

メン羊におけるプロピオン酸塩添加粗飼料が インシュリン分泌刺激, 飼料の利用性並びに 体脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響

高橋敏能・今村卓広*・堀口健一・萱場猛夫・佐野宏明**

(山形大学農学部畜産学研究室・*キッセイ薬品工業・

**北里大学獣医畜産学部家畜栄養学研究室)

(平成3年9月2日受理)

Effect of Propionate-Supplemented Roughage on Stimulation of Insulin Secretion, Feed Utilization and Fatty Acid Composition of Adipose Tissue in Sheep

Toshiyoshi TAKAHASHI, Takahiro IMAMURA*, Ken-ichi HORIGUCHI,
Takeo KAYABA and Hiroaki SANO**

Laboratory of Zootechnical Science, Faculty of Agriculture,
Yamagata University, Tsuruoka 997, Japan

*Kissei Pharmaceutical Co., LTD., Hotaka 399-83, Japan

**Laboratory of Animal Nutrition, Faculty of Animal Science,
Kitasato University, Towada 034, Japan

(Received September 2, 1991)

Summary

In ruminant animals like cattle and sheep, carbohydrate contained much in fodder is decomposed into volatile fatty acid (VFA) such as acetic, propionic and butyric acids by the fermenting action of microorganism in rumen and VFA is used as main source of energy. It is well known that propionic acid which is produced highly in case of high concentrate ration is concerned with the improvement of feed utilization, the promotion of fatty acid synthesis and the desaturation of fatty acid in adipose tissue. Recently, the action of propionic acid in the interior of body has become interest in case of high roughage ration on the occasion of planning to make the effective utilization of roughage in the fattening of ruminant animal.

This study was conducted to clarify the effect of propionate supplement into various types of roughage on the stimulation of insulin secretion, on the feed utilization and on the fatty acid composition in adipose tissue during fattening in sheep.

1. The experiment was carried out to examine the effect of dietary propionate supplemented to high roughage ration on the feeding value and on the chemical composition in blood plasma and to grope for the most suitable condition of feeding. Two rations of high energy roughage (corn silage) and low energy roughage (grass hay) were used and the ratio of concentrate to roughage was 8:2 as dry matter basis. The fodder was supplemented sodium propionate and calcium propionate in the amount of 75% and 100% of physiological level and fed ad libitum. In case of the feeding of low energy roughage supplemented with 75% Ca propionate, voluntary feed intake was not decreased and insulin secretion

was likely to be stimulated effectively. In grass hay feeding, the most suitable amount of dry matter supplied was $60 \text{ g/BW (kg)}^{0.75}/\text{day}$.

2. The experiment was carried out to examine the effect of 75% Ca propionate supplemented to high roughage ration (grass hay) on the feed utilization and on the desaturation of fatty acids in adipose tissue during fattening in sheep. Propionate supplement did not lead to improve the feed utilization. Insulin secretion was stimulated slightly by propionate supplement and was influenced rather by aging. Fatty acid composition in adipose tissue, however, tended to be desaturated by propionate.

As the result, it is concluded that nutritional and physiological significance of propionate supplementation to high roughage ration was a little because insulin secretion was slight and feed utilization was not improved. Desaturation of fatty acid in adipose tissue was seemed to be proceeded by the supplementation of the propionate.

緒 言

牛やメン羊などの第一胃をもつ反芻動物では、単胃動物とは異なり、粗飼料の繊維性成分を消化する能力が優れている。即ち、第一胃の反芻運動とその中に棲息する細菌やプロトゾアなどの微生物の作用により発酵作用を受ける。この発酵作用によって酢酸、プロピオン酸および酪酸を中心とする揮発性脂肪酸 (VFA) が産生される。この VFA は第一胃から直接吸収され、宿主である反芻動物は主要なエネルギー源として利用している。この事実は飼料の利用および栄養代謝を単胃動物と比較して、特異的なものとしている。例えば、単胃動物では主要なエネルギーを小腸で生成されるグルコースから得ており、このグルコースは直接吸収されるため、澱粉を過剰摂取すると食事性の高血糖がおき易い。単胃動物では、この食事性高血糖に注目され、糖代謝と脂質代謝についての知見も深まった。単胃動物では過剰なグルコースが一時的に吸収されるとインシュリンの分泌を刺激し、これに伴って脂肪酸の合成を促進し、体脂肪の貯蔵・蓄積を促進する。また、インシュリンは、採食後の体脂肪合成時に血中の遊離脂肪酸 (FFA) を低下させ、体脂肪中の中性脂肪の合成を促進する¹⁾。

一方、反芻動物では食事性高血糖がおこり難いことや、インシュリン投与による血糖低下が単胃動物より緩慢であるため、インシュリン感受性は低い²⁾といわれてきた。このため、インシュリンの反芻動物での分泌機序と作用については多くは知られていなかった。しかし、近年反芻動物におけるインシュリンの作用の見直しから VFA とインシュリン分泌から体脂肪蓄積のメカニズムに亘る研究^{3~8)}が進んできた。

反芻動物が摂取した飼料の炭水化物から第一胃内で産

生される VFA のうち、酢酸とプロピオン酸の産生割合は、濃厚飼料と粗飼料の給与比で異なることが知られている。即ち、濃厚飼料多給与時にはプロピオン酸、粗飼料多給与時には酢酸がそれぞれ優先して産生することが広く知られている。それぞれの VFA のうち、酢酸は粗飼料中に多く含まれる繊維性成分、プロピオン酸は穀物などの濃厚飼料中に多く含まれる可溶性糖類が主な発酵基質となっている。酢酸は総 VFA 中 50~80% を占める⁹⁾最も多い VFA であるが、体内へ吸収された後分解されてエネルギーとなる一方で、乳脂肪や肥育時の体脂肪の脂肪酸合成の基質にもなっている。また、門脈血中を通り肝臓に送られたプロピオン酸は糖新生により血液中出现するグルコースの主要な原料となっている。この肝臓での糖新生能力ははっきりしていないが、反芻動物のグルコース濃度は非常にバランスのとれた¹⁰⁾ものとなっている。近年、濃厚飼料多給与時¹¹⁾あるいはプロピオン酸を投与した時^{11~13)}に糖新生を免れたプロピオン酸が血中出现し、インシュリンの分泌が刺激されることが分かった。また、反芻動物におけるグルコースは体脂肪酸合成との関連が薄いという指摘¹⁴⁾と逆に、関連がみられるという指摘^{8,15)}もあり必ずしも明確でない。

元来、牛の肥育などでは経済効率向上のため、即ち、飼料の有効利用や枝肉評価を良くするために種々の飼料給与面での試みがなされてきた。濃厚飼料多給与はこの目的のため、現在最も多くみられる給与形態ではあるが、現在では、濃厚飼料多給与による種々の栄養障害との葛藤を招く状態にも至った。ともあれ、濃厚飼料多給与による増体効率改善や体脂肪酸合成促進からくる肉牛の脂肪交雑出現は、産生するプロピオン酸/酢酸比の上昇¹⁶⁾を伴った応用技術ともいえよう。また最近では、メタン

産生を抑制し、プロピオン酸の産生量を増大させて飼料の利用性を向上させるモノニンやサリノマイシンなどの抗生物質¹⁷⁻¹⁹⁾も飼料添加剤として実際に利用されるようになった。

反芻動物では飼料中に多く含まれる不飽和脂肪酸は、微生物により水素添加されて飽和脂肪酸に変換されるため、牛やメ羊などの体脂肪はステアリン酸を中心とする飽和脂肪酸に富む体脂肪を形成する。これらの飽和脂肪酸を多量に含む肉を人間が摂取すると、動脈硬化症などの疾病の原因になるといわれている。このため、牛などの枝肉の体脂肪は不飽和脂肪酸が多い体脂肪が商品価値が高いとされている。このことに関して、プロピオン酸が反芻動物体脂肪の不飽和化を助長する報告^{20,21)}がされている。

このような研究状況のなかで、元来反芻動物は繊維性成分に富む粗飼料の利用に適応してきた動物であり、そのことが他の動物（家畜）との飼料間の競争を解消するための大きな利点でもあった。今後も反芻動物においては、粗飼料の有効利用を進めていくべきであると考えられる。本研究は、メ羊を供試動物に用いて、粗飼料多給与時にプロピオン酸を添加給与して最適給与条件を模索し、さらに、プロピオン酸を添加給与する肥育試験を行ってプロピオン酸が飼料の利用性と体脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響を検討した。

I. メン羊における各種プロピオン酸塩添加粗飼料が飼料価値と血漿成分に及ぼす影響

先に、著者ら¹¹⁾は濃厚飼料多給与と粗飼料多給与時に、プロピオン酸塩を添加給与して血漿成分に及ぼす影響について比較・検討した。その結果、濃厚飼料多給与時には、プロピオン酸の添加がインシュリン分泌を刺激するようだったが、粗飼料多給与時にはその効果が小さいものであった。この原因に粗飼料の採食スピードの減退が指摘された。

本実験では、これらの明確にできなかった粗飼料多給与時にプロピオン酸塩を添加した時の飼料価値とインシュリン分泌を中心とする血漿成分に及ぼす影響を、高エネルギー粗飼料または低エネルギー粗飼料のいずれかを含む粗飼料を用いて詳細に検討した。

