

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

久米 新一・野中 和久・大下 友子

I. 緒 言

わが国の酪農の生産目標となる「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」(2000年4月)では、生産性向上とともに飼料自給率の向上がより一層求められ、北海道の畑地型酪農経営では飼料自給率70%が経営指標として設定されている。特に、北海道の乳牛飼養頭数は全国の50%を占め、わが国の主要な酪農地帯であることから、飼料自給率を70%に高めるための推進方策が強く求められている。この背景としては、北海道では都府県に比較して酪農家の飼料畑面積が大きいものの、乳量増加のために濃厚飼料を多給する傾向が強まり、その結果、自給粗飼料給与率が54% (2001年)に低下していることがあげられる。

一方で、北海道では高泌乳牛の増加に伴い、高品質粗飼料生産にも関心が向けられ、なかでも栄養価の高いアルファルファに対する期待が高まっている。アルファルファは蛋白質、カルシウム (Ca)、ビタミン含量が高いため、エネルギー含量の高いトウモロコシのホールクロップサイレージなどと組み合わせれば、高泌乳牛に適した飼料構成になるとともに、飼料自給率を高めることも可能になる (Kume, 2002)。

さらに、地球温暖化防止あるいは環境保全のために、高泌乳牛の栄養管理では糞尿、メタン、窒素、リン (P) などの排泄量低減を考慮した給与方法の開発が強く求められ、なかでも京都議定書批准に伴い、国内のメタン発生量の20%以上を占める牛からのメタン発生量の削減が急務である。従来の乳牛の栄養管理法では、自給飼料多給時には乳牛からのメタン発生量が増加し、窒素、Pなどの利用効率が低下する (Kume, 2002)。しかし、飼料自給率向上とメタン等の環境負荷物質低減を同時に検討した研究事例はほとんどないため、飼料自給率向上と環境保全に適した高泌乳牛の飼養管理法を開発することが

北海道地域の酪農振興のために必須といえる。

筆者らは、地域先導技術総合研究「アルファルファを導入した畑地型酪農営農システムの確立」のなかで、アルファルファの有効利用のために、アルファルファを初めとした自給粗飼料の栄養価評価を実施した (久米ら, 2001a; Kumeら, 2001b; Kume, 2002; 野中ら, 2001; Nonakaら, 2002b)。本報告では、これらのデータを活用し、北海道の畑地型酪農経営における飼料自給率向上と環境保全に適した乳牛の飼養管理法の開発の一環として、1) 給与粗飼料の相違による乾乳牛のメタン発生量並びに窒素・ミネラル排泄量、2) アルファルファの給与比率を変えた場合の妊娠牛のメタン発生量並びに窒素・ミネラル排泄量について検討した。

II. 方 法

1. 乾乳牛の代謝試験

試験飼料として、低水分アルファルファサイレージ6点、高水分アルファルファサイレージ1点、チモシー乾草2点、オーチャードグラス主体サイレージ1点、オーチャードグラスとアルファルファの混合サイレージ1点、トウモロコシサイレージ1点の計12点を用いた。低水分アルファルファサイレージは1番草および3番草のロールバールサイレージ (野中ら, 2001; Nonakaら, 2002b) を、また高水分アルファルファサイレージは2番草の蟻酸添加細切サイレージを用いた。チモシー乾草は1番草の出穂前および開花期に、オーチャードグラス主体サイレージは1番草の出穂期に、またトウモロコシサイレージは黄熟期に刈り取ったものである。混合サイレージは、オーチャードグラスサイレージと低水分アルファルファサイレージを1:1の給与比率 (乾物当たり) に設定した。

供試飼料の成分は表1に示したとおりであるが、粗蛋白質 (C P) 含量 (10.6~20.5%)、NDF含量 (34.6~63.5%)、Ca含量 (0.18~1.27%)、カリウ

Table 1. Chemical composition of feed¹.

Ingredient, % of DM	Timothy hay		Silage		Alfalfa Silage (LM)	Alfalfa Silage (HM)	Corn silage
	Vegetative ²	Bloom	Grass	Mixed			
Timothy	96	90					
Orchardgrass			100	50			
Alfalfa				50	100	100	91
Corn							
Soybean meal	4	10					9
Nutrient, % of DM							
DM	86.9	86.6	27.8	28.9	49.0	21.8	43.1
OM	92.4	94.0	93.2	91.2	89.3	90.2	95.5
CP	10.9	10.6	12.4	14.1	17.9	20.5	11.2
CPd	6.3	5.5	8.1	7.9	-	10.2	6.3
CPs	2.7	2.3	6.8	7.1	-	8.9	4.0
ADF	34.4	37.6	40.5	39.1	34.6	39.4	21.4
NDF	62.8	63.5	62.6	41.8	44.8	46.5	34.6
EE	2.67	2.23	6.14	6.70	3.85	5.17	3.21
Ca	0.25	0.25	0.53	1.04	1.18	1.27	0.18
P	0.27	0.22	0.27	0.29	0.29	0.27	0.23
Mg	0.10	0.10	0.20	0.24	0.26	0.25	0.11
Na	0.03	0.07	0.42	0.20	0.04	0.07	0.04
K	2.52	1.78	1.32	2.32	3.28	2.64	1.10
Cl	0.70	0.63	0.95	1.05	-	0.92	0.23
S	0.12	0.09	0.21	0.22	-	0.31	0.10
DCAD ³ , mEq/kg	389.6	236.3	121.7	247.5	-	253.4	171.7

¹All values expressed on a DM basis except for DM. LM:Low moisture, HM:High moisture.

²Late vegetative.

³Calculated as milliequivalents of (Na+K)-(Cl+S).

ム (K) 含量 (1.10~3.28%) は供試飼料によって変動が大きかった。これらの飼料を日本飼養標準による乾乳牛のTDN要求量の110%を満たすように設定し、乾乳牛各2頭に8:00と16:00に均等に給与した。ただし、チモシー乾草とトウモロコシサイレージはCP含量が低いため、大豆粕を添加した。また、供試飼料には乾乳牛のCa要求量 (0.39%)、P要求量 (0.27%)、Mg要求量 (0.16%) 以下のものもあったが、ミネラル類の補給は行わなかった。水および固形塩は自由摂取させた。

試験は馴致期7日間後、予備試験期7~9日、本試験期5~7日間の14日間とし、本試験期には供試牛を代謝実験室に収容して全糞尿採取法による出納試験を実施した。また、本試験期の3~4日間に開放型呼吸試験装置 (野中ら, 2002a) を用いて、エネルギー出納試験を実施した。出納試験期には飼料摂取量とともに、飲水量、固形塩摂取量、糞尿量を測定した。なお、チモシー乾草2点並びにオーチャー

ドグラスサイレージと混合サイレージ2点の代謝試験は、それぞれ各2頭による反転法で行った。

2. 妊娠牛の代謝試験

妊娠牛12頭を用いて、表2に示した飼料を日本飼養標準による妊娠牛のTDN要求量の120%を満たすように設定し、分娩予定日の3~4週間前から分娩日まで8:00と16:00に均等に混合した飼料を給与した。試験飼料は配合飼料と粗飼料の給与比率を30:70とし、アルファルファサイレージの給与比率を0% (AS0区)、20% (AS20区) および35% (AS35区) に設定して、各4頭を割り当てた。アルファルファサイレージは、1番草および3番草の低水分ロールバールサイレージを用いた。オーチャードグラスサイレージは1番草の出穂期に刈り取った細切サイレージを用い、一部をオーチャードグラス乾草で代替した。水および固形塩は自由摂取させた。

混合した飼料の成分は表2に示したとおりであるが、アルファルファ給与により、NDF含量がやや

Table 2. Chemical composition of feed¹.

