Experimental Studies on Hypomagnesemia in Ruminants

VIII. Mineral Metabolism in Young Lactating Ewes at the Time of Change from Winter Ration to Spring Herbage

Akio SHIGA, Akira KOMINATO and Ken-ichi SHINOZAKI

*Department of Veterinary Physiology, Faculty of Agriculture,
Iwate University, Morioka-shi, Iwate 020*

(Received for publication July 21, 1980)

Abstract. A mineral balance was examined in four young lactating ewes that had been fed a winter ration for 10 days and spring herbage (orchard-grass) for the following 9 days. Magnesium metabolism was evaluated in relation to other mineral metabolism, rumen fermentation, plasma parathyroid hormone (PTH) and blood acid-base equilibrium. The spring herbage contained much more potassium, but less magnesium, calcium, phosphorus and sodium than the winter ration. When feed was changed from the winter ration to the spring herbage, the concentration of VFAs did not change in rumen fluid, but that of $\text{NH}_3\text{-N}$ significantly rose and pH temporarily rose in it. The rate of apparent absorption to Mg and P intake increased in three ewes and decreased in the other ewe, but that to Ca intake decreased and that to Na and K intake significantly increased in all the ewes. The secretion of Mg, Ca, P and K in milk decreased a little temporarily, but that of Na increased. The urinary excretion of Mg and Na significantly decreased, that of Ca did not change, and that of P and K increased. The body retention of Mg, Ca and P significantly decreased, but that of Na and K increased. Serum Mg and inorganic P level decreased, but serum Ca, Na and K levels did not change. Exponential regression was obtained between serum and urinary Mg. The significant positive correlation of Mg with Ca and the significant negative correlation of Mg with Na and Ca with K were found in serum. Plasma PTH rose undulatingly.

反芻動物の低マグネシウム血症に関する実験的研究

VIII. 冬季型飼料から春の青刈牧草へ切りかえ給与したときの 若齢泌乳羊の無機質代謝

志賀隴郎・小湊 昭・篠崎謙一
岩手大学農学部家畜生理学教室

春先あるいは秋口に放牧中の牛に発生する低マグネシウム (Mg) 血症性テタニー (グラステタニー) は、大半が高年齢の子付きの母牛に発生することが報告されている [11, 23]。春先のイネ科牧草は、Mg 含量が少く [4, 15]、牛、羊に対する冬季型飼料から春の牧草

への切りかえは血中 Mg 濃度を低下させる [14, 22, 24] ことが知られている。また、著者ら [19, 21] は、低 Mg 飼料給与実験において、高年齢の羊は若い羊に比べ Mg の吸収率および腎臓における再吸収能が低いことを認め、さらに、泌乳羊に比べカルシウム (Ca)

のみかけの吸収率は高いが、Mg のそれは低いことを認めた。同時に、Ca 代謝を調節している上皮小体ホルモン (PTH) が Mg 代謝の調節にも直接関与していることを示唆した [17, 20]。

これらのことから、反芻動物の低 Mg 血症性テタニーの発症誘因として、飼料中 Mg 含量の不足のほか、高年齢、泌乳など個体要因による Mg および Ca 代謝に対する調節機能 (PTH などのホルモン調節機能) の低下が考えられる。

本研究では、若齢泌乳羊に対し冬季型飼料から春の青刈牧草に切りかえたときの第一胃内容液性状、Mg, Ca, リン (P), ナトリウム (Na) およびカリウム (K) の出納、血液酸・塩基平衡ならびに血漿 PTH 濃度の変化を調べ、Mg および Ca 代謝におよぼす飼料、泌乳、年齢などの影響を検討した。

材料および方法

実験動物：体重 44–53 kg, 分娩後 10–90 日, 15–25 ヶ月齢のコリデール種泌乳雌羊 4 頭を用いた。これらの動物は、実験開始約 2 週間前から冬季型飼料（ヘイキューブ、配合飼料およびふすま）で飼育し、実験開始直前に糞、尿採取のため個別に代謝箱にいたした。

実験区分と供試飼料：実験は、冬季型飼料給与期（対照期）と青刈牧草給与期（牧草期）に分け、対照期は 5 月 4 日～13 日の 10 日間、牧草期は 5 月 14 日～22 日の 9 日間であった。供試飼料は、対照期にヘイキューブ（オーチャードグラス）、配合飼料およびふすまを、それぞれ、日量 10, 10, 5 g/kg 体重の割合で与え、牧草期には青刈オーチャードグラスを、日量 100 g/kg 体重の割合で与えた。これらの飼料は朝、夕 2 回に半量ずつ分与し、飲水は自由摂取させた。搾乳は飼料給与時に行った。

