

飼料中カリウムおよびタンパク質を制御した泌乳牛の尿量低減化が尿石症を発症させる可能性

大谷文博・樋口浩二・小林洋介・野中最子^a

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

要 約

飼料中カリウム (K) および粗タンパク質 (CP) 含量を減少させることによって, 泌乳牛の尿量を低減化した場合に, リン酸マグネシウムあるいはリン酸マグネシウムアンモニウム尿石症が発症する可能性について検討した。高 K 高 CP 飼料 (HH 区), 低 K 高 CP 飼料 (LH 区) および低 K 低 CP 飼料 (LL 区) を給与した結果, それぞれ 14.5, 9.7 および 6.6kg/ 日の尿量を観察した動物試験の泌乳牛から採取したスポット尿を用いて, 尿石症診断検査および尿石形成に関わる成分の測定を行った。尿石症診断検査で陽性と判定された尿サンプル数は, 各 8 サンプル中 HH 区が 1 サンプルであったのに対して, LH 区と LL 区ではそれぞれ 3 サンプルに増加した。LH 区および LL 区では, 尿中マグネシウムおよび無機リン濃度に, 尿量の減少を反映した上昇が観察され, 尿中アンモニア濃度は尿量減少の程度を大きく上回って上昇した。しかし, 尿 pH は HH 区で 8 以上のアルカリ値であったものが, LH 区および LL 区では, これらの尿石がほぼ形成されないと考えられる 7 以下の酸性値を示し, これは飼料 K 含量を減少させたことにより, 飼料陽イオン陰イオン差が低下したためと考えられた。以上の結果から, 飼料 K 含量を十分に低下させて泌乳牛の尿量低減化を行えば, 尿量が減少しても尿石症が発症する可能性は低いと結論された。

キーワード: 泌乳牛, カリウム, タンパク質, 尿量低減化, 尿石症

緒 言

泌乳牛の尿量を低減することは, 酪農家が処理せざるを得ない排せつ物の総量が減少するだけでなく, 悪臭発生や牛体汚染の原因となる畜舎床面の泥濘化を防ぎ, さらに, 糞尿を堆肥化して利用する際の固液分離システムの設置や水分調整材などのコスト負担を軽減する。カリウム (K) および窒素 (N) はナトリウム (Na) とともに, 乳牛の尿量を決定する主要な栄養素要因であり, これらの栄養素を制御した栄養管理は, 泌乳牛に非生理的な負荷を与えずに, 尿量を減少させる手段として有効であると考えられ, 著者らはこれまでに, 飼料 K 含量の低減^{25,26)}, 飼料粗タンパク質 (CP) 含量の低減^{26,27)}, 第一胃分解性の低いタンパク質飼料の利用²⁷⁾ あるいは

飼料への易発酵性炭水化物の添加²⁴⁾ によって, 乳生産を低下させずに泌乳牛の尿量を低減化できることを, 水分出納試験を実施して確認した。特に, 給与飼料中の K 含量を 1.75% から 0.93% に低減し, 同時に CP 含量を 18.1% から 13.5% に低減した試験では, 供試した泌乳牛の尿量に, 14.5kg/ 日から 6.6kg/ 日への大幅な減少が観察された²⁶⁾。

それらの試験において, 実施した尿量低減化処理が, 泌乳牛の生産性や採食性に悪影響を与えないことは確認された。しかし, 尿量の減少は牛が尿石症を発症する際の大きな要因の一つとされている^{20,37)}。牛の尿石症は肉用牛で発症することが圧倒的に多く, 乳牛の雌の発症例は少ない²³⁾。これは泌乳牛の尿量が肉用牛よりも圧倒的に多いことが, その理由の一つと考えられる。しか

し、上述の K と CP を同時に低減した飼料を給与した試験²⁶⁾で観察された泌乳牛の尿量は、肉用牛の尿量目安とされる 7kg/日³⁾を下回る量であり、尿石症発症の可能性も無視できない尿量水準であったと思われる。たとえ泌乳牛の尿量を大きく減少させる栄養管理手法を実現できても、それが泌乳牛に尿石症を発症させるものであるならば、酪農現場へ普及できる技術とはならない。従って、栄養管理による泌乳牛の尿量低減化技術の開発においては、生産性や採食性への影響のみならず、尿石症発症の可能性についても確認しておく必要がある。牛に発症する尿石症で形成される尿石のほとんどは、リン酸マグネシウムもしくはリン酸マグネシウムアンモニウムを主たる成分とすることが報告されている^{18,20,37)}。そこで本研究では、K および N を制御した泌乳牛の尿量低減化処理によって、これらの尿石症が発症する可能性について検討を行った。