	The ratio of alfalfa		
	0	20	35
Ingredient, % of DM			
Alfalfa silage	0	20	35
Grass silage or hay	70	50	35
Concentrate	30	30	30
Nutrient, % of DM			
DM	50.1	46.0	58.9
OM	92.8	90.8	92.4
CP	15.2	16.0	15.1
CPd	8.3	8.5	8.1
CPs	5.5	5.3	6.9
ADF	30.3	30.9	31.5
NDF	50.3	46.6	46.3
EE	3.8	4.1	3.6
Ca	0.48	0.73	0.71
P	0.36	0.32	0.37
Mg	0.19	0.20	0.21
Na	0.20	0.17	0.13
K	1.73	2.30	1.95
Cl	0.84	0.94	0.76
S	0.22	0.23	0.24
DCAD ³ , mEq/kg	152	254	193

¹All values expressed on a DM basis except for DM.

²Calculated as milliequivalents of (Na+K)-(Cl+S).

低下し、Ca含量が増加する傾向を示した。

出納試験は分娩予定日の1～2週間前に、3～7日間の全糞尿採取法で実施した。また、供試牛12頭のうち8頭は開放型呼吸試験装置に収容し、3～4日間のエネルギー出納試験を実施した。出納試験期には飼料摂取量とともに、飲水量、固形塩摂取量、糞尿量を測定した。

3. 試料の分析方法

乳牛のメタン発生量はエネルギー出納試験時に毎分測定し、ガス分析計の校正時の30分のデータを除いて、24時間に換算して求めた。供試飼料および糞は60℃で48時間通風乾草後、ステンレス製粉砕器で粉砕した。飼料および糞の一般成分および分解性蛋白質(CPd)・溶解性蛋白質(CPs)は既報の方法(久米ら, 2001a)で分析し、糞および尿の窒素含量は新鮮物のままケルダール法により分析した。飼料および糞尿のミネラル含量は、既報の方法(久米ら, 2001a; Kumeら, 2001b)で分析した。

窒素およびミネラルの吸収量並びに蓄積量は、以下の式で求めた。ただし、出納試験から得られた糞

中へのミネラル排泄量には内因性の損失量も含まれているため、ここで示した吸収量はみかけの吸収量の値である。

吸収量=摂取量-糞中排泄量

蓄積量=摂取量-(糞+尿)排泄量

4. 統計処理

統計処理は、SAS (1988) のGLMプロシジャーにより行った。また、乾乳牛のデータは糞尿量、メタン発生量、窒素・ミネラル排泄量と関連する成分の相関係数並びに回帰式を求めた。特に、糞量とメタン発生量は可消化成分との関係が高いため、可消化OM、可消化NDFおよび飼料中のME含量との関係を、また尿量は尿中への排泄量の多い尿中窒素およびK排泄量との関係を求めた。

III. 結 果

1. 乾乳牛の消化率とメタン発生量

乾乳牛の消化率、エネルギー出納およびメタン発生量を表3に示した。刈り取り時期の異なるチモシー乾草給与牛で比較すると、出穂前が開花期よりも乾物(DM)、有機物(OM)、NDFおよびADFの消化率が高かった。また、総エネルギー(GE)、可消化エネルギー(DE)および代謝エネルギー(ME)摂取量に刈り取り時期による差異は認められなかったものの、総エネルギーの消化率(DE/GE)、代謝率(ME/GE)並びに飼料の代謝エネルギー含量(ME/DM)は出穂前が開花期より高かった。グラスサイレージ給与牛のNDF、ADFおよび粗脂肪(EE)の消化率が混合サイレージ給与牛より高く、また飼料中の代謝エネルギー含量および乾物摂取量当たりのメタン発生量はグラスサイレージ給与牛が多かった。さらに、トウモロコシサイレージのDMおよびOM消化率は高い値を示したが、高水分アルファルファサイレージではNDF消化率がやや低かった。

供試牛の飲水量および固形塩摂取量はそれぞれ2.6～39.7kg/日および1.7～55.8g/日と広い範囲にあったが、飲水量は低水分アルファルファサイレージおよびチモシー乾草給与牛で多かった。供試牛の糞および尿量はそれぞれ1.9～3.7kg/日(乾物)および3.2～24.0kg/日の範囲に、またメタン発生量は231～361l/日の範囲にあり、メタン発生量はアルファル

Table 3. Least squares means of digestibility and energy balance of dry cows..

	Thimothy hay			Silage			Alfalfa Silage (LM)	Alfalfa Silage (HM)	Corn silage
	Vegetative ¹	Bloom	SEM	Grass	Mixed	SEM			
n	2	2		2	2		12	2	2
Body weight, kg	586	584	44	673	686	16	615	740	654
DMI, kg/d	6.88	7.04	0.57	8.23	8.53	0.85	7.99	8.82	7.51
Water intake, kg/d	25.0	30.3	7.8	10.4	10.1	4.8	29.2	2.9	7.6
Block salt intake, g/d	21.1	14.7	14.3	48.9	52.1	5.5	-	15.9	55.8
Feces, kgDM/d	1.91	2.68	0.22	3.23	3.39	0.24	2.72	3.65	2.09
Urine									
Volume, kg/d	7.4	5.5	2.4	10.6	14.2	1.6	17.3	14.4	7.4
pH	7.94	7.64	0.20	7.66	8.15	0.29	-	8.26	7.94
Digestibility, %									
DM	72.2 ^a	62.1 ^b	1.0	61.9	58.7	1.8	65.9	58.6	72.1
OM	74.8 ^c	64.5 ^d	0.5	64.0	59.7	1.7	67.5	59.5	74.7
CP	52.7	52.1	5.5	60.0	60.3	2.2	70.4	67.7	62.0
ADF	76.8 ^c	57.8 ^d	0.9	61.9 ^A	50.3 ^B	2.1	58.5	46.5	58.5
NDF	80.3 ^c	63.3 ^d	0.8	65.0 ^A	52.8 ^B	2.6	60.0	45.7	59.4
EE	53.0	59.4	2.0	79.1 ^A	75.1 ^B	0.9	62.3	67.2	80.1
Ca	11.4	0.1	3.3	16.8	11.1	7.1	16.7	14.8	12.3
P	0.6	1.0	2.3	22.1	19.7	18.9	13.0	5.3	11.8
Mg	18.6	13.8	3.8	35.8	22.5	15.4	19.5	16.8	26.2
K	69.7	62.1	10.9	82.2 ^A	91.3 ^B	2.2	87.6	90.0	71.2
Energy balance									
GE, MJ/d	128.7	133.4	10.9	168.5	157.1	16.7	144.1	171.0	143.0
DE, MJ/d	104.6	90.9	11.7	104.6	90.9	11.7	94.1	97.8	104.5
ME, MJ/d	75.5	62.8	3.5	84.8	73.1	10.0	75.0	85.3	86.0
DE/GE, %	71.8 ^a	60.8 ^b	1.1	62.0	57.8	1.2	65.3	57.3	73.1
ME/GE, %	58.7 ^a	47.2 ^b	1.5	50.2	46.5	1.3	52.0	49.9	60.1
ME/DM, MJ/kgDM	10.84 ^a	8.86 ^b	0.24	9.91 ^A	8.86 ^B	0.24	9.38	9.60	11.47
Energy loss, MJ/d									
Feces	36.6	52.4	4.7	63.9	66.1	5.3	50.0	73.2	38.5
Urine	3.6	5.8	2.5	7.8	7.0	0.5	8.0	2.5	5.4
Methane	13.3	12.6	1.1	12.0	10.7	1.3	11.1	10.1	13.2
CH ₄ production, l/d	336.5	317.4	27.2	303.5	271.6	31.9	280.8	256.2	333.0
CH ₄ /DM, l/kgDM	49.0	45.0	2.0	35.6 ^a	32.9 ^b	0.4	35.1	29.0	44.3

^{A,B} P<0.10, ^{a,b} P<0.05, ^{c,d} P<0.01

¹Late vegetative.