試料の採取：飼料の化学分析のため、対照期の飼料と牧草期の青刈牧草（1, 4, 6, 9 日目の計 4 回採取）を定法 [8] により処理し、分析時まで密封保存した。

血液試料は、毎朝給餌前に頸静脈から採血し、全血（血中 pH と HCO_3^- 測定用）、血漿（PTH 測定用）および血清（無機質測定用）として用いた。

糞と尿は、毎朝全量を摂取して 1 日の排泄量を計測し、糞は処理後 [8] 密封保存し、尿は一部を凍結保存した。

乳は、夕方と翌朝の搾乳量を混合して 1 日の泌乳量とし、一部を分析に供した。

第一胃内容液は、対照期と牧草期の 1, 4, 7, 10 日目

Table 1. Mineral contents in diets

Diet	Mg	Ca	P	Na	K
	(% on dry matter basis)				
Control ration					
Hay cube	0.13	0.38	0.15	0.15	1.37
Concentrates	0.31	1.59	0.59	0.26	1.01
Wheat bran	0.48	0.12	1.06	0.08	1.30
Fresh herbage					
Orchard grass	0.19	0.27	0.28	0.14	3.35

Values of orchard grass show the average of four samples collected on May 13th, 16th, 18th and 21st.

(計 5 回) の 13 時（食後約 4 時間目）に胃カテーテルを用いて採取し、その濾液を分析に供した。

化学分析：飼料、糞、乳、尿および血清の Mg と Ca 量は原子吸光分光光度計（日立製作所製、508 型）により、P 量は Goldenberg 法 [1] により、Na と K 量は焰光光度計（日立製作所製、508 型）により、それぞれ測定した。

血液 pH, HCO_3^- は、pH・血液ガス分析装置（IL 社製、IL メーター 513 型）により測定した。

血漿 PTH は、 ^{125}I による Radioimmunoassay 法 [16] により測定した。

第一胃内容液の pH は pH メーター（東亜電波製、HM5A 型）により、揮発性低級脂肪酸 (VFA)、アンモニア態窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$) は Conway の微量拡散法 [2] により測定した。

データの処理：対照期の無機質の出納は、最後の 5 日間の平均値を、牧草期のそれは、対照期の飼料の影響を除くため、飼料切りかえ後 3 日目までの値を除き、4 日目から 9 日目（6 日間）の平均値を示した。また、4 頭中 1 頭 (No. 4) は、牧草期に Mg と P の代謝が他の 3 頭と著しく異ったため、牧草期の Mg と P の出納のみを No. 4 と他の頭 3 の平均値とに分けて表示した。

成 績

1. 供試飼料の無機質組成

供試飼料の無機質組成は、Table 1 に示した。牧草中無機質含量は、対照飼料に比べ Mg, Ca, P, Na 含量が少なく、K 含量が多かった。牧草中 K/Ca+Mg 当量比は、平均 3.00 であった。

2. 飼料、水分摂取量、糞、尿排泄量および泌乳量

a. 飼料および水分摂取量：各動物とも供試飼料はほぼ完全に摂取した。乾物摂取量は、対照期に比べ牧

Table 2. Daily amounts of dry matter and water intake, fecal and urinary excretion, and milk yields in ewes fed control ration and fresh herbage

Period	Dry matter intake (g)		Water intake (g)		Fecal excretion (g)		Milk yields (g)		Urinary excretion (g)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Control period	22.7	0.0	60.4	16.1	23.8	3.6 (9.2 0.5)	9.7	3.0	21.1	12.1
Herbage period	16.4	1.6***	92.7	8.3***	11.8	1.8*** (4.6 1.0)	8.8	2.9	55.4	8.4***

The figure indicates weight in grams per kg of body weight per day (mean and standard deviation). Water intake includes moisture in feed. The figure of fecal excretion in parentheses indicates that on the dry matter basis.

