

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

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

窒素 (N) を制御して泌乳牛の尿量を低減化する栄養管理技術の開発を目的に, 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について調べた。泌乳後期のホルスタイン種泌乳牛 4 頭に, 粗タンパク質 (CP) 含量 2 水準 (概ね 16.5% および 13.5%) およびタンパク質第一胃分解性 2 水準 (大豆粕とバイパス大豆粕の比率を入れ替えて調製) を組み合わせた 4 飼料を給与して, 出納試験を実施した。飼料 CP 含量の減少によって, 乳量と乳脂肪率に有意な低下が観察されたが, その低下の程度はわずかであった。飼料 CP 含量の減少と飼料タンパク質の第一胃分解性の低下は, どちらも泌乳牛の尿量を有意に減少させる効果を示した。尿量の低減効果は, 飼料 CP 含量を減少させる処理の方が, 第一胃分解性の低下処理よりも大きく現れ, これは両処理の血中尿素濃度および第一胃液アンモニア濃度に及ぼす効果の違いが, 反映されたものと考えられた。低 CP 飼料区において糞中水分排せつ量の増加が観察されたが, この原因は低 CP 飼料区で用いた飼料の繊維消化率が低かったためと推察され, CP 含量を低減する飼料調製では, 飼料源の選択が重要であると考えられた。

キーワード: 泌乳牛, 栄養管理, タンパク質含量, タンパク質第一胃分解性, 尿量低減化

緒 言

家畜の中でも特に尿量の多い泌乳牛を飼養する酪農経営では, 大量に発生する糞尿の処理に要する労力の負担に加え, 堆肥化して利用する場合には, 水分調整のために固液分離システムの設置や多量の水分調整材が必要となるため²⁹⁾, 経済的な負担も強いられる。この状況を改善するために, 効率的な排せつ物処理技術を開発することも重要であるが, 泌乳牛が排せつする尿量自体を, 日常の栄養管理によって減少させることができれば, 排せつ物処理の負担は大いに軽減される。ただし, そのための栄養管理手法は, 泌乳牛の生産性に悪影響を与えないことが肝要であり, 飲水制限のような非生理的な栄養管理では, 尿量と同時に採食量や乳量も低下させてしまうので⁷⁾, 泌乳牛の尿量低減化手法としては不適切である。これに対して, ナトリウム (Na), カリウム (K) および窒素 (N) の 3 つの栄養素は, その摂取量が尿量

と高い正の相関を示し^{3,26)}, 泌乳牛の生理的な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, これらの栄養素を精密に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, 乳生産を維持させながら, 尿量を減少させることが可能と考えられる。

N を制御した栄養管理に関しては, 泌乳牛に粗タンパク質 (CP) 含量を低減した飼料を給与した試験が, 国内外問わず数多く実施されている。しかし, 最近も Hristov ら¹⁶⁾ が総説にまとめて紹介しているように, これまでの CP 低減飼料の給与試験の主たる目的が, 経済性の向上と N による環境負荷の低減にあったことから, 乳生産と N 排せつに対する飼料 CP 低減化の効果についての知見は, それらの報告から広範囲に得ることができるものの, 尿量に対する飼料 CP 低減化の効果に関する情報は, 比較的限られている。また, それらの情報についても, 泌乳牛へ給与する飼料の CP 含量を低下させることにより, 尿中への N 排せつ量の減少と同時

に、明確な尿量の減少が観察された試験結果が複数報告されている^{4,13,31,38)}。一方で、給与飼料のCP低減化が尿中N排せつ量には有意な減少を引き起こしても、尿量には有意な変化が観察されていない研究報告も見られる^{21,33,37,44)}。著者らの以前の研究²⁸⁾では、Kを低減した飼料の給与によって尿量が減少した泌乳牛に、CP含量も減らして飼料給与したところ、さらに尿量が減少する傾向($P = 0.07$)が観察されている。

飼料CP水準の低減処理以外に、Nを制御する栄養管理として、いわゆるバイパスタンパク質飼料を利用することにより、給与飼料タンパク質の第一胃分解性を低下させ、Nの利用効率の向上とN排せつ量の低減を図る手法についても、かなり多くの研究が行われている³⁹⁾。しかし、それらの研究報告から、尿量に対する効果についての情報が得られるものは、ほとんどないと言っても過言ではなく、尿量に対する飼料タンパク質の第一胃分解性の効果は定かではない。そこで本研究は、Nを制御して泌乳牛の尿量を低減化する栄養管理技術を開発するため、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を明らかに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(2産および4産各2頭、試験開始時点で平均分娩後日数 217 ± 15 日、平均体重 598 ± 62 kg)を、温度 20°C 、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。試験は予備期9日間、出納試験5日間の連続した14日間を1期とし、飼料粗タンパク質(CP)含量2水準とタンパク質第一胃分解性2水準を 2×2 要因配置とした4飼料処理を、4期4頭に割り付ける 4×4 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。

給与飼料の構成および成分組成を表1および2に示した。飼料処理は高CP高分解性飼料区(HPHD区)、高CP低分解性飼料区(HPLD区)、低CP高分解性飼料区(LPHD区)および低CP低分解性飼料区(LPLD区)の4区を設定した。いずれの区も粗濃比は45:55とし、粗飼料にはイタリアンライグラスサイレージ(2番草・出穂期)とアルファルファヘイキューブを用いた。2つの高CP飼料区のCP含量は、実際の酪農現場でも見られる程度の概ね16.5%の含量に調製し、2つの低CP飼料区はタンパク質飼料源を減らしてビートパルプとフス

マに代替することにより、日本飼養標準²⁶⁾の推奨値に近いCP含量である概ね13.5%に調製した。タンパク質飼料源には大豆粕および市販バイパス大豆粕(ソイパス、ウイルバー・エリス株式会社、東京)を使用し、2つの高分解性飼料区ではタンパク質の第一胃分解性の高い大豆粕を、2つの低分解性飼料区では第一胃分解性の低いバイパス大豆粕を主なタンパク質飼料源とした。なお、使用したバイパス大豆粕は、大豆粕を加糖加熱処理した製品である。