1. 高エネルギー粗飼料給与時におけるプロピオン酸塩添加の影響

材料および方法

1) 供試動物、給与飼料および実験設定方法

平均体重 45 kg の頸動脈ループを作成した去勢雄メ羊 5 頭（サフォーク種）を供試動物とした。給与飼料は、濃厚飼料として市販配合飼料（商品名；ビーフェラックス、日本農産工業株式会社製造）を、高エネルギー粗飼料としてトウモロコシサイレージ（黄熟期刈り取り、切断長 2 cm）を用いた。濃厚飼料と粗飼料の給与比は乾物換算で 2:8 の割合になるように調製した。添加給与するプロピオン酸塩の種類は、ナトリウム塩とカルシウム塩の 2 種類とし、生理学的産生量²²⁾（100%）とその 75% となるように添加した。これらにいずれのプロピオン酸塩も添加しない飼料を対照とした、計 5 種類の処理とした。飼料の給与にあたっては、これらの飼料またはプロピオン酸塩に適量の水を混入し、均一になるまで十分に混合してから給与した。

飼料の給与量は、翌日の残量が給与量の 1 割程度なるように 1 日 1 回午前 9 時半に不断給与し、同時に飲水も自由飲水とした。1 処理の試験期間は 14 日間とし、最初の 9 日間を消化試験のための予備試験期間、後の 5 日間を本試験期間とした。メ羊は個別に代謝ケージに繋留し、舎内温度 18~22℃ で飼育した。メ羊 5 頭と給与飼料の組み合わせは、同じ繰り返しを伴わない 5×5 のラテン方格法に従い実施した。

2) 分析試料の採取方法および分析方法

飼料価値決定のための消化試験は 5 日間の全糞採取法により行い、排泄糞の一定量を風乾後粉碎して室温で保存した。また、同時に 5 日間の全排泄尿量も計量した。第一胃内液の採取を消化試験の本試験開始後 3 日目に行った。第一胃内液の採取は飼料給与後 4 時間後に、メ羊の口からカテーテル（外径；6 mm）を第一胃に挿入し、アスピレーターにより吸引して採取した。採取した第一胃液は 2 重ガーゼで濾過後、分析に供するまで -20℃ で凍結保存した。本試験開始後 4 日目には採血を頸動脈ループを装着したカテーテルから行い、その装着は採血の当日に行った。採血は飼料給与直前、給与後 0.5, 1, 2, 3, 6 および 10 時間の計 7 回実施した。採血用の注射筒は、凝固防止のためヘパリン処理を行い、1 回の採血量を約 20 ml とした。採血後、3.8% クエン酸ナトリウムでカテーテルを洗浄した。血液を 0℃、12,000

Table 1. Chemical component of rations used in the experiments

Ration	Component Moisture (%)	% of dry matter basis							
		C. protein	C. fat	NFE	C. fiber	C. ash	NDF	ADF	Hemicellulose ¹⁾
Concentrate ²⁾	12.2	15.5	5.0	66.4	5.0	7.7	22.5	9.3	13.2
Corn silage ³⁾	75.8	9.8	4.6	59.1	21.2	5.4	64.7	26.2	38.5
Grass hay ³⁾	17.7	8.5	2.9	44.3	36.3	7.9	73.0	46.1	26.9

1) ; Hemicellulose was expressed as the difference from NDF to ADF.

2) ; Concentrate was used formula feed "Beef Deluxe" made by Nihon Nosan Kogyo Co., LTD.

3) ; Roughage was used corn silage for experiment 1 and grass hay for experiment 2, respectively.

rpm の条件下で20分間遠心分離して血漿を分取し、分析に供するまで -20°C で凍結保存した。また、採血と同時に採食量と飲水量の経時変化を調査した。

消化率算定のための飼料と糞の一般成分は常法²³⁾により測定した。繊維性成分のうち中性デタージェント繊維 (NDF) と酸性デタージェント繊維 (ADF) は VAN SOEST and WINE の方法²⁴⁾ によって定量し、セルロースは NDF から ADF を差し引いた成分とした。

飼料、糞および尿中のナトリウムとカルシウムを定量して、見かけの吸収量と出納量を求めた。その際、飼料と糞の前処理は乾式灰化法により行った。尿はそのまま蒸留水で 10 ppm 程度になるように希釈して、ナトリウムは炎光法、カルシウムは原子吸光法によりそれぞれ測定した。

第一胃内液は VFA の測定に供した。即ち、第一胃内液 5 ml に触媒として 20% MgSO_4 5 ml, 50% H_2SO_4 2.5 ml を加え、水蒸気蒸留を行い蒸留液を約 150 ml 採取した。1/10 N NaOH で滴定し、更に 0.5 ml 加えた後 90°C で蒸発乾固した。VFA の分離・定量は VFA のナトリウム塩をリン酸数滴で溶解させよく混合した後、ガスクロマトグラフィー (日立 F-6 D) に $0.6\mu\text{l}$ 注入して行った。その際、Di-(2-ethyl hexyl) Phthalate (DOP) と Diethylene Glycol Succinate (DEGS) + リン酸 (15+2%) を充填したステンレス製カラム (1 m \times 2 本) を用い、カラム温度は 125°C 、注入部は 210°C とし、検出には FID 検出器を用い 250°C の設定温度にした。キャリアガスには窒素ガスを用い、流速を 50 ml/分とした。チャートスピードは 1.0 cm/分とした。また、各 VFA の補正係数は酢酸、プロピオン酸および酪酸の 0.1 mol 溶液を調製し、3つの VFA を適宜混合した数種の VFA 液のチャートから算出した²⁵⁾。その結果、酢酸 1.000、プロピオン酸 0.712、酪酸 0.545 の補正係数が得られ、試料

の面積比とこの補正係数から濃度を補正して mol% を求めた。

血漿成分は、FFA、グルコース、インシュリンおよび VFA 濃度について測定した。そのうち、FFA は NEFA-テストワコー (和光純薬工業株式会社製造)、グルコースはグルコース-テストワコー (和光純薬工業株式会社製造) のキットを用いた測定した。インシュリンは栄研化学株式会社のキットを用いたラジオイミュノアッセイで行った。血漿中 VFA の測定は第一胃内液と同様に行った。即ち、血漿 3 ml, 純水約 100 ml, 20% MgSO_4 10 ml, 20% H_2SO_4 2 ml を 300 ml ケルダールフラスコにこの順序で入れ、直接蒸留を行った。蒸留液は約 100 ml 分取した。蒸留液に窒素ガスを吹き込み、空気を遮断して 1/50 N の NaOH で滴定した。更に、1/50 N の NaOH 約 1 ml 加えた後、 90°C で蒸発乾固し、リン酸 1~2 滴で溶解させ、よく混和後、ガスクロマトグラフィーに $0.6\mu\text{l}$ を注入した。ガスクロマトグラフィーによる測定条件は第一胃内液の VFA 測定時と全く同様に行った。

3) データの評価

実験の結果得られたデータはラテン方格法に従って分散分析を行った。その結果、F 検定で 5% 水準で有意差が認められた場合、特定の処理間の組み合わせを比較するために DUNCAN の多重検定を SAS²⁶⁾ を使用して行った。

結 果

表 1 に本実験に供試した飼料と、後述の実験 2 の低エネルギー粗飼料として供試した牧乾草中の一般成分並びに繊維性成分の分析結果を示した。トウモロコシサイレージでは可溶無窒素物 (NFE) とヘミセルロースの易発酵性炭水化物が多く、牧乾草では NDF と ADF の難消化性炭水化物が多かった。

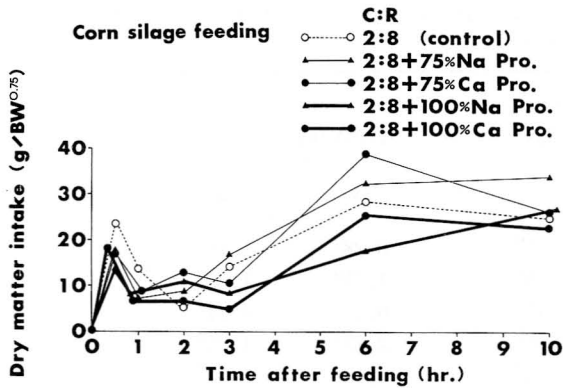


Fig. 1. Changes in voluntary feed intake.

乾物摂取量の経時変化を図1に示した。いずれの飼料とも、給与後0.5時間と3時間以降に摂取量の上昇が現れる二相性の変化を示した。採食量調査時間の10時間で1日の採食量の7割以上が採食されており、プロピオン酸添加給与は採食パターンに影響を及ぼさないと判断した。表2に1日当たりの乾物摂取量、飲水量および排泄

尿量を示した。その結果、乾物摂取量は100%プロピオン酸カルシウム添加飼料において低い結果となったものの、無添加飼料とプロピオン酸塩飼料との間に有意差は認められなかった。これらのことから、高エネルギー粗飼料であるトウモロコシサイレージに生理学的産生量²²⁾のプロピオン酸塩添加は飼料の嗜好性には影響を及ぼさないと判断された。飲水量と排泄尿量では、プロピオン酸ナトリウム添加飼料において有意に高かった。乾物と繊維性成分(NDF, ADFおよびセルロース)の消化率の比較(表3)では、いずれの成分の消化率もプロピオン酸塩添加飼料と無添加飼料の間に有意な差は認められなかった。

これらの結果より、トウモロコシサイレージのような高エネルギー粗飼料では、生理学的産生量²²⁾以下のプロピオン酸塩の添加が飼料の嗜好性と栄養価に与える影響は少ないものと思われる。

表4にナトリウムとカルシウムの見かけの吸収量と出納量を示した。ナトリウム塩を添加給与した時のナトリウムの見かけの吸収量と出納量は有意に増加するもの

Table 2. Comparison of dry matter intake (DMI), water intake and urine excretion with corn silage feeding.