材料および方法

本研究では、既に報告した K と CP を低減した飼料を給与して水分出納を調べた動物実験²⁶⁾において採取し

たスポット尿をサンプルとして使用し、尿石症診断検査およびリン酸マグネシウム系の尿石を構成する成分等の分析を行った。動物実験の方法については既報²⁶⁾に詳述したが、概略は以下のとおりである。泌乳後期のホルスタイン種泌乳牛 4 頭を用いて、1 期 21 日間で 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給与試験を行い、各期間中に 5 日間の出納試験を実施した。3 つの飼料処理区は高 K 高 CP 飼料区 (HH 区, K 含量および CP 含量がそれぞれ 1.75% および 18.1%), 低 K 高 CP 飼料区 (LH 区, 同 0.94% および 17.6%) および低 K 低 CP 飼料区 (LL 区, 同 0.93% および 13.5%) であり、その飼料構成および化学組成は表 1 のとおりである。飼料は TDN 充足率が概ね 100% となる定量を、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、水はウォーターカップから自由に飲水させた。出納試験期間中は飲水量、乳量、糞量および尿量を毎日測定し、また糞、尿および乳サンプルも毎日採取して水分含量を測定し、それらの測定値から水分出納を求めた。

この動物試験の各試験期の出納試験が終了した 7 日後に、朝の搾乳前 (給飼前サンプル) および給飼の概ね 4

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

Ingredient	Diets ¹		
	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
Chemical composition			
DM (% FM)	76.2	46.1	46.0
OM	92.0	93.6	93.8
CP	18.1	17.6	13.5
aNDFom	46.8	39.9	38.8
K	1.75	0.94	0.93
Na	0.27	0.19	0.20

¹ 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,

aNDFom : ash-free neutral detergent fiber

時間後（給飼後サンプル）の2回、マッサージ法により陰門下部を刺激してスポット尿を採取した。採取したスポット尿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-25℃で凍結保存して、後日解凍後、尿石症診断検査とマグネシウム、無機リンおよびクレアチニン濃度を分析した。尿pHはpHメーター（F-22, 堀場製作所）で測定し、尿中アンモニア、マグネシウム、無機リンおよびクレアチニン濃度は、市販キット（それぞれアンモニアテストワコー、マグネシウムBテストワコー、ホスファCテストワコーおよびクレアチニンテストワコー、和光純薬）を用いて分析を行った。

尿石症診断検査はMunakataら¹⁹⁾に従って実施した。この方法は、尿サンプルに同量の1Mアンモニア水を加えて強制的にアルカリ化させ、生成する沈殿の量を同様に処理した3濃度の標準液の沈殿と比較することによって、尿石症発生の危険性を診断するというものである。3つの標準液は塩化マグネシウムとリン酸二水素ナトリウムをそれぞれ、標準液Aは0.0125Mと0.025M、標準液Bは0.025Mと0.05M、標準液Cは0.05Mと0.1Mの濃度で等量混和した溶液であり、尿サンプルの尿石症診断は、沈殿がない場合は-、標準Aの沈殿以下の量は+、標準AとCの沈殿の間の量は++、標準Cの沈殿以上の量は+++の4段階で判定される。

尿pHおよび各尿中成分濃度の統計処理は、SASのGLMプロシジャ³⁰⁾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。有意水準は危険率5%未満とした。

結 果

動物実験の結果は既報²⁶⁾に記載したとおりであるが、尿量についてはHH区の14.5kg/日から、LH区はそれより約3割少ない9.7kg/日、さらにLL区はHH区の半分以下の6.6kg/日へと、両飼料処理区ともにHH区に対して有意な減少が観察された。また、LH区に対するLL区の尿量の減少は、統計的に傾向のある変化であった(P=0.070)。なお、LHおよびLL両区は、糞尿合計の水分排せつ量と水分総摂取量もHH区より有意に減少したが、乳中水分排せつ量と見かけの水分保持量に有意な変化は認められなかった。