給与飼料はTMRとし、粗飼料と濃厚飼料の混合時に、水分含量が概ね45%となるように加水を行った。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²⁶⁾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、1日2回に分けて朝夕の搾乳(8:30および18:00)終了後に定量を給与した。なお、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で分析し、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。出納試験最終日の朝の搾乳が終了して飼料を給与する直前に、真空採血管を用いて頸静脈血を採取し、さらに飼料給与の概ね4時間後に、第一胃液を経口的に採取した。採取した第一胃液は四重ガーゼでろ過した後、直ちにpHとアンモニア濃度を測定した。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 -30°C で凍結保存した。

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²⁾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²⁾によって分析した。なお、飼料の有効第一胃分解性タンパク質(ECPd)含量は、日本飼養標準・乳牛2006年版²⁶⁾の値を引用した。飼料サンプルは硝酸-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)を、血漿浸透圧の分析には浸透圧計(OSMOMAT 030、ゴノテック社)を用

いた。血漿、尿および乳中の尿素濃度と第一胃液アンモニア濃度は、市販の分析キット(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)を用いて分析した。血漿 α アミノ窒素濃度はDNP法³⁵⁾、尿中アラントイン濃度はYoung-Conway法⁴⁷⁾による分析を行って測定した。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。

可消化養分総量(TDN)、CPおよびECPd充足率は、日本飼養標準・乳牛2006年版²⁶⁾の算出式から計算した各要求量で、それぞれの摂取量を除して求めた。見かけ

のN蓄積量は、N摂取量から総N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、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(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¹⁴⁾)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た。

データは飼料処理を2×2要因配置とする4×4ラテン方格法に従って、SASのGLMプロシジャ⁴⁰⁾で分散分析を行い、飼料CP含量の効果、タンパク質第一胃分解性の効果およびCP含量と分解性の交互作用の有意性を検定した。また、交互作用が有意であった場合には、

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

Ingredient	Diets ¹			
	HPHD	HPLD	LPHD	LPLD
Italian ryegrass silage	40.0	40.1	40.1	40.1
Alfalfa hay cube	5.0	5.1	5.0	5.0
Dehulled rice	29.9	30.0	29.8	29.9
Beet pulp	3.0	3.1	5.6	5.6
Wheat bran	2.0	2.0	8.0	8.0
Soybean meal	16.0	2.0	9.0	0.5
Heat-treated soybean meal ²	2.0	15.7	0.5	8.8
Vitamin-Mineral mixture	2.0	2.0	2.0	2.0

¹ HPHD = high CP high degradable protein diet, HPLD = high CP low degradable protein diet, LPHD = low CP high degradable protein diet, LPLD = low CP low degradable protein diet.

² Soy Pass (Wilbur-Ellis Co., (JAPAN) Ltd.).

DM : dry matter.

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

	Diets ¹			
	HPHD	HPLD	LPHD	LPLD
DM (% FM ²)	54.5	54.5	54.4	54.5
OM	90.7	90.7	90.8	90.8
CP	16.6	16.3	13.6	13.4
ECPd ³	11.4	9.7	10.2	8.6
EE	2.2	2.2	2.4	2.4
aNDFom	32.0	34.7	34.6	36.2
ADFom	18.6	18.9	19.3	19.4
K	1.60	1.60	1.48	1.48
Na	0.29	0.29	0.30	0.30

¹ HPHD = high CP high degradable protein diet, HPLD = high CP low degradable protein diet, LPHD = low CP high degradable protein diet, LPLD = low CP low degradable protein diet.

² FM (fresh matter) include added water.

³ Estimated using values from Japanese Feeding Standard for Dairy Cattle (2006)²⁶⁾.

DM : dry matter, OM : organic matter, CP : crude protein,

ECPd : effective degradable crude protein, EE : ether extracts,

aNDFom : ash-free neutral detergent fiber, ADFom : ash-free acid detergent fiber.

Tukey の多重検定を実施して、飼料処理区間の差を決定した。いずれの検定でも有意水準は危険率5%未満とした。

結 果

表3に摂取量、排せつ物量、乳量・乳成分率、消化率、TDN および充足率の測定結果を示した。乾物、CP、K および Na の摂取量に、CP 含量と分解性の有意な交互作用が検出され、飼料処理間に有意な差が観察された。

各飼料処理で等しくなるように設定していた乾物、K および Na 摂取量の違いは、定量給与の設定値と実給与量との若干の誤差が、飼料処理間で異なっていたことが影響したものであり、その差は有意ではあるもののわずかであった。また、CP 摂取量は低 CP 飼料区が高 CP 飼料区よりも平均して約 480g/日少なく、ECPd 摂取量は低分解性飼料区が高分解性飼料区よりも平均して約 375g/日少なかった。排せつ物量には有意な交互作用は検出されず、糞量、尿量および糞尿量のいずれにも、CP 含量の有意な効果が観察され、高 CP 飼料区に比べ

Table 3. Intake, excreta, milk performance, digestibility, TDN and nutrient sufficiency rate of cows fed the experimental diets

	Diets ¹				SE	Probability ²		
	HPHD	HPLD	LPHD	LPLD		CP	Deg	CP × Deg
Intake (g/day)								
DM	18010 ^c	17851 ^d	18358 ^a	18276 ^b	3	<0.01	<0.01	<0.01
CP	2994 ^a	2907 ^b	2492 ^c	2443 ^d	5	<0.01	<0.01	<0.01
ECPd	2058	1740	1872	1564	60	0.047	<0.01	0.74
K	288 ^a	286 ^b	271 ^c	270 ^d	1	<0.01	<0.01	0.02
Na	54.7 ^b	54.4 ^c	56.4 ^a	56.3 ^a	0.1	<0.01	<0.01	0.03
Excreta (kg/day)								
Feces	38.3	39.6	44.7	45.7	0.9	<0.01	0.22	0.84
Urine	19.7	16.7	15.1	13.7	0.8	<0.01	0.04	0.37
Feces + Urine	58.0	56.3	59.9	59.4	0.5	<0.01	0.06	0.22
Milk yield (kg/day)								
	20.9	21.4	20.5	20.7	0.2	0.04	0.12	0.41
Milk composition (%)								
Fat	4.75	4.63	4.58	4.50	0.06	0.04	0.15	0.73
Protein	3.85	3.83	3.83	3.80	0.02	0.35	0.31	0.85
Lactose	4.34	4.37	4.33	4.38	0.02	0.76	0.02	0.61
Digestibility (%)								
DM	71.8	70.2	67.5	66.6	0.6	<0.01	0.07	0.58
OM	75.8	74.3	71.5	70.7	0.6	<0.01	0.11	0.55
CP	63.5	60.9	56.3	55.5	0.8	<0.01	0.08	0.35
EE	71.9	69.5	71.1	70.1	1.6	0.95	0.32	0.67
aNDFom	68.2	69.2	62.7	63.0	0.9	<0.01	0.50	0.68
ADFom	66.3	64.0	61.3	59.5	0.7	<0.01	0.02	0.70
TDN (%DM)								
	70.7	69.2	67.1	66.3	0.6	<0.01	0.10	0.55
Sufficiency rate ³ (%)								
TDN	113	108	111	110	1	0.98	0.06	0.42
CP	136	131	116	114	1	<0.01	0.04	0.25
ECPd	116	101	109	92	4	0.17	<0.01	0.90