Treatment	Item	DMI (g/BW (kg) ^{0.75} /day)	Water intake (ml/BW (kg) ^{0.75} /day)	Urine excretion (ml/BW (kg) ^{0.75} /day)
Control		64.8 ^{AB1)}	270 ^B	524 ^B
+75% Na propionate		70.2 ^A	357 ^A	965 ^A
+75% Ca propionate		71.2 ^A	266 ^B	404 ^B
+100% Na propionate		70.1 ^A	386 ^A	1,098 ^A
+100% Ca propionate		46.5 ^B	193 ^C	391 ^B

1) ; Means without common superscripts are significantly different at the 0.05 probability level.

Table 3. Comparison of digestibilities of dry matter (DMD) and fibrous components with corn silage feeding.

Treatment	Item	DMD (%)	NDF (%)	ADF (%)	Hemicellulose (%)
Control		68.9 ^{AB1)}	69.8	57.5	78.5
+75% Na propionate		70.7 ^{AB}	66.3	53.6	75.3
+75% Ca propionate		64.0 ^B	64.9	50.3	76.1
+100% Na propionate		72.0 ^A	65.7	53.3	74.8
+100% Ca propionate		69.3 ^{AB}	69.8	57.3	78.7

1) ; See note to Table 2.

Table 4. Comparison of apparent absorption and retention of sodium and calcium with corn silage feeding.

Treatment	Item	Apparent absorption (g/BW (kg) ^{0.75} /day)		Retention (g/BW (kg) ^{0.75} /day)	
		Na	Ca	Na	Ca
Control		0.36 ^{C1)}	1.16 ^B	0.28 ^C	1.15 ^B
+75% Na propionate		7.67 ^{B0}	1.24 ^B	1.75 ^B	1.23 ^B
+75% Ca propionate		0.38 ^C	6.45 ^A	0.25 ^C	6.44 ^A
+100% Na propionate		9.77 ^A	1.06 ^B	2.83 ^A	1.05 ^B
+100% Ca propionate		0.20 ^C	5.25 ^A	0.13 ^C	5.24 ^A

1) ; See note to Table 2.

Table 5. Comparison of VFA concentration in rumen liquor at 4 hours after feeding with corn silage feeding.

Treatment	VFA	Acetic acid (mol %)	Propionic acid (mol %)	Butyric acid (mol %)
Control		55.3	30.9 ^{B1)}	13.8
+75% Na propionate		38.0	44.9 ^A	17.1
+75% Ca propionate		42.7	43.4 ^A	13.9
+100% Na propionate		47.0	41.4 ^A	11.6
+100% Ca propionate		42.0	43.4 ^A	14.6

1) ; See note to Table 2.

の、吸収量の増加割合に比べて出納量の増加割合が小さく、吸収されたナトリウムは尿から多量に排泄されていることが示された。一方、プロピオン酸カルシウム塩を添加給与した時のカルシウムの見かけの吸収量と出納量は有意に多くなっていたが、吸収量と出納量の増加割合はほぼ同量だったことから、吸収されたカルシウムは殆ど体内に保留されていることが窺われた。

採食4時間後の第一胃内液のVFA組成(mol%)の比較を表5に示した。無添加飼料は酢酸の割合が高く、プロピオン酸塩添加飼料を給与した時はプロピオン酸の割合が高かった。この結果から、添加給与されたプロピオン酸塩の効果が第一胃内液のVFA組成に反映していたが、75%と100%の添加量の違いによるプロピオン酸濃度の差異は明らかでなかった。

血漿成分の採食に伴う変化のうち、FFAを図2、グルコースを図3、インシュリンを図4およびVFA(酢酸、プロピオン酸および酪酸)を図5~図7にそれぞれ示した。FFA濃度では、いずれの給与飼料とも給与後

30分で急激に減少しており、給与後10時間まではほぼ一定の濃度で推移していた。それぞれの給与飼料間を比較すると大きな差異はみられなかった。グルコース濃度では、無添加飼料で、給与後1時間で若干減少がみられたが、プロピオン酸塩添加飼料では給与後2時間まで殆ど変化がなかった。給与後3時間以降では、100%のナトリウム塩を添加した飼料を除いて、ほぼ一定の濃度で推移していた。血漿中インシュリン濃度では、75%プロピオン酸塩添加飼料で無添加飼料より高く推移する傾向であったが、100%添加飼料では無添加飼料より低調に推移しており、プロピオン酸塩添加量とは比例しなかった。血漿中VFAのうち、酢酸濃度は給与後6時間までいずれのプロピオン酸塩添加飼料とも無添加飼料より低く推移する傾向を示した。血漿中プロピオン酸濃度では、給与後30分でいずれのプロピオン酸塩添加飼料が無添加飼料より高かった。しかし、その後いずれの飼料間にも明らかな差異がなく、プロピオン酸添加量と血漿中プロピオン酸濃度の間には必ずしも比例関係が認められないで推

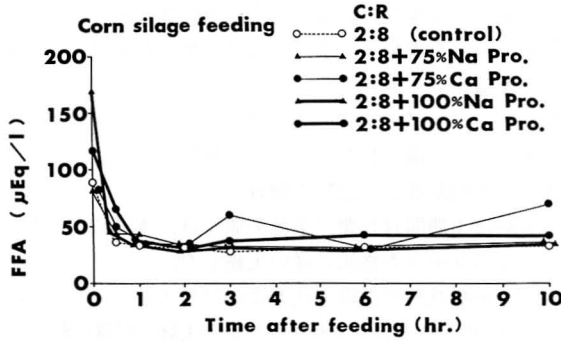


Fig. 2. Changes in concentrations of free fatty acids in blood plasma in response to feeding.

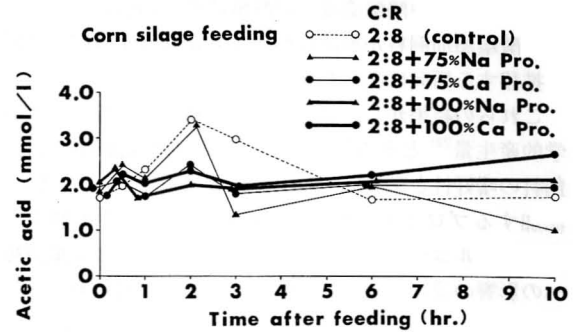


Fig. 5. Changes in concentrations of acetic acid in blood plasma in response to feeding.

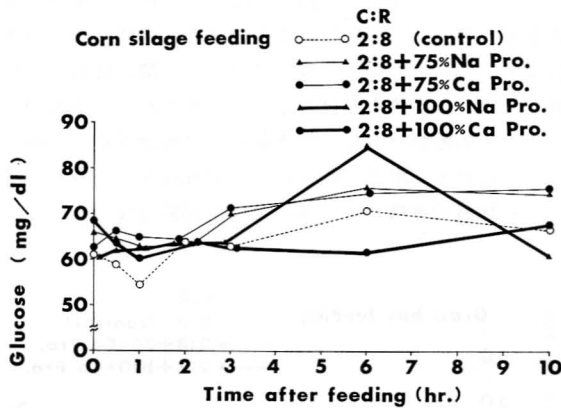


Fig. 3. Changes in concentrations of glucose in blood plasma in response to feeding.

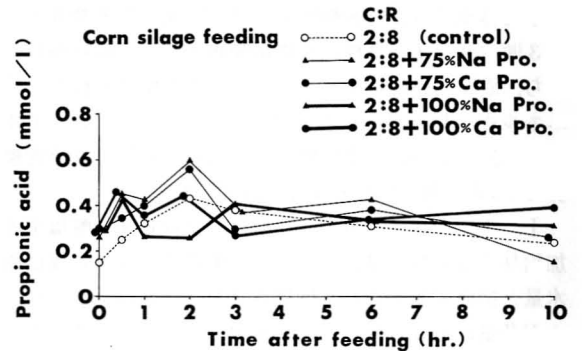


Fig. 6. Changes in concentrations of propionic acid in blood plasma in response to feeding.

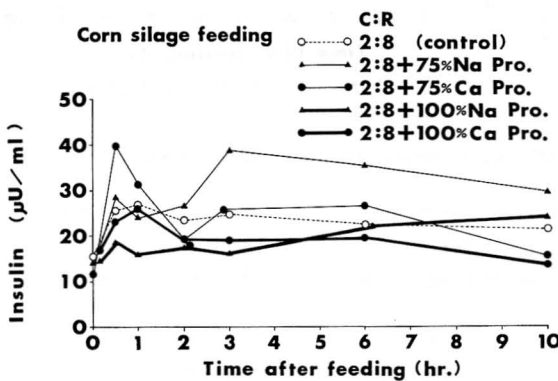


Fig. 4. Changes in concentrations of insulin in blood plasma in response to feeding.

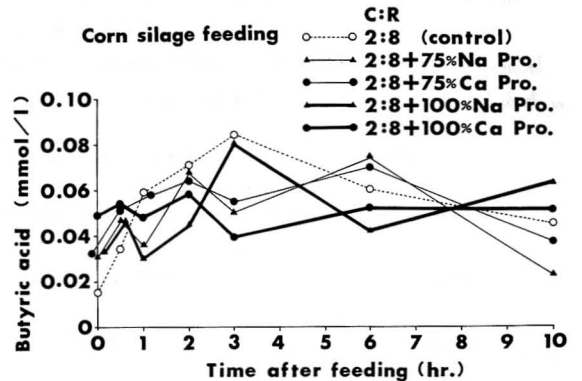


Fig. 7. Changes in concentrations of butyric acid in blood plasma in response to feeding.