ファ給与牛でやや少なかった。

低水分アルファルファサイレージ給与牛を除いて、供試牛のメタン発生量の日内変動を図1に示した。供試牛のメタン発生量は飼料給与直後に急激に増加し、その後徐々に減少した。また、アルファルファおよび混合サイレージ給与牛のメタン発生量は飼料給与4時間後以降にグラスあるいはトウモロコシサイレージ給与牛よりも少なくなる傾向を示した。

供試牛の可消化OM、可消化NDFおよび飼料中のME含量と供試牛の糞量、メタン発生量の関係を

乾物1kgあたりに換算して図2に示した。供試牛の可消化OMと糞量 ($r=-0.92$), ME含量と糞量 ($r=-0.72$) 間に0.1%水準で負の相関が認められ、糞量 (Y_{Fe}) と可消化OM (X_{DOM}), ME含量 (X_{ME}) に以下の回帰式が得られた。

$$Y_{Fe} = -0.84^{***}X_{DOM} + 861.8^{***} \quad (***) P < 0.001; \text{以下同様}$$

$$Y_{Fe} = -32.7^{***}X_{ME} + 663.3^{***}$$

供試牛の可消化OMとメタン発生量 ($r=0.77$) に0.1%水準で、また可消化NDFとメタン発生量

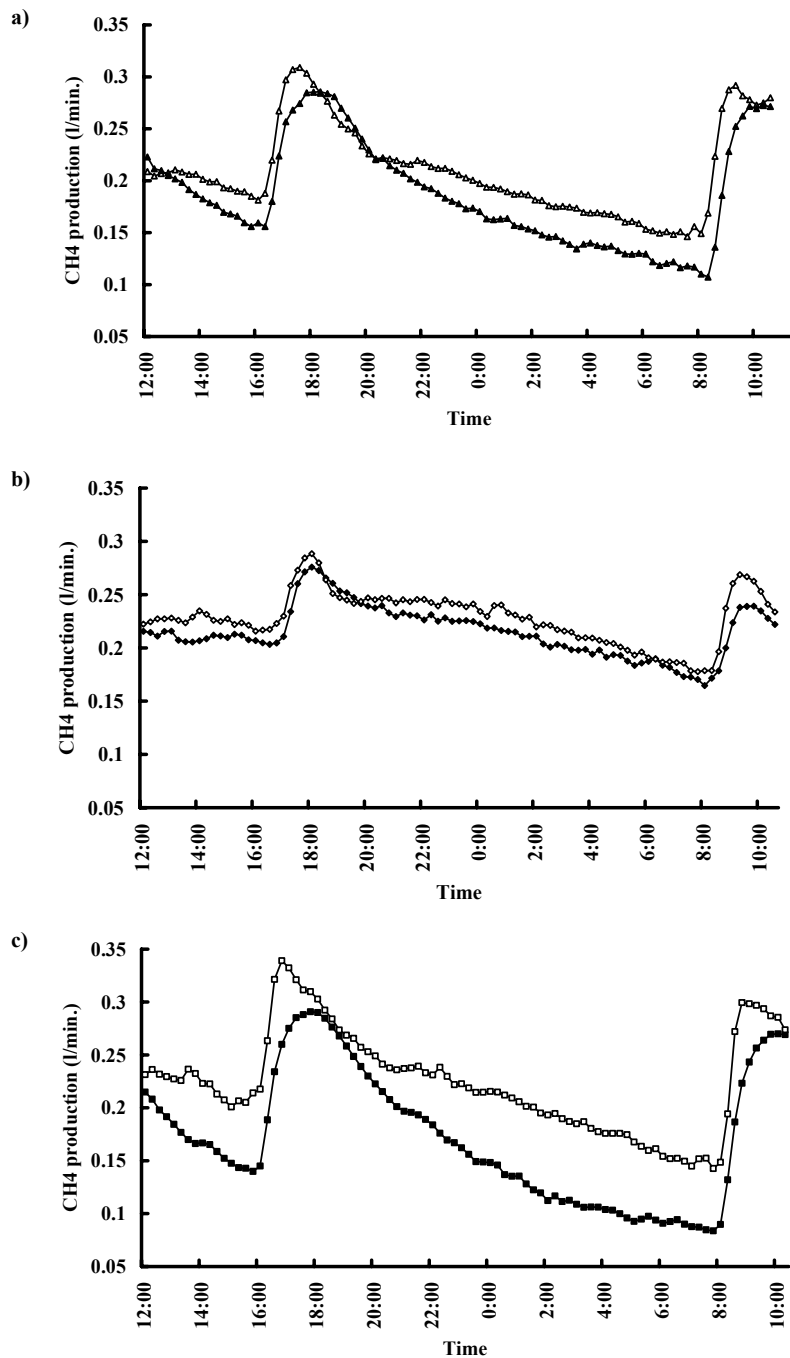


Figure 1. Methane production of cows fed a) orchardgrass(Δ) or orchardgrass + alfalfa (\blacktriangle), b) timothy at the stage of late vegetative (\diamond) or bloom (\blacklozenge) and c) corn silage (\square) or alfalfa (\blacksquare).

($r=0.60$) に 1%水準で正の相関が認められ、メタン発生量 (Y_{CH}) と可消化OM (X_{DOM}), 可消化NDF (X_{DNDF}) に以下の回帰式が得られた。

$$Y_{CH} = 0.089^{***}X_{DOM} - 17.0$$

$$Y_{CH} = 0.040^{**}X_{DNDF} + 25.1^{***} \quad (**P < 0.01; \text{以下同様})$$

2. 乾乳牛の窒素・ミネラル排泄量

乾乳牛の窒素・ミネラル出納の結果を表4に示した。チモシー乾草給与牛の窒素・ミネラル出納には刈り取り時期による差異は認められなかったが、混合サイレージ給与牛ではCa摂取量、K摂取量、K吸収量および尿中へのK排泄量がグラスサイレージ給