a,b,c,d Means in a row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

¹ HPHD = high CP high degradable protein diet, HPLD = high CP low degradable protein diet, LPHD = low CP high degradable protein diet, LPLD = low CP low degradable protein diet.

² CP = CP level, Deg = Degradability of protein source, CP × Deg = interaction of CP and Deg.

³ Sufficiency rate = intake / requirement × 100.

DM : dry matter, OM : organic matter, CP : crude protein, ECPd : effective degradable crude protein, EE : ether extracts, aNDFom : ash-free neutral detergent fiber, ADFom : ash-free acid detergent fiber, TDN : total digestible nutrients.

て低 CP 飼料区で尿量は減少したが、逆に糞量は増加し、合計の糞尿量もやや増加した。高 CP 飼料区から低 CP 飼料区への尿量の減少量は、平均して 3.8kg/日であった。また、尿量には分解性の有意な効果も認められ、低分解性飼料区では高分解性飼料区よりも、尿量が平均して 2.2kg/日減少した。

乳量・乳成分率にも有意な交互作用は検出されず、飼料 CP 含量の減少による乳量と乳脂肪率の有意な低下と、飼料タンパク質分解性の低下による乳糖率の有意な上昇が観察された。各栄養成分の消化率、TDN 含量および充足率のすべてで、有意な交互作用は認められなかった。粗脂肪以外の乾物、有機物、CP、aNDFom、ADFom の消化率および TDN 含量は、飼料 CP 含量の減少によって有意に低下し、加えて ADFom 消化率には分解性の低下による有意な低下も観察された。しかし、TDN 充足率の値には、飼料処理による有意な違いはなかった。CP 充足率には分解性の違いによる若干の有意

差も認められたが、飼料 CP 含量が減少することによって、CP 充足率はほぼ 20% 低下した。また、ECPd 充足率は HPHD 区が 116% と最も高く、次いで LPHD 区が 109% で、バイパス大豆粕によってタンパク質分解性を低下させた HPLD および LPLD 区は低値を示し、最も低い LPLD 区では 92% であった。

表 4 に N 出納および水分出納の結果を示した。CP 摂取量と同じく N 摂取量のみ飼料 CP 含量とタンパク質分解性の交互作用が検出されたが、飼料 CP 水準の低下による N 摂取量の減少が、平均して 77g/日と大きかったのに比べて、分解性の異なる飼料間の N 摂取量の違いは、いずれの CP 水準でもわずかであった。糞中への N 排せつ量に飼料処理による有意な効果は観察されなかったが、尿中への N 排せつ量は飼料 CP 含量の減少とタンパク質分解性の低下のいずれにも反応して有意に減少し、糞尿合計の N 排せつ量でも同様の有意な効果が認められた。また、乳中 N 移行量と見かけの N 蓄積

Table 4. Nitrogen and water balance of cows fed the experimental diets

	Diets ¹					Probability ²		
	HPHD	HPLD	LPHD	LPLD	SE	CP	Deg	CP × Deg
N intake (g/day)	479.1 ^a	465.1 ^b	398.8 ^c	391.0 ^d	0.8	<0.01	<0.01	<0.01
N excretion (g/day)								
Feces	175.0	181.6	174.1	174.2	4.5	0.40	0.48	0.50
Urine	116.6	94.2	63.5	54.4	5.4	<0.01	0.03	0.27
Milk	123.9	126.1	120.1	119.7	0.9	<0.01	0.37	0.21
Feces + urine	291.5	275.8	237.6	228.6	4.1	<0.01	0.02	0.44
Total excretion ³	415.4	401.9	357.7	348.3	4.4	<0.01	0.04	0.66
N balance ⁴ (g/day)	63.8	63.2	41.2	42.7	3.9	<0.01	0.91	0.80
Water intake (kg/day)								
Feed ⁵	15.0	14.9	15.4	15.3	0.1	<0.01	<0.01	0.42
Drinking	68.1	65.8	69.1	68.4	0.6	0.03	0.04	0.25
Metabolic ⁶	6.1	6.0	5.9	5.9	0.1	0.03	0.04	0.45
Total intake ⁷	89.3	86.7	90.4	89.5	0.6	0.02	0.03	0.22
Water excretion (kg/day)								
Feces	33.2	34.3	38.8	39.6	0.8	<0.01	0.27	0.87
Urine	18.9	15.9	14.4	13.1	0.8	<0.01	0.04	0.37
Milk	17.9	18.4	17.7	17.9	0.2	0.05	0.10	0.40
Feces + urine	52.1	50.2	53.2	52.7	0.4	<0.01	0.03	0.16
Total excretion	70.0	68.6	70.9	70.5	0.5	0.03	0.13	0.34
Water balance ⁸ (kg/day)	19.3	18.0	19.5	19.0	0.6	0.36	0.18	0.61

a,b,c,d Means in a row with different superscripts differ significantly (P<0.05).

¹ HPHD = high CP high degradable protein diet, HPLD = high CP low degradable protein diet, LPHD = low CP high degradable protein diet, LPLD = low CP low degradable protein diet.

² CP = CP level, Deg = Degradability of protein source, CP × Deg = interaction of CP and Deg.

