

第一胃刺激用具を投与した肉牛における  
反芻行動，第一胃性状および肥育成績に関する研究

2002

提 出 先  
岩 手 大 学 大 学 院  
連 合 農 学 研 究 科

堀 口 健 一

## 目次

緒論	
1. 本研究の背景	1
2. 不消化物質の第一胃投与に関する既往の研究	3
3. 本研究の目的および構成	6
第1章 第一胃刺激用具の投与個数および大きさに関する検討	
緒言	9
第1節 第一胃刺激用具の投与個数の違いが反芻時間および第一胃内 pH に及ぼす影響	
材料および方法	11
結果	12
考察	13
要約	18
第2節 第一胃刺激用具の大きさの違いが反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響	
材料および方法	20
結果	22
考察	24
要約	35
第2章 稲ワラ給与による異なる総繊維含量条件下における反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響	
緒言	36
材料および方法	37
第1節 切断長が長い稲ワラ給与時の反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響	
結果	41
考察	42
第2節 切断長が短い稲ワラ給与時の反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響	
結果	56
考察	57
要約	77
第3章 繊維性成分が異なる濃厚飼料単独給与条件下における反芻時間、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響	
緒言	78

第 1 節 繊維性成分が調製された濃厚飼料単独給与下における反芻時間，成分消化率，第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響	
材料および方法	81
結 果	82
考 察	84
要 約	94
第 2 節 低繊維性成分の濃厚飼料単独給与下における反芻時間，第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響	
材料および方法	96
結 果	97
考 察	98
要 約	106
第 4 章 濃厚飼料多給条件下での肥育時における飼料の利用性，反芻時間，成分消化率，第一胃内発酵性状，枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響	
緒 言	107
第 1 節 繊維性成分が調製された濃厚飼料多給下の肥育時における飼料の利用性，反芻時間，成分消化率，第一胃内発酵性状，枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響	
材料および方法	110
結 果	113
考 察	115
要 約	139
第 2 節 牧乾草の物理性を第一胃刺激用具で代替した肥育時における飼料の利用性，枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響	
材料および方法	140
結 果	142
考 察	144
要 約	157
第 5 章 総合考察	158
第 6 章 総 括	164
英文要約	168
謝 辞	172
引用文献	173

## 緒 論

### 1. 本研究の背景

現代畜産の飼養技術の発展に伴い導入されてきた穀類主体の濃厚飼料を多給する飼養システムは、肉牛の肥育期において一般的に行われている。この飼養システムにより肉牛生産における一層のエネルギー効率を高めて生産性を向上させ、市場での価値の高い肉質の肉牛を生産することが可能となる。しかしながら、穀類など易発酵性の濃厚飼料の過剰給与は、第一胃内における急激な発酵により、乳酸の大量蓄積、第一胃内 pH の低下、第一・二胃運動の抑制・停止、発酵ガスの異常蓄積などが起こり、第一胃内環境の恒常性の破綻を招くことが推察される。その結果、ルーメンアシドーシス[安保 1987]、第一胃不全角化症—第一胃炎—肝臓瘍症候群[Nagaraja 1998]、鼓脹症[星野 1983]などの消化器病や尿石症[宗形 1976]や蹄葉炎などの疾病の発生に結び付くことも多いと思われる。

本来、反芻家畜である肉牛は、ヒトを含む単胃動物がほとんど利用できない繊維質の炭水化物（粗飼料）を有効に利用することができる。したがって、肉牛での飼養技術は、粗飼料の有効利用に重点を置き、第一胃機能を主体にした消化吸收過程を基本に発展してきたと思われる。しかしながら、近年の国内における肉牛の市場では肉質を重視する傾向が強くなり、さらに 1991 年以降の牛肉の貿易自由化により外国産牛肉とのコスト面での競争が激化し、肉牛の生産コストの低減が不可欠な状況となった。このような状況下において、飼養規模の拡大、集約的な管理システムの導入促進による肉質の向上や肉牛の生産コストの低減への取り組みが行われ、穀物飼料を主体にした濃厚飼料を多給する濃厚飼料依存型の飼養形態に変わらざるを得なかった状況にあったと思われる。

最近 3 カ年（1997～1999 年度）の牛肉の需給動向[農林統計協会 2000]をみると、需要量は 1,472 千トンから 1,507 千トンと上昇傾向である。供給面では、国内生産量が 529 千トンから 545 千トンと上昇し、輸入量も 941 千トンから 975 千トンと上昇している。このように、国内における牛肉消費は堅調に推移する傾向が認められ、この傾向は今後も持続されることが予想される。ところで、国内において、2000 年 3 月に明治時代以来 92 年ぶりに確認された口蹄疫や 2001 年 9 月に東アジアで初めて確認された牛海綿状脳症の発生は、牛肉の消費を低迷させ、牛枝肉の市場価格を暴落させた。しかしながら、消費者の不安解消に向けた対策、肉牛生産者、流通、加工、外食などの関連業者への経営安定のための助成、感染源や感染ルートの追跡調査による原因究明などの取り組みにより、一時的な牛肉消費の低迷が続くことが予想されるものの、国内における牛肉の需要動向から推察して長期的には回復していくものと思われる。

上述のように、国内の牛肉需要は堅調に推移していくことが予想され、市場で求められる価値の高い肉質の牛肉を生産し、さらに低コストの牛肉生産に取り組んでいくためには、穀類主体の濃厚飼料多給の飼養システム下での肉牛生産が不可欠であろうと思われる。濃厚飼料多給の肉牛生産によるメリットを十分に活用していくためには、濃厚飼料特に穀類の過給による弊害をできる限り回避することが重要であり、そのためには稲ワラや牧草などの繊維質飼料である粗飼料の給与が必要である。日本飼養標準・肉用牛[農林水産省農林水産技術会議事務局 1995]においても肥育期の肉牛に対する繊

維の最低必要量が明記されており、肥育期の肉牛の第一胃内機能を正常に維持させるためには濃厚飼料に対する粗飼料の給与割合を一定の水準以上に保つことが必要である[Balch 1971; Sudweeks ら 1981]と思われる。

反芻家畜における粗飼料の役割は、大きく2つあることが広く知られている。その1つは栄養素としての役割であり、セルロースやヘミセルロースなどが第一胃内微生物の働きにより栄養源として利用され、また各種のビタミンやミネラルの補給も担っている。もう1つは粗飼料のもつ粗剛性が第一胃を刺激する物理的な役割である。この粗剛性により、第一胃粘膜は物理的な刺激作用を受け、反芻[Luginbuhl ら 1989; Beauchemin ら 1994]や第一・二胃運動[Leek 1993]が起こり、第一胃内での発酵と消化機能が調整される[Obara ら 1994]と考えられている。特に、稲ワラや低質乾草といった難発酵性の粗飼料は、穀類や副産物飼料などの発酵性の良い飼料に比べて飼料乾物 1kg 当たりの咀嚼・反芻時間が長いことが報告されている[Sudweeks ら 1981]。国内の肉牛の肥育期においては、経済性の重視から、稲ワラなどの粗飼料の給与をできるだけ制限し、濃厚飼料を多給する飼養形態が一般的に行われており、このような飼養形態では、粗飼料を栄養源としてではなく、粗飼料がもつ第一胃への物理的な刺激作用のみを重視する傾向が強いと考えられる。したがって、第一胃に対する物理的的刺激機能という点だけを考慮するならば、化学合成繊維の不消化の刺激物質でもこの機能を補うことが可能であると考えられる。

ところで、国内における肉牛の畜産経営は、飼養規模の拡大の進行に伴い、稲ワラや牧乾草など繊維質飼料の粗飼料を確保することが経営の安定を図るための一要因になっていると思われる。特に肉牛の肥育では、濃厚飼料過給に起因する種々のルーメントラブルを予防する目的として稲ワラを給与することが多く[中村 1981]、稲ワラの確保は重要であると思われる。稲ワラの輸入量は、1990年度 181千トン、1999年度 255千トンと増加している[農林統計協会 2000]。国内で生産される稲ワラは、1999年度では9,090千トンに上っており、1999年度の稲ワラの輸入量は、国内産の稲ワラで十分対応可能な量であるが、耕種および畜産農家の労働力不足等による収集の困難等から、1999年度において飼料に利用されたのは 11.5%にとどまっている[農林統計協会 2000]。また牧乾草の輸入量についても、1990年度 885千トン、2000年度 1,803千トンと著しく増加している[千葉 2002]。このように、稲ワラや牧乾草などの粗飼料の輸入量は、円高基調や物流コストの低減、小口の発送・取引や定時・定量の供給などの割安感や利便性の両面がプラスに働き、増加傾向で推移している[千葉 2002]。しかし、輸入飼料の価格は一般に、可消化養分総量(TDN)換算で比較すると、穀類主体の濃厚飼料より稲ワラや牧乾草などの粗飼料が高値であることが知られており、畜産経営規模の拡大に伴う肉牛の多頭肥育への進行は、飼料費に占める粗飼料費の割合が上昇して経済的な負担も増加することが予想される。また、畜産経営の集約化により肥育肉牛の飼養頭数の増加が強まれば、粗飼料の調製から給与までの作業に要する労力が大幅に増加することが考えられ、これらは肥育農家の畜産経営を圧迫する要因となりかねない。

近年、稲ワラや低質乾草など粗剛な繊維質飼料である粗飼料が有する第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用を代替する目的の用具(商品名:ルーメンファイブ(RF), 図1)が開発され[高田と飯塚 1992]、

動物用医療用具として利用されている。RF の利用により肉牛の第一胃粘膜への物理的な刺激作用を補うことが可能となれば、稲ワラや低質乾草などの粗剛性がある粗飼料を極小もしくは給与しない飼料条件下においても、第一胃内の恒常性をある程度正常に維持できることが推察される。肉牛の肥育期においては、第一胃機能が正常に維持される範囲内で穀類を主体とした濃厚飼料を多量に給与し、可能な限りエネルギー源として重要な揮発性脂肪酸（VFA）の産生量を高めることが重要であると思われる。したがって、肉牛の肥育期における新たな飼養システムを検討していく上で RF が有する機能を明らかにすることは重要であると思われる。しかしながら、各種飼料条件下の肉牛において、RF の投与と反芻、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内容物の滞留時間との関係についてはまだ十分に明らかにされていない。

そこで本研究では、RF が有する機能が各種飼料条件下の肉牛の反芻時間や咀嚼時間、成分消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について明らかにし、さらに肥育肉牛への RF の投与が飼料の利用性、枝肉性状や枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響について詳細に検討し、肥育期の肉牛への有効利用を図る上での知見を得ることを目的とした。

## 2. 不消化物質の第一胃投与に関する既往の研究

反芻家畜において、飼料の摂取量を制限する要因として第一胃容積の影響が考えられている [Campling と Balch 1961; Carr と Jacobson 1967; Hidari 1981]。したがって、反芻家畜の第一胃内への不消化物質の投与は、飼料摂取量に影響を及ぼすことが推察される。反芻家畜における飼料摂取量と不消化物質との関連について研究した試験は幾つか報告されている [Oltjen ら 1962; Carr と Jacobson 1967; Welch 1967; Boling ら 1969; Baumont ら 1990]。Oltjen ら [1962] は、精製飼料に粉碎したポリエチレン合成樹脂 (polyethylene resin) を混合してヒツジに給与したとき、飼料の摂取量には影響がなかったことを観察している。Carr と Jacobson [1967] は、供試家畜としてウシを用い、給与飼料中にポリエチレンキューブ (polyethylene cubes) を添加することにより飼料の摂取量が減少したことを確認している。Welch [1967] は、去勢雄ヒツジを供試して切断したアルファルファ乾草を給与した飼料条件下において、長さ 7cm および 30cm のポリプロピレン合成繊維 (polypropylene fibres) 150g を第一胃内に経口投与する試験を行い、両長さのポリプロピレン合成繊維の投与により飼料摂取量が著しく減少したが、長さ 7cm では投与後 10 日以内に投与前の飼料摂取量に戻り、長さ 30cm では明らかな回復が現れなかったことを観察し、また粉碎したポリプロピレン合成繊維を同量投与しても飼料摂取量に影響がなかったと報告している。Baumont ら [1990] は、第一胃カニューレを装着した雌ヒツジを用い、低品質牧乾草または高品質牧乾草を給与した飼料条件下において 3×4×5.5cm の大きさのポリスチレンキューブ (polystyrene cubes) を 15 個および 30 個投与したときの飼料摂取量に与える影響について調査し、いずれの品質の牧乾草給与時においても投与個数に関係なく乾物摂取量の減少が認められたが、投与個数の多い方が乾物摂取量の減少が大きかったことを報告している。

反芻家畜の増体に及ぼす不消化物質の投与試験は幾つか報告されている [White と Reynolds 1969;

Ørskov ら 1979; Loerch 1991]. White と Reynolds[1969]は、粗飼料の種類と給与割合を変えた各種飼料、給与飼料中にポリエチレン・ペレット (polyethylene pellets) を 20%配合した飼料および濃厚飼料のみを給与した 8 種の飼料条件下において、肥育時の去勢牛の増体を比較し、ポリエチレン・ペレット 20%配合飼料の増体日量が最も低かったことを報告している。Ørskov ら[1979]は、反芻家畜に必要な栄養素を液体飼料として直接第一胃内に注入し、同時に不消化物質を投与したときの増体や第一胃の形態に及ぼす影響について研究した。彼らは、供試家畜として第一胃カニューレを装着した子ヒツジを用い、カゼイン、VFA、ミネラルおよび緩衝液を含む液体飼料をプラスチック製スクラバー (plastic pan scrubber) とともに注入・投与しての試験結果から、通常の飼育時と同様な増体が得られたことや第一胃半絨毛が正常に維持されたことを報告し、また、プラスチック製スクラバーの投与が第一胃の運動性および半絨毛に影響を及ぼしたことを述べている。Loerch[1991]は、長期肥育時の去勢牛において、10×7cm ほどの大きさのボール状に粗く編み上げられたポリプロピレン製スクラバー (polypropylene pot scrubbers) の経口投与が増体や飼料要求率に及ぼす影響について検討し、濃厚飼料を単独給与した飼料条件下にポリプロピレン製スクラバーを経口投与すると、増体日量が同等または上回り、飼料要求率が改善されたことを報告している。また、彼らは同時に枝肉成績や第一胃半絨毛についても調査しており、ポリプロピレン製スクラバーの投与により枝肉成績に与える影響がないことや正常な第一胃半絨毛が形成したことを観察している。

反芻時の第一胃内容物である食塊の吐き戻しは、第一胃および噴門部付近の粘膜に対して粗剛な飼料片が接触することにより誘発される[Balch 1952; Ash と Kay 1959]ので、不消化物質を反芻家畜の第一胃内に投与することにより、唾液の分泌と深く関連する反芻時間や咀嚼時間[Erdman 1988]を長くさせることが可能ではないかと推察される。反芻に対する不消化物質の影響について検討した試験は今までに幾つか行われており[Pearce と Moir 1964; Oltjen ら 1967; Welch と Smith 1974, 1975; 谷口ら 1987; Baumont ら 1990], 各種の反芻家畜を供試して不消化物質について調査されている。Welch と Smith[1974]は、ポリプロピレン・リボン (polypropylene ribbon) をヒツジおよび第一胃フィステル装着去勢雄牛に給与または投与したときの反芻への影響を調査するために試験を実施し、アルファルファミールペレットや濃厚飼料または両飼料を給与した飼料条件下において、長さ 5cm のポリプロピレン・リボンでは正常な反芻が出現したが、長さ 30cm のポリプロピレン・リボンでは通常の反芻パターンとはならなかったことを確認している。また彼らは、牧乾草、アルファルファミールペレットおよび濃厚飼料を給与した乳牛においても同様な試験を試み、長さ 5cm のポリプロピレン・リボンの給与により正常な反芻が得られたことを報告している[Welch と Smith 1975]。谷口ら[1987]は、第一胃カニューレ装着去勢雄山羊を用い、直径 1mm、長さ 5cm のポリプロピレン (polypropylene) を投与した 2 つの試験を実施し、不消化物質の第一胃内投与が反芻時間に及ぼす影響について検討した。すなわち、試験 1 では濃厚飼料とともに、形状の異なる 3 種類の牧乾草 (7cm 切断, 1cm 細切, 1mm 以下粉碎), および粉碎牧乾草に日量 50~80g のポリプロピレンを投与した 4 処理間で比較し、試験 2 では濃厚飼料のみを制限給与した飼料条件下において、ポリプロピレンを日量 0, 30, 60 および 90g 投与した 4 処理間で比較した。その結果、1 日当たりの反芻時間は、第一胃内に投与した牧乾

草の形状が大きいほど、またポリプロピレン量が多いほど増加した。Baumontら[1990]は、品質の異なる2種類の牧乾草を給与した第一胃カニューレ装着雌ヒツジを供試家畜として、ポリスチレン・キューブ (polystyrene cubes) を投与した試験において、いずれの品質の牧乾草給与時ともポリスチレン・キューブの投与により、1日当たりの反芻時間がわずかに増加したことを報告し、さらに、飼料摂取時、反芻時および休息時の第一胃・二胃の収縮運動について調べ、ポリスチレン・キューブの投与が反芻時の第一胃・二胃の収縮運動を増加させたことを確認している。

このように、各種の飼料条件下の反芻家畜において、不消化物質を投与もしくは飼料に混合して給与し、飼料摂取量、増体、反芻などについて詳細に検討され、多くの知見が得られている。しかしながら、これらの不消化物質は試験研究の範囲にとどまっており、家畜生産において実用化されたものはない。

現在、RFは繊維質飼料である粗飼料、特に稲ワラや低質乾草などが有する第一胃粘膜への物理的な刺激作用を代替する用具として、肥育期の肉牛生産において利用されている。しかし、RFに関する試験研究は少なく、RFを有効に活用していくためには反芻家畜へのRFの投与が反芻、消化率、第一胃発酵にどのような影響を及ぼすのか早急に解明することが必要であると思われる。高橋ら[1995]は、ヒツジ用に試作した小型のRF(直径52mm、長さ40mm)を投与したときの消化率や第一胃内の発酵性状について調査するため、第一胃フィステルを装着した去勢雄ヒツジを供試して濃厚飼料多給の異なる飼料給与量条件下において飼育試験を実施し、同一の給与量下でのヒツジ用RFの有無は各成分消化率に影響を及ぼさなかったこと、また、いずれの給与量下においてもヒツジ用RFの投与により酢酸濃度が低く、プロピオン酸濃度が高く推移したことを報告している。さらに、松山ら[1999]は、ヒツジ用RFの大きさについて検討するため、大きさの異なる3種類のヒツジ用RFを濃厚飼料多給の第一胃フィステル装着去勢雄ヒツジに投与して消化率と第一胃内のVFA組成に及ぼす影響について調査し、いずれの大きさのヒツジ用RFを投与しても、消化率に及ぼす影響が小さかったことと、プロピオン酸生成が促進したことを確認している。一方、肉牛へのRF投与試験については立山ら[1998]や大木場ら[1998]の報告があるに過ぎない。立山ら[1998]は育成期における濃厚飼料の給与量を体重の1.5%、同様に大木場ら[1998]は体重の2.5%とし、肥育期の飼料条件を同一にして黒毛和種去勢雄牛を用いた長期の肥育試験の中で、増体、飼料摂取量、行動、第一胃内の発酵性状、枝肉成績および第一胃の形態に及ぼすRFの投与の影響について検討した。その主な結果から、両試験とも全肥育期間の増体日量はRF投与が無投与を上回り、飼料要求率はRFの投与によりやや改善される傾向であったこと、反芻時間、肉質(脂肪交雑)および第一胃半絨毛はRFの有無による顕著な違いが認められなかったこと、さらに第一胃内のpHやVFAについては各試験において逆の結果となり、一定の傾向がなかったことが報告されている。このRF投与の肥育試験では、1頭当たり2個のRFが7ヶ月齢に投与されたが、RFの投与個数を2個とした理由や上述の結果の機構について言及されていない。

以上のように、反芻家畜に対するRFの投与については限られた試験研究で得られた現象が報告されているだけであり、特に現在利用されているRFの肉牛への投与に関しては不明な点が多い。した



がって、既報の RF 投与に関する試験研究の現象を踏まえながら、肉牛における RF の投与が反芻行動、第一胃内の発酵特性や消化・吸収、枝肉脂肪および第一胃の形態にどのような影響を及ぼすのか詳細に検討し、また、それらを体系的に捉えながら機構の解明に取り組んでいくことが必要であると思われる。さらに、肥育期の肉牛生産において RF を有効に利用していくためには、RF が有する第一胃に対する物理的刺激機能を最大限に活用可能な飼料条件を模索していくことも必要であると思われる。

### 3. 本研究の目的および構成

本研究は、低質乾草や稲ワラといった粗剛性のある粗飼料の第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用を代替する目的で開発された第一胃刺激用具 (RF) が有する機能を明らかにし、肥育期の肉牛への有効利用を図る上での知見を得ることを目的とし、以下のような一連の試験を実施した。