各尿サンプルの尿石症診断検査の結果を表2にまとめた。また、検査において給飼前サンプルがLH区で+、LL区で++と判定された乳牛No.690の尿サンプルで検出された沈殿と、比較に用いた標準液の沈殿の様子を記録した写真を図1に示した。HH区では8サンプル中7つは-判定であり、1サンプルのみ+と判定された。一方、LH区では+の判定が3サンプルに増加し、LL区では+判定の2サンプルに加え、図1に示したような++と判定されるサンプルが確認された。

各飼料処理区における給飼前および給飼後に採取された尿サンプル中のマグネシウム、無機リン、アンモニアおよびクレアチニン濃度を図2に示した。いずれの尿中成分濃度も、HH区よりもLHおよびLL区の方が高く

Table 2. Results of urolithiasis diagnostic test for the urine samples taken from cows before and after feeding of experimental diets

Cow No.	Sample ²	Diets ¹		
		HH	LH	LL
690	BF	-	-	-
	AF	-	+	++
715	BF	-	-	-
	AF	-	-	-
724	BF	+	+	+
	AF	-	-	-
730	BF	-	+	-
	AF	-	-	+

Grade of sediments (- : no sediments, + : same or smaller than standard A, ++ : between standard A and C).

¹ HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet

² BF = before feeding, AF = after feeding

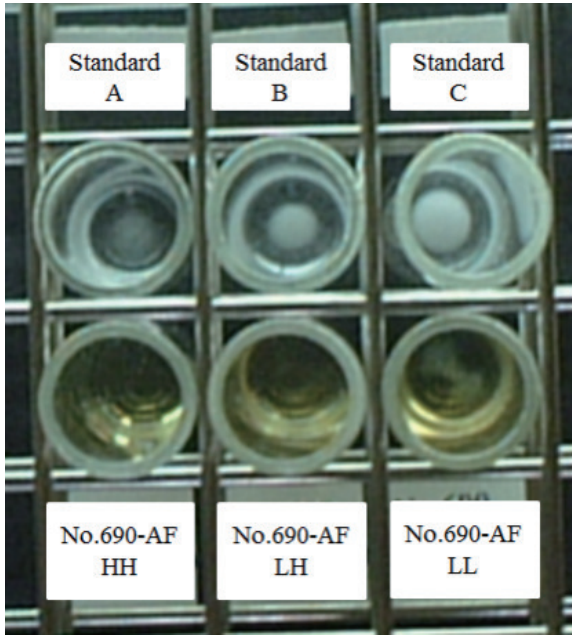


Fig. 1. Sediments of standards (A, B, C) and urine samples taken from cow No.690 after feeding of experimental diets (HH, LH, LL) in urolithiasis diagnostic test . Standards (A = 0.0125M $MgCl_2$ + 0.025M NaH_2PO_4 , B = 0.025M $MgCl_2$ + 0.05M NaH_2PO_4 , C = 0.05M $MgCl_2$ + 0.1M NaH_2PO_4). Experimental diets (HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet).

なる傾向にあった。LH 区と LL 区のマグネシウム濃度は、HH 区と比べて 1.2 ~ 2.0 倍高い値を示し、このうち LH 区の給飼前サンプルと LL 区の給飼後サンプルの値は、HH 区よりも統計的に有意に高かった。無機リン濃度で HH 区と比較して有意な上昇を示したのは、LH 区の給飼前サンプルだけであったが、数値的には LH および LL 区のいずれの無機リン濃度も HH 区を上回っていた。アンモニア濃度は HH 区の給飼前および給飼後にそれぞれ 1.1 および 2.2mgN/dl と非常に低値であったものが、LH 区ではそれぞれ 77.2 および 62.4mgN/dl、LL 区ではそれぞれ 19.4 および 31.8mgN/dl と大きく上昇し、HH 区に対する LH 区の濃度上昇は統計的に有意であった。クレアチニン濃度は飼料処理によってマグネシウム濃度とほぼ同様の变化を示し、LH 区と LL 区の濃度が HH 区よりも概ね 1.3 ~ 1.7 倍高く、やはり LH 区の給飼前と LL 区の給飼後の値には、HH 区に対する有意差が認められた。

各飼料処理区において観察された尿 pH の値を表 3 に示した。HH 区の尿は給飼前も給飼後も pH8 以上のアルカリ尿であった。これに対して、LH 区および LL 区では、