移した。血漿中酪酸濃度では酢酸濃度と同様に、プロピオン酸塩添加飼料が無添加飼料より給与後1時間以降低く推移する傾向にあった。

これらの結果から、高エネルギー粗飼料給与下で生理学的産生量²²⁾とその75%のプロピオン酸塩添加給与は、飼料の嗜好性と栄養価に与える影響は少なかった。また、添加するプロピオン酸塩の濃度の違いによる血漿中のFFA、グルコース、インシュリン及びプロピオン酸濃度への影響の違いについては明らかな結果が得られなかった。

2. 低エネルギー粗飼料給与時におけるプロピオン酸塩添加の影響

材料および方法

1) 供試動物、給与飼料および実験設定方法

平均体重 45 kg の頸動脈ループを作成した去勢雄メン羊3頭（サフォーク種）を供試動物とした。給与飼料のうち、濃厚飼料にはI. 1. と同じ市販配合飼料を、低エネルギー粗飼料には牧乾草（北海道産；チモシー主体1番草）を用いた。濃厚飼料と粗飼料の給与比は乾物換算で2:8の割合になるように調製した。

I. 1. の高エネルギー粗飼料にプロピオン酸塩を添加給与する実験では、プロピオン酸のナトリウム塩は飲水量と排泄尿量を著しく増加させた。これは、ナトリウムが多量に吸収されたために血中のナトリウム濃度のバランスが崩れ浸透圧が上昇し、それに対する抗利尿ホルモン（ADH）の放出により起きた²⁷⁾ものと考えられた。本研究の目的は、プロピオン酸添加粗飼料給与による反芻家畜の肥育をも考慮した、最適条件を模索することである。従って、ナトリウム塩添加給与による飲水量と排泄尿量の著しい増加は、肥育への実用上の利用には問題があると思われる。そこで、本実験ではナトリウム塩を

取り止め、カルシウム塩だけを添加給与した。

給与飼料を調製する際には濃厚飼料、粗飼料、プロピオン酸塩をよく混合した。その際、プロピオン酸塩が飼料に均一に付着するように牧乾草 1 kg 当たり水 400 ml を加えてよく混合した。メン羊は個別に代謝ケージに繋留し、舎内温度18~22℃で飼育した。

実験は1期間14日間（予備期間9日、本期間5日）の3×3のラテン方格法に従い実施した。

2) 分析試料の採取方法および分析方法

I. 1. のトウモロコシサイレージの実験と同様に行った。

結 果

乾物摂取量の経時変化を図8に示した。いずれの飼料とも、給与後30分と3時間以降に摂取量の上昇がみられ、トウモロコシサイレージ給与の場合と同様に二相性の変化を示した。また、採食量調査時間の10時間で1日の採食量の7割以上が採食され、プロピオン酸添加給与は採食パターンに影響を及ぼさないと判断された。表6の1日当たりの乾物摂取量、飲水量および排泄尿量の比較では、プロピオン酸添加給与による増減はなく、飼料の嗜好性や体液の無機バランスに及ぼす影響はないものと思

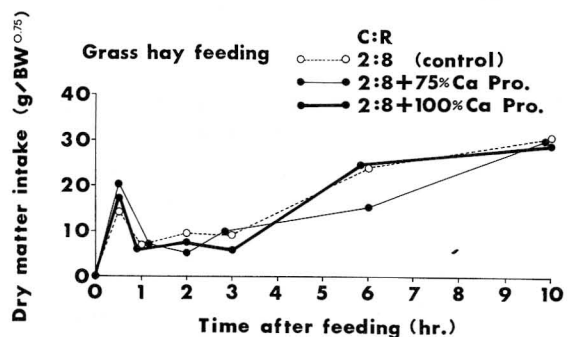


Fig. 8. Changes in voluntary feed intake.

Table 6. Comparison of dry matter intake (DMI), water intake and urine excretion with grass hay feeding.

Treatment	Item	DMI (g/BW (kg) ^{0.75} /day)	Water intake (ml/BW (kg) ^{0.75} /day)	Urine excretion (ml/BW (kg) ^{0.75} /day)
Control		60.8 ¹⁾	187	293
+75% Ca propionate		59.3	188	293
+100% Ca propionate		58.0	293	231

1) ; See note to Table 2.

われた。乾物と繊維性成分の消化率の比較(表7)では、NDFとセルロースの比較的易消化性の繊維性成分では有意差がなかった。しかし、乾物と比較的難消化性の繊維性成分であるADFの消化率で、プロピオン酸塩を添加給与すると有意に低下した。

採食4時間後の第一胃内液のVFA組成(mol%)の比較を表8に示した。無添加飼料の酢酸の割合は100%プロピオン酸塩添加飼料より有意に高く、プロピオン酸の

割合はプロピオン酸塩添加飼料を給与した時有意に高かった。これらの結果から、添加給与されたプロピオン酸塩が直接第一胃内液のVFA組成に影響を及ぼしているものと思われた。

血漿成分の採食に伴う変化のうち、FFAを図9、グルコースを図10、インシュリンを図11およびVFA(酢酸、プロピオン酸および酪酸)を図12~図14にそれぞれ示した。血漿中FFA濃度は給与後1時間で急激に減少

Table 7. Comparison of digestibilities of dry matter (DMD) and fibrous components with grass hay feeding.

Treatment	Item	DMD (%)	NDF (%)	ADF (%)	Hemicellulose (%)
Control		61.2 ^{A1)}	59.2	56.6 ^A	63.4
+75% Ca propionate		56.9 ^B	54.8	51.4 ^B	60.3
+100% Ca propionate		56.3 ^B	53.4	52.0 ^B	55.6

1); See note to Table 2.

Table 8. Comparison of VFA concentration in rumen liquor at 4 hours after feeding with grass hay feeding.

Treatment	VFA	Acetic acid (mol %)	Propionic acid (mol %)	Butyric acid (mol %)
Control		59.0 ^{A1)}	30.0 ^B	11.0
+75% Ca propionate		40.7 ^{AB}	42.6 ^A	16.7
+100% Ca propionate		37.1 ^B	47.7 ^A	15.2

1); See note to Table 2.

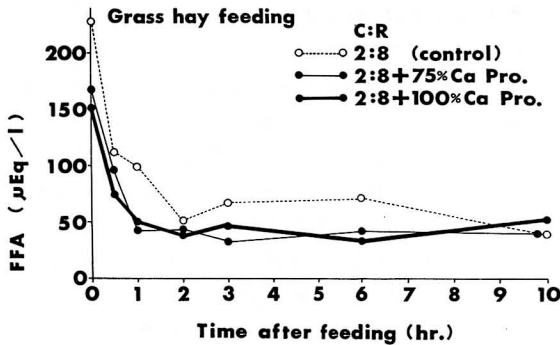


Fig. 9. Changes in concentrations of free fatty acids in blood plasma in response to feeding.

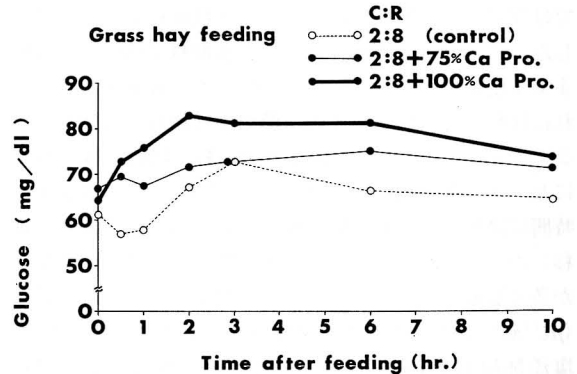


Fig. 10. Changes in concentrations of glucose in blood plasma in response to feeding.

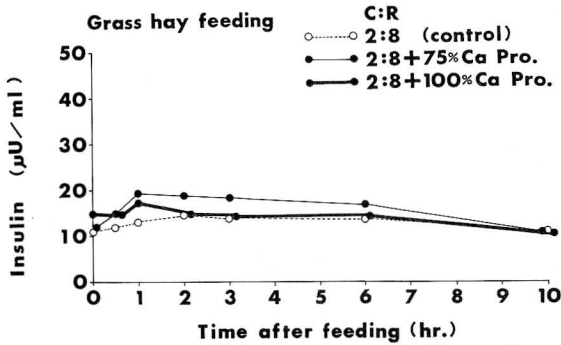


Fig. 11. Changes in concentrations of insulin in blood plasma in response to feeding.

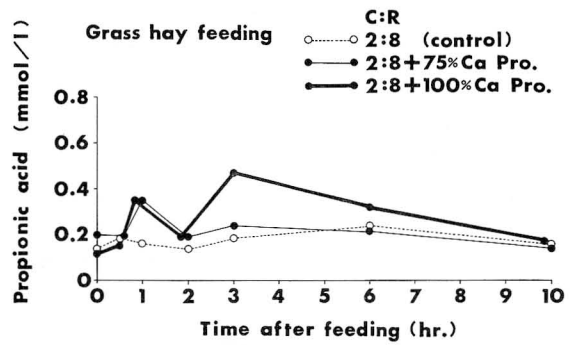


Fig. 13. Changes in concentrations of propionic acid in blood plasma in response to feeding.

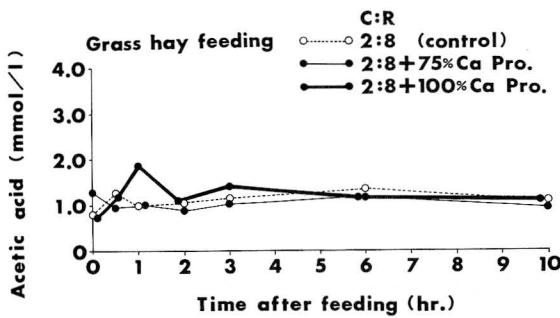


Fig. 12. Changes in concentrations of acetic acid in blood plasma in response to feeding.