#### (1) RF の投与個数および大きさに関する検討 (第 1 章)

本章では、肉牛に投与する RF の適切な個数および大きさについて検討した。

第 1 節として、肉牛に異なる個数の RF を投与し、反芻時間と第一胃内 pH に及ぼす影響について調査した。

第 2 節として、異なる大きさの RF の投与が肉牛の反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について調査した。

#### (2) 稲ワラ給与による異なる総繊維含量条件下における反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響 (第 2 章)

本章では、飼料中の細胞壁構成物質 (OCW) 含量を切断長の異なる稲ワラ (30cm と 2cm) を給与して 3 段階に設定した飼料条件下 (飼料中の OCW 含量が原物換算で 25%、20% および 15%) の肉牛において、反芻時間、各成分消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす RF の投与の影響について詳細に調査し、稲ワラ給与時における RF が有する第一胃に対する物理的刺激機能について検討した。

#### (3) 繊維性成分が異なる濃厚飼料単独給与条件下における反芻時間、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響 (第 3 章)

本章では、異なる繊維性成分の濃厚飼料を単独給与した飼料条件下における肉牛への RF の投与が反芻時間、第一胃内の発酵性状および飼料の第一胃内通過速度に及ぼす影響について検討した。

第 1 節として、繊維性成分が調製された濃厚飼料 (OCW 含量: 乾物中 27.5%) 単独給与下の肉牛において、RF の投与が反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について調査した。

第 2 節として、繊維性成分が少ない濃厚飼料 (OCW 含量: 乾物中 12.7%) を単独制限給与した飼料条件下において、肉牛への RF の投与が反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について調査した。

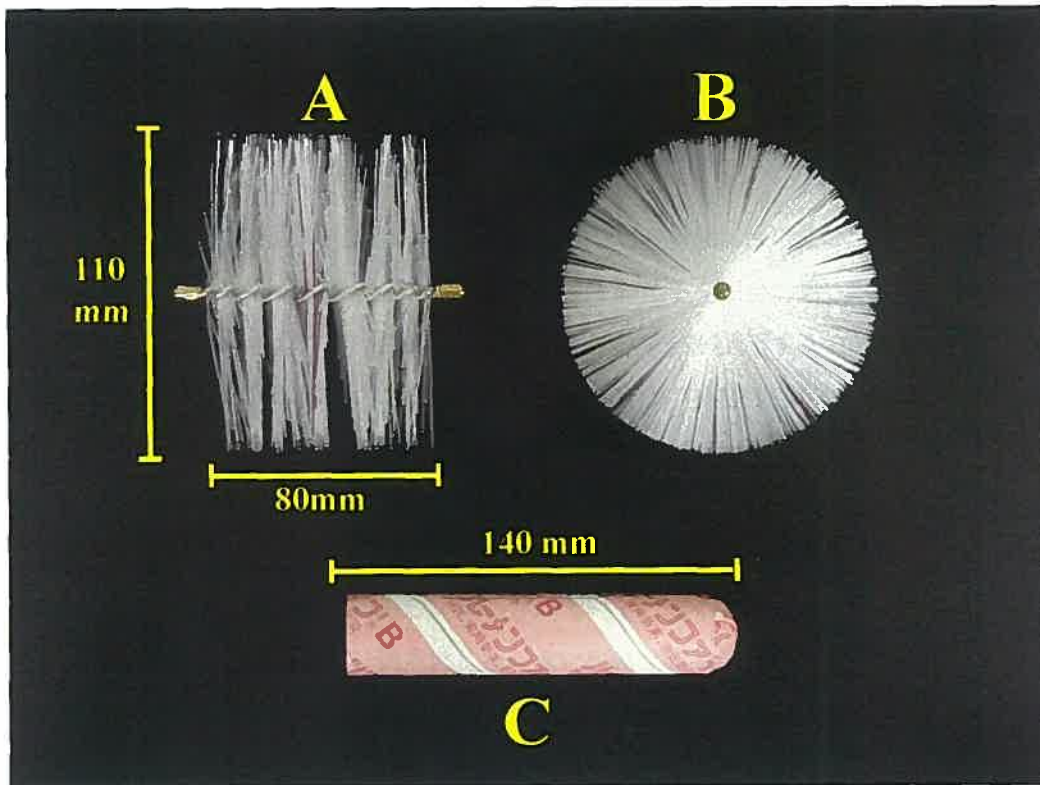
#### (4) 濃厚飼料多給条件下での肥育時における飼料の利用性、反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵

性状、枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響（第4章）

本章では、濃厚飼料多給の肥育条件下における肉牛へのRFの投与が飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪性状および第一胃の形態に及ぼす影響についての知見を得るため、反芻時間、消化率および第一胃内の発酵性状に関する調査と併せてそれぞれ検討した。

第1節として、繊維性成分を調製した濃厚飼料（OCW含量：乾物中27.5%）多給条件下で肥育した肉牛において、RFの投与が飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃半絨毛に及ぼす影響について調査した。

第2節として、濃厚飼料および易発酵性粗飼料（アルファルファヘイキューブとビートパルプ）を給与して粗剛性のある牧乾草を給与せず、その粗剛性をRFで代替して肥育する条件下の肉牛において、飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響について調査し、牧乾草を給与したRF無投与の処理と比較しながら肥育時のRF利用による新たな飼養システムの可能性について検討した。



**Fig. 1. Mechanical stimulating brush (Rumen Faibu: RF) substituted for physical function of roughage.**

A: a side view post dosing into the rumen, B: a frontal view post dosing into the rumen, C: an overall view before dosing into the rumen, D: an exclusive implement for dosing RF.

## 第1章

### 第一胃刺激用具の投与回数および大きさに関する検討

#### 緒 言

肉牛の肥育においては、産肉成績を高めるため穀類などの易発酵性の濃厚飼料を多給する飼養システムが一般に行われているが、その結果、第一胃内 pH の低下を招き、第一胃内の細菌やプロトゾアの活力の低下が起こり、エネルギー生産量が減少して増体成績が低下することが考えられる。したがって、第一胃内機能が正常に維持され、可能な限り第一胃内の揮発性脂肪酸 (VFA) 発酵を高める飼養システムの構築が必要であると思われる。

肉牛の第一胃内機能を正常に維持させるためには、繊維含量の高い粗飼料の給与が重要であると考えられており、日本飼養標準・肉用牛[農林水産省農林水産技術会議事務局 1995]にも肥育期における粗飼料の給与割合(繊維の最低必要量)が記述されている。肉牛の肥育期では一般に、粗飼料として稲ワラや低質乾草が給与され、第一胃内機能を正常に維持する目的で使用されていることが多いと思われる。稲ワラや低質乾草は、飼料の物理性(粗剛性)を表す1つの指標である粗飼料因子(RVI: 飼料乾物 1kg 当たりの咀嚼・反芻時間)が高い[Sudweeks ら 1981]と考えられる。咀嚼・反芻時間と唾液の分泌とは高い相関が認められている[Erdman 1988]ので、おそらく稲ワラや低質乾草の給与により咀嚼・反芻時間が増加して唾液の分泌が高まり、第一胃内の恒常性を保持することが可能となるのだと思われる。したがって、第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用を人工的な化学合成繊維で補うことができれば、栄養価の高い飼料を主体にした飼養システムにおいても第一胃内の恒常性を保持することが可能であると考えられる。

飼料由来の物理性が高い粗飼料の第一胃粘膜への物理的・刺激機能を人工的な化学合成繊維により代替した試験研究はヒツジ[Orskov ら 1979] や肉牛[Loerch 1991]において報告されているが、いずれも実用化されたものはない。近年、肉牛の第一胃粘膜への物理的な刺激作用を補うための第一胃刺激用具(RF)が国内の薬事法に基づいて製造承認された。このRFの利用により、飼料由来の物理性が高い粗飼料を極小給与もしくは無給与とする飼養システムへの取り組みが可能になったと思われる。しかしながら、濃厚飼料多給条件下の肉牛において、RFを投与したときの反芻時間、消化率および第一胃内の発酵性状に及ぼす影響について詳細に調査した報告はなく、さらに、RFを使用する上で重要と思われるRFの投与回数や大きさを変えたときの知見はほとんどない状況である。

そこで、第1章ではまず、投与するRFの回数と大きさについて検討することとし、第1節としてRFの投与回数が反芻時間と第一胃内 pH に与える影響を、第2節として、異なる大きさのRF投与が反芻時間、成分消化率、第一胃内の発酵性状および飼料の第一胃内通過速度に及ぼす影響について、それぞれ調査した。

## 第1章第1節

### 第一胃刺激用具の投与個数の違いが反芻時間および第一胃内 pH に及ぼす影響

反芻家畜の飼養システムにおいて、健康を維持して生産性の低下に結びつかないようにするためには、第一胃内の発酵を安定させることが重要であり、そのためには摂取飼料の発酵性を抑えるとともに、唾液の分泌による第一胃内 pH 緩衝能を高める必要があると思われる。唾液の分泌は、飼料摂食時や反芻時に活発となる[Bailey と Balch 1961]ことが知られている。したがって、濃厚飼料を多量に給与する肥育肉牛の飼養システムにおいては、一定の反芻を確保することによって生理的範囲内で第一胃内の恒常性を維持することが可能になるとと思われる。

反芻とは、第一胃内容物（食塊）を吐き戻し（その際、吐き戻した食塊の液状部分や過剰部分は嚥下される）、口腔内に残存した食塊を咀嚼した後再嚥下する一連の行動を繰り返すことである[Kennedy 1985]。反芻時の食塊の吐き戻しは、第一胃粘膜に対して物理的な刺激物が接触することにより誘発される[Balch 1952]ので、人工的な不消化物質の投与が反芻誘発に影響を及ぼすかどうかを明らかにするためには反芻時間を調査することで検討することができるとと思われる。一方、唾液の分泌は反芻時間や咀嚼時間の増加とともに高まることが知られている[Sudweeks ら 1981; Erdman 1988]ので、第一胃内 pH を経時的に調査することにより第一胃内の恒常性に与える人工的な不消化物質の投与の影響について検討することが可能であると考えられる。これらのことから、第一胃刺激用具（RF）を投与したときの肉牛の反芻時間および第一胃内 pH を経時的に調査することにより、RF の投与が反芻誘発および第一胃内の恒常性の保持に及ぼす影響についての知見がある程度得られるのではないかと考えられる。

化学繊維で合成された不消化物質の投与が濃厚飼料のみを給与した去勢雄山羊の反芻時間に及ぼす影響について調査した報告によると、1日当たりの反芻時間は人工不消化物質の投与量の増加に伴って増加した[谷口ら 1987]。また、濃厚飼料のみを給与した飼料条件下の去勢雄牛における第一胃内液性状に及ぼす人工的な不消化物質の投与個数の影響について調査した報告によれば、第一胃内 pH は不消化物質の投与個数による影響がなかった[Loerch 1991]。しかしながら、肉牛において、異なる個数の RF を投与したときの反芻時間や第一胃内 pH に及ぼす影響について調査した報告はなく、RF を利用する上で RF の投与個数に関する知見を得ることは重要であると考えられる。

そこで本試験では、濃厚飼料単独給与下の肉牛において、異なる個数の RF を投与して1日当たりの反芻時間や咀嚼時間および第一胃内 pH について調査し、RF の投与が反芻誘発や第一胃内の恒常性の保持に及ぼす影響を明らかにしながら適切な RF の投与個数について検討した。

## 材料および方法

### 供試動物

第一胃フィステルを装着したホルスタイン種去勢雄牛4頭を供試した。試験開始時の体重（平均値±標準偏差）は639±90kgであった。供試牛は、試験処理としてRFを投与しない無投与（対照）とRFを1頭当たり1, 3および5個投与するRF投与（RF1, RF3およびRF5）にそれぞれ割り当てた。試験は4×4のラテン方格法により実施した。各期の試験期間は11日間（予備期7日間, 本期4日間）とした。RFは各試験期の第1日目に第一胃フィステルから飼料給与前にそれぞれ投与し、各試験期終了後に取り出した。RFは投与前に紙製のカプセルから取り出して熱湯に入れ、RF本体の植毛部分を完全に開かせた状態にしてから供試した。

### 供試飼料と飼養方法

本試験では単味飼料であるトウモロコシ, 皮付き大麦, エンバクおよびビートパルプと籾殻を用い、飼料中の中性デタージェント繊維（NDF）含量が原物中25%となるように日本標準飼料成分表[農林水産省農林水産技術会議事務局 1995]の数値に基づいて各飼料を配合した（表1-1-1）。各飼料とは別に市販のビタミン（商品名：バイミルク, 全国薬品工業株式会社）を各供試牛に1日40g給与した。飼料の給与量は、各試験期の前日にそれぞれの供試牛の体重を測定し、維持に必要な可消化養分総量（TDN）要求量を日本飼養標準・肉用牛[農林水産省農林水産技術会議事務局 1995]に基づいて算出した。

飼養方法は、舎内にスタンションで繋留し、ゴムマットを敷いて単飼で管理した。飼料の給与は、1日1回午前9時に行った。水は試験期間中を通じて自由に摂取できるようにした。なお、本試験の飼料条件下に慣らすため、飼料の切り替えは10日間の馴致期を通して徐々に行った。

### 行動調査

行動の観察は、広角レンズ付き監視用カメラ（C-CC31, TOA株式会社, レンズ:CT-0412G, TOA株式会社）を用い、各試験期での本期1日目の午前の飼料給与時から1分間隔で24時間実施した。すなわち、24時間の観察時間を1分のサンプル間隔に分け、1,440のサンプル点（各サンプル間隔の終わる瞬間）の各行動を供試牛ごとに記録した。同監視用カメラの設置は、行動調査開始日の前日に行い、1機で1頭を撮影するようにそれぞれ配置した。観察した行動は、飼料摂食行動と反芻行動をそれぞれ記録し、飼料摂食行動と反芻行動の合計時間を総咀嚼時間として示した。飼料摂食時の咀嚼と反芻時の咀嚼は、咀嚼行動が観察されたサンプル点の前後の行動から判断して区別した。反芻時の吐き戻し食塊当たりの咀嚼の回数および時間は、行動観察中に反芻が確認された供試牛についてそれぞれ計測した。また、給与飼料の摂取量は、行動調査と並行して給与した飼料の給与量から残量を差し引いて求めた。

## 第一胃内 pH 調査

各試験期の本期3日目から4日目に、第一胃内 pH の経時的な調査を行った。第一胃内 pH の計測は、ポータブル pH 計 (HM-14P, 東亜電波工業株式会社) を用い、電極 (GST-2419C, 東亜電波工業株式会社) を第一胃フィステルから第一胃内部に挿入して行った。計測時間は飼料給与前と飼料給与後 1, 2, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 および 24 時間とした。

## 統計処理

各行動時間および各調査時の第一胃内 pH 値の数値は、対照の RF 無投与とそれぞれの RF 投与の平均値を対応のある t-検定を用いて比較した。なお、5%以下の危険率は統計的有意差があるとし、危険率 10%以下の場合には傾向があるとした。

## 結 果

表 1-1-2 には行動調査時における各処理の飼料摂取量、摂食時と反芻時の咀嚼時間および吐き戻し食塊当たりの咀嚼回数と咀嚼時間の結果を示した。1 日当たりの乾物および NDF 摂取量は、いずれの処理ともほぼ同様であり、1 日当たりの飼料摂食時間は、RF 無投与とそれぞれの RF 投与の処理間に違いがなかった。1 日当たりの反芻時間は、RF 無投与に比較して RF を投与した 3 処理とも上回ったが、統計的に有意な傾向が認められたのは RF 無投与と RF3 の間のみであった ( $P < 0.10$ )。1 日当たりの総咀嚼時間については、RF3 と RF5 が RF 無投与より長い傾向であった ( $P < 0.10$ )。摂取乾物および摂取 NDF1kg 当たりの反芻時間は、RF 無投与とそれぞれの RF 投与の処理間に有意差がなかった。摂取乾物および摂取 NDF1kg 当たりの総咀嚼時間については、RF3 が RF 無投与よりも長い傾向であった ( $P < 0.10$ )。反芻時の吐き戻し食塊当たりの咀嚼回数と咀嚼時間は、いずれの処理ともほぼ同じであった。

図 1-1-1 には各処理の反芻時間の経時的变化を示した。反芻時間は、各処理ともそれぞれの調査時間帯において個体差があり、偏差が大きかった。反芻は各処理とも飼料給与後 1~2 時間目以降で観察され、日中に比べ夜間から朝方に掛けて増加した。

図 1-1-2 には各処理の第一胃内 pH の経時的变化を示した。第一胃内 pH は、それぞれの処理とも飼料給与後 3~6 時間までに低下してその後徐々に上昇し、各処理とも 6.1~7.0 の範囲で日内変動した。RF1 と RF3 の 2 処理は、他の処理に比較して全般に低く推移した。RF 無投与と比較すると、RF1 では飼料給与後 9 時間の調査時が低く ( $P < 0.05$ )、12 および 15 時間の調査時において低い傾向が認められた ( $P < 0.10$ )。RF3 では飼料給与後 3 および 15 時間の調査時が低かった ( $P < 0.05$ )。RF5 では飼料給与後 15 時間の調査時が低かった ( $P < 0.05$ )。

## 考 察

本試験において、1日当たりの反芻時間は、RFを投与したすべての処理ともRF無投与を上回り、それぞれの処理の変動係数は、RF無投与；0.23、RF1；0.46、RF3；0.24およびRF5；0.22であった。また、摂取した乾物およびNDF1kg当たりの反芻および咀嚼の時間についても、いずれのRF投与ともRF無投与より長くなった。したがって、本試験のような濃厚飼料給与下における肉牛へのRFの投与は、1日当たりの反芻および咀嚼に費やされる時間が長くなる可能性があることが示唆された。

一方、本試験での第一胃内pHは、飼料給与後3～15時間の調査時において、RFを1個または3個投与した処理が無投与よりも低く推移した。しかしながら、その後上昇して飼料給与後24時間の調査時ではRF1、RF3ともに飼料給与前の数値に回復し、RF無投与との間に違いがなかった。唾液の分泌は、反芻時間や咀嚼時間と高い相関が認められており[Erdman 1988]、飼料の摂食時や反芻時において活発になることが報告されている[Bailey と Balch 1961]。本試験における飼料給与後16～24時間の調査時間帯での反芻時間は、RF無投与；58分、RF1；94分、RF3；99分およびRF5；86分であり、RF無投与とRF1およびRF3の間に統計的に有意な差が認められた。このことから、RFを1個または3個投与した処理では、それぞれ最も低いpHを示した調査時から飼料給与後24時間の調査時までの間の唾液の分泌が高まり、第一胃内pHを上昇させたことが推察される。

Loerch[1991]は、第一胃フィステル装着去勢雄牛を用い、濃厚飼料のみを給与した飼養条件下における第一胃内液性状に及ぼすプラスチックタワシ（ポリプロピレン製）の投与個数の影響について調査し、第一胃内pHが、すべての処理で飼料給与後24時間に亘って6.0以下で推移し、投与個数による影響がなく、また、総揮発性脂肪酸（VFA）濃度と各VFA割合についてもプラスチックタワシの投与個数による違いがなかったことを報告している。また、試験に用いたプラスチックタワシは、形状が大きいため吐き戻されず、反芻への影響がなく、第一胃内の酸生成に対する緩衝作用を補助することがないと考察している。この報告は、肉牛へのRFの投与により反芻への影響が示唆され、第一胃内の恒常性を保てる可能性が推察された本試験の結果と一致していない。本試験に用いたRFとLoerch[1991]が使用したプラスチックタワシはともに化学合成繊維できているが、形状が異なるため、第一胃に投与したときの第一胃粘膜への物理的な刺激作用にも違いが生じたことが考えられる。反芻時の食塊の吐き戻しは、第一胃粘膜に物理的な刺激物が接触することにより誘発される[Balch 1952]。したがって、投与した人工的物質の第一胃粘膜に対する物理的機能の違いが反芻時において食塊の吐き戻しの誘発に影響し、異なる結果をもたらしたのかもしれない。さらに、反芻時に吐き戻された食塊に含まれる飼料片の内容（堅さ、かさ）によっても反芻時間に影響を与えることが考えられるので、給与した濃厚飼料の配合原料の違いや給与量も原因の1つであろうと思われる。

上述のように、無投与に比較して、1日の反芻や咀嚼に費やされた時間が長い傾向が認められ、また、飼料給与後16～24時間の反芻時間が有意に長くなり、唾液の緩衝作用による第一胃内の恒常性の保持が可能となると考えられる3個のRF投与が肉牛において適切な投与個数であることが示唆された。



Table 1-1-1. Ingredient and nutrient composition of diet

Item	Composition
Ingredient composition, as fed basis %	
Corn	10.0
Barley	27.0
Oats	53.0
Beet pulp	7.0
Rice hulls	3.0
Nutrient composition <sup>1)</sup> , as fed basis %	
Dry matter	88.8
Crude protein	9.8
Ether extract	4.2
Nitrogen free extract	62.4
Crude fiber	9.3
Acid detergent fiber	11.7
Neutral detergent fiber	25.0
Total digestible nutrient	71.5
Digestible crude protein	7.2

<sup>1)</sup> Nutrient data were estimated from table values (Standard Tables of Feed Composition in Japan, 1995)

Table 1-1-2. Effects of dosing number of RF on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed with a concentrate diet

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>		
		RF1 <sup>3)</sup>	RF3 <sup>3)</sup>	RF5 <sup>3)</sup>
Intake, kg/day				
DM	5.4 ± 0.8	5.5 ± 0.7	5.6 ± 0.6	5.5 ± 0.6
NDF	1.5 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.6 ± 0.2	1.6 ± 0.2
Time spent, min/day				
Eating	28.0 ± 6.1	27.5 ± 3.1	26.5 ± 1.9	28.5 ± 5.7
Rumination	106.3 ± 24.4	165.0 ± 76.3	136.8 ± 32.7 †	164.5 ± 36.5
Total chewing	134.3 ± 23.7	192.5 ± 74.4	163.3 ± 32.7 †	193.0 ± 35.0 †
Chewing time, min/kg DM intake				
Eating	5.4 ± 0.8	5.0 ± 0.4	4.8 ± 0.3	5.1 ± 0.6
Rumination	22.1 ± 5.8	31.5 ± 19.8	25.0 ± 7.8	30.0 ± 6.7
Total	27.5 ± 5.5	36.5 ± 20.0	29.8 ± 8.1 †	35.2 ± 6.1
Chewing time, min/kg NDF intake				
Eating	19.1 ± 3.0	17.7 ± 1.4	16.9 ± 1.0	18.3 ± 2.3
Rumination	78.7 ± 20.7	112.0 ± 70.2	88.8 ± 27.9	106.7 ± 23.8
Total	97.7 ± 19.5	129.7 ± 71.0	105.8 ± 28.8 †	125.0 ± 21.7
No. of chews per rumination bolus, chews	39.7 ± 10.3	40.2 ± 6.4	43.3 ± 13.9	40.5 ± 5.3
Chewing time per bolus, sec	40.1 ± 9.8	40.5 ± 4.9	42.1 ± 14.0	40.1 ± 5.5

Values are mean ± s.d. for four animals.