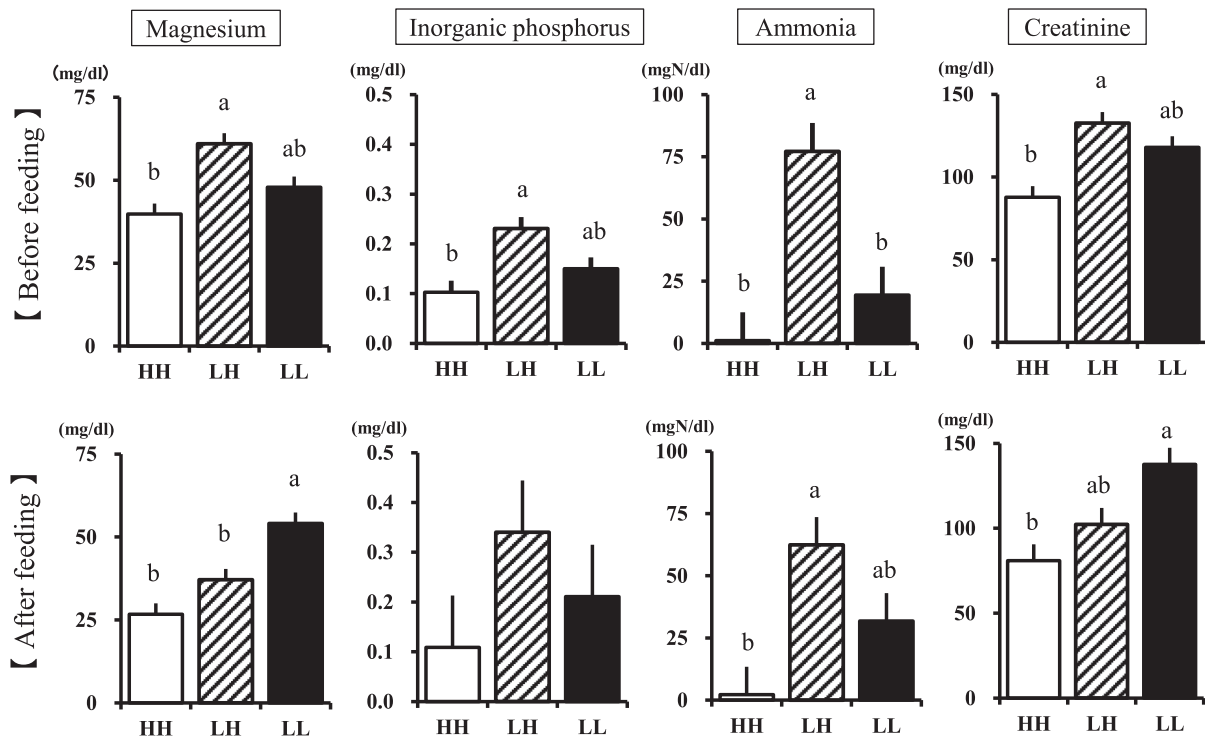


Fig. 2. Urinary constituent concentration of cows before and after feeding of experimental diets. Experimental diets (HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet). ^{a,b} Means with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

Table 3. Urine pH of cows before and after feeding of experimental diets

	Diets ¹			SE
	HH	LH	LL	
Before feeding	8.23 ^a	6.42 ^b	6.37 ^b	0.10
After feeding	8.12 ^a	6.07 ^b	6.55 ^b	0.23

^{a,b} Means in a row with different superscripts differ significantly ($P < 0.05$).

¹ HH = high K high CP diet, LH = low K high CP diet, LL = low K low CP diet

給飼前および給飼後のどちらの尿 pH も 7 以下の酸性値を示し、最も低値を示した LH 区の給飼後の尿 pH は 6.07 まで低下した。また、これらの LH 区あるいは LL 区と HH 区との間で観察された尿 pH の違いは、いずれも統計的に有意であった。