³ Sum of feces, urine and milk.

⁴ Subtracted total excretion from intake.

⁵ Feed water include added water.

⁶ Calculated from the intake of digestible crude protein and digestible non-protein organic matter¹⁴.

⁷ Sum of feed, drinking and metabolic.

⁸ Subtracted total excretion from total intake.

量には飼料 CP 含量の有意な効果が観察され、低 CP 飼料区は高 CP 飼料区と比べて、それぞれ平均して 5g/日および 22g/日少なかった。

飼料からの水分摂取量、飲水量、代謝水および総水分摂取量のいずれにも、飼料 CP 含量とタンパク質分解性の有意な影響が検出されたが、HPLD 区の飲水量と総水分摂取量が、他の処理区よりも 2kg/日以上少なかった以外、飼料処理間の違いはわずかであった。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に対する飼料処理の効果は、上述の糞量、尿量および乳量で観察された結果と同様であり、すなわち、飼料 CP 含量が減少すると、尿中水分排せつ量と乳中水分移行量は有意に減少する一方で、糞中水分排せつ量は有意に増加した。また、タンパク質分解性の低下は、尿中水分排せつ量を有意に減少させた。糞尿合計の水分排せつ量では、タンパク質分解性の低下が、尿量減少を反映して、わずかではあるが有意な減少効果（平均して 1.2kg/日）を示したのに対し、飼料 CP 含量の減少は、糞中水分排せつ量の増加が影響して、やはりわずかではあるが、有意に糞尿中水分排せつ量を増加させた（平均して 1.8kg/日）。乳中水分移行量も含めた総水分排せつ量では、飼料 CP 含量減少による排せつ量の増加効果のみ、統計的

な有意性が検出された。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表 5 にまとめた。生体液成分の測定値には、CP 含量と分解性の有意な交互作用は検出されなかった。第一胃液では pH 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 (NH₃) 濃度には飼料 CP 含量の有意な効果があり、平均すると高 CP 飼料区の 12.8mgN/dl が、低 CP 飼料区では 7.8mgN/dl へと大きく低下した。第一胃 NH₃ 濃度は、飼料のタンパク質分解性の低下によって低下する傾向にあったが、その効果は統計的に有意ではなかった。血漿では Na, K, Cl, 遊離脂肪酸, 乳酸および α アミノ N 濃度には飼料処理による有意な効果はなかったが、浸透圧, グルコースおよび尿素濃度には、飼料 CP 含量の有意な効果が観察され、いずれも高 CP 飼料区よりも低 CP 飼料区が低値を示し、特に血漿尿素濃度は低 CP 飼料区で大きく低下した。同様に、乳中尿素濃度も飼料 CP 含量の減少によって大きく低下した。血漿および乳中尿素濃度には、タンパク質分解性の低下によっても、数値的な低下が観察されたものの、統計的に有意な変化ではなかった。一方、尿中への尿素排せつ量には、飼料 CP 含量およびタンパク質分解性の両方に有意な効

Table 5. Ruminal fluid, plasma and milk constituent concentration and urinary constituent excretion of cows fed the experimental diets

	Diets ¹				SE	Probability ²		
	HPHD	HPLD	LPHD	LPLD		CP	Deg	CP × Deg
Ruminal fluid								
pH	6.85	7.00	6.78	6.83	0.10	0.30	0.36	0.63
Ammonia (mgN/dl)	14.1	11.5	8.8	6.8	1.1	<0.01	0.09	0.81
Plasma								
Osmolality (mOsm/kg)	285.0	287.0	282.0	283.0	0.8	<0.01	0.11	0.55
Na (mEq/L)	137.5	139.8	138.3	139.3	0.7	0.87	0.06	0.42
K (mEq/L)	4.1	4.0	4.0	3.9	0.1	0.23	0.34	0.48
Cl (mEq/L)	103.3	103.0	102.0	102.0	1.1	0.35	0.91	0.91
Glucose (mg/dl)	68.1	67.8	64.6	62.7	0.8	<0.01	0.22	0.37
Free fatty acid (μEq/L)	91.0	110.8	93.8	151.8	27.1	0.45	0.20	0.51
Lactic acid (mg/dl)	9.2	7.1	6.9	6.6	0.6	0.06	0.09	0.20
α amino acid (mgN/dl)	4.7	4.9	4.8	4.4	0.1	0.23	0.51	0.11
Urea (mgN/dl)	12.9	11.5	6.8	5.9	0.6	<0.01	0.12	0.66
Milk								
Urea (mgN/dl)	14.8	14.0	9.9	7.8	0.9	<0.01	0.16	0.51
Urine								
Urea (gN/day)	79.9	61.8	31.2	24.7	5.1	<0.01	0.05	0.30
Allantoin (g/day)	25.0	23.1	24.0	23.6	1.2	0.88	0.38	0.56

¹ HPHD = high CP high degradable protein diet, HPLD = high CP low degradable protein diet, LPHD = low CP high degradable protein diet, LPLD = low CP low degradable protein diet.

² CP = CP level, Deg = Degradability of protein source, CP × Deg = interaction of CP and Deg.

果が観察され、飼料 CP 含量の減少あるいは分解性の低下によって、尿中尿素排せつ量が減少した。また、尿中アラントイン排せつ量には、飼料処理による違いは認められなかった。