***: Significantly different from control value at $p < 0.001$.

草期では有意に減少したが、飼料中 TDN と DCP は、体重 50 kg 換算で、対照期および牧草期に、それぞれ、862 g と 127 g および 675 g と 120 g となり、両期間に顕著な差はなかった。水分摂取量は、飲水量と飼料中水分量であるが、対照期に比べ牧草期は有意に増加した (Table 2)。

b. 糞および尿の排泄量: Table 3 のように、糞排泄量は、生重量、乾燥重量ともに対照期に比べ牧草期では有意に減少したが、糞中水分含有率は、両期とも 61% 前後で変化がなかった。尿排泄量は、対照期に比べ牧草期は有意に増加した。

c. 泌乳量: 泌乳量は Table 2 に示した。対照期に比べ牧草期には、泌乳量の減少傾向がみられ、対照期の 90.7% となった。

3. 第一胃内容液の pH, VFA 濃度, $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度
第一胃内容液の pH, VFA および $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は、Fig. 1. に示した。pH は、対照期に弱酸性であったが、牧草期の 1, 4 日目には弱アルカリ性を示し、7, 10 日目にはほぼ対照期のレベルに戻った。VFA 濃度は、実験期間を通じて著変はなかった。 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は、対照期に比べ牧草期に有意に上昇した。

4. Mg の出納と血清濃度

Mg の出納は Table 3 に、血清濃度は Fig. 2 に示した。Mg の摂取量は、牧草期には対照期の 48.6% に減少した。

糞中 Mg 排泄量は、対照期に比べ牧草期に有意に減少したが、4 頭中 1 頭 (No. 4) は他の 3 頭に比べ牧草期の排泄量が多かった。Mg のみかけの吸収量 (以下、吸収量) は、対照期に比べ牧草期に有意に減少し、とくに No. 4 ではこの傾向が顕著であった。この結果、Mg の摂取量に対する吸収量の割合 (以下、吸収率)

Fig. 1. Changes in pH, volatile fatty acids (VFA) and $\text{NH}_3\text{-N}$ of rumen fluid in young lactating ewes during experimental periods.

は、対照期に比べ牧草期ではやや上昇したが、No. 4 は著明に上昇した。

乳中 Mg 分泌量は、4 頭とも対照期に比べ牧草期では減少傾向を示したが、Mg の摂取量に対する乳中分泌量の割合 (以下、乳中分泌率) では牧草期に上昇した。

尿中 Mg 排泄量は、対照期に比べ牧草期に有意に減少し、とくに No. 4 で著減した。Mg の摂取量に対する尿中排泄量の割合 (以下、尿中排泄率) は、対照

Table 3. Comparison of balances and serum concentrations of magnesium, calcium, phosphorus, sodium and potassium in young lactating ewes between control and herbage period

Item	Period	Intake		Fecal excretion		Apparent absorption (mg/kg body weight/day)		Milk secretion		Urinary excretion		Body retention		Serum concentration (mg/100 ml)	
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Mg	Control	61.7	0.0	43.6	3.9	18.1	3.9	2.3	0.8	7.6	5.1	8.2	6.2	2.40	0.32
		(100.0)		(70.7)		(29.3)		(3.7)		(12.3)		(13.3)			
	Herbage A-3	30.0	0.7	20.2	2.3	9.8	2.3	1.8	0.7	4.5	1.2	3.4	2.7	2.19	0.21
		(100.0)		(67.3)		(32.7)		(6.0)		(15.0)		(11.3)			
	No. 4	30.0	0.7	25.5	2.0	4.5	2.0	1.8	0.4	2.5	0.8	0.3	1.2	1.91	0.18
		(100.0)		(85.0)		(15.0)		(6.0)		(8.3)		(1.0)			
Ca	Control	186.8	0.0	145.5	15.7	41.3	15.7	33.1	12.5	1.7	0.6	6.6	15.8	10.2	1.2
		(100.0)		(77.9)		(22.1)		(17.7)		(0.9)		(3.5)			
	Herbage	45.3	4.8	40.8	8.2	4.5	8.2	22.1	7.0	1.6	0.4	-19.1	11.8	9.9	0.9
		(100.0)		(90.1)		(9.9)		(48.8)		(3.5)		(-42.2)			
P	Control	110.7	0.0	95.9	13.9	14.8	13.9	14.4	4.1	0.2	0.1	0.2	12.8	4.9	0.7
		(100.0)		(86.6)		(13.4)		(13.0)		(0.2)		(0.2)			
	Herbage A-3	50.2	4.6	42.4	7.6	7.8	7.6	12.8	4.9	0.4	0.1	-5.8	7.4	4.4	0.5
		(100.0)		(84.5)		(15.5)		(25.5)		(0.8)		(-10.8)			
	No. 4	50.2	4.6	48.7	7.1	1.5	7.1	13.0	2.1	0.5	0.1	-12.1	5.4	4.1	0.4
		(100.0)		(97.0)		(3.0)		(25.9)		(1.0)		(-24.1)			
Na	Control	40.9	0.0	28.7	8.7	12.2	8.7	5.5	2.1	20.5	12.0	-13.6	13.1	333.6	6.4
		(100.0)		(70.2)		(29.8)		(13.4)		(50.1)		(-33.3)			
	Herbage	16.8	2.8	6.7	2.3	10.1	2.3	6.9	2.1	9.0	5.3	-5.7	7.1	335.2	6.0
		(100.0)		(39.9)		(60.1)		(41.1)		(53.6)		(-33.9)			
K	Control	276.4	0.0	63.3	16.4	213.1	16.4	18.4	7.4	179.9	27.0	14.9	29.3	19.5	1.3
		(100.0)		(22.9)		(77.1)		(6.7)		(65.1)		(5.4)			
	Herbage	623.3	29.7	71.9	11.3	551.3	11.3	14.9	5.5	482.1	62.6	54.3	65.3	19.0	1.1
		(100.0)		(11.5)		(88.4)		(2.4)		(77.3)		(8.7)			