考 察

本研究で尿石症診断検査に用いた方法は、尿中沈殿物を直接測定して検査する直視沈殿法¹⁸⁾を改良し、アンモニア水の添加により尿サンプルの pH とアンモニア濃度を強制的に上昇させることで、主にリン酸マグネシウムアンモニウムから成る結晶の形成を促し、その沈殿の状態から尿石症発症の可能性を迅速に診断できるようにしたものであり、その診断結果は直視沈殿法とほぼ一致することが確認されている¹⁹⁾。尿石症診断検査の結果は、尿量の多い HH 区の尿サンプルでは陽性の + 判定が 1 点のみであったのに対して、尿量が減少した LH 区と LL 区では陽性と判定されたサンプルが各 3 点に増加し、さらに LL 区ではうち 1 点が ++ と判定された。Ikeda ら¹²⁾が 93 点の泌乳牛の尿サンプルについて直視沈殿法を用いて実施した調査では、陽性 (+) と判定されたサンプルは 2 点のみであり、陽性率は約 2% であった。それと比較すれば、限られたサンプル数の検査ではあったものの、本研究の 8 サンプル中 3 サンプルが陽性判定という結果は、かなり多い数であったと言える。従って、診断検査の結果からは、LH 区と LL 区では強制的に上昇させた pH とアンモニアを除く尿の性状が、HH 区よりも尿石が形成されやすい状態になっていたものと判断された。

尿石症診断検査の結果を裏付けるように、LH 区と LL 区で尿石構成成分の尿中濃度の上昇が観察された。マグネシウム濃度の飼料処理間の変動は、クレアチニン濃度の変動とほぼ一致していた。クレアチニンは筋肉のクレアチニンリン酸の分解から生じ、ほぼ一定に尿中に排せつ

されることから、泌乳牛でも尿量の推定や他の尿中成分の排せつ状態を調べるための指標として使われる^{4,6,36)}。体重（筋肉量）に変化のない同一個体であれば、尿中クレアチニン濃度は尿量の変化を反映し、尿量が減少した場合には、それに応じてクレアチニン濃度が上昇する。従って、クレアチニン濃度と同様の変化を示した LH 区と LL 区のマグネシウム濃度の上昇は、両区における尿量の減少に起因したものと考えられる。

尿中無機リン濃度は総じて低水準であった。Manston ら¹⁵⁾も、調査した泌乳牛の尿中無機リン濃度のほとんどが、1mg/dl 以下であったと報告している。濃厚飼料を多給する肉牛と比べ、泌乳牛の給与飼料中のリン含量は比較的少なく、さらに、リンは唾液経由で消化管にリサイクルされるので³²⁾、物理性の高い粗飼料を摂取して唾液分泌量の多い泌乳牛では、リンのリサイクル量も多いため、尿中へ排せつされるリンは少ないと考えられる。反すう家畜では尿石形成と尿中リン濃度との相関が高いとの指摘もされており⁹⁾、通常の飼養条件でそれが低水準にあることは、泌乳牛で尿石症の発症が少ない理由の一つとも考えられる。それでも、尿量が減少した LH 区と LL 区の尿中無機リン濃度は、HH 区よりも高い値を示した。この濃度上昇の飼料処理間の変動パターンは、クレアチニン濃度の変動とは必ずしも一致しなかったが、これは LH 区の給与飼料中のリン含量が、他の飼料区よりもやや高かったことが影響しているのかもしれない（設計値で HH, LH, LL 区がそれぞれ 0.47, 0.49, 0.47% DM）。しかし、HH 区に対する LH 区と LL 区の無機リン濃度の上昇の程度は、クレアチニン濃度の上昇の程度と大きく違わないものであり、これらの無機リン濃度上昇に尿量の減少が寄与していたことは間違いないと思われる。

これらのマグネシウム濃度と無機リン濃度の飼料処理による変化と比べ、アンモニア濃度の飼料処理間の変動は極端であり、LH 区と LL 区のアンモニア濃度はいずれも HH 区よりも桁違いに上昇し、特に LH 区の尿中ア

ンモニア濃度は高かった。これは両飼料区における尿量減少の影響以上に、表3に示された両飼料区における尿pHの低下がもたらした結果と推測される。すなわち、アンモニアは水素イオンの尿中への排せつを担う最も重要なキャリアーであり、体液が酸性化して尿中への水素イオンの排せつ量が増えると、それに応じて尿中へのアンモニアの排せつが増加し、尿中濃度が上昇することが知られており^{7,11,31)}、アルカリ尿のHH区ではほとんど排せつされていなかったアンモニアが、酸性尿となったLH区とLL区では大量に排せつされたものと考えられる。一方、低タンパク質飼料を給与したLL区の尿中アンモニア濃度はLH区よりも低かったが、酸性尿で排せつされるアンモニアは、腎組織におけるグルタミンやグルタミン酸の分解を起源とするものなので¹⁶⁾、低タンパク質飼料給与によるLL区の尿中N排せつ量の減少²⁶⁾が、その直接の原因ではない。消化吸収されたタンパク質に含まれる硫黄(S)やリンは体液を酸性化することが知られており³⁴⁾、タンパク質摂取量の少ないLL区では、Sやリンによる体液の酸性化効果が低下し、水素イオンの排せつ量が減少して、それがアンモニア濃度に反映された可能性も推測されるが、LH区とLL区の尿pHを見てみると、給飼後サンプルのpHはその推測と相応した関係にあったものの、給飼前サンプルの尿pHは両区でほぼ同水準であった。従って、タンパク質給与水準と尿中アンモニア濃度との関係については、さらに検討する必要がある。