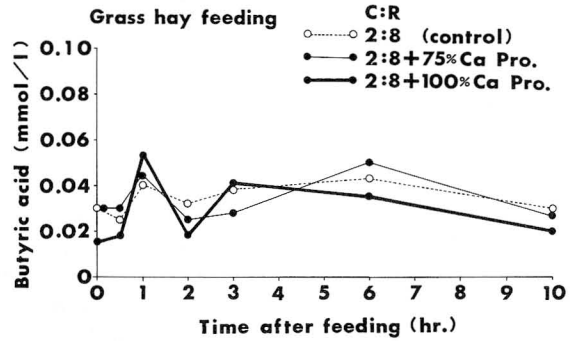


Fig. 14. Changes in concentrations of butyric acid in blood plasma in response to feeding.

しており、以降給与後10時間までほぼ一定の濃度で推移した。1. のトウモロコシサイレージの実験では、プロピオン酸塩添加給与の影響はみられなかったが、本実験ではプロピオン酸塩添加給与で無添加飼料より低く推移した。グルコース濃度では、無添加飼料は給与後3時間まで1度減少し(給与0.5時間後)、その後上昇した。それに比較して75%プロピオン酸塩添加飼料はほぼ変化がなく、100%プロピオン酸塩添加飼料では給与後2時間にピーク(82.9 mg/dl)となるまで上昇した。給与後3時間以降ではいずれの給与飼料ともほぼ一定の濃度で推移した。その濃度は、プロピオン酸カルシウムの添加量が多くなるに従って高かった。血漿中インシュリン濃度($\mu\text{U/ml}$)では、給与後1時間後に、75%プロピオン酸塩添加飼料が19.2、100%プロピオン酸塩添加飼料が17.2であった。無添加飼料が10.7~11.7と殆ど変化していなかったのに比較して、プロピオン酸塩添加がイン

シュリン分泌を刺激するようであった。75%添加が100%添加を上回って推移した結果は、1. のトウモロコシサイレージ給与の場合と同様であった。血漿中VFAのうち、酢酸濃度では100%プロピオン酸塩添加飼料が給与後1時間に若干の上昇がみられた。しかし、無添加飼料と75%プロピオン酸塩添加飼料は変化がみられず、濃度の推移も殆ど一定だった。実験1. のトウモロコシサイレージ給与時に比較すると全体に濃度が低調であった。血漿中プロピオン酸濃度は、給与1時間後にはいずれのプロピオン酸塩添加飼料においても上昇した。また、100%プロピオン酸塩添加飼料はその後一旦下降後、3時間後に再び上昇した。無添加飼料は0.2 mmol/lのほぼ一定の低濃度で推移した。血漿中酪酸濃度は、給与1時間後いずれの給与飼料においても上昇し、以降一旦下降する傾向を示したが、大きな変化は認められなかった。給与飼料間の差は明らかでなかった。

これらの結果から、低エネルギー粗飼料に生理学的産生量²²⁾とその75%のプロピオン酸塩を添加して給与した時は、血漿中インシュリン濃度の上昇とFFA濃度の下降及びグルコースとプロピオン酸濃度の上昇の相互関係が判然としていた。

考 察

本実験では、高エネルギー粗飼料と低エネルギー粗飼料のいずれにおいても生理学的産生量以下のプロピオン酸塩を添加して給与した時は飼料の嗜好性に影響を与えないようであった。その結果、両飼料とも最適乾物給与量は約60g/体重(kg)^{0.75}/日と思われた。一方、消化試験の結果、プロピオン酸塩添加は高エネルギー粗飼料では繊維性成分の消化率に影響を与えなかったが、低エネルギー粗飼料ではセルロースなどの難消化性繊維性成分からなるADF消化率の低下と、それが原因と思われる乾物消化率の低下が認められた。この繊維性成分の消化率の低下は、著者らが行った既報¹¹⁾と同じ結果だった。この原因にはおそらく、プロピオン酸のカルシウム塩が第一胃内液の浸透圧の上昇により繊維性成分分解菌の活動が純った²⁸⁾ため消化率が低下したのであろう。

次に、血漿中成分では高エネルギー粗飼料と低エネルギー粗飼料の違いによる反応の差がみられた。即ち、高エネルギー粗飼料を給与した時には、個体の差も考慮する必要もあるが、プロピオン酸塩の添加量の違いが必ずしも血漿中インシュリン、FFA、グルコース及びプロピオン酸濃度の違いとなって反映されることなく、全体としてその添加効果が認められないと判断した。一方、低エネルギー粗飼料を給与したときの血漿中インシュリンとプロピオン酸濃度は無添加飼料を給与したときは殆ど変化がなかったが、プロピオン酸塩を給与した時はレベルが低いながらも上昇しており、インシュリンの上昇とFFAの下降、グルコース及びプロピオン酸濃度の上昇がみられ、プロピオン酸塩添加の影響が現れたと考えてよいと思われた。この反応の違いは基礎飼料の成分の違いが原因として考えられる。つまり、トウモロコシサイレージなどの高エネルギー粗飼料には低エネルギー粗飼料より可溶無窒素物(NFE)を多く含むため、第一胃内でのプロピオン酸産生量が多いため、本実験のプロピオン酸塩の添加量と採食スピードでは添加の影響がはっきり出現しなかったのであろう。逆に、乾草などの低エネルギー粗飼料では、基質からのプロピオン酸産生量が少ないため、プロピオン酸塩添加の影響が出たのであろう。

本実験から、高エネルギー粗飼料と低エネルギー粗飼料にプロピオン酸塩を添加給与して長期にわたる肥育試験を行った場合、両粗飼料とも嗜好性には影響を与えないものの、低エネルギー粗飼料を用いた時のほうがインシュリン分泌刺激効果がで易いと思われた。また、75%添加が100%添加より若干高くインシュリン濃度が推移する傾向にあったことから、添加量は75%添加でよいと判断した。

II. メン羊の肥育時におけるプロピオン酸塩添加粗飼料が飼料の利用性と体脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響

I. の実験の結果、低エネルギー粗飼料にプロピオン酸塩を長期に亘って添加給与すると肥育効果が期待できた。これを受けて、肥育試験を試みた。

本実験では大きくわけて二つのことを検討した。一つには飼料の利用性やインシュリンレベルへの影響のついて検討した。即ち、長期の給与試験により短期間では示されない増体量や飼料要求率の改善効果とインシュリン分泌などの肥育に伴う変化について新たな知見を期待した。もう一つは、プロピオン酸添加給与による体脂肪酸の不飽和化の検討である。

以下、加齢のことなる二つのグループについて実験を実施した。

1. プロピオン酸塩添加給与による飼料の利用性への影響

材料および方法

1) 供試動物、給与飼料および実験設定方法

試験開始時22ヶ月齢の去勢メン羊3頭(明け2才、平均体重49kg)と試験開始時10ヶ月齢の去勢メン羊3頭(当才、平均体重27kg)の計6頭を供試動物とした。

給与飼料のうち、低エネルギー粗飼料には牧乾草(北海道産;チモシー主体1番草)を用いた。I. の実験の結果、濃厚飼料(ビーフデラックス)と粗飼料の給与比が2:8で最適乾物給与量と思われた60g/体重(kg)^{0.75}/日の結果から日本飼養標準²⁹⁾に基づいて可消化養分総量(TDN)給与量を算出すると、37.4g/体重(kg)^{0.75}/日に相当した。このとき、可消化粗蛋白質(DCP)量の給与量は成長に必要な養分量³⁰⁾に満たなかった。そこで、濃厚飼料には高蛋白質飼料である子牛用の配合飼料(商品名;ハイカーフ、日本農産工業株式会社製造)

を用いて、成長に必要な DCP 量を満たすようにした。添加給与するプロピオン酸塩はカルシウム塩を用い、添加量は生理学的産生量²²⁾の75%とし、給与 TDN 量も 37.4 g/体重(kg)^{0.75}/日に統一した。

給餌は1日1回全量を午前9時半に行った。給与飼料を調製する際には、濃厚飼料、粗飼料、プロピオン酸塩を適量の水を混入し十分に混合した。また、飲水と鉱塩を自由摂取とした。

試験期間は108日間を1期間とし、その後飼料を変換し、合わせて2期間実施した。その際、6頭のメン羊を月齢別に2つのグループに分けて、それぞれのグループに2つの飼料を給与した。飼料給与の順序は明け2オグループがプロピオン酸添加飼料から無添加飼料に、当オグループに無添加飼料からプロピオン酸塩添加飼料にそ

れぞれ変換して給与した。18日間毎に体重を測定して飼料の給与量を調整した。メン羊は個別に代謝ケージに繋留し、舎内温度16~24℃で飼育した。

メン羊3頭ずつと飼料の組み合わせは、同じ繰り返しを伴わない2×2のラテン方格法に従って行った。

2) 分析試料の採取方法および分析方法

TDN の実測値を求めるための消化試験は、それぞれの期間の最終の週に5日間の全糞採取法により実施した。VFA 測定ため第一胃内液の採取は、消化試験終了日の給与4時間後に行った。採取法は、I. 1. と同様に行った。採血は、ヘパリン処理した注射筒で18日間毎に飼料給与直前と給与6時間後に頸静脈から行った。

分析試料の調製法および分析方法は、I. 1. と全く同様に行った。

Table 9. Chemical composition of rations used in the experiments.

Ration	Component	Moisture (%)	C. protein (%)	C. fat (%)	NFE (%)	C. fiber (%)	C. ash (%)
Concentrate ¹⁾		11.2	21.2	4.6	54.2	3.6	5.3
Grass hay		12.5	6.9	2.1	32.7	37.5	8.3

1) ; Concentrate (High Calf) was purchased from Nihon Nosan Kogyo Co., LTD.

Table 10. Comparison of digestibilities and total digestible nutrients (TDN).