A-3 and No. 4 indicate three ewes (Nos. 1, 2 and 3) and the other one (No. 4), respectively. The figure in the table indicates the mean and standard deviation and the figure in parentheses percentage to intake.

*, **, ***: Significantly different from control value at $p < 0.05$, $p < 0.01$ and < 0.001 , respectively.

期に比べ牧草期ではやや上昇したが、No. 4 は低下した。

Mg の体内残留量は、対照期に比べ牧草期に有意に減少し、とくに No. 4 の減少が著明であった。Mg の摂取量に対する体内残留量の割合（以下、体内残留率）は、牧草期に低下した。

血清 Mg 濃度は、対照期に比べ牧草期に有意の低下を示し、とくに No. 4 で著明であったが、低 Mg 血症にはならなかった。

牧草期における Mg のみかけの吸収量と尿中排泄量および血清濃度の相互関係を、Table 4 に示した。Mg のみかけの吸収量と尿中排泄量、血清濃度との間に、それぞれ、正の相関があった。さらに、Mg の血清濃度と尿中排泄量との間には、対照期および牧草期

の各個体ごとの値をプロットすると、Fig. 3 のように有意の指数関数関係が成立した。

5. Ca の出納と血清濃度

Ca の出納と血清濃度は、Table 3 と Fig. 2 に示した。Ca の摂取量は、対照期に比べ牧草期に 24.2% に著減した。

Ca の糞中排泄量および吸収量は、対照期に比べ牧草期にはともに減少したが、Ca の吸収率は牧草期に著明に低下した。

乳中 Ca 分泌量は、対照期に比べ牧草期に減少傾向を示したが、乳中 Ca 分泌率は牧草期に著明に上昇し、Ca の乳中分泌量が吸収量を上まわった。

尿中 Ca 排泄量は、対照期と牧草期で差はなく、従って、尿中 Ca 排泄率は、牧草期に上昇した。

Table 4. Correlations among apparent absorption, urinary excretion and serum concentration of magnesium in young lactating ewes during experimental periods

Item		Regression equation	r
Apparent absorption (x) (mg/kg body weight/day)	Urinary excretion (y) (mg/kg body weight/day)	$y=0.375x+0.818$	0.9999***
	Serum concentration (y) (mg/100 ml)	$y=0.035x+1.788$	0.9782*

r: Correlation coefficient.

*, ***: $p<0.05$ and $p<0.001$, respectively.

Fig. 2. Changes in serum concentration of magnesium, calcium, inorganic phosphorus, sodium and potassium in young lactating ewes during experimental periods.

Ca の体内残留量は、対照期に正の値であったが、牧草期には負の値となった。

血清 Ca 濃度は、対照期と牧草期で顕著な差はみられなかった。

6. P の出納と血清濃度

Fig. 3. Correlation between serum concentration and urinary excretion of magnesium in young lactating ewes during experimental periods.

●, No. 1; ▲, No. 2; ■, No. 3; ▼, No. 4 ewe in control period.

○, No. 1; △, No. 2; □, No. 3; ▽, N. 4 ewe in herbage period.