上述のとおりLH区とLL区では、尿pHが大きく低下して酸性尿となっていた。リン酸マグネシウムあるいはリン酸マグネシウムアンモニウムの結晶形成には、尿pHが特に重要な影響を及ぼし、Munakataら¹⁹⁾の診断検査法に应用されているように、これらの尿石はアルカリ尿において結晶化が促進される^{8,28)}。一方、酸性尿ではこれらの尿石の形成は著しく抑制され、尿pHを6.5以下にすれば、形成されたリン酸マグネシウムアンモニウム尿石も溶解することができると言われる¹³⁾。従って、尿量が減少したLH区およびLL区の尿性状は、尿石構成成分濃度が上昇し、さらに、尿石診断検査で結石が形成されやすい状態にあったと判断されたものの、pHが明らかにこれら成分の結晶化を生じさせない水準にあったことから、両飼料区の乳牛に尿石症が発症する可能性は極めて低かったと考えられた。

Kumeら¹⁴⁾は乾乳牛のK摂取量と尿pHとの間に、高い正の相関があることを観察している。乳牛の尿pHは、 $(K + Na - Cl - S)mEq/kgDM$ で表される飼料陽イオン陰イオン差(DCAD)に応じて変動することが広く知

られており^{1,17,33,35)}、飼料K含量の減少はこのDCADを低下させる。尿pHとDCADとの間には二次曲線^{5,10)}あるいはロジスティック曲線²⁾的な関係があると報告されており、その関係からDCADが概ね50mEq/kgDM以下に低下した場合に、乳牛の尿は酸性化する可能性が高いと推測される。本研究の動物実験²⁶⁾では試験飼料のClとS含量が測定されなかったため、日本標準飼料成分表²²⁾およびNRC乳牛飼養標準²¹⁾を参照したClおよびS含量と、動物試験で分析されたKおよびNa含量から、各試験飼料のDCADを推定してみた。ただし、馬鈴薯デンプンについては信頼できるClおよびS含量の情報がなく、また、灰分、KおよびNaの含量がそれぞれ0.44、0.06および0.02%DMとわずかであり、DCADに対する寄与は小さいものと判断して計算から除外した。その結果、HH区、LH区およびLL区の試験飼料のおおよそのDCADは、それぞれ136、-24および1mEq/kgDMと算出された。すなわち、LH区とLL区では、尿が酸性化するレベルまでDCADが低下していたものと推定され、もちろんその低下は飼料K含量の減少によってもたらされたものであった。

このようにLH区とLL区の試験飼料では、尿量低減化のためのK含量の低減が、尿pHを酸性化させる領域までDCADを低下させたが、尿pHとDCADの二次曲線的^{5,10)}あるいはロジスティック曲線的²⁾な関係から、比較的高いDCADの領域では、かなり大きくDCADが変動しても、尿pHはあまり大きく変化しないことも想定される。実際に、飼料K含量を3.1%DMから1.5%DMへ¹⁾あるいは3.3%DMから1.3%DMへ²⁹⁾低下させた飼料を給与しても、尿pHはわずかしこ低下せずに、8.0以上のアルカリ尿が維持された例も報告されている。従って、飼料K含量の低減による尿量低減化において、尿量の減少による尿石症発症の懸念を無くせるような尿pHとするためには、DCADが概ね50mEq/kgDM以下となる水準まで、飼料K含量を低下させる必要があると思われる。また、LL区では、尿量低減化のために飼料CP含量を減少させたが、同時にK含量も低水準としたために、尿石症発症の懸念のない酸性尿となった。しかし、上述したとおり、タンパク質給与量の減少は、尿pHの上昇をまねく可能性があり³⁴⁾、飼料CP含量の低減のみで泌乳牛の尿量を減少させた場合、本研究の尿石診断検査の結果通りに、尿石症発症の危険性が高まることも考えられる。従って、飼料CP含量を低減させて泌乳牛の尿量低減化を図る際には、尿量減少による尿石症発症の危険性を軽減するために、同時に飼料K含量も低減することを考える必要があるかもしれない。