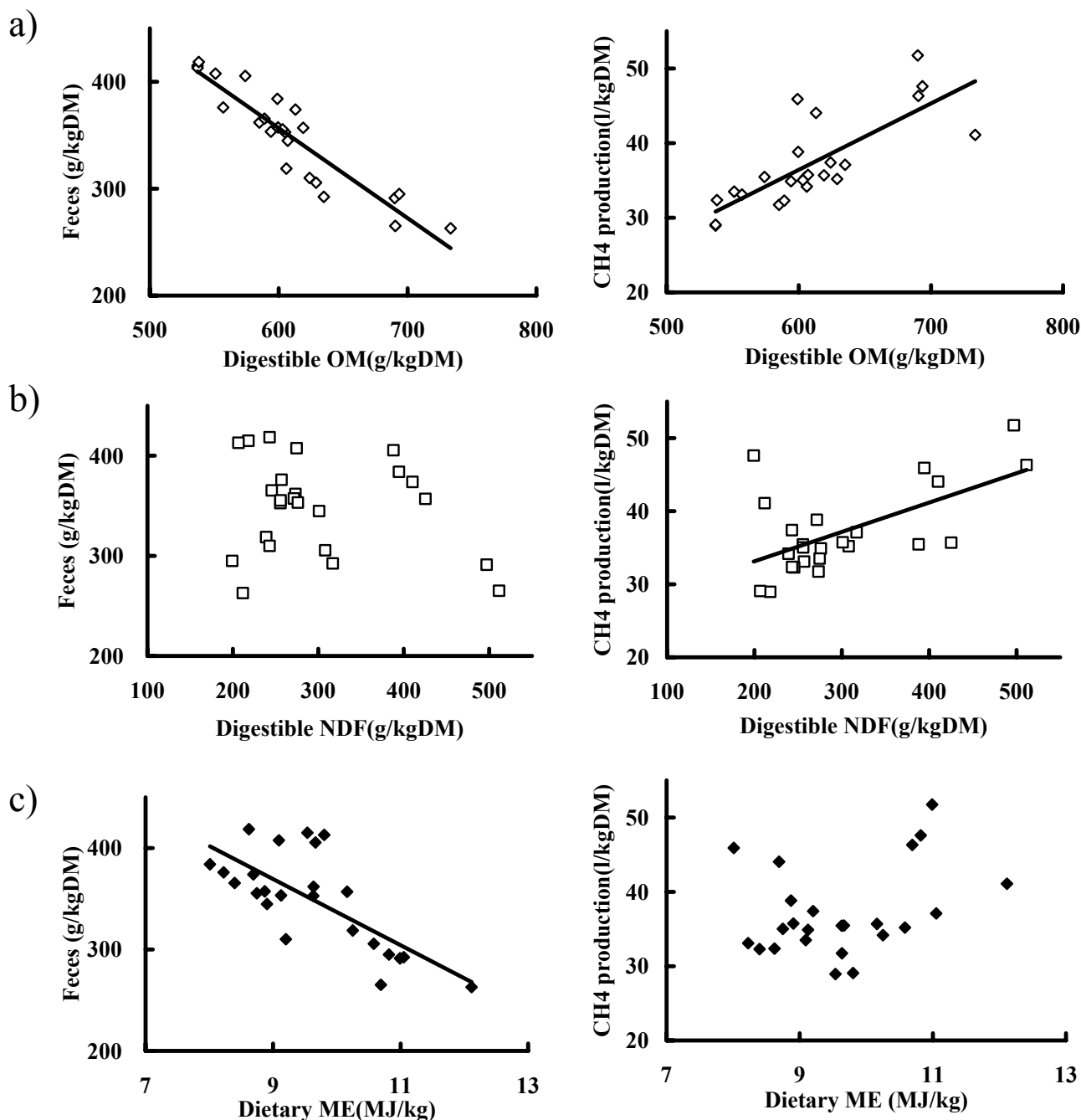


Figure 2. Relationships between a) digestible OM (\diamond), b) digestible NDF (\square) or c) dietary ME (\blacklozenge) and fecal and methane production of cows.

与牛よりも多く、逆にK蓄積量が少なかった。また、アルファルファ給与牛では窒素、CaおよびK摂取量が多かったが、トウモロコシサイレージでは窒素・ミネラル摂取量は少なかった。

供試牛の窒素あるいはK摂取量とそれらの出納・排泄量の関係並びに尿中への窒素あるいはK排泄量と尿量との関係を図3に示した。窒素摂取量と窒素吸

収量 ($r=0.98$)、窒素蓄積量 ($r=0.64$)、糞中への窒素排泄量 ($r=0.71$)、尿中への窒素排泄量 ($r=0.94$)間に0.1%水準で有意な相関が認められ、窒素摂取量 (X_{Nin})と窒素吸収量 (Y_{Nab})、窒素蓄積量 (Y_{Nre})、糞中窒素排泄量 (Y_{Nfe})、尿中窒素排泄量 (Y_{Nur})には以下の回帰式が得られた。

$$Y_{Nab} = 0.824^{***}X_{Nin} - 31.3^{***}$$

Table 4. Least squares means of digestibility of nitrogen and mineral of dry cows.

	Thimothy hay			Silage			Alfalfa Silage (LM)	Alfalfa Silage (HM)	Corn silage
	Vegetative ¹	Bloom	SEM	Grass	Mixed	SEM			
n	2	2		2	2		12	2	2
N balance, g/d									
Intake	119.6	118.1	6.9	169.2	186.0	26.2	220.9	289.0	134.1
Excretion									
Feces	56.1	56.7	4.0	67.1	74.4	9.6	64.7	93.4	50.9
Urine	52.3	55.0	11.0	89.4	106.6	10.0	117.9	165.6	75.7
Absorption	63.5	61.4	9.9	102.2	112.5	17.5	146.5	195.6	83.2
Retention	11.2	6.4	5.9	12.8	5.9	12.6	38.3	30.0	7.5
Ca balance, g/d									
Intake	17.2	17.6	1.1	43.3 ^B	85.7 ^A	7.4	92.7	112.3	13.7
Excretion									
Feces	15.2	17.6	0.6	35.6 ^b	75.9 ^a	3.9	76.8	95.5	12.2
Urine	0.6	0.6	0.3	1.8	0.9	0.2	2.4	1.9	0.9
Absorption ²	2.0	0.1	0.6	7.7	9.8	4.4	15.9	16.8	1.5
Retention	1.4	-2.4	1.6	5.9	8.9	4.3	13.3	14.9	0.8
P balance, g/d									
Intake	18.4	16.0	1.2	22.8	24.0	3.0	22.6	24.2	17.2
Excretion									
Feces	18.2	15.8	0.9	17.6	18.8	2.6	19.7	22.9	15.4
Urine	0.5	0.4	0.2	2.8	1.1	1.9	1.3	0.3	1.5
Absorption ²	0.2	0.2	0.4	5.3	5.3	5.1	3.0	1.3	1.9
Retention	-0.4	-1.1	0.8	2.4	4.2	3.3	3.9	3.7	2.2
Mg balance, g/d									
Intake	6.9	7.2	0.5	17.4	19.7	2.5	20.0	21.7	8.5
Excretion									
Feces	5.6	6.2	0.6	10.7	15.3	2.4	16.1	18.0	6.3
Urine	0.8	1.0	0.1	2.5	3.6	0.4	3.1	3.8	1.9
Absorption ²	1.3	1.0	0.3	6.7	4.4	3.2	3.9	3.7	2.2
Retention	0.2	-0.1	0.3	4.3	0.8	3.4	0.8	-0.1	0.4
K balance, g/d									
Intake	173.6	125.6	11.5	112.7 ^b	190.0 ^a	10.9	255.8	232.9	82.5
Excretion									
Feces	51.5	46.4	13.3	19.7	16.5	1.5	30.7	23.7	23.8
Urine	71.3	59.4	28.9	58.7 ^b	182.2 ^a	12.1	213.6	215.8	54.7
Absorption ²	122.1	79.3	24.2	93.0 ^b	173.5 ^a	11.1	225.1	208.9	58.7
Retention	50.8	22.0	10.7	34.4 ^a	-8.8 ^b	1.1	11.4	-6.9	4.0

^{A,B} P<0.10, ^{a,b} P<0.05, ^{c,d} P<0.01

¹Late vegetative.