P の出納と血清濃度は、Table 3 と Fig. 2 に示した。P の摂取量は、対照期に比べ、牧草期には 45.3% に減少した。

P の糞中排泄量および吸収量は、対照期に比べ牧草期にはともに著減したが、P の吸収率は、牧草期に No. 4 では著明に低下し、他の 3 頭でやや上昇した。

乳中 P 分泌量は、対照期に比べ牧草期に減少傾向を示したが、乳中 P 分泌率は牧草期に著明に上昇した。また、牧草期に、P の乳中分泌量は吸収量を上まわり、No. 4 で顕著であった。

尿中 P 排泄量は、対照期に比べ牧草期に少量ながら有意に増加し、尿中 P 排泄率も牧草期に上昇した。また、P の吸収量に対する尿中排泄率は、牧草期に上昇したが、上昇の割合は No. 4 で著明であった（対照期，1.0%；牧草期，No. 4 33.3%，他の 3 頭の平

Fig. 4. Changes in blood pH and blood concentration of bicarbonate in young lactating ewes during experimental periods.

Fig. 5. Change in plasma concentration of parathyroid hormone (PTH) in young lactating ewes during experimental periods.

Table 5. Correlations among serum concentrations of minerals in young lactating ewes during experimental periods

Correlation in serum concentration (mg/100 ml)	Regression equation	r
Magnesium (x) vs. calcium (y)	$y = 2.00x + 5.78$	0.6923*
Magnesium (x) vs. sodium (y)	$y = -8.36x + 352.89$	-0.6274*
Calcium (x) vs. potassium (y)	$y = -0.74x + 26.56$	-0.7371**

r: Correlation coefficient.

*, **: $p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively.

均 5.1%).

P の体内残留量は、対照期にわずかに正の値を示したが、牧草期には負の値となり、負の程度は No. 4 で顕著であった。

血清 Pi 濃度は、対照期に比べ牧草期ではわずかに低下し、その程度は No. 4 で大きかった。

7. Na の出納と血清濃度

Na の出納と血清濃度は、Table 3 と Fig. 2 に示した。Na の摂取量は、対照期に比べ牧草期には 41.0% に減少した。

Na の糞中排泄量は、対照期に比べ牧草期では有意に減少し、吸収量は、対照期に比べ牧草期でやや少なかった。その結果、Na の吸収率は牧草期に著明に上昇した。

乳中 Na 分泌量は、対照期に比べ牧草期にはやや増加し、乳中 Na 分泌率は、牧草期に著明に上昇した。

また、Na の吸収量に対する乳中分泌率は、対照期の 45.1% に対し牧草期は 68.3% と上昇した。

尿中 Na 排泄量は、対照期に比べ牧草期では有意に減少したが、尿中 Na 排泄率は、牧草期にやや高かった。Na の吸収量に対する尿中排泄率は、対照期の 168.0% に対し牧草期には 89.1% と著明に低下した。

Na の体内残留量は、対照期、牧草期ともに負の値を示したが、負の程度は牧草期のほうが小さかった。また、Na の体内残留率および血清濃度は、両群の間で変らなかった。

8. K の出納と血清濃度

K の出納と血清濃度は、Table 3 と Fig. 2 に示した。K の摂取量は、対照期に比べ牧草期に 225.5% に増加した。

糞中 K 排泄量は、対照期に比べ牧草期にやや増加

し、K の吸収量および吸収率は、対照期に比べ牧草期に有意に増加した。

乳中 K 分泌量は、対照期に比べ牧草期にやや減少し、乳中 K 分泌量も牧草期に著明に低下した。

尿中 K 排泄量および排泄率は、対照期に比べ牧草期にはともに増加した。また、K の吸収量に対する尿中排泄率は、対照期の 84.4% に対し牧草期は 87.4% でやや上昇したが、血清 K 濃度は両期を通して変化がみられなかった。

9. 血液 pH と HCO_3^- 濃度

血液 pH と HCO_3^- 濃度は、Fig. 4 に示した。対照期から牧草期への切りかえ直後に、一時的に血液 pH の低下傾向と血中 HCO_3^- 濃度の上昇傾向がみられたが、それ以後は、血液 pH はほぼ対照期のレベルを保ち、血中 HCO_3^- 濃度は一たん低下したのち徐々に回復した。

10. 血漿中 PTH 濃度

血漿中 PTH 濃度は、Fig. 5 に示した。対照期における血漿 PTH 濃度は Mean 6.1 ng/ml, SD 3.1 ng/ml で個体差が認められた。牧草期においては、血漿中 PTH 濃度は上昇傾向を示し、特に 4 日目に Mean 13.9 ng/ml, SD 5.4 ng/ml と急激に上昇した。しかし、それ以降は 7 日目まで低下したが、8 日目には再度上昇傾向 (Mean 8.9 ng/ml, SD 4.1 ng/ml) を示し、9 日目に低下した。