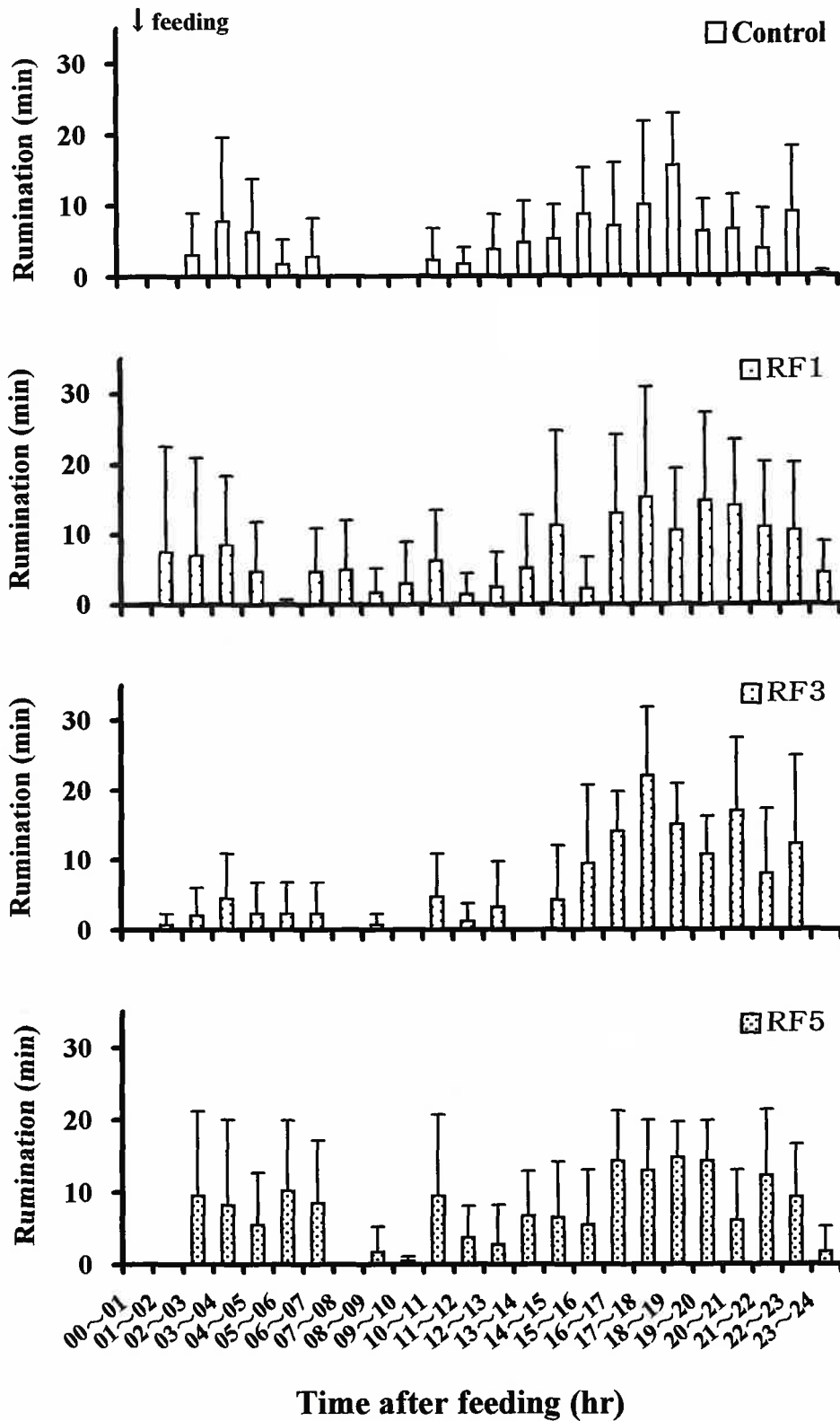
Asterisks are significantly different from control (†P<0.10).

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>3)</sup> RF1: one RF per head, RF3: three RF per head, RF5: five RF per head.

DM: dry matter, NDF: neutral detergent fiber.



**Fig. 1-1-1.** Hourly distribution of time spent for rumination on each treatment in steers fed with a concentrate diet.

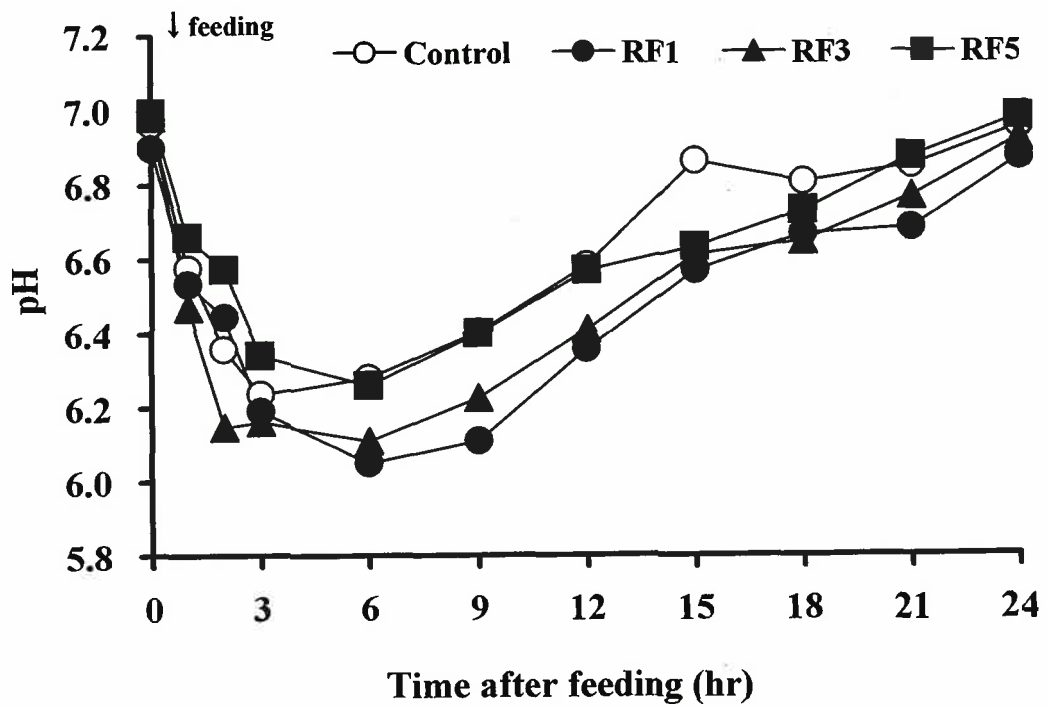
Values are mean for four animals.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF1: a treatment in which one RF was dosed into the rumen.

RF3: a treatment in which three RF was dosed into the rumen.

RF5: a treatment in which five RF was dosed into the rumen.



**Fig. 1-1-2. Changes in pH of rumen fluid in steers fed with a concentrate diet.**

Values are mean for four animals.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF1: a treatment in which one RF was dosed into the rumen.

RF3: a treatment in which three RF was dosed into the rumen.

RF5: a treatment in which five RF was dosed into the rumen.

## 要 約

飼料中の NDF 含量が原物中 25%となるように配合した濃厚飼料単独給与下において、RF の投与個数が反芻時間や第一胃内 pH に及ぼす影響について検討した。試験は、第一胃フィステルを装着したホルスタイン種去勢雄牛 4 頭を用い、RF を投与しない無投与（対照）と RF を 1 頭当たり 1, 3 および 5 個投与する RF 投与（RF1, RF3 および RF5）にそれぞれ割り当て、4×4 のラテン方格法により実施した。飼料の給与量は、維持に必要な TDN 要求量とした。飼料摂取量は、いずれの処理ともほぼ同じであった。1 日当たりの反芻時間は、RF 無投与に比べ RF を投与した各処理とも上回ったが、統計的に有意な傾向が認められたのは RF 無投与と RF3 の間のみであった。第一胃内 pH は、飼料給与後に RF1 と RF3 が RF 無投与よりも低く推移したが、給与後 24 時間の調査時では各処理とも 6.9～7.0 の範囲であり、飼料給与前の数値に回復した。以上の結果から、RF は肉牛の第一胃粘膜に対して物理的な刺激物として作用し、反芻を誘発することが推察され、肉牛への投与は 3 個が適切な投与個数であることが示唆された。

## 第1章第2節

### 第一胃刺激用具の大きさの違いが反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状 および第一胃内通過速度に及ぼす影響

繊維性成分の多い粗飼料のような難発酵性の飼料（粗剛な飼料）は、反芻家畜の消化過程において第一胃内の恒常性を保持して健全な家畜生産に貢献している。粗剛な飼料は、反芻家畜の消化機構における反芻・咀嚼行動に影響し[Sudweeks ら 1981; Luginbuhl ら 1989]、反芻・咀嚼は唾液分泌を刺激する[Sudweeks ら 1981; Erdman 1988]ことが知られている。乳牛の唾液分泌量を調査した試験によると、1日当たりの飼料の乾物摂取量が3~12kgの乳牛の唾液分泌量は40~175Lであり、乾草の粉碎や長い乾草の無給与により唾液分泌が減少したことが報告されている[Poutiainen 1966]。また、第一胃内の粗剛な飼料の欠乏により咀嚼行動が減少したことが報告されている[Balch 1952; Sudweeks ら 1980]。これらの報告は、飼料の物理的形狀が唾液分泌や咀嚼行動に影響することを示唆していると思われる。

一般に、肉牛の肥育期においては稲ワラや低質乾草といった粗剛な粗飼料が給与されている。これは、第一胃内の恒常性を維持することが主目的であると思われる。第一胃刺激用具（RF）は、稲ワラや低質乾草などの粗飼料が有する第一胃内での物理的刺激機能を代替することを目的に開発された[高田と飯塚 1992]。RFは既に生産現場に普及しているが、RFを肉牛に投与したときの消化率や第一胃内の発酵性状についての詳細な調査は行われておらず、RFを使用する上でこれらを検討することは重要であると考えられる。

第1章第1節において、反芻時間と第一胃内pHの日内変動の結果から、肉牛に対するRFの投与個数は3個が適切であることが示唆された。しかしながら、肉牛に投与するRFの大きさについては詳細に検討した報告がなく、肥育を想定した濃厚飼料多給条件下の肉牛において、異なる大きさのRFを投与したときの消化率や第一胃内の発酵性状に及ぼす影響について検討しておくことが必要であると思われる。大きさの異なる3種類のヒツジ用RFを濃厚飼料多給の第一胃フィステル装着去勢雄ヒツジに投与して消化率および第一胃内の揮発性脂肪酸（VFA）組成に及ぼす影響について調査した報告において、いずれの大きさのヒツジ用RFを投与しても、消化率に及ぼす影響が小さく、プロピオン酸生成が促進したことが確認されている[松山ら 1999]。したがって、肉牛においてもRFの大きさの違いが第一胃内の発酵性状に影響を及ぼすことが推察される。さらに、RFの容積を大きくすることにより第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用が高まれば、RFを3個投与して得られる第一胃粘膜への物理的な刺激作用と同等の機能が投与個数を少なくしても得られる可能性があると考えられる。

そこで本試験では、濃厚飼料多給条件下の肉牛に異なる大きさのRFを投与し、反芻時間や咀嚼時間、各成分消化率、第一胃内の発酵性状および飼料の第一胃内通過速度に及ぼす影響について調査し、投与するRFの適切な大きさについて検討した。

## 材料および方法

### 供試動物

本試験には第一胃フィステル装着ホルスタイン種去勢雄牛4頭を用いた。試験開始時の体重(平均値±標準偏差)は $647 \pm 55$ kgであった。供試牛は、RFを投与しない無投与(対照)と大きさの異なるRFを1頭当たり3個投与するRF投与(RF-S, RF-MおよびRF-L)にそれぞれ割り当てた。試験は4×4のラテン方格法により実施した。各試験期の期間は30日間(予備期14日間, 本期16日間)とした。RFは各試験期の第1日目に第一胃フィステルを通して飼料給与前にそれぞれ投与し、各試験期終了後に取り出した。RFは投与前に熱湯に入れ、RF本体の植毛部分を完全に開かせた状態にしてから供試した。

### RFの大きさ

本試験に用いたRFは、市販のRF(RF-S)の大きさ(容積)を標準とし、その容積の1.6倍(RF-M)および2.0倍(RF-L)とした。RFの寸法は、RF-Sが植毛部分(ブラシ渡り)80mm, 直径110mm, RF-Mが90mm, 130mmおよびRF-Lが100mm, 140mmであった。材質とナイロンの太さは、標準のRF-Sと同じとした。また、RF-MおよびRF-Lの植毛部分の刺激度(湿曲げ硬さ, 屈曲回復率)は、標準のRF-Sと変わらなかった。

### 供試飼料と飼養方法

本試験には、濃厚飼料として市販の配合飼料(商品名:オギノスペシャル, 北日本くみあい飼料株式会社)を、粗飼料として稲ワラを用いた。供試飼料の分析化学成分組成は表1-2-1に示した。濃厚飼料の原材料の配合割合は、穀類(トウモロコシ, 大麦他)72%, 糟糠類(コーングルテンフィード, 米ぬか他)16%, 植物性油粕類(大豆油粕)8%およびその他(炭酸カルシウム, 糖蜜他)4%であった。稲ワラはカッターの設定切断長を2cmとし、細切して給与した。飼料の給与量は、日本飼養標準・肉用牛[農林水産省農林水産技術会議事務局1995]に基づいて各試験期に開始時の体重から維持に必要な可消化養分総量(TDN)要求量とした。濃厚飼料と粗飼料の給与割合は原物換算で97:3とした。

供試牛は個別に頭絡を使用して繋ぎ飼いし、舎内でゴムマットを敷いて管理した。飼料は午前9時と午後4時の2回に分けて、半量づつ給与した。水と固形塩は全試験期間中を通じて自由に摂取できるようにした。なお、本試験では、濃厚飼料多給の飼養条件下に慣らすため、10日間の馴致期を通じて徐々に飼料の切り替えを行った。

### 行動調査

行動の撮影は、第1章第1節で使用した広角レンズ付き監視用カメラとタイムラプスビデオカセットレコーダー(SVT-S5100, ソニー株式会社)を用い、各試験期の本期8日目に午前の飼料給与時から48時間行った。同監視用カメラの設置は、行動調査開始日の前日に行い、同監視用カメラ1機で1頭を撮影するようにそれぞれ配置した。撮影の録画間隔は0.12秒とし、録画テープを連続走行させて

48時間連続撮影した。

行動の解析は、午前の飼料給与時を起点とし、録画テープを再生しながら連続観察によりそれぞれの供試牛の各行動時間を記録して行った。観察した行動は、各行動時間として飼料摂食時間、反芻時間および総咀嚼時間（飼料摂食時間+反芻時間）をそれぞれ記録した。その際、飼料摂食時の咀嚼と反芻時の咀嚼は、それぞれの咀嚼行動における前後の行動から判断して区別した。また、給与飼料の摂取量は行動調査と並行して調査した。

#### 消化試験と飼料および糞の分析

各試験期の本期1日目から5日間、各供試牛に牛体ハーネス（三紳工業株式会社）を取り付けて全糞を採取した。採取した糞は、計量後よくかき混ぜてその一部（1,000g）を60℃の通風乾燥機内で乾燥させ、1.0mmのスクリーンを取り付けた粉碎機（1093型、Foss Tecator）で粉碎し、分析まで常温で保存した。

飼料および糞中の水分、粗灰分、粗蛋白質、粗脂肪および粗繊維の分析は常法[堀井ら 1971]により行い、また飼料および糞中の有機物は、アミラーゼ・プロテアーゼ混合酵素分析法[古賀と阿部 1994]により、細胞内容物質（OCC）と細胞壁構成物質（OCW）に分画した。

#### 第一胃内の発酵性状調査

第一胃内発酵性状の測定用試料（第一胃内容液、300ml）の採取は、各試験期の本期7日目に第一胃フィステルを通して経時的に行った。採取時間は、午前と午後のそれぞれの飼料給与前および飼料給与後15、30、45、60、90、120および180分（計16回）とした。採取した第一胃内容液は二重ガーゼでろ過を行い、ただちにpHを第1章第2節で使用したポータブルpH計を用いて測定した。ろ過した第一胃内容液は、それぞれの分析に供するまで-30℃で凍結保存した。

VFAは、水蒸気蒸留により採取した蒸留液を滴定し、蒸発乾固して得られたVFA塩をガスクロマトグラフィー（G-5000A、株式会社日立製作所）を用いて各種VFAに分離した。分離測定した各種VFAの面積比とそれぞれの補正係数から濃度を補正し、各種VFAのモル比率を算出した。ガスクロマトグラフィーの運転条件は以下の通りとした。カラムとしてステンレス製カラム（SUSカラム2M、カラムサイズ：3mmφ×2m、株式会社日立製作所、充填剤：Unisole F-200、ジーエルサイエンス株式会社）を使用した。キャリアガスは窒素を用い、その流速は30ml/minとした。燃焼ガスは水素を用い、その流速は20ml/minとした。ガスクロマトグラフィーの気化室（Injection）温度は210℃、カラム（Oven）温度は145℃とし、検出にはFID検出器を用い、設定温度（Detector）は250℃とした。チャートスピードは1.0cm/minとした。アンモニア態窒素濃度は、コンウェイの微量拡散分析法[Conway 1950]を用いて定量した。乳酸濃度は、バーカー・サマーソン法[BarkerとSummerson 1941]により測定した。



### 第一胃内液相の通過速度の測定

第一胃内液相の通過速度を求めるため、マーカーとしてエチレンジアミン四酢酸コバルト (Co(II)-EDTA, 和光純薬工業株式会社) を用いた。Co(II)-EDTA の投与量は、1頭当たり 10g とし、300ml の水道水に溶かして飼料給与直前に第一胃フィステルから直接投与した。Co 分析用の試料 (第一胃内容液, 300ml) は、各試験期の本期 12 日目から 14 日目に第一胃フィステルから経時的に採取した。採取時間は、午前の飼料給与前および飼料給与後 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36 および 48 時間 (計 9 回) とした。採取した第一胃内容液は、二重ガーゼでろ過後、 $-30^{\circ}\text{C}$  で凍結保存した。

Co 分析用の試料は、前処理として硝酸・過塩素酸で湿式灰化し、原子吸光度計 (日立 208, 株式会社日立製作所) で分析して検量線から濃度を求めた。第一胃内液相の通過速度 (回転率) は、第一胃内の Co 含量の経時的減衰曲線から求めた [Homma 1994]。

### 統計処理

行動時間、消化率、第一胃内液相の通過速度および各調査時における第一胃内の発酵性状のデータについては、RF 無投与とそれぞれの大きさの RF 投与を対応のある t 検定を用いて比較した。なお、5% 以下の危険率は統計的有意差があるとし、危険率 10% 以下の場合には傾向があるとした。