考 察

本研究は泌乳牛の摂取 N に対する生理的な反応を制御することで、乳生産に悪影響を与えずに尿量を低減化する栄養管理手法を検討したものであるが、CP 含量を約 13.5% とした低 CP 飼料区では、高 CP 飼料区と比べてわずかではあるが、乳量と乳脂肪率の低下が見られた。両低 CP 飼料区とも CP 充足率は 110% 以上と見積もられ、LPLD 区で ECPd 充足率が 92% と算出されているものの、これらの成分率の低下は ECPd 充足率 109% と算出された LPHD 区でも生じていることから、CP や ECPd 不足が直接の原因ではないと思われる。飼料 CP 水準の生産性への影響については、いろいろな乳量水準の泌乳牛で、種々の CP 水準を設定して研究が実施されており、設定した飼料 CP 含量の範囲で、乳量・乳成分に変化がなかったとする報告が多いが^{1,5,8,15,37,38)}、設定された飼料 CP 含量と乳量水準の条件によっては、本試験結果と同様に、飼料 CP 含量の低下で乳量の減少^{4,6,12,13)}あるいは乳脂肪含量の低下^{4,6,12,23)}が観察される場合も報告されている。それらの乳量減少を観察した試験では、その際に飼料乾物摂取量 (DMI) の減少が観察されており、それに起因する栄養素供給量の減少は、乳量を減少させた一因であったと考えられる。本試験は定量給与の試験条件で、DMI に各処理区間の実質的な違いはなかったが、低 CP 区の飼料は高 CP 区の飼料の大豆粕またはバイパス大豆粕を、全般的に成分消化率の低いビートパルプとフスマ²⁵⁾に代替して飼料の CP 低減化を図ったため、高 CP 区の飼料と比較して成分消化率と TDN 含量が低下していた。TDN 充足率には飼料 CP 含量の有意な効果は検出されなかったものの、低 CP 飼料区では血漿グルコース濃度が有意に低下しており、体内へのエネルギー供給量が高 CP 飼料区に比べて少なかった可能性が推測され、これらの栄養素供給量の減少は、低 CP 飼料区の乳量に一定の影響を及ぼした可能性が考えられる。また、乳脂肪率に関しては、飼料 CP 含量と乳脂肪率との正の直線的関係について報告した Olmos Colmenero と Broderick³¹⁾ が、タンパク質供給量の増加が引き起こす第一胃内のセルロース分解活性の上昇が、酢酸産生量を増加させることで、乳脂肪合成が亢進すると考察している。本試験でもタンパク質供給量の変

化で、そのようなセルロース分解活性の変化が生じた可能性がないとは言えないが、そもそも低 CP 飼料区で用いたビートパルプやフスマは繊維消化性が低く、セルロース分解の低下を招く飼料原料であったと考えられるので、低 CP 飼料区で観察された若干の乳脂肪率低下は、CP 含量低減化のために選択した飼料原料の繊維消化性に、原因があったのではないかとと思われる。

一方、飼料タンパク質の分解性低下によって、乳糖率にわずかな上昇が観察された。これまでに加熱大豆粕、魚粉あるいはコーングルテンミールなどのバイパスタンパク質飼料を用いた泌乳牛の給与試験^{6,9,19,46)}のいずれにおいても、乳糖率の変化は報告されていない。低分解性区の主たるタンパク質源として使用した加糖加熱処理されたバイパス大豆粕の糖成分が、何らかの影響を及ぼした可能性も考えられるが、乳糖の前駆物質であるグルコースの血漿中濃度には、タンパク質分解性による明確な効果は検出されていない。従って、この乳糖率の上昇に関しては、その理由は判然としない。ただし、いずれにしても、この乳糖率も含めて、今回の乳量および乳成分に観察された飼料処理間の差はわずかであり、本試験の飼料処理が乳生産へ及ぼした影響は、ごく限定的なものであったことは確かである。また、尿中アラントイン排せつ量には飼料処理による有意な変化が観察されなかったため、今回の CP 水準と第一胃分解性の低下が、第一胃微生物合成量に悪影響を与えるものではなかったことも推測される。しかし、飼料 CP 含量の低減化を図るための飼料設計に当たっては、可能な限り乳生産に影響が出ないように、タンパク質源を代替する飼料原料の選択について、さらに検討する必要があると思われる。

本試験結果は、飼料 CP 含量を減少させる処理と、飼料タンパク質の第一胃分解性を低下させる処理のどちらも、泌乳牛の尿量を有意に減少させることを示した。N と同様に尿量を規制する栄養要因と考えられる K と Na の摂取量には、統計的には有意な飼料処理間の違いがあったものの、どちらもその飼料間差は小さく、Na 摂取量の飼料間の違いは、CP とは逆の関係にあった。また、尿量と同様の反応が、尿中 N あるいは尿素排せつ量に観察されていることから、この両飼料処理による尿量反応の大部分が、尿中への N 排せつに関連して生じたことは間違いないと思われる。この結果は、飼料 CP 水準の低減はもとより、さらに N の利用効率を向上させる栄養管理も、泌乳牛の尿量を低減させる手法として利用できる可能性を示唆している。

これまでに統計的な研究では、泌乳牛の N 摂取量と尿量との正の相関が報告され^{3,22,24,32)}、実際に泌乳牛へ

CP 含量を低減した飼料を給与して、今回の我々の試験と同様に、尿中への N 排せつ量の減少と、それに付随した有意な尿量の減少を確認した試験結果が複数報告されている^{4,13,31,38}。しかし、一方で、明らかに CP 含量の異なる飼料を給与し、尿中への N 排せつ量には有意な影響があったにもかかわらず、尿量に有意な変化が観察されていない研究報告も散見される^{21,33,37,44}。これらの研究で尿量が有意に変化しなかった明確な理由は定かではないが、考えられる原因の一つとして、N 以外の尿量規制要因が飼料処理間で変動していた可能性が挙げられる。例えば、飼料の CP 含量を高めるために、粗飼料比率を低下させて濃厚飼料に置き換えたような試験条件では³⁷、一般的に濃厚飼料の K 含量は粗飼料よりも低い⁴⁵ため、そのような CP 含量を高めた飼料の給与は K 摂取量を減少させると推定され、尿量に対する N 摂取量増加の効果が、K 摂取量減少の効果によって相殺された可能性が考えられる。さらに、飼料 CP 水準の変化に対して、有意な尿量変化が検出されない一番大きな原因として、泌乳牛の腎の尿生成能力における個体差の存在が挙げられる。摂取されたタンパク質およびアミノ酸は、代謝の最終産物である尿素が尿中に排せつされる際に、腎尿細管で浸透圧効果を発揮して水分排せつ量に影響を与える⁴⁵が、腎は一定程度までは尿中に尿素を濃縮して排せつする能力を持ち、その能力の限界を超えると、尿量が増加することになる。しかし、この腎の能力は個体間で大きく異なるため、N 摂取に対する尿量反応には、大きな個体差が生じる³⁸。CP 低減飼料給与で試験群の平均尿量が数値的に減少していても、統計的な有意差が検出されていない報告例では³³、この反応の個体差がその効果を不明瞭にした一因であった可能性が考えられる。また、著者らの以前の K と CP の同時制御試験²⁸で観察された CP 低減飼料給与による尿量の減少効果が、統計的な傾向 ($P=0.07$) の確認に留まったのも、そのような反応の個体差が影響していたと思われる。