Item	Animal	No. 1~No. 3 ¹⁾		No. 4~No. 6 ¹⁾	
		First period (+ Propionate)	Second period (Control)	First period (Control)	Second period (+ Propionate)
Digestibility (%)					
Dry matter		68.7 ^{Aa2)}	67.5 ^{Ba}	69.0 ^{Bb}	60.1 ^{Ab}
C. protein		63.7 ^A	67.6 ^B	64.4 ^B	54.6 ^A
C. fat		71.1	77.0	73.1	76.0
NFE		80.4	68.3	72.8	68.7
C. fiber		74.0 ^{Aa}	69.6 ^{Ba}	75.4 ^{Bb}	58.1 ^{Ab}
TDN (%)		60.9 ^A	65.4 ^B	65.4 ^B	51.8 ^A
TDN intake (g/BW (kg) ^{0.75} /day)		33.9 ^{Aa}	38.3 ^{Ba}	32.2 ^{Bb}	27.8 ^{Ab}

1) ; No. 1~No. 3 animals were 22 months old and No. 4~No. 6 animals were 10 months old at initial stage of experiment.

2) ; Means with the same capital superscript letters among feedings and with the same small superscript letters among ages are not significantly different at 0.05 probability level. Means without superscript among feedings and ages are not significantly different at 0.05 probability level.

Table 11. Comparison of feed utilization.

Item	Animal	No. 1~No. 3 ¹⁾		No. 4~No. 6 ¹⁾	
		First period (+Propionate)	Second period (Control)	First period (Control)	Second period (+Propionate)
Initial body weight (kg)		49.8	56.8	32.6	38.6
Daily gain (g)		86.1 ²⁾	115.1	59.0	72.1
Feed conversion ratio (DM)		14.0	15.1	12.3	13.8
Feed conversion ratio (TDN)		7.7	8.0	6.8	7.1

1), 2) ; See notes to Table 10.

Table 12. Comparison of VFA concentration in rumen liquor at 4 hours after feeding.

Item	Animal	No. 1~No. 3 ¹⁾		No. 4~No. 6 ¹⁾	
		First period (+Propionate)	Second period (Control)	First period (Control)	Second period (+Propionate)
Acetic acid (mol %)		57.8 ^{A2)}	64.7 ^B	68.3 ^B	60.5 ^A
Propionic acid (mol %)		35.3 ^A	23.5 ^B	24.1 ^B	33.8 ^A
Butyric acid (mol %)		6.9	9.8	7.6	5.7

1), 2) ; See notes Table 10.

結 果

給与飼料の一般成分を表9に示した。粗蛋白質は21.2%とI. 1. で供試した飼料より5.7%高かった。表10に各成分消化率とTDN含量を示した。消化率では、プロピオン酸塩添加により乾物、粗蛋白質および粗繊維の各成分について有意に低下した。また、月齢別の比較では、乾物と粗繊維消化率において当才に低下がみられた。特に、当才にプロピオン酸塩を添加した場合、粗繊維消化率の低下が顕著だった。その結果、プロピオン酸塩添加によりTND含量が有意に低下した。また、TDN摂取量(g/体重(kg)^{0.75}/日)のうち、明けに2才の無添加飼料で計算値の37.4と同水準だったが、他の飼料ではいずれも計算値を下回った。特に、当才にプロピオン酸塩を添加した場合27.8と計算値の74%に留まった。

試験期間中の飼料の利用性の比較を表11に示した。一日増体量、乾物およびTDNの飼料要求率とも飼料間と月齢間に有意差がなかった。しかし、乾物の飼料要求率ではプロピオン酸塩添加飼料が劣っている傾向だったが、プロピオン酸塩を添加することによりTDN含量が

低下したことにより、TDNの飼料要求率では試験区間の差が縮まった。

給与4時間後の第一胃内液のVFA組成の比較を表12に示した。プロピオン酸塩添加飼料を給与した時、酢酸

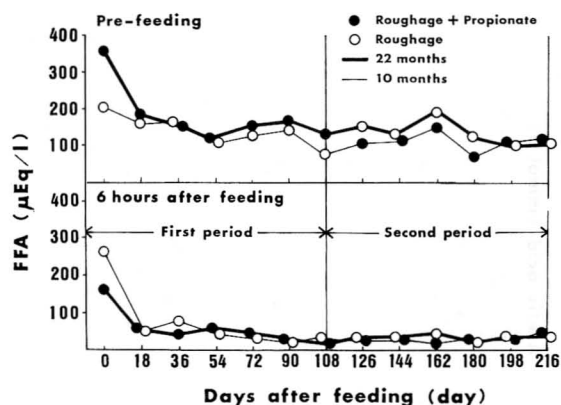


Fig. 15. Changes in concentrations of free fatty acid in blood plasma in response to fattening.

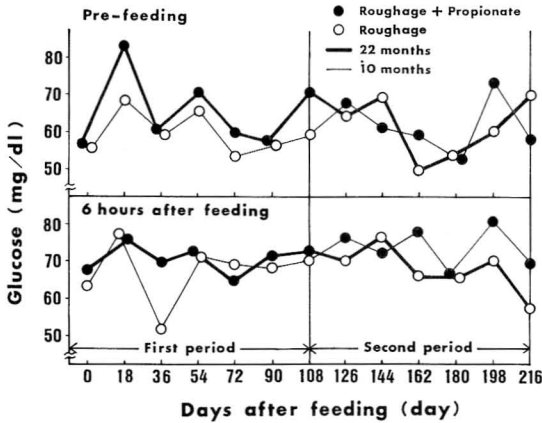


Fig. 16. Changes in concentrations of glucose in blood plasma in response to fattening.

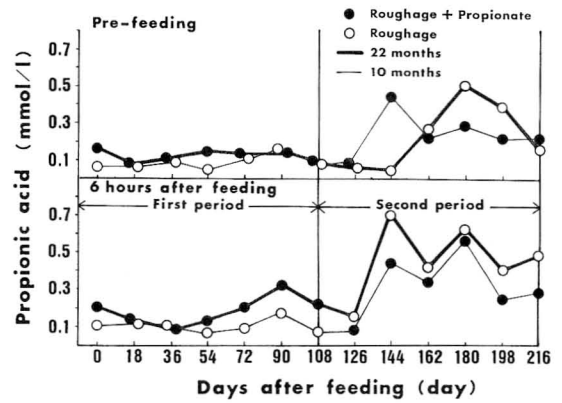


Fig. 19. Changes in concentrations of propionic acid in blood plasma in response to fattening.

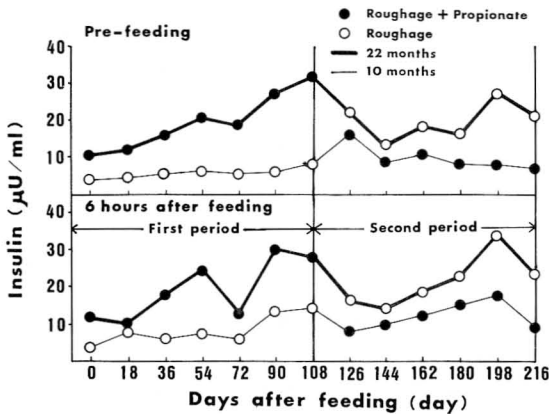


Fig. 17. Changes in concentrations of insulin in blood plasma in response to fattening.

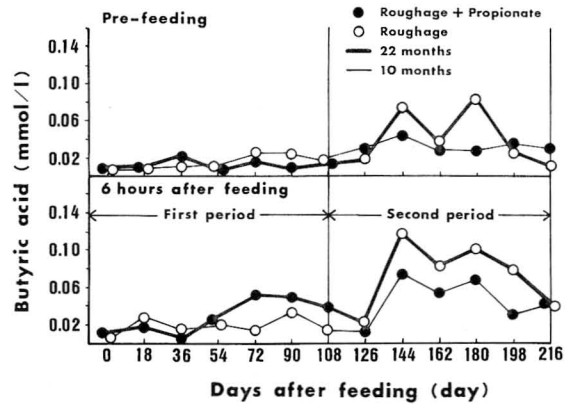


Fig. 20. Changes in concentrations of butyric acid in blood plasma in response to fattening.

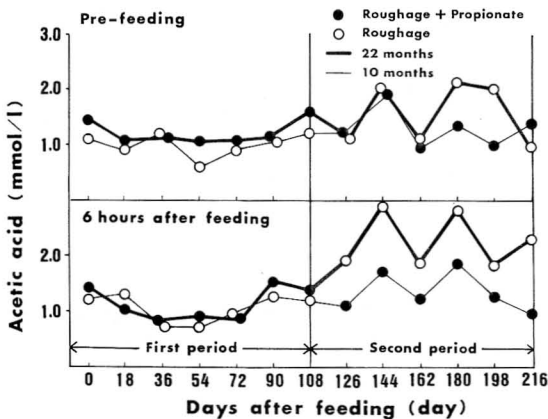


Fig. 18. Changes in concentrations of acetic acid in blood plasma in response to fattening.