## 結 果

表 1-2-2 には行動調査時における各処理の飼料摂取量および摂食時と反芻時の咀嚼時間を示した。1 日当たりの乾物および OCW 摂取量は、いずれの処理とも同等であり、1 日当たりの飼料摂食時間は、処理間に違いがなかった。1 日当たりの反芻時間および総咀嚼時間は、RF 無投与と、RF-S, RF-M および RF-L のそれぞれの処理間に有意差がなかった。摂取乾物および摂取 OCW1kg 当たりの反芻時間についても、RF 無投与とそれぞれの RF 投与の間に有意差がなかった。摂取乾物および摂取 OCW1kg 当たりの総咀嚼時間は、RF 無投与に比較して RF-S が長い傾向であった ( $P < 0.10$ )。

各処理における反芻時間の経時変化を図 1-2-1 に示した。反芻時間は、各処理ともそれぞれの調査時間帯において個体差があり、偏差が大きかった。反芻はそれぞれの処理とも飼料給与後 1~2 時間目以降で観察され、日中に比べ夜間から朝方に掛けて増加した。

表 1-2-3 には各処理の成分消化率および栄養価を示した。それぞれの成分消化率については、RF 無投与に比較して、RF-S, RF-M および RF-L ともにほぼ同様であった。TDN および可消化粗蛋白質 (DCP) については、処理間に差がなく同等であった。

各処理の第一胃内 pH、総 VFA 濃度および各 VFA 濃度と組成の経時変化を図 1-2-2~図 1-2-4 にそれぞれ示した。第一胃内 pH は、各処理ともに午前および午後の飼料給与後に低下し、給与後 90~120 分で最小値を示した。RF 無投与、RF-S および RF-M の各処理は、ほぼ同様な経時変化を示した。RF-L は午前、午後ともに他の 3 処理よりも若干低く推移した。総 VFA 濃度は、午前、午後ともに飼料給与後 60 分前後までそれぞれの処理とも上昇した。その後、午前では飼料給与前に近い数

値まで低下したが、午後においては低下が緩やかであった。RF 無投与とそれぞれの RF 投与の総 VFA 濃度を比較すると、RF-S は午前の飼料給与後 45 分の調査時を除いて RF 無投与と同等もしくは RF 無投与を上回り、午後では各調査時とも RF 無投与を上回った。RF-M は午前の各調査時において RF 無投与よりも全般に低く、午前の飼料給与後 60 分の調査時で RF 無投与より低かった ( $P<0.05$ )。しかし午後の各調査時では RF 無投与を上回り、飼料給与前の調査時で RF 無投与よりも高かった ( $P<0.05$ )。RF-L は午前の飼料給与後 45 分の調査時を除き、RF 無投与と同等もしくは RF 無投与を上回り、午後の飼料給与後 60 分の調査時において RF 無投与よりも高かった ( $P<0.05$ )。酢酸濃度は、午前の調査において、飼料給与後 60 および 120 分の RF-L が RF 無投与よりも高い傾向であった ( $P<0.10$ )。午後の調査では各調査時とも RF 無投与とそれぞれの RF 投与の処理間に有意差がなかった。プロピオン酸濃度は、RF 無投与に比較して、午前の調査において、RF-S では飼料給与後 180 分の調査時が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。RF-M では給与後 45 および 60 分の調査時が低い傾向であり ( $P<0.10$ )、給与後 120 分の調査時が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。RF-L では給与後 90 分の調査時で高い傾向が認められ、給与後 120 分の調査時が高かった ( $P<0.05$ )。同様に午後の調査において、RF-S では飼料給与前の調査時が高い傾向であり ( $P<0.10$ )、給与後 15 分の調査時が高かった ( $P<0.05$ )。RF-M では飼料給与前が高い傾向であり ( $P<0.10$ )、給与後 30 分の調査時が高かった ( $P<0.05$ )。RF-L では飼料給与後 45 分で高い傾向があり ( $P<0.10$ )、給与後 60 分の調査時が高かった ( $P<0.05$ )。酪酸濃度は、RF 無投与に比べ、午前の飼料給与後 30 分の RF-M が低い傾向であり ( $P<0.10$ )、午後の給与後 90 分の RF-L が低い傾向であった ( $P<0.10$ )。

アンモニア態窒素濃度および乳酸濃度の経時的変化を図 1-2-5 に示した。アンモニア態窒素濃度は、いずれの処理においても午前、午後ともに飼料給与後上昇し、給与後 15~45 分間でピークに達した。その後徐々に低下し、給与後 180 分の調査時には給与前の数値を下回った。午前の調査においては、各調査時とも RF 無投与とそれぞれの RF 投与の間に有意差がなかった。午後の調査では、RF 無投与に比較して、RF-S が飼料給与後 180 分の調査時で低く ( $P<0.05$ )、RF-M が飼料給与前と給与後 60、90 および 120 分の調査時で高かった ( $P<0.05$ )。乳酸濃度は、午前ではいずれの処理とも飼料給与後 30 分で最高値を示し、その後低下して給与後 90 分の調査時に飼料給与前の数値を下回った。RF 無投与に比較して、午前の飼料給与後 45 分の調査時で RF-L が高い傾向であり ( $P<0.10$ )、給与後 90 分の調査時で RF-M が高かった ( $P<0.05$ )。午後の各調査時では、飼料給与前で RF 無投与より RF-S および RF-M が高かった ( $P<0.05$ ) が、給与後の各調査時には RF 無投与とそれぞれの RF 投与の間に有意差がなかった。

表 1-2-4 には第一胃内液相の通過速度 (回転率と回転時間) を示した。RF-S、RF-M および RF-L の各大きさの RF 投与とも、第一胃内液相の回転率は RF 無投与に比較して高く ( $P<0.05$ )、第一胃内液相の回転時間は RF 無投与よりも短かった ( $P<0.05$ )。

## 考 察

本試験において、1日当たりの反芻時間は、対照の無投与と大きさの異なる RF を投与した 3 処理を比較すると、その差は小さいものの無投与よりも RF 投与がやや長くなった。本試験では給与飼料の濃厚飼料割合を極端に多くした設定となっており、さらに濃厚飼料の配合原料も易発酵性の穀類を主体にしたものであった。反芻時間は、飼料の種類や形態によりかなりの差が生じることが報告されており [Freer と Campling 1965; 大橋と五島 1968], 粉碎乾草や濃厚飼料の給与時では極端に短くなり、1日当たりで 100 分以下となることもある [Freer と Campling 1965]。反芻過程における第一胃内容物である食塊の吐き戻しは、第一胃や噴門部付近の粘膜に粗剛な飼料片などの触刺激により誘発される [Balch 1952; Ash と Kay 1959]。ところで、本試験で調査した第一胃内液相の通過速度は、無投与に比較してそれぞれの大きさの RF を投与した各処理とも有意に速くなっており、この原因の 1 つとして、第一胃粘膜に対する RF の物理的な刺激作用の関与が考えられる。すなわち、RF の投与により第一胃粘膜への物理的な刺激が高まり、第一・二胃の収縮運動が増して第一胃内液の第三胃以降への流出を高めたことが推察される。したがって、本試験のような飼料条件下では、RF の投与により第一胃粘膜への物理的な刺激作用が増加し、反芻時の吐き戻しの誘発が促進されたとしても、吐き戻された食塊中の固形物量が非常に少ないことや食塊に含まれる固形物の飼料片が小さいことが影響して正常な反芻パターンが得られなかったのかもしれない。この点についてはさらに詳細な検討が必要であろう。

反芻家畜が摂取する飼料中に含まれる原料の違いにより第一胃内での発酵・消化も異なり、第一胃内発酵パターンも大きく変化する [Oltjen ら 1967; Latham ら 1971] ことは一般に知られている。この第一胃における発酵パターンの変化は、生産に大きく関わり、最終的な生産目標を何に定めるかにより、また効率的な生産を行うためには、第一胃内発酵パターンを人為的にコントロールすることも必要となってくる。肉牛では、プロピオン酸型の発酵が生産に悪い影響を及ぼすことを指摘した報告はなく、むしろ第一胃内発酵過程でのメタン産生を減少させることにより飼料効率の改善が期待されている [Baldwin と Allison 1983; Naruse ら 1996]。一方、乳牛では、プロピオン酸型の発酵は乳脂肪率の低下を引き起こす [Kajikawa ら 1990] ことから、酢酸型の発酵を安定的に維持する必要があることが一般に知られている。本試験では、異なる大きさの RF を投与した 3 処理ともプロピオン酸濃度が、午前の調査では飼料給与後 45 および 60 分を除く各調査時において、無投与の対照と同等もしくは無投与を上回り、午後の調査ではすべての調査時とも無投与に比較して高く推移し、統計的に有意な差が認められた調査時間もそれぞれの処理ともあった。上述のように、肉牛において第一胃内発酵がプロピオン酸型の発酵パターンとなることは、生産効率を高める可能性があり、特に肉牛の長期肥育にとってその有効性が充分にあると考えられる。しかしながら、本試験で得られた結果だけでは、肉牛の第一胃への RF の投与により第一胃内発酵がプロピオン酸型となる機構については明らかにできず、次章以降において、肉牛に対する RF の投与が第一胃内発酵パターンにどのような影響を及ぼすのか詳細に検討し、またその機構についても考察していくこととする。

以上の結果から、本試験に供試した大きさの異なる RF の中で、RF-S を投与した処理は、無投与

に比較して、摂取乾物および摂取 OCW1kg 当たりの総咀嚼時間が長くなる傾向が認められ、第一胃内 pH に及ぼす影響が少なく、また、第一胃内における VFA 発酵が良好となり、プロピオン酸型の発酵を示すことが推察され、肉牛に利用する RF の大きさとして現在市販されている RF-S で十分であることが示唆された。

Table 1-2-1. Chemical composition of concentrate and rice straw used in this experiment

Composition	Contents (% of dry matter)	
	Concentrate <sup>1)</sup>	Rice straw
Organic matter	95.0	88.6
Crude protein	13.1	5.8
Ether extract	2.9	2.4
Nitrogen free extract	76.2	52.8
Crude fiber	2.8	27.6
Organic cellular content	82.3	9.9
Organic cell wall	12.7	78.7
Crude ash	5.0	11.4

<sup>1)</sup> Ogino-Special (flaking and meal, Kita-Nihon-Kumiai-Shiryo Co., Ltd.).

Table 1-2-2. Effects of size of dosing RF on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed with high concentrate diets

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>		
		RF-S <sup>3)</sup>	RF-M <sup>3)</sup>	RF-L <sup>3)</sup>
Intake, kg/day				
DM	5.2 ± 0.5	5.2 ± 0.4	5.2 ± 0.5	5.1 ± 0.5
OCW	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1
Time spent, min/day				
Eating	35.3 ± 7.2	39.2 ± 10.7	32.1 ± 2.2	32.4 ± 3.4
Rumination	68.7 ± 19.7	75.7 ± 13.2	75.9 ± 24.0	95.6 ± 16.9
Total chewing	103.9 ± 21.7	114.9 ± 23.7	108.0 ± 25.8	128.0 ± 19.6
Chewing time, min/kg DM intake				
Eating	6.9 ± 1.5	7.7 ± 2.8	6.2 ± 0.8	6.3 ± 0.9
Rumination	13.7 ± 5.4	14.8 ± 3.8	14.9 ± 5.7	18.7 ± 4.0
Total	20.6 ± 6.2	22.5 ± 6.6 †	21.2 ± 6.5	25.1 ± 4.8
Chewing time, min/kg OCW intake				
Eating	46.9 ± 9.9	52.8 ± 19.2	42.7 ± 5.5	43.4 ± 6.2
Rumination	93.5 ± 36.8	101.3 ± 26.1	102.1 ± 39.4	128.3 ± 26.7
Total	140.4 ± 42.1	154.1 ± 45.2 †	144.8 ± 44.6	171.8 ± 32.2

Values are mean ± s.d. for four animals.

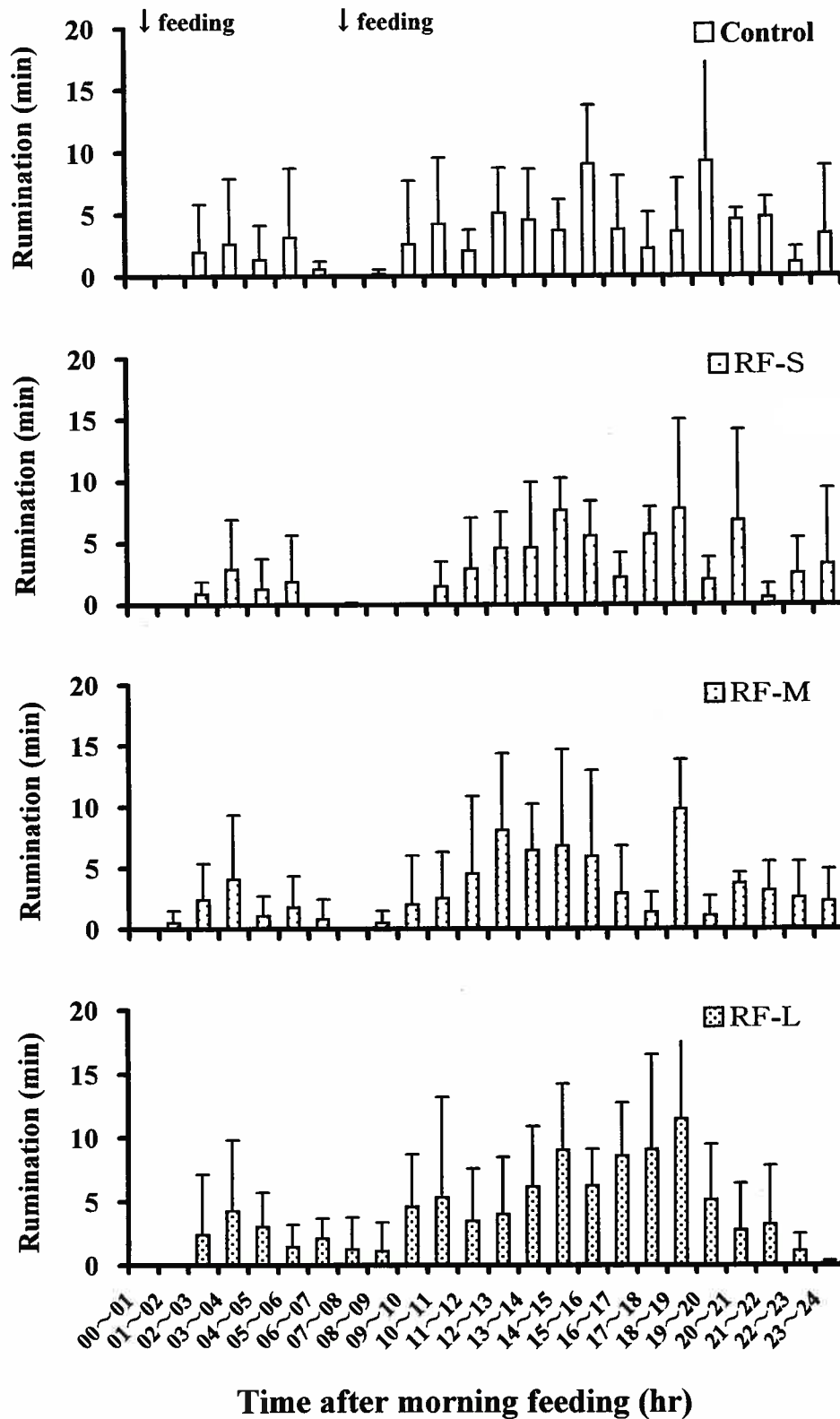
Asterisks are significantly different from control (†P<0.10).

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>3)</sup> RF-S: small RF (hair transplantation: 80mm, diameter: 110mm), RF-M: medium RF (90mm, 130mm), RF-L: large RF (100mm, 140mm).

DM: dry matter, OCW: organic cell wall.



**Fig. 1-2-1.** Hourly distribution of time spent for rumination on each treatment in steers fed with high concentrate diets.

Values are mean  $\pm$  s.d. for four animals.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF-S: a treatment in which small RF (hair transplantation: 80mm, diameter: 110mm) was dosed into the rumen.

RF-M: a treatment in which medium RF (hair transplantation: 90mm, diameter: 130mm) was dosed into the rumen.

RF-L: a treatment in which large RF (hair transplantation: 100mm, diameter: 140mm) was dosed into the rumen.

Table 1-2-3. Effects of size of dosing RF on digestibility and nutrient content in steers fed with high concentrate diets

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>		
		RF-S <sup>3)</sup>	RF-M <sup>3)</sup>	RF-L <sup>3)</sup>
<b>Digestibility (%)</b>				
Dry matter	85.4 ± 1.1	85.3 ± 2.0	86.0 ± 1.5	85.6 ± 1.5
Organic matter	87.6 ± 1.5	87.7 ± 1.4	88.2 ± 1.2	87.8 ± 1.4
Crude protein	82.0 ± 2.1	81.7 ± 1.7	81.4 ± 1.9	81.0 ± 2.6
Ether extract	81.9 ± 4.2	80.7 ± 5.5	83.0 ± 1.2	81.6 ± 4.6
Nitrogen free extract	90.8 ± 1.1	91.1 ± 0.9	91.5 ± 0.9	91.2 ± 1.0
Crude fiber	43.1 ± 12.4	42.6 ± 11.8	46.5 ± 7.5	45.1 ± 3.8
Organic cellular content	96.2 ± 1.0	96.3 ± 1.2	96.3 ± 0.7	96.0 ± 1.2
Organic cell wall	40.4 ± 4.3	40.6 ± 4.8	44.1 ± 7.4	42.7 ± 6.1
<b>Nutrient content (%)</b>				
Total digestible nutrient	74.3 ± 1.3	74.3 ± 1.2	74.8 ± 1.0	74.5 ± 1.2
Digestible crude protein	9.1 ± 0.2	9.1 ± 0.2	9.1 ± 0.2	9.0 ± 0.3

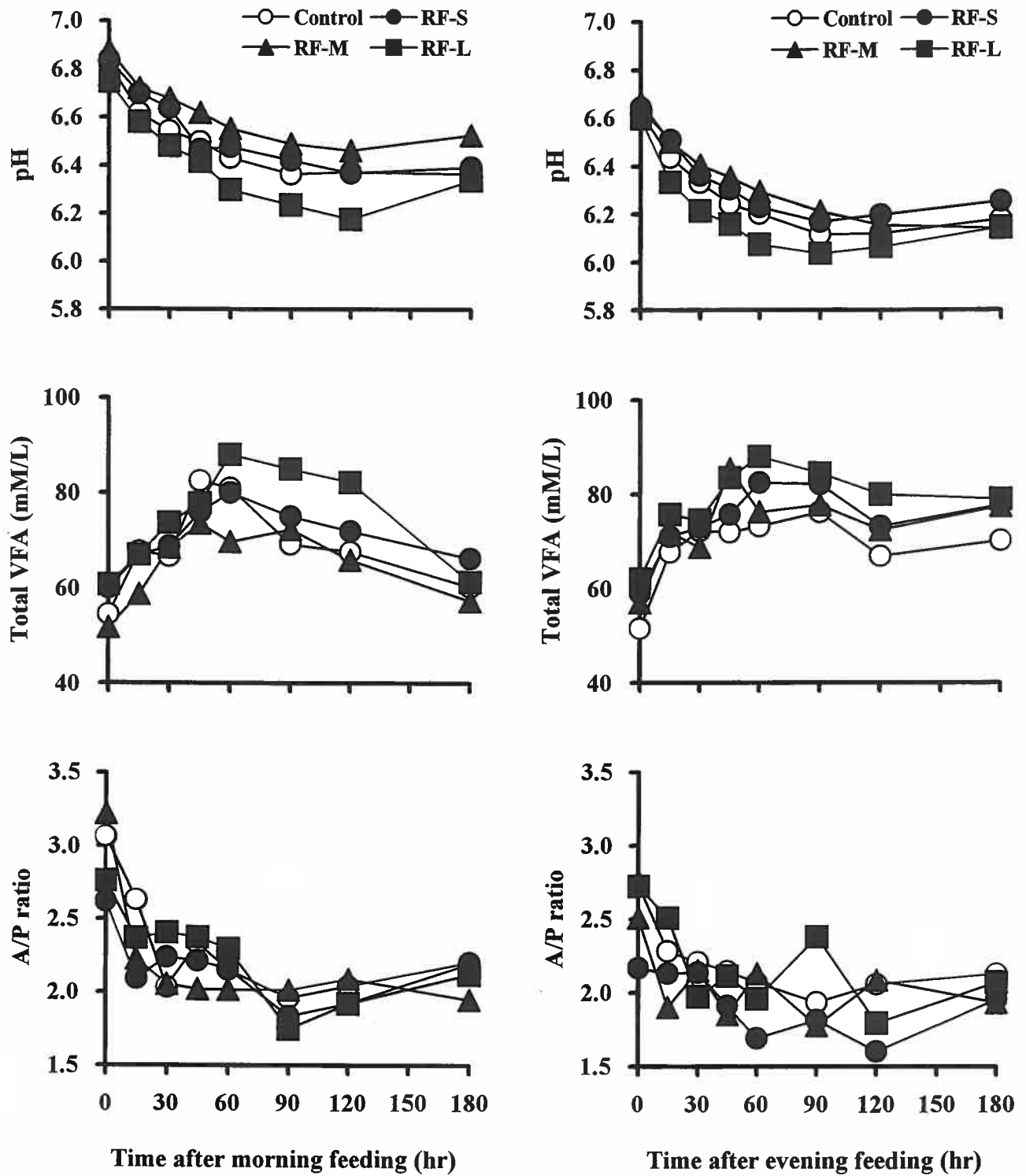
Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>3)</sup> RF-S: small RF (hair transplantation: 80mm, diameter: 110mm), RF-M: medium RF (90mm, 130mm), RF-L: large RF (100mm, 140mm).