飼料タンパク質の第一胃分解性と尿量との関係が明示された報告は、非常に限られており、そこに示された尿量と分解性の関係についても、統一的な結果とはなっていない。Olibeira ら³⁰は、飼料の CP レベルは一定とし、飼料中の大豆粕を、第一胃で速やかに分解される尿素に段階的に代替した 4 種類の飼料を調製し、泌乳牛に給与したところ、尿量の代替量に比例して、尿量が増加することを観察したが、ほぼ同じ飼料条件で同様の試験を実施した Silva ら⁴³の研究では、有意な尿量の変化は観察されなかった。これらの報告において、前者の試験では尿量データの変動係数が 15.6% であったのに対

して、後者の試験では 50.9% と、データの変動が大きかったことが示されており、後者の試験結果は、上述した尿量反応における個体差に、少なからぬ影響を受けたものであったと推察される。さらに、飼料中のタンパク質源を大豆粕とした飼料と、その一部を低分解性のエクスペラー大豆粕に代替した飼料とを比較した Broderick ら⁶の試験では、エクスペラー大豆粕飼料を給与した泌乳牛の尿量が、大豆粕飼料を給与した牛よりも有意に増加するという結果が報告されている。その試験ではエクスペラー大豆粕飼料の給与で、乳中尿素濃度が有意に上昇し、尿中 N 排せつ量も有意ではないが数値的な増加が観察されていることから、それらに起因して尿量の増加反応が現れたものと思われる。しかしながら、低分解性タンパク質飼料を泌乳牛に給与した場合の反応としては、血漿あるいは乳中尿素濃度の低下^{11,41,42}と尿中 N 排せつ量の減少^{10,18,41,42}が報告されることが一般的であり、本試験でもバイパス大豆粕の給与は、尿中 N 排せつ量を有意に減少させている。従って、Broderick ら⁶の観察はどちらかと言えば特例的なものと考えべきであり、N 排せつ量や血漿ないし乳中尿素濃度の一般的な反応からすれば、低分解性タンパク質飼料を摂取した泌乳牛では、尿量減少が順当な反応と考えるのが妥当であろう。

今回の両飼料処理の尿量に対する効果を、尿中水分排せつ量の変化で比較すると、CP 含量の低下が平均して 3.7kg/日の減少を引き起こしたのに対して、分解性の低下による減少は平均して 2.2kg/日であり、この試験の範囲では、概ね 3% の CP 水準の低減処理の方が、飼料タンパク質の分解性の低減処理よりも、尿中水分排せつ量を大きく減少させた。また、この飼料処理による効果の違いは、尿中への N あるいは尿素排せつ量でも同様であった。この効果の違いの背景には、泌乳牛の N 排せつ量と尿量の決定に重要な役割を果たす血漿尿素濃度^{28,38}と、その血漿尿素濃度を左右する主たる要因の一つである第一胃液 NH₃ 濃度に見られた、両飼料処理に対する反応の違いが関与していたと推測される。すなわち、飼料 CP の低減処理が、血漿尿素濃度と第一胃液 NH₃ 濃度を、それぞれ平均して 5.9mg/dl および 5.0mg/dl と大きく低下させたのに対して、飼料タンパク質の分解性低減処理では、それぞれ平均して 1.2mg/dl および 2.3mg/dl の数値的な低下のみであり、これらの違いが尿中 N および水分排せつ量に対する効果の違いに反映されたことは、間違いのないと思われる。この違いは尿中水分排せつに直接関係する血漿浸透圧の変化にも反映されており、浸透圧構成成分である血漿尿素が大きく低下した低 CP 飼料区では、血漿浸透圧が有意な低

下を示しているのに対して、分解性低減処理では変化が観察されていない。さらに、第一胃 NH₃ 濃度を HPLD 区と LPHD 区で比較すると、ECPd 摂取量が多かった LPHD 区よりも、ECPd 摂取量が少なかった HPLD 区の方が、NH₃ 濃度が高いという結果であり、これは第一胃液 NH₃ 濃度の反応が、単純に ECPd 摂取量の比較だけでは判断できないことを示唆している。飼料 CP 水準の低下による第一胃液 NH₃ 濃度の低下は、多くの研究で報告されており^{5,20,31}、飼料タンパク質供給量の減少は、第一胃におけるタンパク質分解量の全般的な低下を引き起こし、アミノ酸の脱アミノからの NH₃ 生成量を減少させると考えられる¹。一方、第一胃 NH₃ 濃度に対するタンパク質分解性の効果に関しては、大豆粕のエクスペラー処理大豆粕への代替で、採食後の第一胃 NH₃ 濃度上昇に低下傾向は観察されたものの、統計的な有意差がなかった例⁹や、大豆粕と加熱大豆粕を比較した試験で、第一胃 NH₃ 濃度に違いが認められなかった例³⁶などが報告されており、今回の試験結果も含めて、タンパク質の分解性低減による第一胃 NH₃ 濃度への効果は、CP 水準低減の効果に比べると相対的に小さいと思われる、結果的に尿量低減効果も小さかったものと考えられる。

ただし、飼料タンパク質分解性低減処理の効果の程度は、CP 水準によって異なる可能性が考えられる。今回の結果では、尿中水分排せつ量に両飼料処理間の有意な交互作用は検出されなかったものの、高い CP 水準の HPHD 区と HPLD 区の間には、尿中水分排せつ量に 3.0kg/日の差が観察されたのに対して、低い CP 水準の LPHD 区と LPLD 区間の差は 1.3kg/日であり、バイパス大豆粕飼料を多用したことによる尿中水分排せつ量の減少量は、高 CP 条件の方が倍以上多かった。Castillo ら¹⁰は同様の結果を尿中 N 排せつ量で観察しており、飼料中の大豆粕をホルマリン処理大豆粕へ段階的に代替した際の尿中 N 排せつ量の減少率は、CP15.9% 飼料よりも CP19.0% 飼料の方が大きかったと報告している。飼料タンパク質分解性の効果の現れ方が、飼料 CP 水準あるいは尿量や尿中 N 排せつ量のレベルによって、どの程度異なってくるのかは今後の検討課題であるが、尿量あるいは尿中 N 排せつ量の低減を目的に、バイパスタンパク質飼料を有効に利用するためには、そのような条件による効果の違いも考慮した利用方法を検討する必要があるかもしれない。