が低下しプロピオン酸が上昇した ($P < 0.01$)。明けに2才と当才と月齢別間の比較ではいずれのVFA組成でも有意差が認められなかった。

血漿成分の肥育に伴う変化のうち、FFAを図15、グルコースを図16、インシュリンを図17およびVFA(酢酸、プロピオン酸および酪酸)を図18~図20にそれぞれ示した。上図に給与直前、下図に給与6時間後の濃度を示した。血漿中FFA濃度は採食前、採食後ともに、飼料給与間と月齢別間に有意な差はみられなかった。採食前、採食後とも試験開始時を除いて、同じ濃度で推移し、また飼料変換後も同じ濃度で推移した。採食前と採食後の比較では、採食によるFFA濃度の減少が分かる。血

漿中グルコース濃度の比較では、プロピオン酸塩添加飼料給与により若干高く推移する傾向がみられたが、採食前、採食後ともに飼料間および月齢別間に有意な着はなかった。血漿中インシュリン濃度の比較では、採食前と採食後とも明けに2才(22ヶ月齢)のグループが高く推移しており、月齢別間に有意差がみられた。しかし、プロピオン酸塩添加給与による影響はなかった。血漿中VFA濃度のうち、酢酸については採食前では飼料間と月齢別間に有意な差はみられなかった。採食後では、明け2才のグループが飼料変換後(プロピオン酸塩添加飼料→無添加飼料)、上昇していた。当才のグループでは飼料変換後(無添加飼料→プロピオン酸塩添加飼料)、変動巾は小さかった。プロピオン酸では、採食前、採食後ともプロピオン酸塩添加給与による影響はみられなかった。しかし、採食後において、明け2才のグループは当才のグループより有意に高く推移した。酪酸では、採食前は、飼料間と月齢別間とも有意差がなかった。採食後ではプロピオン酸と同様に、明けに2才のグループが当才のグループより有意に高く推移した($P < 0.05$)が、プロピオン酸塩添加給与の影響はなかった。

2. プロピオン酸塩添加給与による体脂肪の脂肪酸組成への影響

材料および方法

1) 供試動物および実験設定方法

II. 1. と同じ供試動物と給与飼料を用いて、1期と2期の実験の終了時にプロピオン酸塩添加給与が体脂肪酸の不飽和化に及ぼす影響を検討した。

体脂肪酸の不飽和化はノルアドレナリン(NA)処理して体脂肪から放出されるFFA中の脂肪酸組成を測定して調べた。NA処理当日は、1時間飼料給与後2時間絶食させ、0.01 mg/体重1 kgのNA(ノルエピネフリン注射液;三共株式会社製)を10 mlの生理食塩水に溶かし、予めメン羊の頸静脈に装着したカテーテルから1分程度で注入した。採血はNA注入直前、注入後10分、20分、40分、60分および120分の合計6回行った。

また、NA処理の翌日、ネンブタール10~15 mlで全身麻酔後、腹部を切開して皮下脂肪約2 gを採取して脂肪酸組成の分析に供した。

2) 試料の分析方法

血漿中FFAの脂肪酸組成測定のためのFFAの抽出は、DOLE and MEINERTZ³¹⁾の変法であるHAGENFELDTの

方法³²⁾で行った。体脂肪の脂質の抽出はFOLCHらの方法³³⁾で行った。血漿FFA濃度はI. 1. と同じNEFA一テストワコーのキットを用いて測定し、また血漿FFA中と体脂肪中の脂肪酸組成の測定はガスクロマトグラフィーにより行った。血漿4 mlから抽出したFFAと体脂肪1 gから抽出した脂質約5 mgの脂肪酸は以下の方法によりメチルエステル化を行った。即ち、テフロンライナーキャップ付き試験管に試料をとり、次いで溶剤を完全に窒素気流下で除去後、5%無水塩酸メタノールを7 ml入れ、90~100℃加熱してメチルエステルを調製した。冷却後、純水2 mlとn-ヘキサン10~15 mlを加え激しく振とう後上層を分取した。この操作を3回繰り返す、ヘキサン層を減圧乾固した。n-ヘキサン1滴を加えて溶解後ガスクロマトグラフィー(Varian 3300型)に0.6 μ l注入した。その際分析にあたっては、25% Cyanopropyl 25% phenyl 50% methyl polysiloxane (DB-225)を充填した30 mのキャピラリーカラムを用いた。カラム温度、注入部の温度はそれぞれ210℃、220℃とし、検出にはFID検出器を用い、その温度を300℃とした。キャリアガスには窒素ガスを用い、流速を19.2 ml/分とした。また、キャリアガスの分配比を1:25とし、その1/26がカラムに流入するようにした。また、チャートスピードは1 cm/分とした。

結 果

表13にNA処理による血漿中FFA濃度(mg/l)の変化(2回の平均値)を示した。プロピオン酸塩添加飼料と無添加飼料ともNA注入10分後に最も高い濃度を示した。即ち、プロピオン酸塩添加飼料では注入10分後

Table 13. Comparison of FFA concentration in blood plasma after noradrenalin injection.

Time after injectin	Treatment + Propionate (mg/l)	Control (mg/l)
0 min.	10.1	10.2
10 min.	39.4	14.8
20 min.	19.0	8.8
40 min.	19.4	9.6
60 min.	22.4	10.0
120 min.	15.6	10.9

Table 14. Comparison of fatty acid composition of FFA in blood plasma at 10 min. after noradrenalin injection.

Fatty acid Treatment	C _{12:0} (wt%)	C _{14:0} (wt%)	C _{16:0} (wt%)	C _{16:1} (wt%)	C _{17:0} (wt%)	C _{18:0} (wt%)	C _{18:1} (wt%)	C _{18:2} (wt%)	C _{18:1} /C _{18:0}	USFA ¹⁾ (wt%)
+Propionate	0.9	2.8	28.6	1.5	2.0 ^{A2)}	30.7	27.7	5.9	0.90	35.1
Control	0.6	2.5	29.7	0.3	1.0 ^B	32.3	26.0	7.5	0.80	33.7

1) ; Unsaturated fatty acids.

2) ; See note to Table 10.

Table 15. Comparison of fatty acid composition in subcutaneous adipose tissue.

Fatty acid Treatment	C _{14:0} (wt%)	C _{16:0} (wt%)	C _{16:1} (wt%)	C _{17:0} (wt%)	C _{18:0} (wt%)	C _{18:1} (wt%)	C _{18:2} (wt%)	C _{18:1} /C _{18:0}	USFA ¹⁾ (wt%)
+Propionate	3.0	25.1	2.1	2.9 ^{A2)}	20.9 ^B	44.2	1.9	2.11	48.2
Control	4.4	25.3	1.4	1.7 ^B	23.8 ^A	41.1	2.3	1.72	44.8

1) ; Unsaturated fatty acids.

2) ; See note to Table 10.

39.4の最高値から注入120分後15.6の最低値を示し、無添加飼料では注入10分後14.8の最高値から注入20分後8.8の最低値を示した。結果として、プロピオン酸塩添加飼料が高い濃度で推移していた。

千国ら³⁴⁾は肥育牛におけるNA処理でFFA濃度が注入後20分で最大となり、FFA濃度の増加速度が最大であった5~10分でのFFAの脂肪酸組成は筋間脂肪と皮下脂肪の脂肪酸組成に類似することを報告している。これらのことから、NA処理後10分後の血漿中FFAの脂肪酸組成を調査することで体脂肪組織の脂肪酸組成を予測できると考え、NA処理後10分後のFFA中の脂肪酸組成(wt%)の比較を表14に示した。その結果、C_{17:0}脂肪酸がプロピオン酸塩添加給与により有意に上昇した。また、有意水準に至らなかったが、プロピオン酸塩添加飼料でC_{18:0}が低く、C_{18:1}脂肪酸と不飽和脂肪酸総量は高い傾向だった。このことより、プロピオン酸は体脂肪のC_{17:0}脂肪酸の上昇と不飽和化に関与していると思われた。

皮下脂肪の脂肪酸組成の比較(2回の平均)を表15に示した。その結果、プロピオン酸塩給与により、C_{17:0}脂肪酸が高くなり、C_{18:0}脂肪酸が低くなった(P<0.05)。また、C_{18:1}脂肪酸、不飽和脂肪酸総量および

C_{18:1}/C_{18:0}比でもプロピオン酸塩給与により高くなり、NA処理後にみられる血漿中FFAの脂肪酸組成を反映する結果を示した。

考 察

本実験では、プロピオン酸塩添加給与による増体効率の向上など飼料の利用性の改善を期待したが、その効果は認められない結果だった。この原因の一つに、プロピオン酸塩添加による消化率の低下が上げられるだろう。今後この種の実験を行う場合、計算値でTDN給与量と合わせるのではなく実測値でTDN給与量と合わせる事が重要であると思われた。

第一胃内液のプロピオン酸のmol%は、プロピオン酸塩添加給与すると35%程度であり、無添加飼料より10%ほど高かった。しかし、エネルギー蓄積効率を実際上げるには、このmol%を55%以上にしないと効果が出てこない³⁵⁾という指摘もあり、酢酸/プロピオン酸mol比が高くなるように改善できても飼料の利用性向上などの代謝の終末現象としての効果は出にくかったと思われる。また、粗飼料多給与下でプロピオン酸塩添加効果が出にくかったもう一つの理由に粗飼料を採食する速度が遅いことが考えられる。即ち、インシュリン分泌刺

激の上昇が増体効率の向上に結び付くと仮定するならば、例え粗飼料にプロピオン酸を添加給与してインシュリン分泌を刺激しても、その刺激効果が微弱であれば増体効率向上に結び付かないものと思われる。言い換えれば、粗飼料にプロピオン酸を添加給与してインシュリン分泌を刺激させるには、一時的でも採食量の増大が必要であるようである。逆にいうと、インシュリン分泌の刺激が伴わなければ、一日の給与エネルギーに少々過不足があっても増体効率向上の差は現れにくいことを示唆している。その意味で、採食スピードが速く、繊維性成分が少なく消化率に影響を与えないと思われる濃厚飼料にプロピオン酸を添加給与する、言わば濃厚飼料利用の極限に近い給与形態の時に効果が出るのが予想される。現在、この種の実験を実施中であり、その成果が期待される所である。