**Fig. 1-2-2.** Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid in steers fed with high concentrate diets.

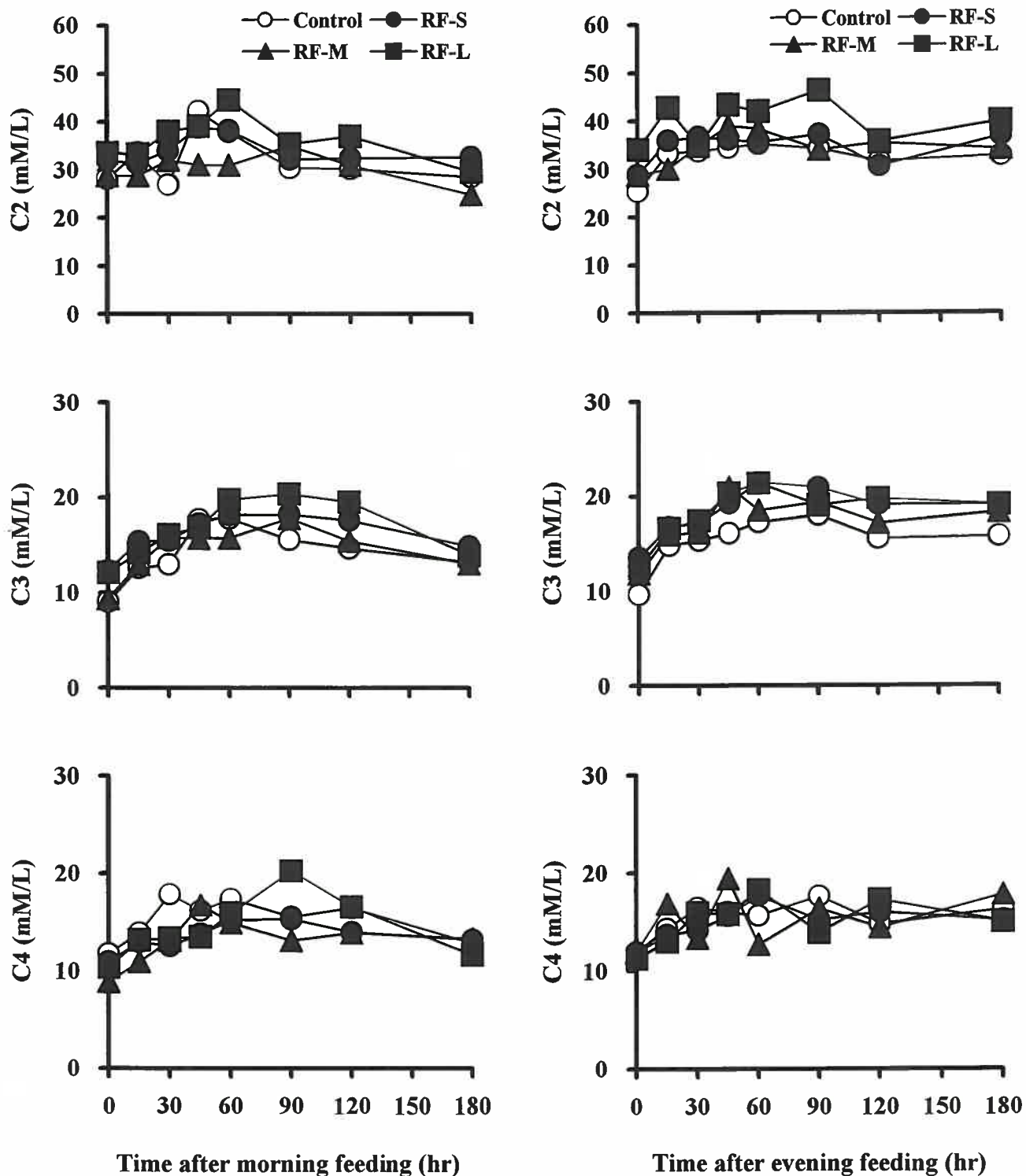
Values are indicated means for four animals.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF-S: a treatment in which small RF (hair transplantation: 80mm, diameter: 110mm) was dosed into the rumen.

RF-M: a treatment in which medium RF (hair transplantation: 90mm, diameter: 130mm) was dosed into the rumen.

RF-L: a treatment in which large RF (hair transplantation: 100mm, diameter: 140mm) was dosed into the rumen.



**Fig. 1-2-3.** Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid in steers fed with high concentrate diets.

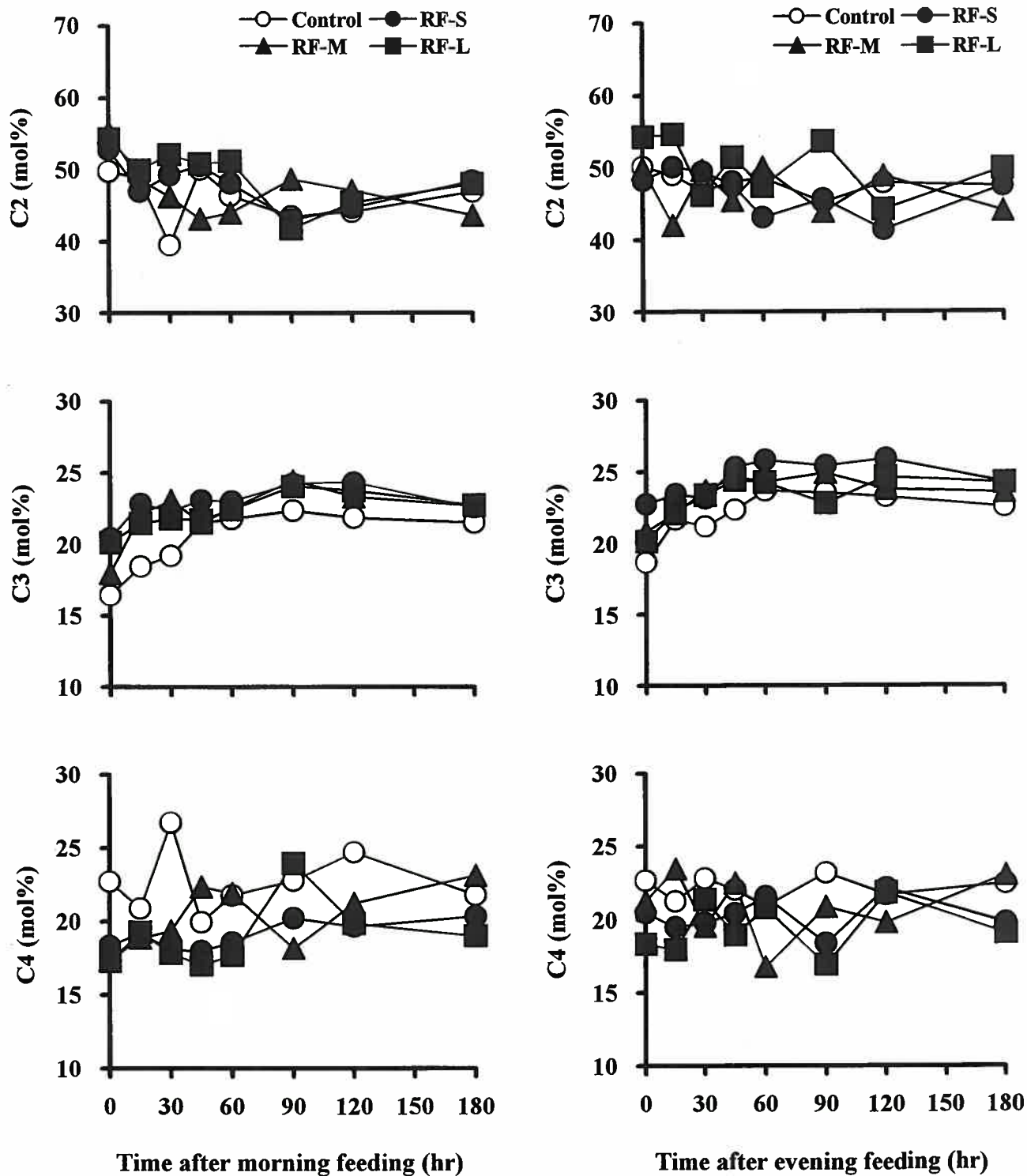
Values are indicated means for four animals.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF-S: a treatment in which small RF (hair transplantation: 80mm, diameter: 110mm) was dosed into the rumen.

RF-M: a treatment in which medium RF (hair transplantation: 90mm, diameter: 130mm) was dosed into the rumen.

RF-L: a treatment in which large RF (hair transplantation: 100mm, diameter: 140mm) was dosed into the rumen.



**Fig. 1-2-4.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid in steers fed with high concentrate diets.

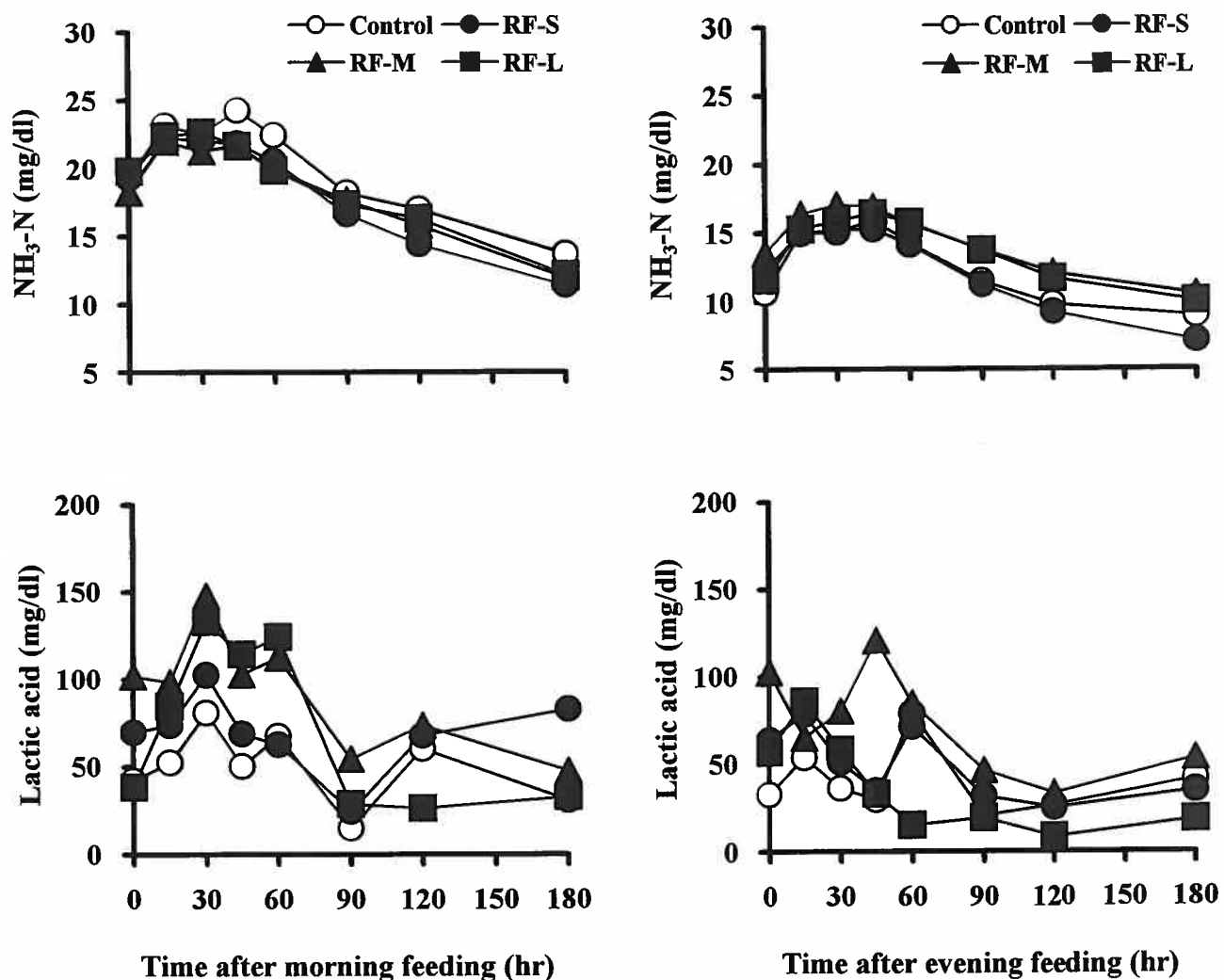
Values are indicated means for four animals.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF-S: a treatment in which small RF (hair transplantation: 80mm, diameter: 110mm) was dosed into the rumen.

RF-M: a treatment in which medium RF (hair transplantation: 90mm, diameter: 130mm) was dosed into the rumen.

RF-L: a treatment in which large RF (hair transplantation: 100mm, diameter: 140mm) was dosed into the rumen.



**Fig. 1-2-5. Diurnal changes in NH<sub>3</sub>-N and lactic acid concentration of rumen fluid in steers fed with high concentrate diets.**

Values are indicated means for four animals.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF-S: a treatment in which small RF (hair transplantation: 80mm, diameter: 110mm) was dosed into the rumen.

RF-M: a treatment in which medium RF (hair transplantation: 90mm, diameter: 130mm) was dosed into the rumen.

RF-L: a treatment in which large RF (hair transplantation: 100mm, diameter: 140mm) was dosed into the rumen.

Table 1-2-4. Effects of size of dosing RF on turnover rate and turnover time of ruminal fluid in steers fed with high concentrate diets

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>		
		RF-S <sup>3)</sup>	RF-M <sup>3)</sup>	RF-L <sup>3)</sup>
Turnover rate (%/hr)	4.5 ± 0.2	5.1 ± 0.3 *	5.1 ± 0.2 *	5.2 ± 0.2 *
Turnover time (hr)	22.2 ± 0.9	19.6 ± 1.0 *	19.8 ± 1.0 *	19.1 ± 0.8 *

Values are mean ± s.d. for four animals.

Asterisks are significantly different from control (\*P<0.05).

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>3)</sup> RF-S: small RF (hair transplantation: 80mm, diameter: 110mm), RF-M: medium RF (90mm, 130mm), RF-L: large RF (100mm, 140mm).

## 要 約

濃厚飼料多給与下において、異なる大きさの RF の投与が反芻時間、成分消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について検討した。試験は、第一胃フィステルを装着したホルスタイン種去勢雄牛 4 頭を用い、RF を投与しない無投与（対照）と大きさの異なる RF を 1 頭当たり 3 個投与する RF 投与（RF-S、RF-M および RF-L）にそれぞれ割り当て、4×4 のラテン方格法により実施した。給与飼料は、濃厚飼料（市販配合飼料）と稲ワラ（2cm 切断）を用い、濃厚飼料と粗飼料の給与割合を原物換算で 97 : 3 とし、維持に必要な TDN 要求量を給与した。1 日当たりの反芻時間および総咀嚼時間は、RF 無投与とそれぞれの RF 投与の間に有意差がなかった。摂取乾物および摂取 OCW1kg 当たりの総咀嚼時間は、RF-S が RF 無投与よりも長くなる傾向が認められたが、他の大きさの RF 投与と RF 無投与の間には有意差がなかった。各成分消化率は、いずれの処理ともほぼ同様であった。第一胃内 pH は、午前、午後の調査時とも RF-L が他の処理よりもやや低く推移した。総 VFA 濃度は、午前では RF-L が飼料給与後 60~120 分の調査時で高く推移し、午後では飼料給与後 45 分の調査時以降、いずれの大きさの RF 投与も RF 無投与を上回った。酢酸/プロピオン酸比は、午前では各大きさの RF を投与した 3 処理のうち、RF-S が RF 無投与よりも高くなった調査時が少なく、午後では RF-S がすべての調査時とも RF 無投与を下回った。第一胃内液相の回転率は、いずれの大きさの RF 投与とも RF 無投与に比較して有意に高かった。これらの結果から、咀嚼時間を長くする可能性があり、第一胃内 pH に与える影響が少なく、第一胃内の VFA 発酵が良好となり、プロピオン酸型の発酵を示した RF-S が肉牛に利用する RF の大きさとして十分であることが示唆された。

## 第2章

### 稲ワラ給与による異なる総繊維含量条件下における 反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響

#### 緒 言

反芻家畜の第一胃の内部環境を規制する因子（第一胃の内容量や pH など）は、一定の飼養条件下で飼育された場合では規則的な日内変動を繰り返してほぼ一定に保たれている。このような第一胃内の恒常性は、第一胃粘膜からの発酵生成物の吸収、第三胃以降の下部消化管への内容物の流出、唾液の第一胃内への流入などの諸要因により維持されている[梅津 1986]。しかしながら、濃厚飼料を多量に給与する肥育時においては、第一胃内での異常発酵により急激な揮発性脂肪酸（VFA）濃度や乳酸濃度の増加、発酵ガスの異常蓄積、第一胃内 pH の著しい低下、第一胃運動の抑制・停止などを伴って種々の代謝障害が起きる場合もあるのではないかとと思われる。易発酵性の穀類を主体とした濃厚飼料を多給する飼養システムは、肉牛の肥育効率を向上させ、市場価値の高い牛肉を生産するのに有利であると思われるが、濃厚飼料多給により代謝障害が生じて生産性の低下に結び付くことは、逆に安定した肉牛生産を図る上でマイナス要因であり、可能な限り避けなければならないことである。

上述のように肉牛の肥育時では、増体の促進や肉質の向上を目的とするため穀類主体の濃厚飼料の割合を増加させ、粗飼料の給与量を極力減らす飼養システムが一般的に行われていると思われる。このような給与飼料の管理は、粗飼料を栄養源として扱わず、むしろ粗飼料が有する第一胃内における物理的な刺激作用を重視し、濃厚飼料特に穀類の過給に起因すると思われる種々のルーメントラブルを予防するための措置であると理解され、我が国では稲ワラが同様の目的で利用され、1日1頭当たり1kg、または全飼料の風乾物中最低10%を給与する例が多い[中村 1981]。

濃厚飼料多給による生理的障害を回避するためには第一胃内の発酵を安定させることが重要であり、稲ワラなどの粗飼料はその機能を十分に有すると思われる。粗飼料の給与によって第一胃内容物の異常発酵の進行が抑制されるとともに、唾液の分泌による pH 緩衝能を高めることが推察されるからである。唾液の分泌は、咀嚼・反芻時間と高い相関にある[Erdman 1988]ことが知られている。また、咀嚼・反芻時間は、飼料の粒度や切断長により変わる[Mertens 1997]が、穀類に比べて乾草やワラ類の咀嚼・反芻時間は一般に長い[Sudweeks ら 1981]ことが報告されている。

穀類主体の濃厚飼料には少なく、乾草やワラ類などの粗飼料には多い機能であると推察される第一胃に対する物理的的刺激機能を代替え可能な第一胃刺激用具（RF）は、動物用医療用具として市販され、肉牛の生産現場において利用されている。しかしながら、稲ワラをある程度給与した飼料条件下の肉牛に RF を投与したときの知見はほとんどなく、さらに稲ワラの切断長が RF の第一胃内での機能に影響を与えるかどうかを検討した報告はない。したがって、肉牛の肥育で一般に行われていると思われる濃厚飼料多給時に稲ワラを給与する飼養条件下において、RF 投与が反芻や咀嚼、消化率、第一胃内の発酵性状などにどのような影響を及ぼすのか詳細に検討することが必要であると思われる。

そこで本章（第2章）では、飼料中の総繊維（細胞壁構成物質（OCW））含量を切断長の異なる稲ワラを給与して3段階に設定した飼料条件下の肉牛にRFを投与し、反芻時間、各成分消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について詳細に調査し、稲ワラ給与時におけるRFが有する第一胃への物理的刺激機能について検討した。

