dairy Sci.*, 65(suppl.1), 212-213.
- 15) Murphy, M.R. (1992). Symposium: Nutritional factors affecting animal water and waste quality, *J. Dairy Sci.*, 75, 326-333.
- 16) National Research Council (2001). Nutrient requirements of dairy cattle, 7th. ed., National Academy Press, Washington, D.C.
- 17) 農業技術研究機構 (2001). 日本標準飼料成分表, 2001年版, 128-149.
- 18) 農業・食品産業技術総合研究機構 (2006). 日本飼養標準 乳牛, 2006年版, 中央畜産会, 東京, 41-42.
- 19) 大谷文博・田鎖直澄 (2007). 泌乳牛の排せつカリウム有効利用のための栄養管理, *畜産の研究*, 61, 259-264.
- 20) 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.
- 21) 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.
- 22) Sanchez, W.K., Beede, D.K. and Delorenzo, M.A. (1994). Macromineral element interrelationships and lactational performance: Empirical models from a large data set, *J. Dairy Sci.*, 77, 3096-3110.
- 23) 津田恒之・小原嘉昭・加藤和雄 (2004). 第2次改訂増補 家畜生理学, 養賢堂, 東京, 82-84.
- 24) Van SOEST, P.J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. I. Preparation of fiber residues of low nitrogen contents, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.*, 46, 825-829.
- 25) Van SOEST, P.J. (1963). Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of Plant cell wall constituents, *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 50, 50-55.

Effect of low potassium diet feeding on urine volume reduction for lactating dairy cows

Fumihito OHTANI ¹⁾, Naozumi TAKUSARI ²⁾, Masahiro AMARI ³⁾,
Shunsuke OGASAWARA ⁴⁾, Souichirou MORITA ⁵⁾, Shouji MATSUURA ⁶⁾,
Tomoyuki SUZUKI ⁷⁾, Mitsunori KURIHARA ⁸⁾, Kouji HIGUCHI ¹⁾ and Itoko NONAKA ⁹⁾

¹⁾Endocrinology and Metabolism Research Team

²⁾National Agricultural Research Center for Hokkaido Region

³⁾Livestock Research Support Center

⁴⁾Nagasaki Agricultural and Forestry Technical Development Center

⁵⁾Forage Productivity Research Team

⁶⁾Ecosystem Functions Research Team

⁷⁾National Agricultural Research Center for Kyushu Okinawa Region

⁸⁾National Institute of Agrobiological Sciences

⁹⁾Livestock Research Team on Global Warming

Summary

The practical low potassium (K) diet that was prepared by actively utilizing the feed sources with low K content as roughage and formula feed was fed to 4 lactating dairy cows and examined whether urine volume could decrease effectively without damaging milk production. Two feed treatments were arranged that control diet (1.80% of K) was used Italian ryegrass silage and alfalfa hay cube as roughage and low K diet (1.19% of K) was used corn silage as roughage and brewer's grain as one of formula feed ingredients in order to decrease K content of diet. Dry matter intake and thereby milk yield were significantly lower for cows fed control diet compared to low K diet, although there were no differences in milk composition rates and digestibility between two diets. This difference observed in dry matter intake was attributed to poor in palatability of Italian ryegrass silage used for control diet, so it was deemed at least that low K diet did not exert adversely effects on feeding and milk production of cows. While fecal water excretion was not affected by feed treatments, urinary water excretion significantly decreased from 15.6 kg/day in control diet to 9.2 kg/day in low K diet. On the other hand, since total water intake did not increase in cows fed low K diet despite the increments of dry matter intake and milk yield, it was guessed that voluntary drinking water intake might be decreasing associated with the reduction of urinary water excretion in low K diet. It was thought that the homeostasis of electrolyte and nitrogen was maintained even when cows were fed low K diet, because there were no differences in plasma mineral concentrations, osmolarity, and urea concentration between two diets. These observations suggested that the decrease of urine volume induced by reduction of K intake was a physiological reaction in lactating dairy cow. Additionally, even though K intakes were reduced when cow fed low K diets, the total sodium intakes included salt block by cows were not increased.

Key words : Lactating dairy cows, Low potassium diet, Urine volume reduction

Present address: ²⁾ 1 Hitsujigaoka, Toyohira, Sapporo, Hokkaido, 062-8555 Japan

⁴⁾ 3600 Ariakechouetei, Shimabara, Nagasaki, 859-1404 Japan

⁷⁾ 2421 Suya, Koshi, Kumamoto, 861-1192 Japan

⁸⁾ 2-1-2 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8602 Japan