11. 血清無機質の相互関係

血清の各無機質の相互関係は Table 5 に示した。血清 Mg と Ca 濃度の間に正の相関が、Mg と Na 濃度および Ca と K 濃度の間に負の相関が、それぞれ、認められた。

考 察

本研究は、若齢泌乳羊の Mg, Ca, P, Na, K 代謝、血液酸一塩基平衡、血漿 PTH 濃度におよぼす飼料切り換えの影響を調べるために行った。

対照期および牧草期の飼料中 TDN と DCP は、NRC 飼養標準 [10] と比べると両期の飼料は低エネルギー、高蛋白質飼料であったが、両期の間には顕著な差はなかった。一方、牧草期には水分摂取量の著明な増加 (対照期の 153.4%) と乾物摂取量の減少 (対照期の 72.2%) がみられたが、これは牧草中水分含量に起因すると考えられる。乾物摂取量に対する糞中乾物量の割合は、対照期の 45.5% に対し牧草期は 28.0% と低く、また、泌乳量も対照期に比べ牧草期

には 9.3% の減少しかみられず、乾物摂取量の減少率より少なかったことから、冬季型飼料に比べ春の牧草中乾物の利用性は高いものと思われる。糞中水分含有率は、対照期 61.3%, 牧草期 61.0% で、水分摂取量に関係なく一定であった。この結果、牧草期には水分吸収量が著しく増加し、尿排泄量も多かった。

第一胃内性状は、牧草の給与により、第一胃内 VFA 濃度は変らなかったが、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度の有意の上昇と一過的な pH の上昇が認められた。これは、春先の牧草は窒素含量が高く、分解されやすいため第一胃内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度が上昇するとの報告 [5, 12] と一致した。

飼料中無機質含量は、対照期に比べ牧草期に、Mg, Ca, P および Na は、それぞれ、48.6%, 24.2%, 45.3% および 41.0% に減少したのに対し、K は 225.5% に増加した。その結果、牧草中 K/Ca+Mg 当量比は、平均 3.00 となり、Kemp [7] が報告したグラスステタニーの発生限界値 2.2 より高く、村上ら [12] による本邦のグラスステタニー発生牧野の牧草中 K/Ca+Mg 比 2.49-4.90 の範囲内にあった。

Mg の出納は、対照期に比べ牧草期は Mg 摂取量が $\frac{1}{2}$ 以下となり、Mg の吸収量は著減したが、吸収率は 4 頭中 3 頭がやや上昇し、1 頭は著明に低下した。

従来、低 Mg 血症の要因として、牧草中の高 K 含量 (K/Ca+Mg 当量比の上昇) が Mg の吸収を阻害するという説 [7] あるいは第一胃内 NH_3 濃度の上昇に伴なうリン酸アンモニウムマグネシウムの形成が Mg の吸収を減少させるという説 [5, 6, 15] が有力視されてきたが、本研究の 3 頭の羊ではそれらの Mg 吸収阻害効果は認められず、また、近年、これらの説に対する反論 [3, 9, 13] もあり、両説の再検討が必要と思われる。他方、1 頭の羊は、牧草期の Mg 吸収率が著明に低下したことから、個体差の問題として注目する必要がある。

乳中 Mg 分泌量は、対照期に比べ牧草期は 21.7% 減少し、泌乳量の減少率 9.3% より減少の程度は大きかった。しかし、乾物摂取量の減少率 (27.8%) および Mg 吸収量の減少率 (3 頭の平均 45.9%, No. 4 の 75.1%) に比べると、乳中 Mg 分泌量の減少率は小さかった。このことは、乳中への Mg 分泌は Mg の体内バランスとあまり関係なく行われる可能性がある。Mg 欠乏時には泌乳の影響が大きいことを示唆している。

Mg の吸収量、尿中排泄量、血清濃度の間には、相互に正の相関関係が成立し、Mg 代謝には Mg の摂取

量の影響が大きいことを示した。さらに、Mg の血清濃度と尿中排泄量の間には指数関数式 (Fig. 3) が成立し、両者の関係は直線式よりも指数関数式のほうが適切であることを示唆した前報の成績 [19] を裏づけた。