メン羊の加齢による差、22ヶ月齢が10ヶ月齢よりインシュリン分泌が刺激され血漿中のプロピオン酸濃度が飼料給与後6時間後では高く推移したことも、意外な事実であった。即ち、22ヶ月齢を経過したラム肉肥育からマトン肉肥育に移る時期にはインシュリン分泌が若い時期よりも多くなることが窺われ、一般に肉畜の肥育後期には体脂肪を生産する時期であることを裏づけている。

体脂肪の脂肪酸組成の比較にあたっては、NA処理した場合の血漿中のFFA組成とバイオプシーで採取した体脂肪の脂肪酸が類似することから、動物の苦痛が比較的伴わない前者の方法が有効な手段であると思われた。そのうちでも、プロピオン酸塩添加給与で体脂肪のC_{17:0}脂肪酸が有意に多くなることは興味深い事実である。このプロピオン酸からの奇数脂肪酸の生成に関しては、GARTON³⁶⁾は過剰のプロピオン酸が肝臓に吸収された場合メチルマロニル CoA が蓄積して分枝・奇数炭素脂肪酸が合成されると説明している。既報³⁷⁾でもプロピオン酸塩を多量に投与した場合 C_{17:0}脂肪酸の上昇が認められており、プロピオン酸から合成される脂肪酸は C_{17:0}脂肪酸が主な脂肪酸であると思われる。また、体脂肪の C_{18:0} の減少と不飽和化傾向が認められたことは、人間の食料としての利用を考えると意義深いことと思われる。この、プロピオン酸による体脂肪の不飽和化はインシュリン分泌が体脂肪の不飽和化活性酵素を刺激する³⁸⁾ ことと第一胃内での微生物による水素添加能力が減退したこと³⁹⁾ が考えられるが、この飼養条件下での詳細な検討が望まれる。

以上のことから、粗飼料多給与下でのプロピオン酸塩

添加給与は体脂肪の不飽和化を進めるもののインシュリン分泌効果は小さく飼料の利用性の改善も進まなかったため、その栄養生理学的意義は小さいと判断した。

謝 辞

本実験を遂行するにあたり、実験動物の飼養管理と試料の採取の際、平成2年度畜産学研究室専攻学生から多大な協力を得ることができた。また、図表の作成において、長谷川久美子と斎藤優の両氏に尽力して戴いた。

ここに、記して各氏に対して深甚の謝意を表する。

要 約

牛やメン羊などの反芻動物は、飼料中に多く含まれる炭水化物を第一胃内に棲息している微生物の発酵作用により、酢酸、プロピオン酸および酪酸などの揮発性脂肪酸(VFA)に分解させ、これを主要なエネルギー源として利用している。そのうち、プロピオン酸は、濃厚飼料多給与時に高い比率で産生され、飼料の利用性の向上と体脂肪脂肪酸合成の促進および体脂肪の不飽和化に関与していることが広く知られている。近年、反芻家畜の肥育時において粗飼料の有効利用を図る上で、粗飼料多給与時におけるプロピオン酸の体内での挙動について注目されている。

そこで、本研究ではメン羊を供試動物として、各種粗飼料多給与時にプロピオン酸を添加給与し、その肥育に重要な役割を果たすインシュリンの分泌機能と、肥育時における飼料の利用性並びに体脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響について検討を行った。

1. 粗飼料多給与下におけるプロピオン酸塩添加給与が飼料価値と血漿成分に及ぼす影響を検討し、最適給与条件を模索した。粗飼料を高エネルギー粗飼料(トウモロコシサイレージ)と低エネルギー粗飼料(牧乾草)の2種類として、濃厚飼料と粗飼料の乾物給与比を2:8とした。プロピオン酸のナトリウム塩とカルシウム塩をその生理学的産生量の100%と75%添加を設定して、不断給与による実験を行った。その結果、高エネルギー粗飼料よりも低エネルギー粗飼料に75%のプロピオン酸のカルシウム塩を添加して給与した時に、採食量が減退しないでインシュリンの分泌が効果的に刺激されるようだった。牧乾草多給与時の最適乾物給与量 60g/体重(kg)^{0.75}/日を得た。

2. 粗飼料(牧乾草)多給与下(濃厚飼料:粗飼料=2:8)でプロピオン酸のカルシウム塩を生理学的産生量

の75%を月齢が異なるメン羊に添加給与し、飼料の利用性改善と体脂肪の不飽和化への効果を検討した。プロピオン酸塩添加給与により飼料の利用性は改善できなかった。また、プロピオン酸塩添加給与によるインシュリンの分泌刺激効果も小さく、その分泌刺激には加齢の影響が反映するようだった。しかし、体脂肪の構成脂肪酸では不飽和化が進むようであった。

以上の結果から、粗飼料多給与下でのプロピオン酸塩添加給与は、体脂肪の不飽和化を進めるものの、インシュリンの分泌刺激効果は小さく飼料の利用性の改善も進まなかったため、栄養生理学的意義は小さいと判断した。

文 献

- 1) 津田恒之, 家畜生理学, 68-70. 養賢堂, 東京. 1982.
- 2) REID, R. L., Aust. J. Agric. Res., 2 : 132-145. 1951.
- 3) AMBO, K., H. TAKAHASHI and T. TSUDA., Tohoku J. Agric. Res., 24 : 54-62. 1973.
- 4) BASSET, J. M., Aust. J. Biol. Sci., 25 : 1277-1287, 1972.
- 5) DE YONG, A., J. Endocrinol., 92 : 357-370. 1982.
- 6) MINEO, H., R. MURAO, K. KATOU and J. USHIJIMA, Jpn. J. Zootech. Sci., 61 : 349-353. 1990.
- 7) 佐野宏明・李相洛・佐藤ふじみ・M. ORLANDI・佐々木康之・津田恒之, 日畜会報, 58 : 1086-1094, 1987.
- 8) 田中桂一, 栄養生理研究会報, 27 : 101-117. 1983.
- 9) 浜田龍夫, 第一胃の機能, DAIRY JAPAN, 29 : 61-74, 1984.
- 10) 佐々木康之, 畜産の研究, 36 : 75-80. 1982.
- 11) TAKAHASHI, T., T. IMAMURA and T. KAYABA, Asian-Australasian J. Anim. Sci. 2 : 249-250. 1989.
- 12) JENKINS, T. C. and M. L. THONNEY, J. Anim. Sci., 66 : 1028-1035. 1989.
- 13) SANO, H. and A. TAKAHASHI, Jpn. J. Zootech. Sci., 59 : 1073-1075. 1988.
- 14) 中村亮八郎, 新飼料学下, 36-39. チクサン出版社, 東京. 1981.
- 15) BALLARD, F. J., O. H. FILSELL and I. J. JARRET, Biochem. J., 226 : 193-200. 1972.
- 16) 柴田章夫, 栄養生理研究会報, 21 : 50-57. 1977.
- 17) TERASHIMA, Y., T. KUROYANAGI, Y. MIYAKOSHI, Y. FUKUDA and Y. KONDO. Jpn. J. Zootech. Sci., 61 : 271-276. 1990.
- 18) 脇田正彰・小林泰男・星野貞夫・鈴木波太夫・山田陽捻, 日畜会報, 60 : 1060-1061. 1989.
- 19) STOCK, P. A., M. H. SINDT, J. C. PARROTT and F. K. GOEDEKEN, J. Anim. Sci., 68 : 3441-3445. 1990.
- 20) 板橋久雄, 栄養生理研究会報, 23 : 85-95. 1979.
- 21) 高橋敏能・太田三郎, 日畜会報, 56 : 711-719. 1985.
- 22) BERGMAN, E. N., R. S. REID, MOIRA G. MURRAY, J. M. BROCKWAY and F. G. WHITELAW, Biochem. J., 97 : 53-58. 1965.
- 23) 森本 宏, 動物栄養試験法, 280-298. 養賢堂, 東京. 1971.
- 24) VAN SOEST, P. J. and R. H. WINE, J. A. O. A. C., 50 : 50-55, 1967.
- 25) 森本 宏, 動物栄養試験法 416-418. 養賢堂, 東京. 1971.
- 26) SAS Institute Inc., SAS User's Guide : Statistics. Ver. 5 ed. 433-506. SAS Institute Inc. Cary. 1985.
- 27) 津田恒之, 家畜生理学, 60. 養賢堂, 東京. 1982.
- 28) MARTINEZ, A and D. C. CHURCH, J. Anim. Sci., 31 : 982-990.
- 29) 日本標準飼料成分表(1980年版), 36. 中央畜産会, 東京. 1980.
- 30) 森本 宏, 家畜栄養学, 460. 養賢堂, 東京. 1969.
- 31) DOLE, V. P. and H. MEINERTZ, J. Biol. Chem., 235 : 2595-2599. 1960.
- 32) HAGENFELDT, L., Clin. Chim. Acta., 13 : 266-268. 1966.
- 33) FOLCH, J., M. LEES and G. H. SLOAN-STANLEY, J. Biol. Chem., 226 : 497-509. 1957.
- 34) 千国幸一・小沢 忍・三橋忠由・三津本充・小石川常吉・加藤貞雄・小堤恭平, 日畜会報, 60 : 29-34. 1989.
- 35) ØRSKOV, E. R. and I. MCDONARD, Energy Metabolism, 147-150. Butterworths, London, 1979.
- 36) GARTON, G. A., F. D. DeB. HOVELL and W. R. H. DUNCAN, Br. J. Nutr., 28 : 409-416. 1972.
- 37) 高橋敏能, 栄養生理研究会報, 31 : 44-67. 1987.
- 38) 山本 清, ホルモンと脂質の代謝, 79-81. 共立全書, 東京. 1982.
- 39) 高橋敏能, 山形大学紀要(農学), 10 : 253-264. 1987.