²Apparent absorption

$$Y_{Nre} = 0.214^{***}X_{Nin} - 16.6$$

$$Y_{Nfe} = 0.176^{***}X_{Nin} + 31.3^{***}$$

$$Y_{Nur} = 0.610^{***}X_{Nin} - 14.7$$

K摂取量とK蓄積量あるいは糞中K排泄量間には有意な相関関係は認められなかったが、K摂取量とK吸収量 (r=0.98), 尿中へのK排泄量 (r=0.83) 間に0.1%水準で有意な相関が認められ、K摂取量

(X_{Kin}) とK吸収量 (Y_{Kab}), 尿中K排泄量 (Y_{Kur})には以下の回帰式が得られた。

$$Y_{Kab} = 1.056^{***}X_{Kin} - 55.8^{**}$$

$$Y_{Kur} = 1.018^{***}X_{Kin} - 34.2^{**}$$

尿量と尿中への窒素排泄量 (r=0.78), 尿中へのK排泄量 (r=0.92) 間に0.1%水準で有意な相関が認められ、尿量 (Y_{Urine}) と尿中窒素排泄量 (X_{Nur}), 尿中K

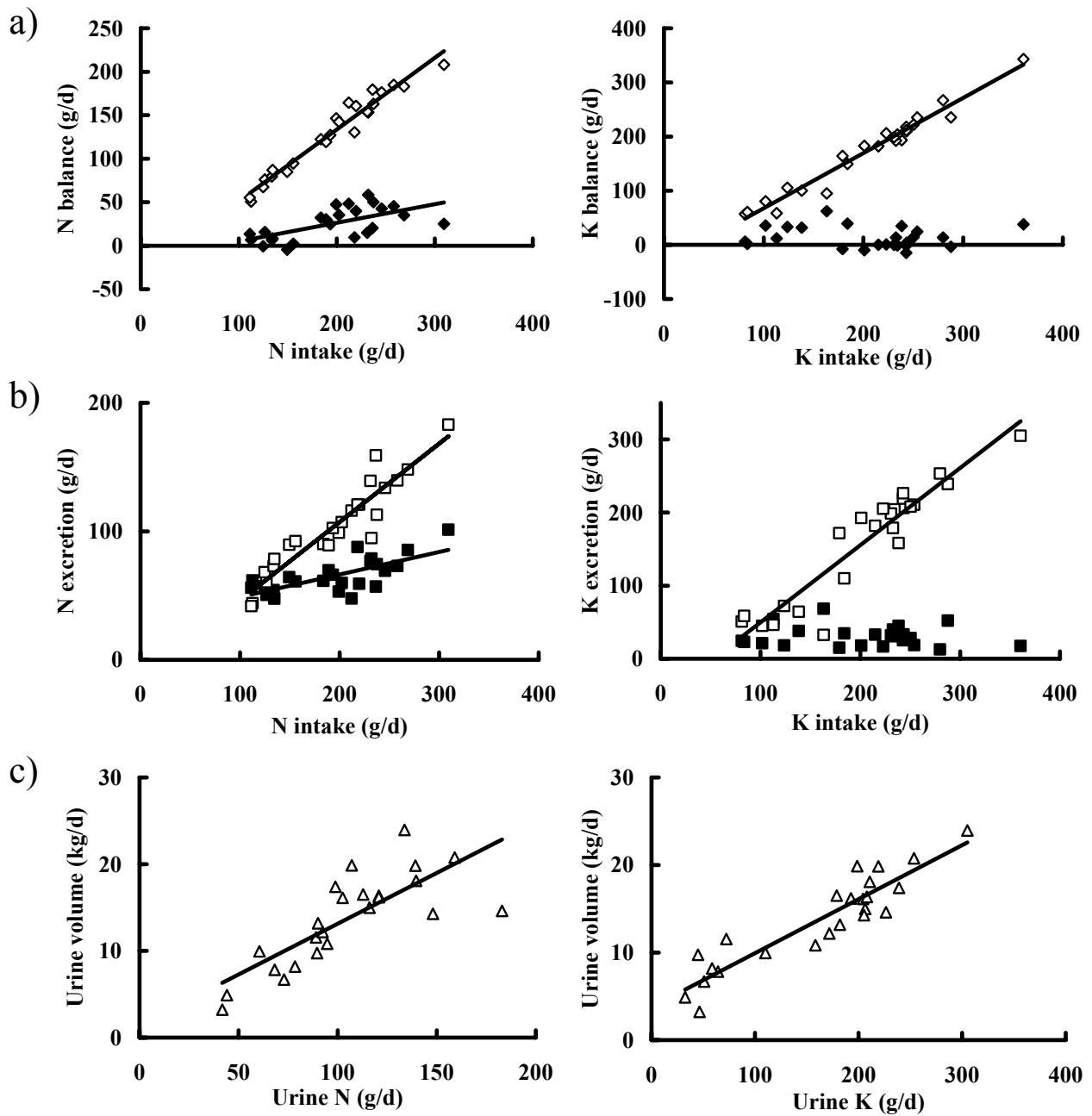


Figure 3. Relationships a) between N or K intake and their absorption (\diamond) and retention (\blacklozenge), b) between N or K intake and their urine excretion (\square) and fecal excretion (\blacksquare), and c) urine N or K and urine volume (\triangle).

排泄量 (X_{Kur}) には以下の回帰式が得られた。また、尿量と尿中窒素排泄量、尿中K排泄量の重回帰式 ($R^2=0.85$) の寄与率は、尿量と尿中K排泄量の回帰式の寄与率とほぼ同じであった。

$$Y_{Urine} = 0.117^{***}X_{Nur} + 1.42$$

$$Y_{Urine} = 0.062^{***}X_{Kur} + 3.76$$

$$Y_{Urine} = 0.018X_{Nur} + 0.055^{***}X_{Kur} + 2.91$$

供試牛のCa、PおよびMg摂取量とそれらの出納・排泄量の関係を図4に示した。Ca摂取量とCa吸収量 ($r=0.83$)、Ca蓄積量 ($r=0.64$)、糞中へのCa排泄量 ($r=0.99$)、尿中へのCa排泄量 ($r=0.62$) 間に0.1%水準で有意な相関が認められ、Ca摂取量 (X_{Cain}) とCa吸収量 (Y_{Caab})、Ca蓄積量 (Y_{Care})、糞中Ca排泄量 (Y_{Cafe})、尿中Ca排泄量 (Y_{Caur}) には以下の回帰式が