本試験において飼料 CP 含量の低減処理は、尿量を有意に減少させたものの、糞中水分排せつ量を有意に増加させたために、糞尿合計の水分排せつ量を増加させると

いう結果であった。泌乳牛の水分代謝に関連する要因について、広範な統計解析を行った Paquay ら³⁴の研究や、泌乳牛の糞の堅さを左右する要因を調べるための給与試験を行った Ireland-Perry と Stalling¹⁷の研究では、糞中水分排せつ量あるいは糞乾物率に及ぼす飼料 CP 含量の効果は認められていない。しかし、どちらの報告においても、繊維摂取量にはこれらのパラメーターとの密接な関係が観察されており、繊維摂取量の増加は糞中水分排せつ量の増加あるいは糞乾物率の低下を引き起こす。Ireland-Perry と Stalling¹⁷は、高繊維含量の飼料を給与した泌乳牛の糞中には、未消化の NDF および ADF が多く含まれることから、これら繊維様物質の高い保水性が糞中に水分を保持することで、糞乾物率の低下が生じたと考察している。上述の通り、本試験の低 CP 飼料区は高 CP 飼料区よりも繊維の消化率が低く、低 CP 飼料区の牛の糞には繊維が多く残存しており、この性状が糞中への水分排せつを促した可能性が考えられる。ただし、本試験の場合、そのような繊維等の消化率の低下は、糞中の乾物量も増加させたため、糞乾物率は高 CP 飼料区も低 CP 飼料区も同じ 13.5% であった。以前に著者らが実施した今回と同水準の CP 低減飼料の給与試験²⁸では、タンパク質源を主に馬鈴薯デンプンに代替した CP 低減飼料を用いたが、その時は代替前の飼料と比べて繊維消化率に有意な低下は認められず、糞中水分排せつ量にも有意な変化は観察されなかったため、その結果からも、糞中水分排せつにおける残存繊維の関与は支持されるだろう。

泌乳牛の尿量低減を目的に、著者らがこれまで検討した飼料中の K および N の低減処理では、尿量の減少に対応して、牛による自発的な飲水量の減少が誘起され、これらの栄養的な操作が、牛にとって生理的な尿量低減手法であることを示唆していた^{27,28}。おそらく、今回の CP 低減飼料給与による尿量の減少も、飲水量を減少させる作用を及ぼしたと推測されるが、それ以上に糞中に排せつされる水分量が増加したことにより、結果的に飲水量が増加し、CP 低減飼料給与時の水分総摂取量を増加させたと考えられる。糞中水分排せつ量は水分総摂取量と最も高い相関関係を示すことが報告されており³⁴、糞を経由した水分の排せつ量の変化も、乳牛の水分摂取行動に影響を与える大きな要因の一つである。従って、今回の低 CP 飼料区における尿量の減少と糞中水分排せつ量の増加は、別々の反応と考えるべきであり、尿中への排せつ量が減ったために、糞中への排せつ量が増加したのではないと推察される。今回の CP 低減飼料の場合でも、選択した飼料原料による繊維消化率低下の問題

を解決すれば、尿量低減効果を支障なく発揮させることができると考えられるので、そのためにはやはり、CP低減飼料の調製のために選択する飼料源についての検討が、今後の重要な課題と思われる。

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棟作業班の皆様には、厚く御礼申し上げます。また、試料の分析にご協力いただいた葦沢恵美子氏と島田知子氏に、心より感謝申し上げます。なお、本研究は農林水産省委託プロジェクト研究「自給飼料を基盤とした国産畜産物の高付加価値化技術の開発」の研究費により行われた。

引用文献

- 1) Agle, M., Hristov, A.N., Zaman, S., Schneider, C., Ndegwa, P.M. and Vaddella, V.K. (2010). The effects of ruminally degraded protein on rumen fermentation and ammonia losses from manure in dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 93, 1625-1637.
- 2) AOAC (2005). *Official Methods of Analysis of AOAC International*, 18th edition, AOAC International, Gaithersburg, Maryland, USA.
- 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) Burgos, S.A., Fadel, J.G. and DePeters, E.J. (2007). Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen: Relation of milk urea nitrogen to urine urea nitrogen excretion, *J. Dairy Sci.*, 90, 5499-5508.
- 9) Casper, D.P., Maiga, H.A., Brouk, M.J. and Schingoethe, D.J. (1999). Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 82, 1779-1790.
- 10) Castillo, A.R., Kebreab, E., Beever, D.E., Barbi, J.H., Sutton, J.D., Kirby, H.C. and France, J. (2001). The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets, *J. Anim. Sci.*, 79, 247-253.
- 11) Castro, S.I.B., Phillip, L.E., Lapierre, H., Jardon, P.W. and Berthiaume, R. (2008). The relative merit of ruminal undegradable protein from soybean meal or soluble fiber from beet pulp to improve nitrogen utilization in dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 91, 3947-3957.
- 12) Cyriac, J., Rius, A.G., McGilliard, M.L., Pearson, R.E., Bequette, B.J. and Hanigan, M.D. (2008). Lactation performance of mid-lactation dairy cows fed ruminally degradable protein at concentrations lower than National Research Council recommendations, *J. Dairy Sci.*, 91, 4704-4713.
- 13) Dinn, N.E., Shelford, J.A. and Fisher, L.J. (1998). Use of the Cornell 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.
- 14) 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.
- 15) Frank, B., Persson, M. and Gustafsson, G. (2002). Feeding dairy cows for decreased ammonia emission, *Lives. Prod. Sci.*, 76, 171-179.
- 16) Hristov, A.N., Hanigan, M., Cole, A., Todd, R., McAllister, T.A., Ndegwa, P.M. and Rotz, A.