Mg 以外の無機質代謝に関しては、牧草期に Ca と P の体内残留量が著しい負の値を示した。これは、Ca と P が乳中に多量に分泌されるため、非泌乳羊 [22] とは著しい差異があった。また、血清 Mg と Pi 濃度は、牧草期に摂取量の減少を反映して低下したが、血清 Ca 濃度は、出納が負にもかかわらず上昇傾向を示した。この血清 Ca 濃度の変化は、Ca 摂取量の減少により、血中 PTH 濃度が上昇し、骨などの Ca プールから血中へ Ca が動員されたためと解される。実際に、牧草期の血漿 PTH 濃度は、1つの上昇ピークを示し、全体として対照期より高いレベルを保った。血漿 PTH 濃度の変化は、前報の非泌乳羊の成績 [18] とほぼ一致した。

Na 代謝に関しては、牧草期に摂取量が著減したが、Mg, Ca, P と異なり、Na の吸収率は著明に上昇し、尿中排泄量が著減したため、乳中分泌量がやや増加したが、体内残留量の負の程度は対照期より小さかった。

他方、K 代謝に関しては、牧草期に摂取量が著増したが、吸収率も上昇し、体内のとりこみは著増した。そのため、K の尿中排泄量は著増したが、乳中分泌量は減少傾向を示し、体内残留量は著増した。しかし、血清 Na および K 濃度はほとんど変化しなかった。一般に、Na と K の体内調節は、ミネラルコルチコイドの作用により腎臓で行われるといわれているが、牧草給与時における Na, K の変化については、Na, K の摂取量を考慮して今後検討したい。

なお、4頭中1頭は、Mg と P 代謝のみが他の3頭と異った変化を示したが、これらの差異は、吸収機能全般の低下というよりは、Mg, P 代謝の調節に関与するホルモン (PTH など) の活性に関係する可能性が考えられる。

要 約

若齢泌乳羊4頭を用い、冬季型飼料(10日間)から春の青刈牧草(9日間)へ転換したときの無機質の出納と第一胃内性状、血漿 PTH 濃度、血液酸-塩基平衡の変化を調べた。

1. 冬季型飼料に比べ春の牧草中の K は倍増し、

Mg, Ca, P, Na は $1/2$ 以下に減少した。第一胃内 VFA 濃度は変らなかったが、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は有意に上昇し、pH は一過的に上昇した。

2. 牧草への転換により、Mg と P の吸収率は、4頭中3頭でやや上昇したが、1頭で著明に低下した。Ca の吸収率は、4頭とも著明に低下した。Mg, Ca, P の乳中分泌量はやや減少し、尿中排泄量は Mg で著減し、Ca で変らず、P で微増した。その結果、Mg, Ca, P の出納はいずれも著減し、Ca と P では負に転じた。血清 Mg と Pi 濃度はやや低下し、血清 Ca 濃度はほとんど変らなかった。

3. Na と K の吸収率は、牧草期に著明に上昇し、乳中分泌量は Na でやや増加し、K で減少した。尿中排泄量は、Na で著減し、K で著増したが、出納は、Na で負の程度が小さくなり、K で著増した。血清 Na と K 濃度は、変化しなかった。

4. 実験期間を通じ、Mg の出納および血清濃度相互に正の相関があり、とくに、血清濃度と尿中排泄量との間に指数関数関係が成立した。また、血清 Mg と Ca の間に正の相関が、血清 Mg と Na, Ca と K との間に負の相関があった。

5. 血漿 PTH 濃度は、牧草期に1つのピークを示す上昇があり、血清 Ca, Mg 濃度の変化と近似したパターンを示した。血中酸-塩基平衡は、ほとんど変化しなかった。

謝辞：稿を終えるにあたり、本研究の遂行に終始御協力をいただいた岩手大学家畜生理学研究室 高野徹氏(現福島県庁)、山本敏弘氏(現茨城県庁)ならびに有益なる御助言を賜った菅原 伯教授に深謝する。さらに、PTH 測定用抗血清を御提供下さった農林水産省家畜衛生試験場 林 光昭博士ならびに佐伯隆清博士に深謝する。

文 献

- [1] 馬場茂明・奥田 清 (1973). 医化学実験法講座, 第3巻 B, 臨床化学 II, 中山書店, 東京, 359-362.
- [2] Conway, E. J. (1950). 石坂音治訳, 微量拡散分析および誤差論, 南山堂, 東京, 75-240.
- [3] Grace, N. D. (1972). Grass tetany. III. Observations on plasma magnesium levels in grazing ruminants during pregnancy and lactation. *N. Z. J. Agric. Res.* 15, 79-82.
- [4] Grunes, D. L., Stout, P. R., and Brownell, J. R. (1970). Grass tetany of ruminants. *Adv. Agronomy* 22, 331-374.