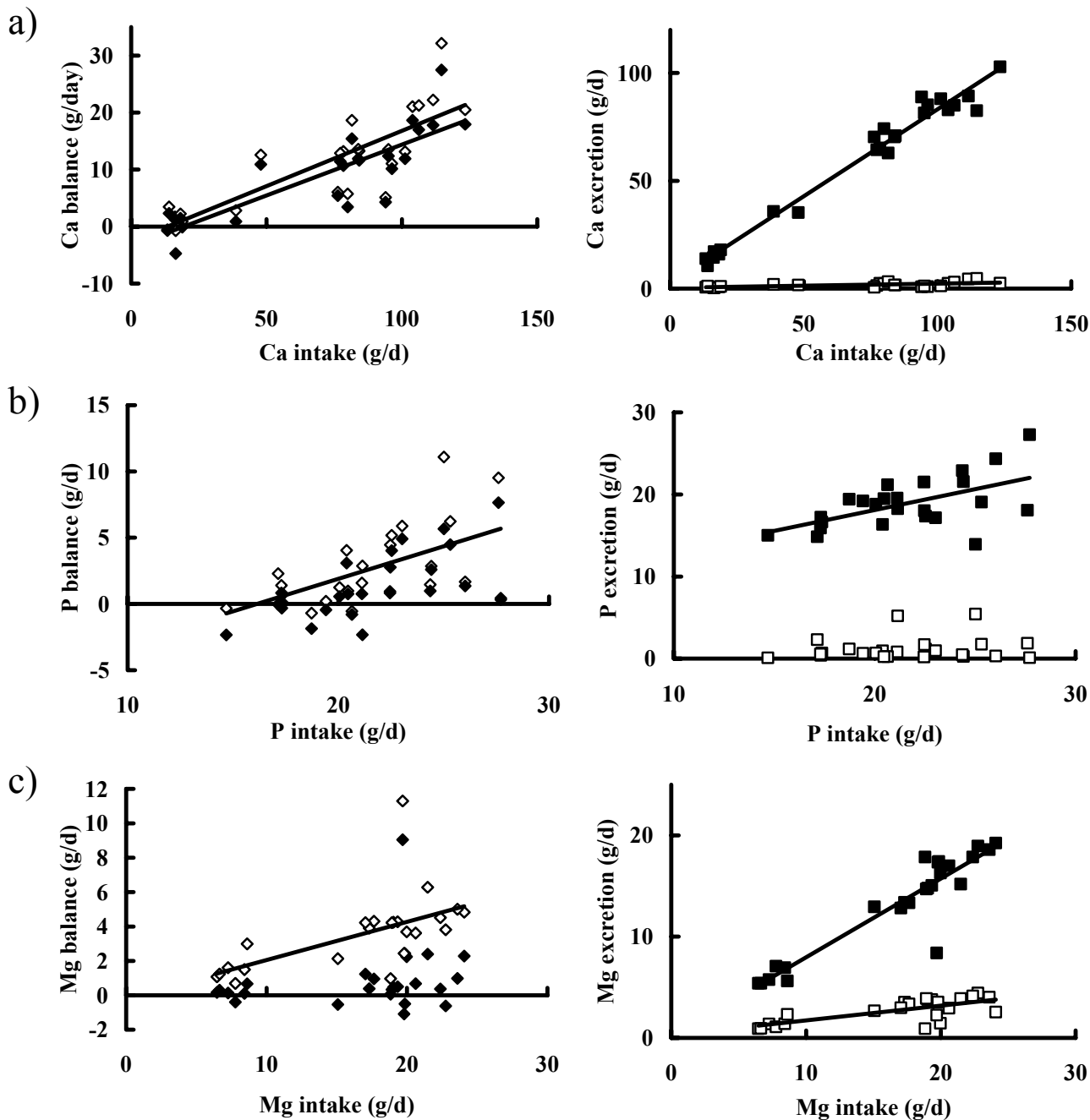


Figure 4. Relationships between a) Ca, b) P or c) Mg intake and their absorption (\diamond) and retention (\blacklozenge) and between Ca, P or Mg and their urine excretion (\square) and fecal excretion (\blacksquare).

得られた。

$$Y_{Caab} = 0.194^{***}X_{CaIn} - 2.59$$

$$Y_{Care} = 0.178^{***}X_{CaIn} - 3.44$$

$$Y_{Cafe} = 0.806^{***}X_{CaIn} + 2.60$$

$$Y_{Caur} = 0.020^{**}X_{CaIn} + 0.37$$

P摂取量とP蓄積量あるいは尿中P排泄量間には有意な相関関係は認められなかったが、P摂取量と

P吸収量 ($r=0.57$)、糞中へのP排泄量 ($r=0.56$) 間に1%水準で有意な相関が認められ、P摂取量 (X_{Pin}) とP吸収量 (Y_{Pab})、糞中P排泄量 (Y_{Pfe})には以下の回帰式が得られた。

$$Y_{Pab} = 0.490^{**}X_{Pin} - 7.90^* \quad (*P < 0.05; \text{以下同様})$$

$$Y_{Pfe} = 0.510^{**}X_{Pin} + 7.90^*$$

Mg摂取量とMg蓄積量には有意な相関関係は認め

られなかったが、Mg摂取量とMg吸収量 ($r=0.58$) 間に1%水準で、またMg摂取量と糞中Mg排泄量 ($r=0.93$)、尿中Mg排泄量 ($r=0.72$) 間に0.1%水準で有意な相関が認められ、Mg摂取量 (X_{Mgin}) とMg吸収量 (Y_{Mgab})、糞中Mg排泄量 (Y_{Mgfe})、尿中Mg排泄量 (Y_{Mgur}) には以下の回帰式が得られた。

$$Y_{Mgab} = 0.222^{**}X_{Mgin} - 0.17$$

$$Y_{Mgfe} = 0.777^{***}X_{Mgin} - 0.19$$

$$Y_{Mgur} = 0.145^{***}X_{Mgin} - 0.28$$

3. 妊娠牛の消化率とメタン発生量

妊娠牛の消化率、エネルギー出納およびメタン発生量を表5に示した。乾物摂取量はAS0区およびAS20区でやや残餌が認められ、AS35区がAS20区よりも多かった。糞量(乾物)はAS20区およびAS35区がAS0区よりも多かったが、尿量は処理区間に差異は認められなかった。ADFおよびNDF消化率はAS0区がAS20区およびAS35区よりも高く、またDMおよびOM消化率並びにマグネシウム(Mg)吸収率はAS0区がAS20区よりも高かった。

エネルギー摂取量並びにエネルギーの利用効率には処理区間に差異は認められなかったが、飼料中のME含量はAS20区がAS35区よりも多かった。メタン発生量はAS35区がAS0区およびAS20区よりも多く、また乾物1kg当たりのメタン発生量はAS35区がAS20区よりも多かった。

4. 妊娠牛の窒素・ミネラル排泄量

妊娠牛の窒素・ミネラル出納の結果を表6に示した。窒素吸収量はAS35区がAS20区よりも多く、またCa摂取量と糞中へのCa排泄量はAS20区およびAS35区がAS0区よりも多かった。P摂取量はAS35区がAS20区よりも多かったが、P吸収量はAS0区がAS20区よりも多かった。糞中へのMg排泄量はAS20区およびAS35区がAS0区よりも多かったが、逆に尿中へのMg排泄量はAS0区で最大であった。糞中へのK排泄量はAS20区がAS35区よりも多く、逆に尿中へのK排泄量はAS20区で最小であり、またAS20区のK蓄積量がAS0区よりも多かった。

IV. 考 察

北海道における飼料自給率向上と環境保全に適した高泌乳牛の飼養管理法を開発するためには、北海道で利用可能な自給粗飼料給与時における牛からのメタン排泄量並びに窒素・ミネラル排泄量の特徴を把握することがまず第一に必要である。そこで、本報告ではほぼ粗飼料だけを給与した乾乳牛並びに粗飼料を7割給与した妊娠牛のデータを解析して、メタン排泄量と窒素・ミネラル排泄量に及ぼすイネ科牧草、アルファルファおよびトウモロコシサイレー

Table 5. Least squares means of digestibility and energy balance of cows during dry period.