なお本章では、本試験で設定した稲ワラの切断長の違いに分けて結果および考察を記述した。

## 材料および方法

### 供試動物

本試験では、ホルスタイン種去勢雄牛8頭をそれぞれの試験（試験1, 2および3）に供試した。試験1においてRFを投与しない対照の牛群（RF無投与）および投与する牛群（RF投与）を設定し、平均体重が同等となるように4頭ずつの2群にそれぞれ割り当てた。各試験の試験開始時の体重（平均値±標準偏差）は、試験1では $318\pm 8\text{kg}$ 、試験2では $383\pm 11\text{kg}$ および試験3では $464\pm 31\text{kg}$ であった。RFの投与個数は、1頭当たり3個とし、RF専用投与器を用いて経口投与した。RFの投与時期は、試験1の予備期開始1週間前に実施した。なお、本試験に用いた供試牛は、導入後2ヶ月間の馴致期を設け、馴致期中に除角と鼻環の装着を実施した。また、濃厚飼料多給の飼養条件下に慣らすため、飼料の切り替えは馴致期を通して徐々に行った。

### 供試飼料と飼養方法

試験1では、濃厚飼料として市販の配合飼料（商品名：子牛育成スペシャル、北日本くみあい飼料株式会社）を、粗飼料として稲ワラを用いた。濃厚飼料の原材料の配合割合は、穀類（トウモロコシ、大麦他）49%、糟糠類（コーングルテンフィード、米ぬか他）30%、植物性油粕類（大豆油粕）14%およびその他（炭酸カルシウム、糖蜜他）7%であった。稲ワラはカッターの設定切断長を2cmとして細切したものと、押切で30cmに切断したものを給与した。

試験2では、濃厚飼料として第1章第2節と同様の市販の配合飼料（商品名：オギノスペシャル、北日本くみあい飼料株式会社）を、粗飼料として稲ワラとアルファルファヘイキューブを用いた。稲ワラは試験1と同様に2cmに切断して給与した。なお、粗飼料にアルファルファヘイキューブを給与したとき、ほぼ全供試牛に鼓脹の症状が認められたため、アルファルファヘイキューブ給与試験については中止することとした。

試験3では、濃厚飼料として試験2に供試した市販の配合飼料を、粗飼料として稲ワラを用いた。稲ワラは試験1と同様にして2cmと30cmに切断して用いた。

各試験における飼料の給与量は、それぞれの予備期開始前日に各供試牛の体重を測定し、その体重を基準に日本飼養標準・肉用牛[農林水産省農林水産技術会議事務局 1995]に基づき可消化養分総量（TDN）要求量で増体日量1.4kgを充足する量を給与した。その際、飼料中のOCW含量が原物換算で25%（試験1）、20%（試験2）および15%（試験3）となるように濃厚飼料と粗飼料の給与割合



を調製した。それぞれの試験での各飼料の給与割合および給与飼料の化学成分組成は表 2-1 に示した。

飼養方法は、それぞれの試験とも各供試牛を個別に頭絡を用いて繋ぎ飼いし、ゴムマットを敷いて舎内で管理した。飼料の給与は、午前 9 時と午後 5 時の 2 回（半量ずつ）に分けてそれぞれ行った。水および固形塩は、各試験期間中を通じて自由に摂取できるようにした。

### 試験設定

本試験は、RF の有無により割り振った各 4 頭（RF 無投与群 4 頭、RF 投与群 4 頭）を、試験 1 と試験 3 では稲ワラの切断長の違いにより、試験 2 では給与した粗飼料の違いによりそれぞれ 2 頭ずつ割り当て、各試験の 1 期目終了後に各 2 頭を反転させ、繰り返し同様に試験を実施した。各試験の試験期間は、試験 1 では 18 日間（予備期 10 日間、本期 8 日間）とし、試験 2 と試験 3 では 20 日間（予備期 10 日間、本期 10 日間）とした。

### 行動調査

行動調査は、各試験とも本期 1 日目から 2 日間連続で実施した。行動の撮影は、各試験とも第 1 章第 2 節において使用した広角レンズ付き監視用カメラとタイムラプスビデオカセットレコーダーを用いて行った。同監視用カメラの設置は、各試験とも行動調査開始日の前日に行った。各試験とも同監視用カメラ 1 機で 2 頭を撮影するようにそれぞれ配置した。撮影の録画間隔は、各試験とも 0.12 秒として録画テープを連続走行させ、48 時間の行動をそれぞれ連続撮影した。

撮影した行動の解析は、各試験とも飼料給与時を起点とし、録画テープを再生しながら 5 分間隔で各供試牛の行動を記録して行った。すなわち、24 時間（1,440 分）の観察時間を 5 分のサンプル間隔に分け、288 のサンプル点（各サンプル間隔の終わる瞬間）の行動を記録し、それを 2 回反復（48 時間）した。行動解析時に記録した行動は、飼料摂食行動と反芻行動とした。なお、飼料摂食時の咀嚼と反芻時の咀嚼は、各サンプル点における咀嚼行動を前後の行動から判断して区別し、総咀嚼時間は、飼料摂食時間と反芻時間の和として求めた。また、給与飼料の摂取量は、行動調査と並行して調査した。

### 消化試験と飼料および糞の分析

各試験とも本期 3 日目から 7 日目まで（5 日間）、1 日 2 回（午前 10 時と午後 6 時）各供試牛の糞を採取した。採取した糞は、第 1 章第 2 節と同様に通風乾燥機で乾燥させた後、粉砕機で粉砕して常温で保存した。

消化率の算出は、酸不溶性灰分を標識物質とする index 法を用いて行った。飼料および糞中の一般成分の分析ならびに細胞内容物質（OCC）および OCW の分画は、第 1 章第 2 節と同様に行った。

### 第一胃内の発酵性状調査

第一胃内の発酵性状調査用の試料（第一胃内容液、500ml）は、各試験における本期 8 日目の午前

の飼料給与前および飼料給与後 4, 8 および 12 時間目 (計 4 回) に経口カテーテル (胃汁採取器 (千葉共済式), 富士平工業株式会社) を用いてそれぞれ採取した。この各試料を用いて, 試験 1 では, 第一胃内 pH, VFA およびアンモニア態窒素を, 試験 2 および 3 ではアンモニア態窒素を測定した。試験 2 および 3 の第一胃内 pH および VFA の測定は, 第一胃内液相の通過速度の測定用試料を用いて行った。

採取後の第一胃内容液は, 二重ガーゼでろ過し, 各種分析に供するまで $-30^{\circ}\text{C}$ で凍結保存した。第一胃内の pH の測定, ガスクロマトグラフィーによる各種 VFA の分離定量およびアンモニア態窒素濃度の測定は, 第 1 章第 2 節と同様な方法で実施した。

#### 第一胃内液相の通過速度の測定

試験 2 および 3 において, 第一胃内液相の通過速度を調査した。マーカ―は, 第 1 章第 2 節と同様に  $\text{Co(II)-EDTA}$  を用い, 1 頭当たり 10g を 300ml の水道水に溶かして飼料給与直前に経口投与した。Co 分析用の試料 (第一胃内容液, 500ml) は, 試験 2 および 3 とも本期 9 日目から 10 日目に経口カテーテル (胃汁採取器) を用いて経時的に採取した。採取時間は, 午前の飼料給与前および飼料給与後 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 および 24 時間 (計 9 回) とした。採取した第一胃内容液は, 二重ガーゼでろ過後に $-30^{\circ}\text{C}$ で凍結して保存した。

Co 分析は, 第 1 章第 2 節と同様に, 試料を湿式灰化処理して原子吸光光度計を用いて行い, Co 含量の経時的減衰曲線から第一胃内の液相の通過速度 (回転率) を求めた。

#### 統計処理

各試験から得られたデータは, 異なる飼料中の OCW 含量および稲ワラの切断長ごとに, Student の  $t$ -検定を用いて RF 無投与と RF 投与の処理間の平均値を比較した。なお, 5%以下の危険率は統計的有意差があるとし, 危険率 10%以下の場合には傾向があるとした。

Table 2-1. Ratio and chemical composition of diet in each experiment

Item	Experiment 1	Experiment 2	Experiment 3
Diet ratio, as fed basis %			
Concentrate <sup>1)</sup>	83		
Concentrate <sup>2)</sup>		80	91
Rice straw	17	20	9
Chemical composition, as fed basis %			
Organic matter	75.4	81.3	82.6
Crude protein	11.5	9.1	9.9
Ether extract	3.7	3.5	3.7
Nitrogen free extract	49.0	60.3	63.7
Crude fiber	11.2	8.5	5.2
Organic cellular content	50.4	61.1	67.6
Organic cell wall	25.0	20.2	15.0
Crude ash	8.1	6.8	5.4

<sup>1)</sup> Koushi-Ikusei-Special (flaking and meal, Kita-Nihon-Kumiai-Shiryō Co., Ltd.).

<sup>2)</sup> Ogino-Special (flaking and meal, Kita-Nihon-Kumiai-Shiryō Co., Ltd.).

## 第2章第1節

### 切断長が長い稲ワラ給与時の反芻時間, 成分消化率, 第一胃内発酵性状 および第一胃内通過速度に及ぼす影響

#### 結 果

表 2-1-1 には OCW25%飼料 (長切断稲ワラ) 給与時における行動調査時の飼料摂取量および摂食時と反芻時の咀嚼時間を示した。1 日当たりの乾物および OCW 摂取量は, 各処理ともほぼ同じであった。1 日当たりの飼料摂食時間は, RF 無投与, RF 投与ともに 3 時間ほどであり, 処理間に違いがなかった。1 日当たりの反芻時間および総咀嚼時間は, RF 無投与 403 分, 593 分, RF 投与 399 分, 586 分であり, 各処理ともほぼ同等であった。摂取乾物および摂取 OCW1kg 当たりの反芻時間および総咀嚼時間についても, 処理間に有意差がなかった。

表 2-1-2 には OCW15%飼料 (長切断稲ワラ) 給与時における行動調査時の飼料摂取量および摂食時と反芻時の咀嚼時間を示した。1 日当たりの乾物および OCW 摂取量は, 各処理とも同等であり, 1 日当たりの飼料摂食時間は, 処理間に違いがなかった。1 日当たりの反芻時間および総咀嚼時間は, RF 無投与 303 分, 434 分, RF 投与 279 分, 414 分であり, 各処理ともほぼ同等であった。摂取乾物および摂取 OCW1kg 当たりの反芻時間および総咀嚼時間についても, RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差は認められなかった。

表 2-1-3 には OCW25%飼料 (長切断稲ワラ) 給与時における処理ごとの各成分消化率および栄養価を示した。それぞれの成分消化率は, RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなかった。TDN および可消化粗蛋白質 (DCP) についても, 処理間に差がなくほぼ同じであった。

表 2-1-4 には OCW15%飼料 (長切断稲ワラ) 給与時における処理ごとの各成分消化率および栄養価を示した。それぞれの成分消化率は, 各処理ともほぼ同様であった。粗繊維の消化率は, 各処理とも負の消化率となった個体があり, 極端に低い結果となった。同様に, OCW の消化率は, RF 無投与および RF 投与のすべての個体で負の消化率となり, 各処理とも消化率 0%とした。TDN および DCP については, 処理間に差がなかった。

OCW25%飼料 (長切断稲ワラ) 給与時における各処理の第一胃内 pH, 総 VFA 濃度および各 VFA 濃度と組成の経時的変化を図 2-1-1~2-1-3 にそれぞれ示した。第一胃内 pH は, 各処理とも同様な経時的変化を示し, 各調査時とも処理間に有意差がなかった。総 VFA 濃度は, 午前の飼料給与後 4 時間目の調査時において RF 無投与よりも RF 投与が高かった ( $P<0.05$ )。酢酸濃度は, 総 VFA 濃度と同様に午前の飼料給与後 4 時間目の調査時で RF 無投与よりも RF 投与が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。プロピオン酸および酪酸濃度は, 各調査時とも RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなかった。

OCW15%飼料 (長切断稲ワラ) 給与時における各処理の第一胃内 pH, 総 VFA 濃度および各 VFA 濃度と組成の経時的変化を図 2-1-4~2-1-6 にそれぞれ示した。第一胃内 pH は, 両処理とも午前と午後の飼料給与後に低下し, その後上昇する日内変動を示した。午前の飼料給与後 3 および 9 時間目の

各調査時ではRF無投与よりもRF投与が低かった ( $P<0.05$ )。総VFA濃度は、RF無投与が45~90mM/L、RF投与が65~100mM/Lの範囲で推移し、午前の飼料給与後6時間目の調査時でRF投与が高かった ( $P<0.05$ )。各VFA濃度についても、総VFA濃度と同様に、午前の飼料給与後6時間目においてRF投与が高く ( $P<0.05$ )、他の調査時では処理間に有意差がなかった。

OCW25%飼料(長切断稲ワラ)給与時における各処理のアンモニア態窒素濃度の経時変化を図2-1-7に示した。アンモニア態窒素濃度は、RF無投与、RF投与ともに10~15mg/dlの範囲で推移し、各調査時とも処理間に有意差がなかった。

表2-1-5にはOCW15%飼料(長切断稲ワラ)給与時における第一胃内液相の通過速度(回転率と回転時間)を示した。第一胃内液相の回転率および回転時間ともに、RF無投与とRF投与の処理間に有意差は認められなかった。

## 考 察

本試験のように長い切断長の稲ワラを給与し、飼料中のOCW含量を原物換算で25%および15%に調製した飼料条件下では、1日当たりの反芻時間はRFの投与による影響を受けないことが確認された。本試験では、稲ワラの原物給与量が、OCW25%飼料給与時で1.5~1.7kg、OCW15%飼料給与時で0.8~1.0kgであり、さらに切断長30cmの長い稲ワラを給与した。したがって、このような飼料条件下では、飼料由来の第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用が十分に存在していたことが考えられ、反芻時の食塊の吐き戻しを誘発するRFの投与による影響はほとんどないのかもしれない。

一般に、1日当たりの反芻時間は粗飼料の摂取量の減少に伴って短縮される[Gordon 1965; Welch と Smith 1969]ことが知られている。岡本[1979c]は、反芻行動と乾草摂取量との関係を検討するため、8段階の異なる乾草給与量を設定してヒツジの反芻行動を調査し、乾草の給与量の減少に伴い1日の反芻時間が短くなることを報告した。本試験でも長切断稲ワラ給与時において、原物の飼料中OCW含量を25%から15%に低下した場合、1日当たりの反芻時間は各処理とも100分程短くなり、稲ワラの給与量の減少による反芻時間の短縮が確認され、上述の報告と一致した。

反芻に費やされる1日当たりの時間は、長い粗飼料を十分に給与しているときで8~10時間に達すると報告されている[Gordon 1965; Welch と Smith 1969; 岡本 1979a, 1991]。Gordon[1965]は、正常な反芻時間として500分程度が必要であることを報告した。本試験の長切断稲ワラ給与時における1日当たりの反芻時間は、OCW25%飼料給与時では400分前後と、ある程度の反芻が得られていたが、OCW15%飼料給与時では280~300分であり、充分の粗飼料給与時での反芻時間の半分となった。反芻時間の減少は唾液分泌の低下により第一胃内pHの恒常性に影響を及ぼすことが考えられる。しかしながら、本試験でのOCW15%飼料給与時の第一胃内pHは、各処理とも飼料給与後に低下するものの、その後上昇して飼料給与前の数値まで回復する日内変動を示していた。この第一胃内pHの結果も含め第一胃内の発酵性状の結果から、OCW15%飼料給与時の反芻時間でも第一胃内pHの恒常性をある程度維持できることが確認された。Obaraら[1994]は、第一胃フィステル装着去勢牛を

用い、少量の稲ワラ（0.6kg）と多量の濃厚飼料（10.0kg）を給与した飼料条件下における第一胃内の発酵性状を経時的に調査した。それによると、濃厚飼料の多量給与による第一胃内発酵の日内変動は、飼料給与の影響を受け、大きな変動パターンを示したことが報告され、濃厚飼料多給下で少量の稲ワラ給与にもかかわらず第一胃機能が良好な状態に維持され、給与した60cm程の稲ワラの機械的な刺激により第一胃の運動、唾液分泌およびあい気反射のような反芻家畜の消化機能を維持することができたと考察している。

第1章第2節において、第一胃内液相の回転率はRFの投与により有意に高まった。しかしながら、長切断稲ワラ給与時（OCW15%飼料給与時）の回転率は無投与、RF投与ともほぼ同じであり、処理間に違いがなかった。第一胃内の通過速度に及ぼすRF投与の影響が2つの試験で異なる結果となった原因の1つとして、粗飼料（稲ワラ）の給与量の違いが考えられる。第1章第2節の試験では1日当たり0.14～0.19kgの2cm切断稲ワラを給与していたが、OCW15%飼料給与時では0.8～1.0kgと約5倍の給与量であった。この稲ワラの給与量の違いにより第一胃粘膜に対する飼料由来の物理的な刺激作用がOCW15%飼料給与時では充分にあり、RFの物理的刺激機能が抑えられたことが推察される。

Table 2-1-1. Effects of RF dosing on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed concentrate and rice straw at long length (under 25% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Intake, kg/day			
DM	7.5 ± 0.6	7.7 ± 0.5	NS
OCW	2.2 ± 0.2	2.3 ± 0.2	NS
Time spent, min/day			
Eating	189.4 ± 23.2	186.7 ± 70.0	NS
Rumination	403.1 ± 25.3	399.2 ± 60.2	NS
Total chewing	592.5 ± 9.1	585.8 ± 108.8	NS
Chewing time, min/kg DM intake			
Eating	25.3 ± 2.8	23.8 ± 8.3	NS
Rumination	54.1 ± 6.3	50.9 ± 4.5	NS
Total	79.4 ± 6.0	74.7 ± 10.6	NS
Chewing time, min/kg OCW intake			
Eating	85.1 ± 10.2	79.6 ± 27.8	NS
Rumination	182.0 ± 22.1	170.1 ± 15.0	NS
Total	267.1 ± 22.5	249.6 ± 35.3	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

DM: dry matter, OCW: organic cell wall, NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 2-1-2. Effects of RF dosing on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed concentrate and rice straw at long length (under 15% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Intake, kg/day			
DM	8.9 ± 0.3	8.9 ± 0.3	NS
OCW	1.5 ± 0.1	1.5 ± 0.1	NS
Time spent, min/day			
Eating	130.6 ± 22.0	134.4 ± 23.0	NS
Rumination	303.1 ± 47.4	279.4 ± 26.8	NS
Total chewing	433.8 ± 54.3	413.8 ± 17.6	NS
Chewing time, min/kg DM intake			
Eating	14.8 ± 2.9	15.1 ± 2.3	NS
Rumination	34.2 ± 6.3	31.6 ± 4.0	NS
Total	49.0 ± 7.9	46.7 ± 3.2	NS
Chewing time, min/kg OCW intake			
Eating	86.6 ± 17.3	88.9 ± 13.3	NS
Rumination	200.9 ± 37.0	185.9 ± 24.0	NS
Total	287.5 ± 46.5	274.8 ± 18.7	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

DM: dry matter, OCW: organic cell wall, NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).