引用文献

- 1) Bhanugopan, M.S., Fulkerson, W.J., Fraser, D.R., Hyde, M. and McNeill, D.M. (2010). Carryover effects of potassium supplementation on calcium homeostasis in dairy cows at parturition, *J. Dairy Sci.*, 93, 2119–2129.
- 2) Charbonneau, E., Pellerin, D. and Oetzel, G.R. (2004). Effect of lowered prepartum DCAD on urinary pH: A meta-analysis, *J. Dairy Sci.*, 87 (Suppl.1), 441.
- 3) 畜産環境整備機構 (1998). 家畜ふん尿処理・利用の手引き, 3–5.
- 4) Chizzotti, M.L., Valadares Filho, S.C., Valadares, R.F.D., Chizzotti, F.H.M and Tedeschi, L.O. (2008). Determination of creatinine excretion and evaluation of spot urine sampling in Holstein cattle, *Livest. Sci.*, 113, 218–225.
- 5) 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.
- 6) Dewhurst, R.J., Mitton, A.M., Offer, N.W. and Thomas, C. (1996). Effects of the composition of grass silages on milk production and nitrogen utilization by dairy cows, *Anim. Sci.*, 62, 25–34.
- 7) Erdman, R.A., Hemken, R.W. and Bull, L.S. (1982). Dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide for early postpartum lactating dairy cows: Effects on production, acid-base metabolism, and digestion, *J. Dairy Sci.*, 65, 712–731.
- 8) 舟場正幸・阿部又信 (2002). 連載講座：イヌ・ネコの臨床栄養 (6) 尿石症, *ペット栄養会誌*, 5, 26–37.
- 9) Godwin, I.R. and Williams, V.J. (1982). Urinary calculi formation in sheep on high wheat grain diets, *Aust. J. Agric. Res.*, 33, 843–855.
- 10) 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.
- 11) 飯野靖彦 (2001). 酸塩基平衡, *日腎会誌*, 43, 621–630.
- 12) Ikeda, K., Munakata, K. and Suda, H. (1974). Relationship between urinary sediments and the urolithiasis syndrome in cattle, *Nat. Inst. Anim. Hlth. Quart.*, 14, 33–34.
- 13) Kienzle, E. and Wilms-Eilers, S. (1994). Struvite diet in cats: Effect of ammonium chloride and carbonates on acid base balance of cats, *J. Nutr.*, 124, 2652S–2659S.
- 14) 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.
- 15) Manston, R. and Vagg, M.J. (1970). Urinary phosphate excretion in the dairy cow, *J. Agric. Sci.*, 74, 161–167.
- 16) 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, 646–647.
- 17) 松井義貴・小倉紀美・川本哲 (2007). 陰イオン塩剤の添加が泌乳牛の乾物摂取量, 血液および尿に及ぼす影響, *道畜試研報*, 26, 1–7.
- 18) Munakata, K., Ikeda, K., Tanaka, K. and Suda, H. (1974). Urolithiasis syndrome of beef cattle in japan, *Nat. Inst. Anim. Hlth. Quart.*, 14, 17–28.
- 19) Munakata, K., Ikeda, K. and Suda, H. (1974). A new diagnostic method of the urolithiasis syndrome of cattle, *Nat. Inst. Anim. Hlth. Quart.*, 14, 89–96.
- 20) 宗形光蔵 (1976). 牛の尿石症, *日獣会誌*, 29, 253–257.
- 21) National Research Council (2001). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th. ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- 22) 農業・食品産業技術総合研究機構編 (2009). 日本標準飼料成分表 (2009 年版), 中央畜産会, 東京.
- 23) 農林水産省経営局 (2014). 平成 24 年度家畜共済統計表.
- 24) 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.
- 25) 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, *畜草研研報*, 10, 1–8.
- 26) 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 (2013). カリウムと窒素の同時制御による泌乳牛の尿量低減化, *畜草研研報*, 13, 41–52.
- 27) 大谷文博・樋口浩二・小林洋介・野中最子 (2014). 飼料タンパク質の給与水準と第一胃分解性の違いが泌乳牛の尿量に及ぼす効果, *畜草研研報*, 14, 23–35.
- 28) 奥村亮子・木戸口勝彰・村上満喜子・佐藤敦・三浦潔・瀬川俊夫・小野泰司 (2006). 牛尿石症の発生要因の解析ならびにビタミン A 欠乏症との関連, *岩獣会報*, 32, 4–8.