	The ratio of alfalfa			SEM
	0	20	35	
n	4	4	4	
Body weight, kg	752	745	731	48
DMI, kg/d	9.18	8.93 ^b	10.58 ^a	0.45
Water intake, kg/d	20.7	19.2	25.0	3.9
Block salt intake, g/d	27.9	26.6	45.6	6.1
Feces, kgDM/d	2.61 ^b	3.19 ^a	3.31 ^a	0.16
Urine				
Volume, kg/d	11.5	7.8	12.8	1.6
pH	8.21	8.16	8.31	0.11
Digestibility, %				
DM	71.3 ^a	64.3 ^b	38.7	1.5
OM	73.4 ^a	66.7 ^b	70.4	1.4
CP	69.4	61.2	69.9	2.6
ADF	66.2 ^a	53.8 ^b	56.7 ^b	1.7
NDF	67.8 ^a	55.3 ^b	59.4 ^b	1.9
EE	70.1	75.8	73.0	2.8
Ca	28.9	22.4	20.5	3.3
P	29.8	16.1	22.7	4.1
Mg	31.3 ^a	13.5 ^b	16.6	4.7
K	78.6	74.1	86.9	4.2
Energy balance				
n	2	4	2	
GE, MJ/d	157.9	168.8	188.0	5.6
DE, MJ/d	108.9	109.4	125.8	3.6
ME, MJ/d	83.7	91.5	98.7	3.2
DE/GE, %	69.0	64.8	67.0	0.8
ME/GE, %	53.0	54.1	52.6	0.6
ME/DM, MJ/kgDM	9.95	10.24 ^a	9.69 ^b	0.08
Energy loss, MJ/d				
Feces	49.0	59.4	62.2	2.6
Urine	12.6	6.1	10.6	1.4
Methane	12.6 ^b	11.8 ^b	16.4 ^a	0.2
CH ₄ production, l/d	319.3 ^d	298.5 ^d	415.1 ^c	5.8
CH ₄ /DM, l/kgDM	38.0	34.4 ^d	40.7 ^c	0.9

^{a,b} P<0.05,

Table 6. Least squares means of digestibility of nitrogen and mineral balance of cows during dry period.

	The ratio of alfalfa			SEM
	0	20	35	
n	4	4	4	
N balance, g/d				
Intake	230.5	236.2	257.1	10.8
Excretion				
Feces	70.6	91.7	78.2	7.4
Urine	140.9	95.0	132.1	28.9
Absorption	159.9	144.5 ^b	179.0 ^a	9.0
Retention	17.4	49.5	44.5	22.2
Ca balance, g/d				
Intake	44.5 ^b	67.0 ^a	75.0 ^a	3.9
Excretion				
Feces	31.5 ^b	52.1 ^a	59.4 ^a	3.6
Urine	2.4	0.9	1.3	0.8
Absorption ¹	13.0	14.9	15.6	2.3
Retention	10.6	14.0	14.2	2.3
P balance, g/d				
Intake	34.0	30.7 ^b	39.4 ^a	1.9
Excretion				
Feces	23.9	25.7	30.8	2.7
Urine	0.9	0.5	0.7	0.2
Absorption ¹	10.1 ^a	5.0 ^b	8.7	1.4
Retention	9.3	4.5	7.9	1.5
Mg balance, g/d				
Intake	17.2	18.0	21.6	1.5
Excretion				
Feces	11.6 ^b	15.7 ^a	17.9 ^a	1.2
Urine	3.8 ^a	1.5 ^b	1.7 ^b	0.6
Absorption ¹	5.6	2.3	3.7	1.1
Retention	1.8	0.8	2.0	0.9
K balance, g/d				
Intake	159.0	199.8	202.1	15.7
Excretion				
Feces	30.2	49.7 ^a	26.2 ^b	6.6
Urine	148.1	101.7 ^b	179.5 ^a	18.3
Absorption ¹	128.9	147.7	175.9	17.2
Retention	-19.3 ^b	46.0 ^a	-3.6	16.2

^{a,b} P<0.05,

¹ Apparent absorption

ジの特性を解明し、自給粗飼料多給時におけるそれらの排泄量低減法について以下で検討する。

1. 乳牛のメタン発生量および糞排泄量の特性

粗飼料の一般成分の特徴としては、アルファルファとトウモロコシサイレージはイネ科牧草に比較して繊維（NDF）含量が低いものの、代謝エネルギー含量はトウモロコシサイレージが最も高く、イネ

科牧草とアルファルファでは変動の大きいことが認められた。また、アルファルファは消化管通過速度が速いため、乳牛の乾物摂取量は増加するものの、乾物・繊維の消化率は低下することが報告されている（Hoffmanら、1998）が、本試験の妊娠牛および乾乳牛でもグラスサイレージ給与牛に比較して、アルファルファ給与牛では繊維の消化率が低下した。

乳牛のメタン発生量はTDNの維持要求量の1.5倍程度では乾物摂取量の増加とともに増加するが、単位乾物摂取量当たりのメタン発生量は飼料中のCPおよびME含量が高いほど少なくなり、逆に繊維含量が高まると増加する（栗原ら、1995;Shibataら、1993;Kume, 2002）。一方、乳牛の糞排泄量は消化率の高い飼料で少なくなるが、牧草サイレージ主体で給与した泌乳牛の糞量は乾物摂取量よりNDF摂取量との相関が高かったことから、良質粗飼料の給与などでNDF摂取量を少なくすることにより、糞量は低減できることが報告されている（扇ら、1998）。

本報告ではメタン発生量および糞排泄量を乾物摂取量1kg当たりで検討したが、妊娠牛のメタン発生量には粗飼料源による相違は明確でなかったものの、乾乳牛からのメタン発生量は有機物あるいは繊維の消化率の高い粗飼料で高く、グラスサイレージの50%をアルファルファで代替することにより、メタン発生量は約7%低減することが認められた。それに対して、糞量は可消化有機物の高い飼料あるいは飼料中のME含量の高い飼料で少なくなるが、繊維含量との関係は明らかでなかった。

以上の結果から、繊維が少ないアルファルファ主体の粗飼料給与ではメタン発生量の低減が可能であり、また飼料中のME含量の高いトウモロコシ主体の粗飼料給与では糞量の低減が可能と考えられる。

2. 乳牛の尿量および窒素・ミネラル排泄量の特性

試験材料として用いた粗飼料では、トウモロコシサイレージは窒素・ミネラル含量が全般的に低く、アルファルファは窒素・Ca含量が高い特徴があり、

イネ科牧草はその中間に相当した。また、アルファルファでは分解性蛋白質が多く、イネ科牧草とアルファルファではK含量が非常に高くなる場合が認められたが、粗飼料ではK, ナトリウム (Na) 含量に比較してイオウ (S), 塩素 (Cl) 含量が少ないことから、イオンバランスはいずれも正の値を示した。

乳牛の窒素・ミネラル排泄量の特徴としては、尿中への排泄量が多いものとしては窒素と電解質 (K, Na, Cl) があげられ、糞中への排泄量が多いものとしてはCa, Pなどの電解質以外のミネラルがあげられる (久米ら, 1991; 久米, 1998; 扇ら, 1998)。また、乳牛の尿量は窒素・電解質摂取量の増加とともに増加するが、尿中への窒素・電解質排泄量と尿量には密接な関係のあることが報告されている (Banninkら, 1999; 児島ら, 2000)。

本試験結果では、尿中への窒素・K排泄量は摂取量の増加に比例して増加したが、摂取量が増加すると窒素は糞中へも比較的多く排泄されるものの、糞中へのK排泄量は摂取量が増加してもほぼ一定の値であった。また、Ca, PおよびMgは大部分が糞中へ排泄され、PおよびMgは尿中へも一部排泄されたが、尿中へのCa排泄量は微量であった。尿量は尿中への窒素・K排泄量の増加とともに増加したが、尿量の増加には窒素よりもK排泄量の影響が大きく、また妊娠牛ではオーチャードグラスとアルファルファ給与に関係なく、Kは尿中へ多量排泄された。したがって、Kと窒素含量の多い粗飼料では尿中へのそれらの排泄量が増加するだけでなく、尿量の増加を促進することがうかがえ、また要求量以上のPは糞中へ排泄されることが推察される。