Table 2-1-3. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 25% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Digestibility (%)			
Dry matter	62.2 ± 2.7	61.5 ± 2.9	NS
Organic matter	64.8 ± 3.0	63.9 ± 2.9	NS
Crude protein	60.7 ± 6.0	59.6 ± 3.5	NS
Ether extract	71.5 ± 8.1	69.9 ± 3.0	NS
Nitrogen free extract	73.6 ± 2.6	72.7 ± 3.2	NS
Crude fiber	28.0 ± 5.7	27.7 ± 5.4	NS
Organic cellular content	81.8 ± 3.7	82.5 ± 2.5	NS
Organic cell wall	30.3 ± 2.7	26.4 ± 4.9	NS
Nutrient content (%)			
Total digestible nutrient	52.2 ± 2.4	51.4 ± 2.1	NS
Digestible crude protein	7.0 ± 0.7	6.8 ± 0.4	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 2-1-4. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 15% organic cell wall as fed basis)

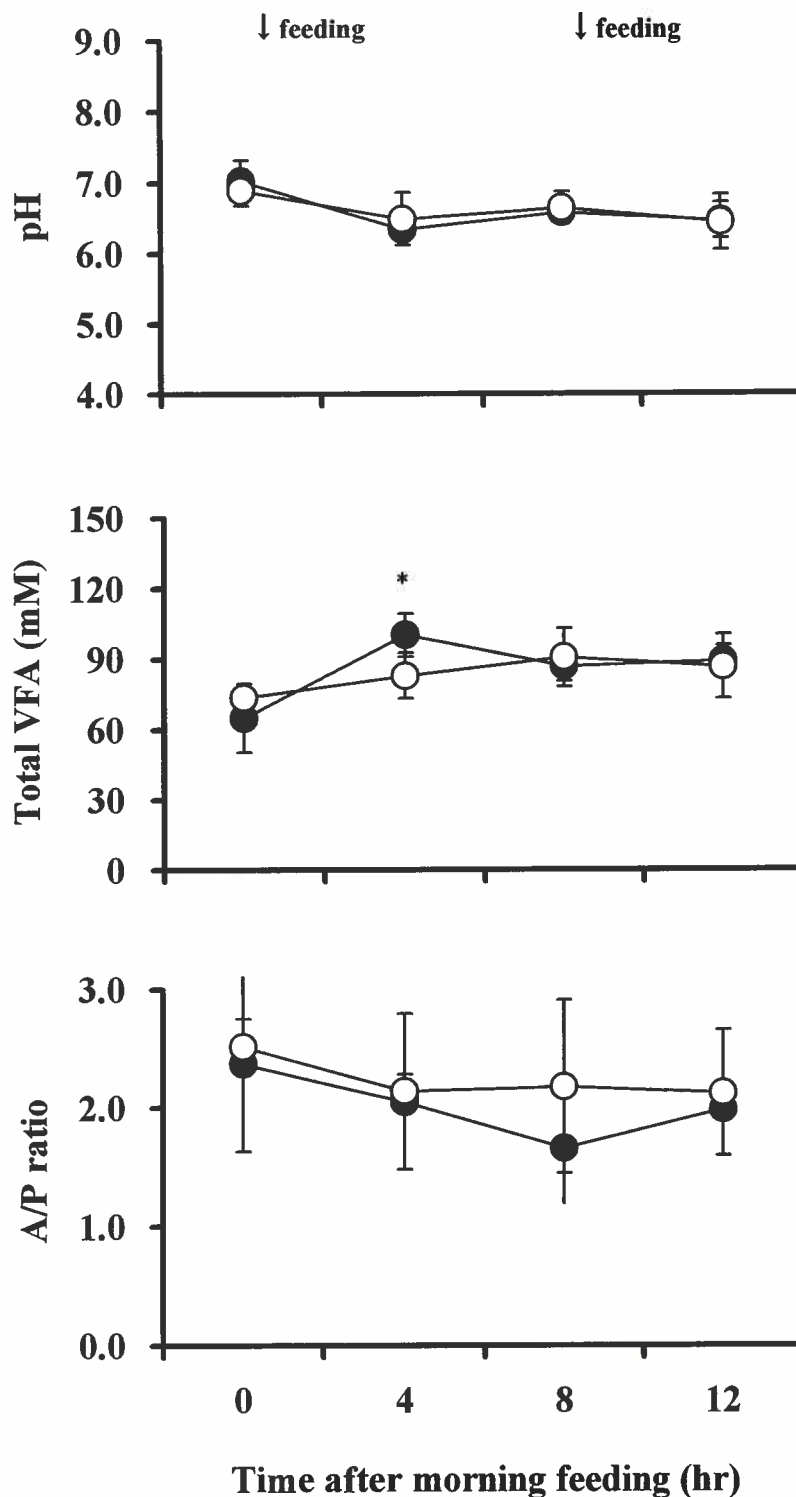
Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Digestibility (%)			
Dry matter	55.8 ± 5.0	54.0 ± 6.2	NS
Organic matter	58.6 ± 5.1	56.8 ± 6.4	NS
Crude protein	41.4 ± 3.4	40.8 ± 11.4	NS
Ether extract	75.3 ± 3.4	73.5 ± 4.2	NS
Nitrogen free extract	66.8 ± 6.2	64.0 ± 6.6	NS
Crude fiber	5.5 ± 4.2	5.5 ± 9.9	NS
Organic cellular content	77.1 ± 4.1	76.9 ± 6.1	NS
Organic cell wall	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0	NS
Nutrient content (%)			
Total digestible nutrient	54.0 ± 3.5	53.0 ± 4.1	NS
Digestible crude protein	4.1 ± 0.3	4.0 ± 1.1	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).



**Fig. 2-1-1.** Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 25% organic cell wall as fed basis).

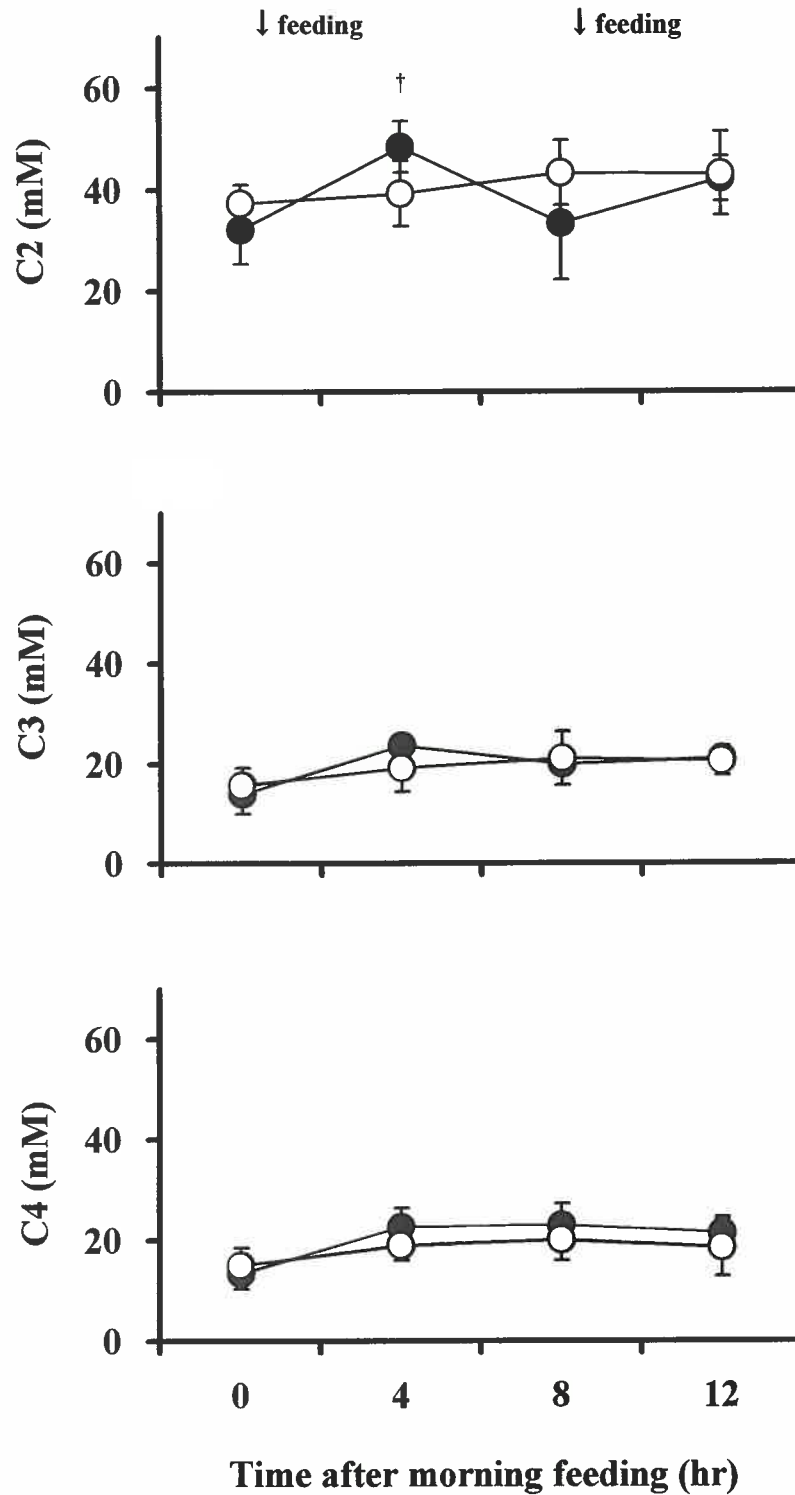
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

\*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 2-1-2.** Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 25% organic cell wall as fed basis).

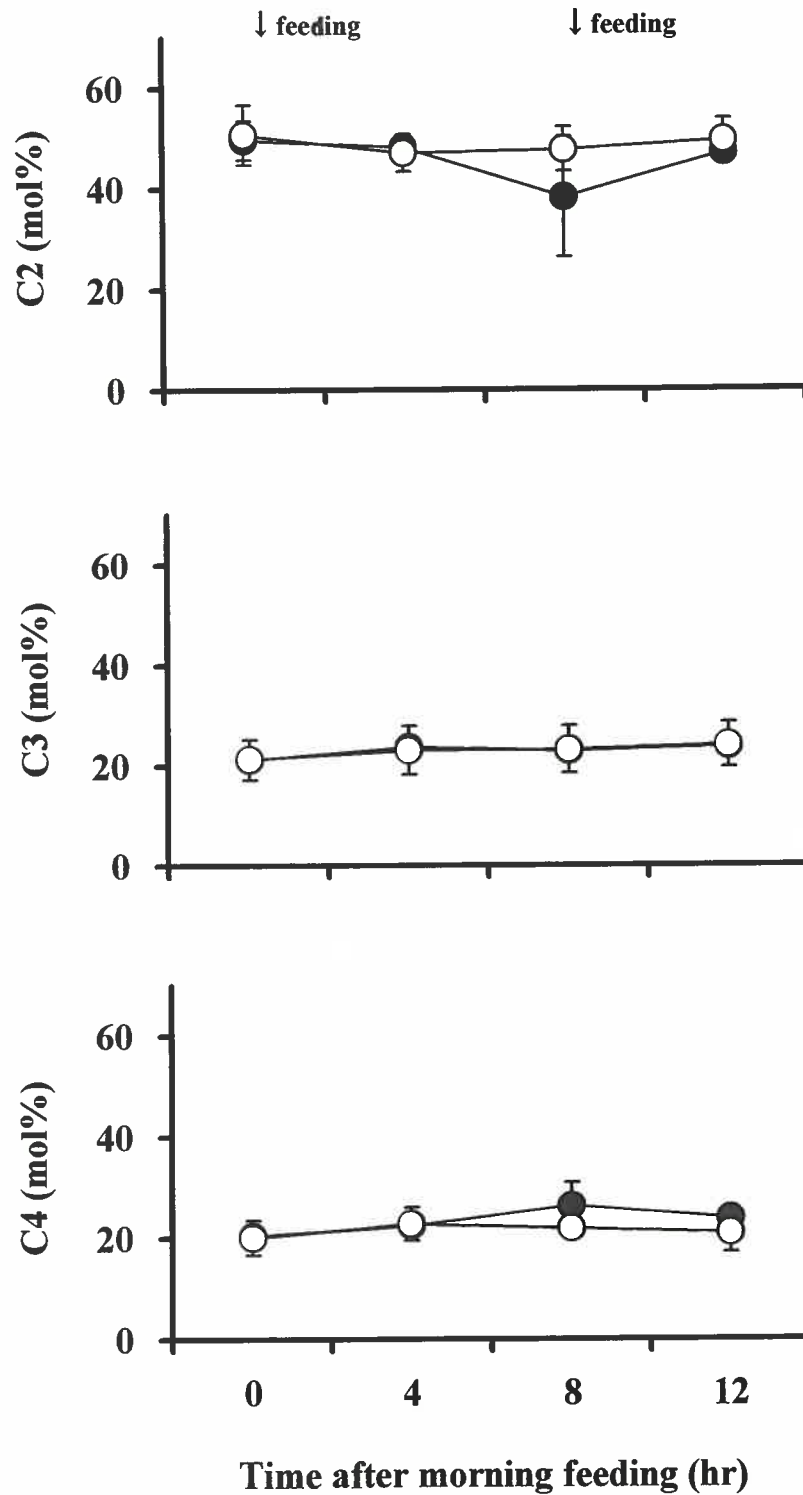
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>†</sup>:  $P < 0.10$ .



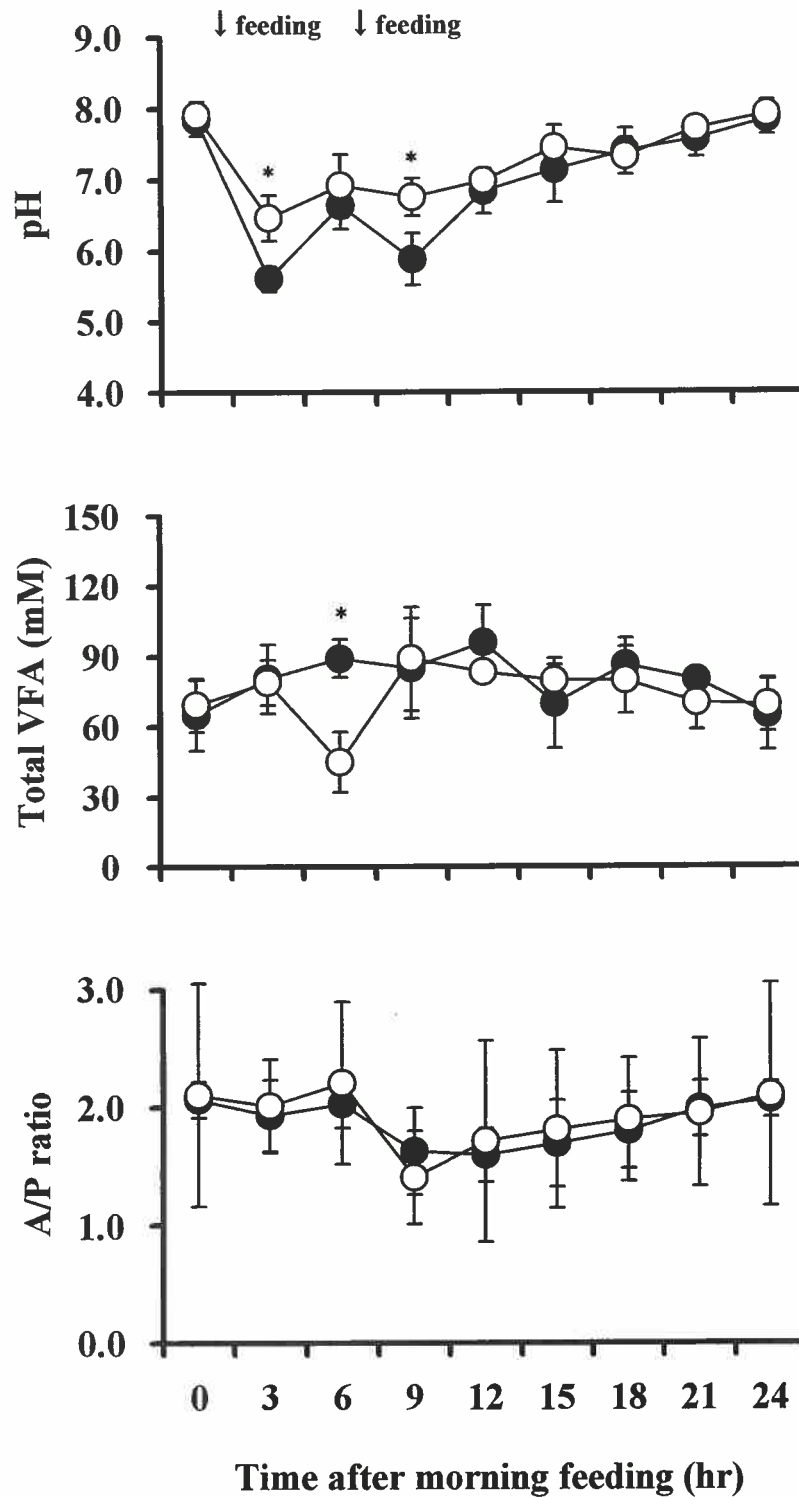
**Fig. 2-1-3.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 25% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



**Fig. 2-1-4.** Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 15% organic cell wall as fed basis).

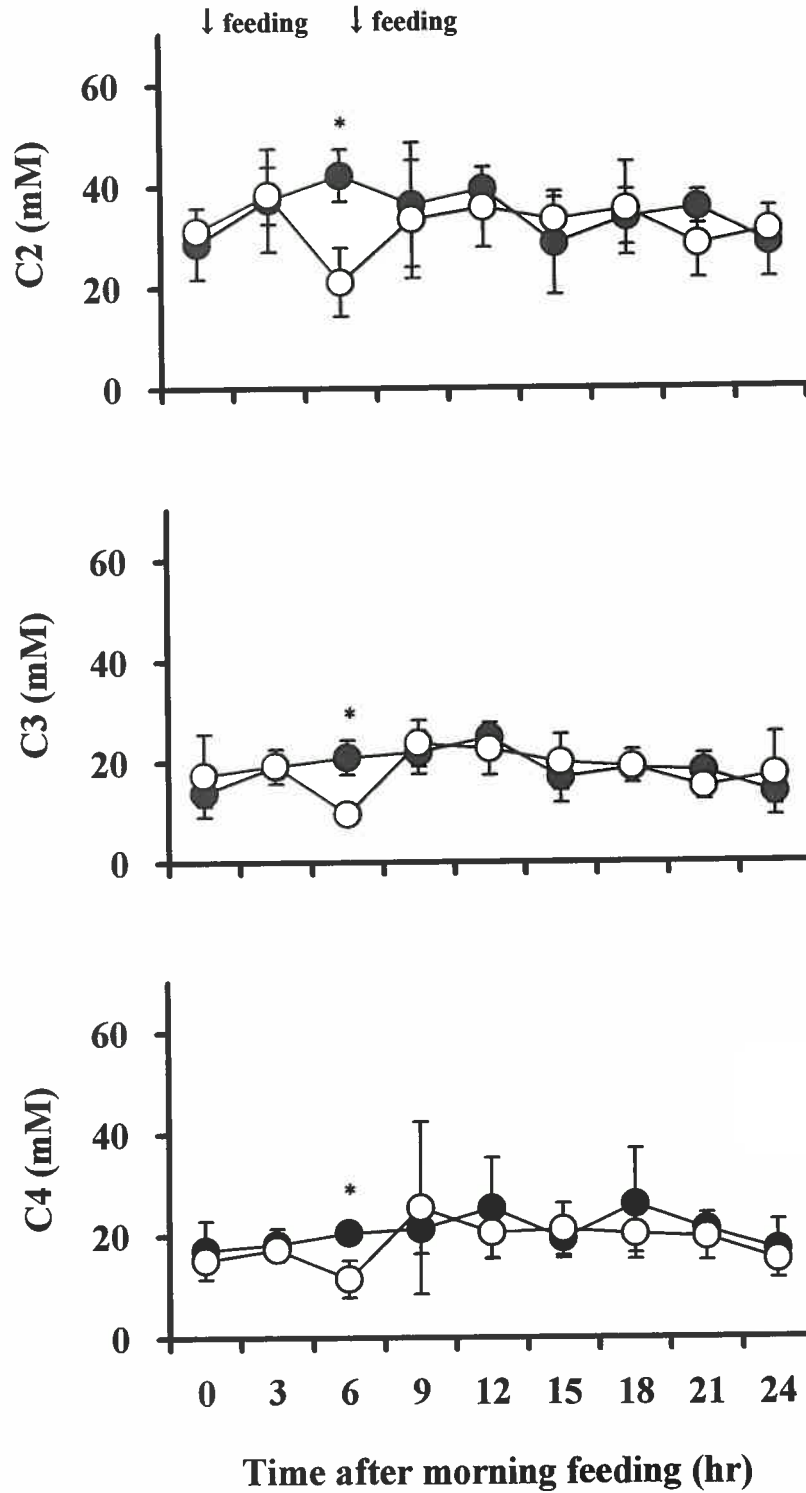
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

\*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 2-1-5.** Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 15% organic cell wall as fed basis).