- (2011). Review: Ammonia emissions from dairy farms and beef feedlots, *Can. J. Anim. Sci.*, 91, 1-35.
- 17) Ireland-Perry, R.L. and Stallings, C.C. (1993). Fecal consistency as related to dietary composition in lactating Holstein cows, *J. Dairy Sci.*, 76, 1074-1082.
- 18) Kebreab, E., France, J., Mills, J.A.N., Allison, R. and Dijkstra, J. (2002). A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment, *J. Anim. Sci.*, 80, 248-259.
- 19) Keery, C.M. and Amos, H.E. (1993). Effects of source and level of undegraded intake protein on nutrient use and performance of early lactation cows, *J. Dairy Sci.*, 76, 499-513.
- 20) Kristensen, N.B., Storm, A.C. and Larsen, M. (2010). Effect of dietary nitrogen content and intravenous urea infusion on ruminal and portal-drained visceral extraction of arterial urea in lactating Holstein cows, *J. Dairy Sci.*, 93, 2670-2683.
- 21) Kröber, T.F., Külling, 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.
- 22) 久米新一・野中和久・大下友子 (2003). 乾乳牛のメタン発生量並びに窒素・ミネラル排泄量に及ぼす給与粗飼料の影響, 北海道農研研報, 178, 21-34.
- 23) Leonardi, C., Stevenson, M. and Armentano, L.E. (2003). Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cows, *J. Dairy Sci.*, 86, 4033-4042.
- 24) 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.
- 25) 農業・食品産業技術総合研究機構 (2009). 日本標準飼料成分表, 2009年版, 中央畜産会, 東京, 287p.
- 26) 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, 205p.
- 27) 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.
- 28) 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.
- 29) 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.
- 30) Olivira, A.S., Valadares, R.F.D., Valadares Filho, S.C., Renno, L.N., Queiroz, A.C. and Chizzotti, M.L. (2001). Microbial protein production, purine derivatives and urea excretion estimate in lactating dairy cows fed isoprotein diets with different non protein nitrogen compounds level, *Rev. Braz. Zootec.*, 30, 1621-1629.
- 31) 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.
- 32) 扇勉・峰崎康裕・西村和行・糟谷広高・藤田眞美子・原悟志 (2003a). 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) 扇勉・糟谷広高・藤田眞美子・斉藤繁・原悟志 (2003b). 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.
- 34) 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.
- 35) Rapp, R.D. (1963). Determination of serum amino acids, *Clin. Chem.*, 9, 27-30.
- 36) Sahlu, T., Schingoethe, D.J. and Clark, A.K. (1984). Lactational and chemical evaluation of soybean meals heat-treated by two methods, *J. Dairy Sci.*, 67, 1725-1738.
- 37) 斉藤公一・川島知之・小松篤司・淵本大一郎・作本亮介・荻野暁史・黒田和孝・野中最子・永西 修・田鎖直澄・アグンブルノモアディ・樋口浩二・寺田文典 (2003). 泌乳牛における給与飼料中の粗蛋白質含量の違いが窒素排泄量および糞尿由来窒素揮散に及ぼす影響について, 畜草研研報, 3, 1-8.
- 38) 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.
- 39) Santos, F.A.P., Santos, J.E.P., Theurer, C.B. and Huber, J.T. (1998). Effects of rumen-undegradable protein on dairy cow performance: A 12-year literature review, *J. Dairy Sci.*, 81, 3182-3213.
- 40) SAS Institute (2008). *SAS/STAT 9.2 User's Guide: The GLM Procedure (Book Excerpt)*. SAS Inst. Inc., Cary, NC.
- 41) Shingfield, K.J., Jaakkola, S. and Huhtanen, P. (2001). Effects of level of nitrogen fertilizer application and various nitrogenous supplements on milk production and nitrogen utilization of dairy cows given grass silage-based diets, *Anim. Sci.*, 73, 541-554.
- 42) Shingfield, K.J., Vanhatalo, A. and Huhtanen, P. (2003). Comparison of heat-treated rapeseed expeller and solvent-extracted soya-bean meal as protein supplements for dairy cows given grass silage-based diets, *Anim. Sci.*, 77, 305-317.
- 43) Silva, R.M.N., Valadares, R.F.D., Filho, Valadares Filho, S.C., Cecon, P.R., Renno, L.N. and Silva, J.M. (2001). Urea for dairy cows. 2. Estimates of urinary volume, microbial production and urea excretion, *Rev. Braz. Zootec.*, 30, 1948-1957.
- 44) 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.
- 45) 津田恒之・小原嘉昭・加藤和雄 (2004). 第二次改訂増補 家畜生理学, 養賢堂, 東京, 200-203.
- 46) Wheeler, J.G., Amos, H.E., Froetschel, M.A., Coomer, J.C., Maddox, T. and Fernandez, J.M. (1995). Responses of early lactation cows fed winter and summer annual forages and undegradable intake protein, *J. Dairy Sci.*, 78, 2767-2781.
- 47) Young, E.G. and Conway, C.F. (1942). On the estimation of allantoin by the Rimini-Schryver reaction, *J. Biol. Chem.*, 142, 839-853.

The Effects of Dietary Protein Level and Rumen Degradability on Urine Volume in Lactating Dairy Cows

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

For the purpose of developing the nutritional management to decrease urine volume of lactating dairy cows by controlling nitrogen, the study set out to examine the effects of dietary protein level and rumen degradability on urine volume. Four Holstein cows in late lactation were offered four diets comprising two levels of crude protein (CP; almost 16.5% and 13.5%) and two levels of protein degradability (replacing the ratio of soybean meal to heat-treated soybean meal as a source of rumen protected protein), and balance trials were conducted. Milk yield and milk fat percentage decreased significantly with reducing CP content in diets, but the degree of decrease were small. Both reduction in dietary CP content and protein degradability showed the effect that significantly decreased urine volume in lactating dairy cows. The effect of dietary CP content on urine volume might be larger than the effect of protein degradability, reflecting a difference in the impact of two treatments on blood urea and ruminal ammonia concentration. Feeding low CP diets caused increase in fecal water excretion, and since this increment could be attributed to lower fiber digestibility in low CP diets, it was thought that the selection of feed source to prepare low CP diet was important.

Key words: lactating dairy cows, nutritional management, protein level, protein rumen degradability, urine volume reduction

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