以上の結果から、粗飼料給与時における尿量と窒素・ミネラル排泄量の特徴をあげると、1) トウモロコシサイレージは窒素・ミネラル含量が少ないため、糞尿中への窒素・ミネラル排泄量が少ない、2) アルファルファは窒素とK含量が高く、それらが比較的吸収されやすいため、尿中への窒素・K排泄量だけでなく、尿量が増加する、3) K含量の高いイネ科牧草では尿量が増加しやすいことである。

3. 粗飼料給与時における乳牛の糞尿量、メタン発生量および窒素・ミネラル排泄量の低減法

地球温暖化防止並びに環境保全のためには、乳牛からのメタン発生量、糞尿量、窒素・P排泄量の低減を図ることがもっとも重要である。また、エネルギー、蛋白質、ミネラルを購入飼料ではなく、自給

粗飼料から補えると、コスト低減とともに資源循環型酪農経営への貢献が可能になる。

本試験では、トウモロコシサイレージのME含量はイネ科牧草やアルファルファよりも1~2割程度高いため、糞排泄量を低減できた。それに対して、アルファルファのCP含量はイネ科牧草やトウモロコシサイレージよりも約2倍高く、またグラスサイレージの50%をアルファルファで代替することにより、乾乳牛からのメタン発生量を7%低減することが可能であった。一方、アルファルファ主体給与牛では分娩後の乾物摂取量・乳量が増加する (中村ら, 2002) もの、窒素排泄量や尿量の増加だけではなく、K過剰摂取による乳熱や乳房浮腫発生の危険性が高まる (久米ら, 1997; Kume, 2002; NRC, 2001)。

したがって、北海道ではトウモロコシサイレージとアルファルファサイレージを適切に組み合わせることにより、イネ科牧草主体給与牛よりもエネルギーとCPの充足率を高められ、同時にメタン・糞などの排泄量を低減できる可能性が高い。また、アルファルファのK含量を低減することにより、尿量低減や乳熱予防効果が期待できる。

V. 摘 要

給与粗飼料の相違による乾乳牛および妊娠牛のメタン発生量並びに窒素・ミネラル排泄量を明らかにするために、計36回の消化試験 (32回の代謝試験) を実施した。供試粗飼料としては、アルファルファサイレージ、チモシー乾草、オーチャードグラス主体サイレージ、トウモロコシサイレージを用いた。その結果、1) 乳牛からのメタン発生量は有機物あるいは繊維の消化率の高い粗飼料で高いものの、糞量は飼料中の代謝エネルギー含量の高い飼料で少ない、2) 摂取した窒素・Kは尿中へ多量排泄され、尿量は尿中への窒素・K排泄量の増加とともに増加したが、尿量の増加には窒素よりもK排泄量の影響が大きい、3) 摂取したCa, PおよびMgは大部分が糞中へ排泄される、4) 繊維が少ないアルファルファ給与ではメタン発生量の低減が可能であり、ME含量の高いトウモロコシ給与では糞量の低減が可能である、5) 窒素とK含量の高いアルファルファあるいはK含量の高いイネ科牧草給与により尿量の増加することが認められた。

謝 辞

呼吸試験にご指導いただいた畜産草地研究所寺田文典博士，試料採取・分析にご協力いただいたT.Toharmat, M.Ridla, B.Santoso, 内藤静子, 中嶋静枝各氏, 供試牛の飼養管理にご協力いただいた土田雄一, 加藤三晴両氏を初めとした業務第3科の職員諸氏に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) Bannink,A., H.Valk and A.M.Van Vuuren (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.
- 2) Hoffman,P.C, D.K.Combs. and M.D.Casler (1998) : Performance of lactating dairy cows fed alfalfa silage or perennial ryegrass silage. *J. Dairy Sci.*, 81, 162-168.
- 3) 児島浩貴, 野中最子, A.Purunomoadi, 田鎖直澄, 樋口浩二, 渡辺直人, 鎌田八郎, M.Islam, 永西修, 寺田文典(2000):カリウム摂取水準の違いが分娩前後の乳牛の主要ミネラルの動態に及ぼす影響. 第1報. K摂取水準の違いが妊娠末期における主要ミネラルの出納に及ぼす影響. 鹿児島県畜産試験場研究報告, 33, 38-43.
- 4) 久米新一・栗原光規・高橋繁男・相井孝允(1991): 適温及び高温環境下における泌乳牛のミネラル要求量, 九農試報告, 26, 311-359.
- 5) Kume,S., T.Nishida and M.Kurihara(1997): Effects of prepartum feeding level of hay on blood mineral composition of periparturient cows and newborn calves. *Anim .Sci.Technol. (Jpn.)*, 68, 657-660.
- 6) 久米新一, 乳牛のカリウム代謝, カチオン・アニオンバランスと乳熱予防. 畜産の研究, 52: 798-802, 903-908. 1998.
- 7) 久米新一, 名久井 忠, 野中和久, 大下友子 (2001a):アルファルファの生育による栄養価の変動. 北農, 68, 8-14.
- 8) Kume,S., T.Toharmat, K.Nonaka, T.Oshita, T.Nakui, and J.H.Ternouth.(2001b): Relationships between crude protein and mineral concentrations in alfalfa and value of alfalfa silage as a mineral source for periparturient cows. *Anim. Feed Sci. Tech.*, 93, 157-168.
- 9) Kume,S..(2002): Establishment of profitable dairy farming system on control of methane production in Hokkaido Region. *Greenhouse Gases and Animal Agriculture*. 87-94. Elsevier Science.
- 10) 栗原光規, 久米新一, 相井孝允, 高橋繁男, 柴田正貴, 西田武弘(1995):気候温暖化に対応した乳牛の飼養法. 九農試報告, 29, 21-107.
- 11) 中村正斗, 佐藤義和, 矢用健一, 山田豊, 坂口実, 久米新一(2002):分娩前からのアルファルファサイレージの給与が乳熱発生, 採食量および乳生産に及ぼす影響. 北畜会報, 44, 29-37.
- 12) National Research Council(2001): Nutrient requirements of dairy cattle. 7th. rev. ed. National Academy Press, Washington,D.C.
- 13) 野中和久, 久米新一, 大下友子(2001): 摩砕処理が低水分サイレージのin sacco分解率ならびに消化性に及ぼす影響. 日草誌, 47, 405-411.
- 14) 野中和久, 田鎖直澄, 久米新一, 大下友子(2002a): 代謝実験棟寒冷環境代謝実験室. 北海道農研研究資料, 61, 1-12.
- 15) Nonaka,K., S.Kume and T.Oshita(2002b): Effect of maceration on digestibility and energy content of low-moisture round bale alfalfa silage. *Proc.13th International Silage Conference*, 134-135.
- 16) 農林水産技術会議事務局編(1994) : 日本飼養標準 乳牛 (1944年版) . 農林水産技術会議事務局. 東京.
- 17) 扇 努, 峰崎康裕, 西村和行, 糟谷広高(1998): 乳牛の糞尿量および糞尿窒素量の低減. 栄養生理研究会報, 42, 155-165.
- 18) Shibata, M., F.Terada, K.Iwasaki, M.Kurihara and T.Nishida(1993): Methane production in heifers, sheep and goats consuming diets of various hay-concentrate ratios. *Anim.Sci. Technol.(Jpn.)*, 63, 1221-1227.
- 19) SAS(1988): User's Guide. Statistics. Version 6.03 Edition. SAS Inst., Inc., Cary, NC.