- [5] Head, M. J., and Rook, J. A. F. (1955). Hypomagnesaemia in dairy cattle and its possible relationships to ruminal ammonia production. *Nature* **176**, 262-263.
- [6] Henry, P. R., Smith, W. H., and Cunningham, M. D. (1977). Effect of histamine and ammonia on hypomagnesaemia in ruminants. *J. Anim. Sci.* **44**, 276-281.
- [7] Kemp, A. (1960). Hypomagnesaemia in milking cows. The response of serum Mg to alterations in herbage composition resulting from potash and nitrogen dressing on pasture. *J. Agric. Sci.* **8**, 281-304.
- [8] 北村元治・斎藤正行・丹治正治 (1967). 臨床化学分析 V, 東京化学同人, 東京, 1-28.
- [9] Lomba, F., Paquay, R., Bienfet, V., and Lousse, A. (1968). Statistical research on the fate of dietary mineral elements in dry and lactating cows. II. Magnesium. *J. Agric. Sci.* **71**, 181-188.
- [10] 森本 宏 (1970). 飼料学, 養賢堂, 東京, 593-652.
- [11] 村上大蔵 (1976). 草地造成地での草の問題. 飼料作物と牛の生理障害, 農山漁村文化協会, 東京, 100-175.
- [12] 村上大蔵・内藤善久・佐藤勝郎 (1972). 牛のグラスタニーに関する研究, I. 外山牧野におけるグラスタニーの発生例, 日獣誌 **34**, 323-331.
- [13] Newton, G. L., Fontenot, J. P., Tucker, R. E., and Polan, C. E. (1972). Effects of high dietary potassium intake on the metabolism of magnesium by sheep. *J. Anim. Sci.* **35**, 440-445.
- [14] Rook, J. A. F., and Balch, C. C. (1958). Magnesium metabolism in the dairy cow. II. Metabolism during the spring grazing season. *J. Agric. Sci.* **51**, 199-207.
- [15] Rook, J. A. F., and Campling, C. C. (1962). Magnesium metabolism in the dairy cow. IV. The availability of the magnesium in various feeding stuffs. *J. Agric. Sci.* **59**, 225-232.
- [16] Saeki, T., and Hayashi, M. (1975). Radioimmunoassay of bovine parathyroid hormone. *Natl. Inst. Anim. Health Q. (Jpn.)* **15**, 151-158.
- [17] 志賀龍郎・小湊 昭・篠崎謙一 (1980). 反芻動物の低 Mg 血症に関する実験的研究. V. Mg, Ca 組成の異なる飼料を切りかえ給与したときの羊のリン代謝と血漿上皮小体ホルモン濃度. 日獣誌 **42**, 221-230.
- [18] 志賀龍郎・宮地龍彦・佐藤道雄・篠崎謙一・佐伯隆清・林 光昭 (1979). 反芻動物の低 Mg 血症に関する実験的研究. IV. 青刈牧草を給与した羊の無機質代謝に及ぼす寒冷負荷の影響. 岩手大農報 **14**, 173-183.
- [19] 志賀龍郎・篠崎謙一 (1979). 反芻動物の低 Mg 血症に関する実験的研究. II. 若齢および老齢羊における低 Mg 飼料給与時の Mg および Ca 代謝. 日獣誌 **41**, 307-318.
- [20] 志賀龍郎・篠崎謙一 (1979). 反芻動物の低 Mg 血症に関する実験的研究. III. 低 Mg・低Ca 飼料から炭酸カルシウムを添加した低 Mg 飼料へ転換した羊の Mg と Ca の代謝. 日獣誌 **41**, 531-540.
- [21] 志賀龍郎・篠崎謙一 (1980). 反芻動物の低 Mg 血症に関する実験的研究. VI. 通常飼料および低 Mg・低Ca 飼料を給与した泌乳羊と非泌乳羊における Mg, Ca, P 代謝および血漿上皮小体ホルモン濃度の比較. 日獣誌 **42**, 231-241.
- [22] 篠崎謙一・藤田和雄・志賀龍郎 (1978). 反芻動物の低 Mg 血症に関する実験的研究. I. 冬季飼料から春の牧草に転換した羊のミネラル・バランスについて. 日獣誌 **40**, 407-414.
- [23] Sjollem, B. (1930). On the nature and therapy of grass stagger. *Vet. Rec.* **10**, 425-430.
- [24] Wilson, A. A. (1964). Congress symposium. II. Hypomagnesaemia and magnesium metabolism. *Vet. Rec.* **76**, 1382-1392.