- 29) Rérat, M., Philipp, A., Hess, H.D. and Liesegang, A. (2009). Effect of different potassium levels in hay on acid-base status and mineral balance in periparturient dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 92, 6123–6133.
- 30) SAS Institute (2008). SAS/STAT 9.2 User's Guide: The GLM Procedure (Book Excerpt). SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- 31) Scott, D. (1969). Renal excretion of potassium and acid by sheep, *Q. J. Exp. Physiol.*, 54, 412–422.
- 32) Scott, D. and Buchan, W. (1985). The effects of feeding either roughage or concentrate diets on salivary phosphorus secretion, net intestinal phosphorus absorption and urinary phosphorus excretion in the sheep, *Quart. J. Exp. Physiol.*, 70, 365–375.
- 33) Seifi, H.A., Mohri, M., Farzaneh, N., Nemati, H. and Nejhad, S.V. (2010). Effects of anionic salts supplementation on blood pH and mineral status, energy metabolism, reproduction and production in transition dairy cows, *Res. Vet. Sci.*, 89, 72–77.
- 34) 鈴木達也・牧小伝太・後藤健・舟場正幸・入来常德・波多野義一・阿部又信 (2001). ネコにおける高蛋白食給与が尿中ストルバイト結晶数ならびに尿不溶性有機成分濃度に及ぼす影響, *ペット栄養会誌*, 4, 7–12.
- 35) Vagnoni, D.B. and Oetzel, G.R. (1998). Effects of dietary cation-anion difference on the acid-base status of dry cows, *J. Dairy Sci.*, 81, 1643–1652.
- 36) Valadares, R.F.D., Broderick, G.A., Valadares Filho, S.C., and Clayton, M.K. (1999). Effect of replacing alfalfa silage with high moisture corn on ruminal protein synthesis estimated from excretion of total purine derivatives, *J. Dairy Sci.*, 82, 2686–2696.
- 37) 矢野秀雄 (1987). 新乳牛の科学 (津田恒之監修・柴田章夫編), 農文協, 東京, 384–390.

The Possibility to Develop Urolithiasis in Lactating Dairy Cows Reduced Urine Volume by Controlling Dietary Potassium and Protein

Fumihiro OHTANI, Kouji HIGUCHI, Yousuke KOBAYASHI and Itoko NONAKA^a

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

Summary

The possibility to develop magnesium phosphate or ammonium magnesium phosphate urolithiasis in lactating dairy cows whose urine volume were reduced by decreasing dietary potassium (K) and crude protein (CP) contents was examined. The urolithiasis diagnostic test and the measurement of urinary components involved with calculus formation were carried out using the spot urine from lactating dairy cows whose urine volume were observed as 14.5, 9.7 and 6.6kg/day when high K high CP diet (HH diet), low K high CP diet (LH diet) and low K low CP diet (LL diet), respectively, were fed in feeding trials. One of eight samples in HH diet was judged to be positive by the urolithiasis diagnostic test, whereas positive samples increased to three of eight samples both in LH and LL diets. In LH diet and LL diet, urinary magnesium and inorganic phosphorus concentration showed increase reflecting reduction of urine volume, and urinary ammonia concentration increased far exceeding degree of reduction in urine volume. Although urine in HH diet was alkaline of pH more than 8, urine in LH and LL diets were acidity of pH less than 7 at which it was known that these calculi would be hardly formed, and this was due to the decreased dietary cation-anion difference with decreasing dietary K content. It was concluded that as long as dietary K content could be reduced substantially in the nutritional management intended to decrease urine of lactating dairy cows, the possibility to develop urolithiasis would be low, even if urine volume decreased.

Key words: lactating dairy cows, potassium, protein, urine volume reduction, urolithiasis

^a Present address: NARO Kyushu Okinawa Agricultural Research Center, Koshi, 861-1192 Japan