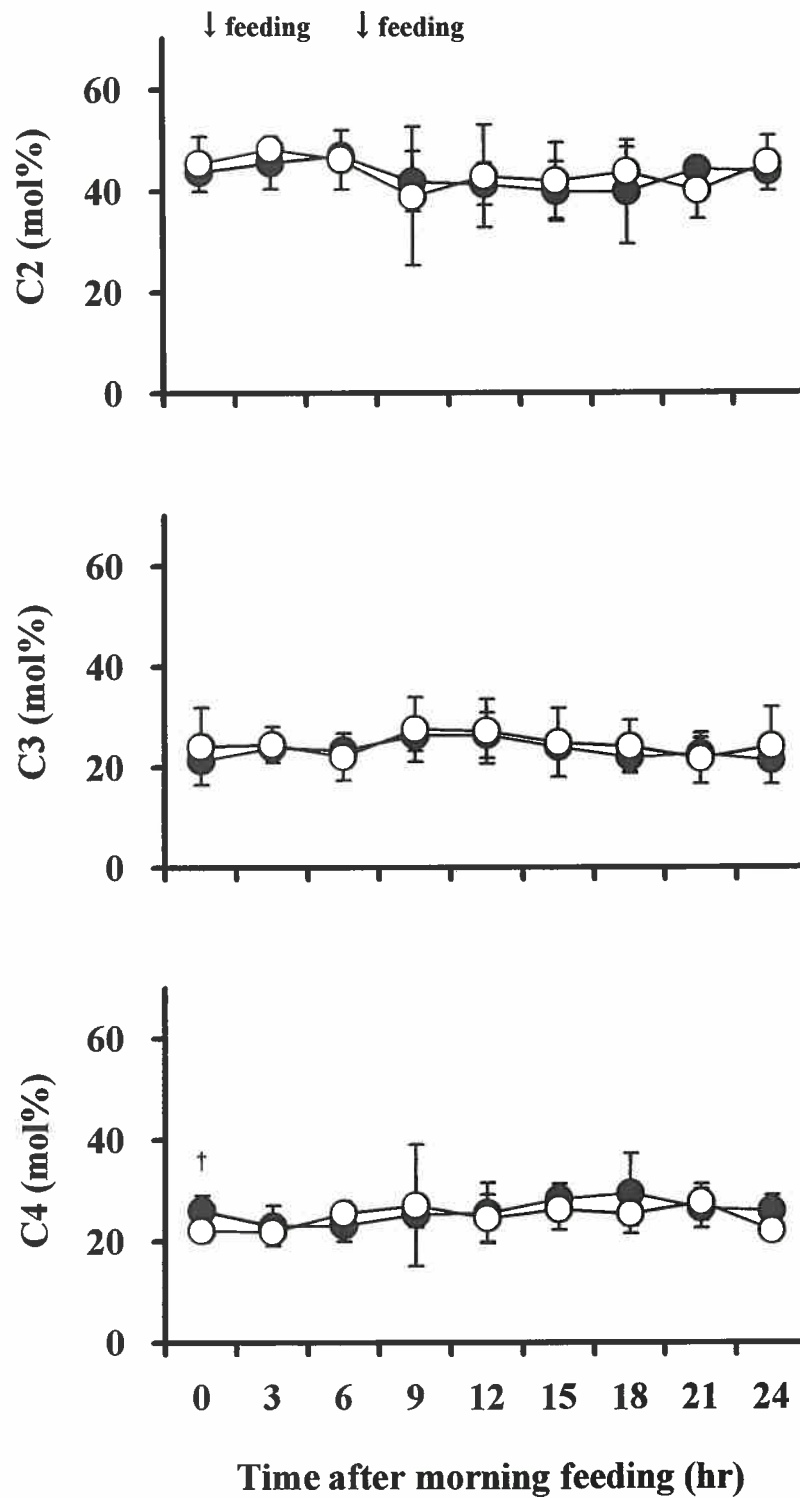
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

\*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 2-1-6.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 15% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

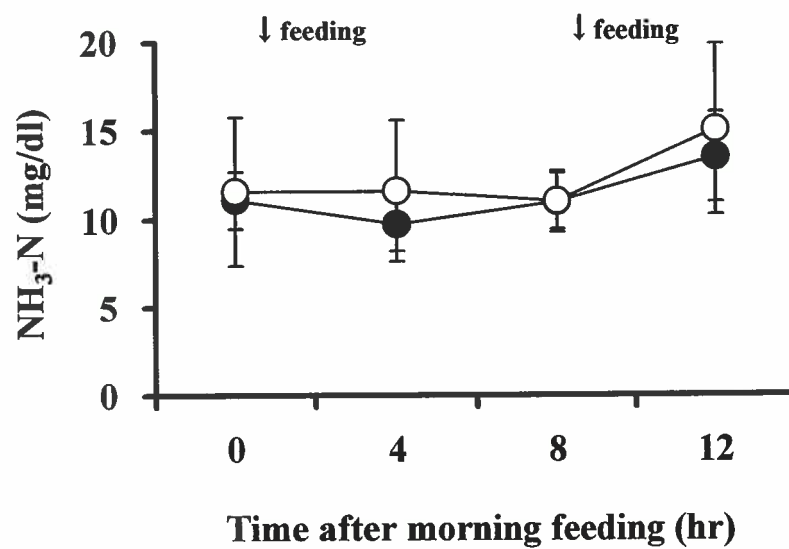
○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>†</sup>:  $P < 0.10$ .





**Fig. 2-1-7. Diurnal changes in  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentration of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at long length (under 25% organic cell wall as fed basis).**

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

*Table 2-1-5.* Effects of RF dosing on turnover rate and turnover time of ruminal fluid in steers fed concentrate and rice straw at long length (under 15% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Turnover rate (%/hr)	8.0 ± 1.6	8.3 ± 1.0	NS
Turnover time (hr)	12.8 ± 2.7	12.2 ± 1.4	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

## 第2章第2節

### 切断長が短い稲ワラ給与時の反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状 および第一胃内通過速度に及ぼす影響

#### 結 果

表 2-2-1～2-2-3 には OCW25%、20%および 15%飼料（短切断稲ワラ）給与時における各行動調査時の飼料摂取量および摂食時と反芻時の咀嚼時間をそれぞれ示した。1日当たりの乾物およびOCW摂取量は、それぞれの飼料給与時において、各処理ともほぼ同じであり、1日当たりの飼料摂食時間は、各飼料給与時とも RF 無投与と RF 投与の処理間に違いがなかった。1日当たりの反芻時間および総咀嚼時間は、OCW25%飼料給与時では RF 無投与 407 分、545 分、RF 投与 393 分、513 分、OCW20%飼料給与時では RF 無投与 284 分、361 分、RF 投与 284 分、363 分、OCW15%飼料給与時では RF 無投与 291 分、374 分、RF 投与 283 分、363 分であり、それぞれの飼料給与時において各処理ともほぼ同等であった。摂取乾物および摂取 OCW1kg 当たりの反芻時間および総咀嚼時間についても、それぞれの飼料給与時において処理間に有意差がなかった。

表 2-2-4～2-2-6 には OCW25%、20%および 15%飼料（短切断稲ワラ）給与時の成分消化率および栄養価を示した。OCW25%および 20%飼料給与時において、各成分消化率については、RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなく、栄養価（TDN と DCP）は、各処理ともほぼ同じであった。OCW15%飼料給与時においては、RF 無投与に比べ、RF 投与の可溶無窒素物（NFE）消化率が低い傾向であり（ $P<0.10$ ）、RF 投与の OCC 消化率が低かった（ $P<0.05$ ）。粗繊維消化率では負の個体が RF 投与で 1 頭あり、OCW 消化率では RF 無投与で 2 頭、RF 投与で 3 頭が負の消化率であった。TDN および DCP については、RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなかった。

OCW25%飼料（短切断稲ワラ）給与時における各処理の第一胃内 pH、総 VFA 濃度および各 VFA 濃度と組成の経時的変化を図 2-2-1～2-2-3 にそれぞれ示した。第一胃内 pH は、RF 無投与、RF 投与ともに同様な変動を示し、各調査時とも処理間に有意差がなかった。総 VFA 濃度は、各処理とも午前、午後の飼料給与後に上昇し、pH の変動とは逆のパターンであった。RF 無投与と RF 投与の処理間には各調査時とも有意差がなかった。酢酸、プロピオン酸および酪酸濃度については、総 VFA 濃度と同様に各処理とも飼料の摂取に伴って上昇した。それぞれの VFA 濃度の各調査時における処理間には有意差がなかった。

OCW20%飼料（短切断稲ワラ）給与時における各処理の第一胃内 pH、総 VFA 濃度および各 VFA 濃度と組成の経時的変化を図 2-2-4～2-2-6 にそれぞれ示した。第一胃内 pH は、各処理とも午前と午後の飼料給与後に低下し、その後上昇して飼料給与前の値に回復した。午前の飼料給与後 3 時間の調査時では RF 投与が有意に低く、給与後 12 時間の調査時までには RF 投与が RF 無投与を下回ったが、その後は RF 無投与よりも RF 投与が高く推移した。総 VFA 濃度は、各処理とも 85～115mM/L の範囲で推移し、日内変動が小さかった。また、処理間の比較では午前の飼料給与後 21 時間の調査時

で RF 投与が高かった ( $P<0.05$ )。酢酸濃度については、各処理とも  $40\sim 60\text{mM/L}$  の範囲であり、午前の飼料給与後 21 時間目で RF 投与が高かった ( $P<0.05$ ) が、他の調査時では処理間に有意差はなかった。プロピオン酸濃度は、各処理とも日内変動が小さく、 $19\sim 26\text{mM/L}$  の範囲で推移した。午前の飼料給与後 21 時間の調査時で RF 投与が高く ( $P<0.05$ )、他の調査時では処理間に有意差がなかった。酪酸濃度は、両処理とも  $20\text{mM/L}$  前後で変動した。午前の飼料給与後 6 時間の調査時で RF 投与が低い傾向であった ( $P<0.10$ )。

OCW15%飼料 (短切断稲ワラ) 給与時における各処理の第一胃内 pH、総 VFA 濃度および各 VFA 濃度と組成の経時的変化を図 2-2-7~2-2-9 にそれぞれ示した。第一胃内 pH は、午前の飼料給与後に各処理とも著しく低下し、午後の飼料給与後の低下以降、徐々に上昇して飼料給与前の値に回復した。1 日を通して RF 投与が低く推移したが、各調査時とも RF 無投与と RF 投与の間に有意差は認められなかった。総 VFA 濃度は、各処理とも  $60\sim 100\text{mM/L}$  の範囲で変動した。午前の飼料給与後 9 時間の調査時で RF 投与が高かった ( $P<0.05$ )。酢酸濃度は、各処理とも  $27\sim 43\text{mM/L}$  の範囲で変動し、午前の飼料給与後 6 時間の調査時では RF 投与が低く ( $P<0.05$ )、給与後 9 時間目では RF 投与が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。プロピオン酸濃度は、各処理とも  $13\sim 28\text{mM/L}$  の範囲で推移し、午前の飼料給与後 9 時間の調査時で RF 投与が高い傾向であった ( $P<0.05$ )。酪酸濃度は、各処理とも  $13\sim 24\text{mM/L}$  の範囲で変動し、各調査時とも処理間に有意差がなかった。

OCW25%および 20%飼料 (短切断稲ワラ) 給与時における各処理のアンモニア態窒素濃度の経時的変化を図 2-2-10 に示した。アンモニア態窒素濃度は、OCW25%飼料給与時では各処理とも  $10\text{mg/dl}$  前後で推移し、OCW20%飼料給与時では両処理とも午前の飼料給与後低下し、その後  $6\sim 8\text{mg/dl}$  の範囲で変動した。

表 2-2-7 には OCW20%および 15%飼料 (短切断稲ワラ) 給与時における第一胃内液相の通過速度 (回転率と回転時間) を示した。各飼料給与時において、第一胃内液相の回転率は、RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差が認められなかった。回転時間についても処理間に差がなく、ほぼ同じであった。

## 考 察

切断長の長い稲ワラを給与したとき (第 2 章第 1 節) と同様に、短切断の稲ワラを給与した各 OCW 飼料給与時においても、1 日の反芻時間は RF 無投与、RF 投与ともほぼ同じであった。本試験の行動観察の結果から、粗飼料として稲ワラを給与し、切断長に関係なくその給与量を 1 日当たり原物で  $0.8\text{kg}$  以上とした場合には、稲ワラの粗剛性により飼料由来の第一胃粘膜への物理的な刺激作用が十分に存在しているため、肉牛へ RF を投与しても反芻時間に与える影響は少ないと考えられる。したがって、肉牛の肥育期において一般に行われている稲ワラ給与下では、反芻時の食塊の吐き戻しを誘発すると考えられる RF の機能を十分に発揮することが難しいのではないかと推察される。この点については稲ワラの形態や給与量も含めてどのような飼料条件下が RF の反芻に対する機能を十分に発

揮させられるのか今後さらなる詳細な検討が必要であろう。

他方、同一の濃厚飼料を給与して稲ワラの切断長を変えた飼料条件下（試験 1 と試験 3）では、反芻時間は稲ワラの切断長に関係なく一定であったが、飼料の摂食時間については短切断よりも長切断の稲ワラ給与時間が長くなり、総咀嚼時間も長くなった。唾液の分泌は、飼料摂食時、反芻時、休息時のいずれにおいても起こるが、飼料摂食時と反芻時に促進される[佐々木 1986; 星野 1994]。これらのことから、短切断に比べ、長切断の稲ワラ給与時では飼料給与後の第一胃内 pH の低下が緩和することが推察された。しかしながら、本試験の結果では稲ワラの切断長に関係なく両切断時とも飼料給与後の第一胃内 pH は同様な変動をしており、長切断の稲ワラ給与時での唾液の緩衝作用は確認できず、飼料摂取直後の経時的な第一胃内の発酵性状の詳細な調査が必要であると思われる。

反芻時間は、給与した飼料の物理的な形態に影響され、乾草の粉碎加工、ペレット化により大きく短縮される[Weston と Hogan 1967; 岡本 1979b]ことが知られている。乾草（チモシー-1 番乾草）の粉碎や細切が反芻行動に及ぼす影響について検討した岡本の報告[1979b]によると、カッターの設定切断長 9mm までの細切は、1 日当たりの反芻時間や反芻食塊吐出回数にほとんど影響しないことが確認された。本試験での反芻時間は、OCW25%飼料給与時の 4 処理とも 400 分前後、OCW15%飼料給与時の 4 処理でも 280~300 分であり、稲ワラの切断長による影響がなかった。本試験では稲ワラの切断長を 2cm と 30cm に設定したが、稲ワラ給与時においても過度の細切をしなければ反芻時間に及ぼす影響はほとんどないのかもしれない。

Welch[1967]は、30cm のポリプロピレン合成繊維をヒツジの第一胃内に 150g 投与すると、飼料の摂取量が減少したが、細かく砕いた同量を投与しても摂取量に影響がなかったと報告している。Baumont ら[1990]は、飼料として低品質牧草または高品質牧草を給与したヒツジに 3×4×5.5cm の大きさのポリスチレンキューブを投与したとき、両飼料給与時とも摂取量の減少が認められたことを報告し、反芻動物における飼料の摂取可能な量は第一胃容積により制限されるという理論を支持すると考察している。それぞれの OCW 飼料給与時とも RF の投与による飼料摂取量の減少はなかった。本試験では RF を 3 個投与した。投与した RF は直径 11cm、長さ 10cm（植毛部分 8cm）の円柱形であり、その体積（容積）は 3 個合わせても小さく、肉牛の第一胃容積に占める割合も少なかったと推察される。したがって、肉牛に 3 個の RF を投与しても飼料摂取量に及ぼす影響はほとんどないと考えられる。

本試験において、それぞれの OCW 含量飼料給与時における各成分消化率は、無投与と RF 投与の処理間に大きな違いがなく、ほぼ同じであった。ヒツジ用の小型の RF を濃厚飼料多給の異なる飼料給与量条件下のヒツジに投与して消化率を調査した試験の結果では、同一の給与量下での RF の有無は各成分消化率に影響を及ぼさなかったと報告されている[高橋ら 1995]。一般に、第一胃内および全消化管における摂取飼料の通過割合の増加は消化率の低下をもたらすことから、飼料の通過速度と消化率は反比例的な関係が成り立つ[Kennedy と Milligan 1978; Colucci ら 1982]とされている。本試験での第一胃内液相の回転率は、OCW25%飼料給与時では調査していないが、OCW20%および 15%飼料給与時では無投与、RF 投与の各処理とも同等であった。これらのことから、本試験のよう

な濃厚飼料多給条件下での稲ワラ給与時における肉牛への RF の投与は、消化率に及ぼす影響がほとんどないことが明らかとなった。ところで、本試験での粗繊維および OCW の消化率は、給与した飼料中の OCW 含量の減少に伴い低下した。濃厚飼料多給条件下では易発酵性の炭水化物が増加し、粗繊維や OCW などの繊維性成分の消化率を低下させる澱粉減退[Kromann ら 1975; Mitchell ら 1940]が生じることがある。本試験においても同様の現象が起こっていたことが考えられ、特に OCW15%飼料給与時ではその現象が強く生じたものと推察される。澱粉減退現象により繊維性成分の消化率が低下することは栄養価の低下に結び付くことが考えられるが、本試験のような濃厚飼料多給の飼養条件下では栄養価に及ぼす影響が少ないと思われる。

以上の調査結果から、肥育時に想定される濃厚飼料多給条件下の肉牛において、稲ワラを切断長に関係なく 0.8kg 以上を給与した場合、反芻時間や咀嚼時間、各成分消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす RF 投与の影響はほとんどないことが明らかとなり、一定量以上の稲ワラを給与する飼料条件下では飼料中の OCW 含量に関係なく RF の第一胃に対する物理的的刺激機能は現れにくいことが示唆された。したがって、RF がもつ機能を十分に発揮させるための飼料条件の模索が重要であり、稲ワラなどの粗剛性がある粗飼料を給与せず、飼料由来の第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用が少ない飼料条件下における検討が必要ではないかと思われる。

Table 2-2-1. Effects of RF dosing on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed concentrate and rice straw at short length (under 25% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Intake, kg/day			
DM	7.5 ± 0.5	7.7 ± 0.5	NS
OCW	2.2 ± 0.2	2.3 ± 0.2	NS
Time spent, min/day			
Eating	138.3 ± 36.6	120.0 ± 5.0	NS
Rumination	406.7 ± 45.1	393.3 ± 94.6	NS
Total chewing	545.0 ± 72.3	513.3 ± 90.0	NS
Chewing time, min/kg DM intake			
Eating	18.9 ± 4.2	16.0 ± 1.7	NS
Rumination	55.9 ± 4.0	51.9 ± 10.9	NS
Total	74.8 ± 6.2	67.8 ± 10.0	NS
Chewing time, min/kg OCW intake			
Eating	63.3 ± 13.9	53.4 ± 5.7	NS
Rumination	186.7 ± 13.4	173.4 ± 36.3	NS
Total	250.0 ± 20.5	226.8 ± 33.5	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

DM: dry matter, OCW: organic cell wall, NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 2-2-2. Effects of RF dosing on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed concentrate and rice straw at short length (under 20% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Intake, kg/day			
DM	8.3 ± 0.4	7.9 ± 0.8	NS
OCW	1.9 ± 0.1	1.8 ± 0.2	NS
Time spent, min/day			
Eating	76.9 ± 9.4	79.4 ± 15.6	NS
Rumination	284.4 ± 36.8	283.8 ± 77.5	NS
Total chewing	361.3 ± 40.7	363.1 ± 84.1	NS
Chewing time, min/kg DM intake			
Eating	9.3 ± 0.9	10.0 ± 1.2	NS
Rumination	34.4 ± 4.6	36.5 ± 11.5	NS
Total	43.7 ± 4.9	46.6 ± 12.1	NS
Chewing time, min/kg OCW intake			
Eating	40.4 ± 4.1	43.8 ± 5.1	NS
Rumination	149.8 ± 20.0	159.4 ± 50.7	NS
Total	190.3 ± 21.2	203.2 ± 53.5	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

DM: dry matter, OCW: organic cell wall, NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).



Table 2-2-3. Effects of RF dosing on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed concentrate and rice straw at short length (under 15% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Intake, kg/day			
DM	8.8 ± 0.5	8.7 ± 0.4	NS
OCW	1.5 ± 0.1	1.5 ± 0.1	NS
Time spent, min/day			
Eating	83.1 ± 13.9	80.0 ± 20.1	NS
Rumination	291.3 ± 49.6	283.1 ± 91.3	NS
Total chewing	374.4 ± 47.7	363.1 ± 109.8	NS
Chewing time, min/kg DM intake			
Eating	9.5 ± 2.1	9.2 ± 2.5	NS
Rumination	32.9 ± 5.0	32.4 ± 10.4	NS
Total	42.4 ± 5.4	41.6 ± 12.6	NS
Chewing time, min/kg OCW intake			
Eating	57.2 ± 15.4	55.8 ± 17.7	NS
Rumination	197.0 ± 29.3	196.4 ± 69.5	NS
Total	254.2 ± 35.7	252.2 ± 86.1	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

DM: dry matter, OCW: organic cell wall, NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 2-2-4. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 25% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Digestibility (%)			
Dry matter	61.9 ± 2.7	61.2 ± 3.5	NS
Organic matter	64.1 ± 2.6	63.7 ± 3.7	NS
Crude protein	61.5 ± 5.8	59.3 ± 3.0	NS
Ether extract	70.9 ± 6.5	68.4 ± 5.5	NS
Nitrogen free extract	72.2 ± 3.0	72.7 ± 2.8	NS
Crude fiber	28.8 ± 6.3	27.3 ± 9.6	NS
Organic cellular content	82.3 ± 1.6	82.5 ± 3.5	NS
Organic cell wall	27.8 ± 6.1	25.7 ± 4.7	NS
Nutrient content (%)			
Total digestible nutrient	51.6 ± 2.0	51.2 ± 3.0	NS
Digestible crude protein	7.1 ± 0.7	6.8 ± 0.3	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 2-2-5. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 20% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Digestibility (%)			
Dry matter	65.8 ± 3.0	67.3 ± 3.5	NS
Organic matter	69.2 ± 3.3	70.6 ± 3.8	NS
Crude protein	51.9 ± 8.7	50.0 ± 4.9	NS
Ether extract	79.2 ± 2.8	79.6 ± 2.4	NS
Nitrogen free extract	78.6 ± 3.7	80.6 ± 4.4	NS
Crude fiber	20.6 ± 9.6	22.5 ± 5.3	NS
Organic cellular content	86.2 ± 3.1	87.7 ± 3.1	NS
Organic cell wall	19.8 ± 3.9	23.9 ± 6.6	NS
Nutrient content (%)			
Total digestible nutrient	60.2 ± 3.2	61.9 ± 3.0	NS
Digestible crude protein	4.7 ± 0.8	4.5 ± 0.4	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 2-2-6. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 15% organic cell wall as fed basis)

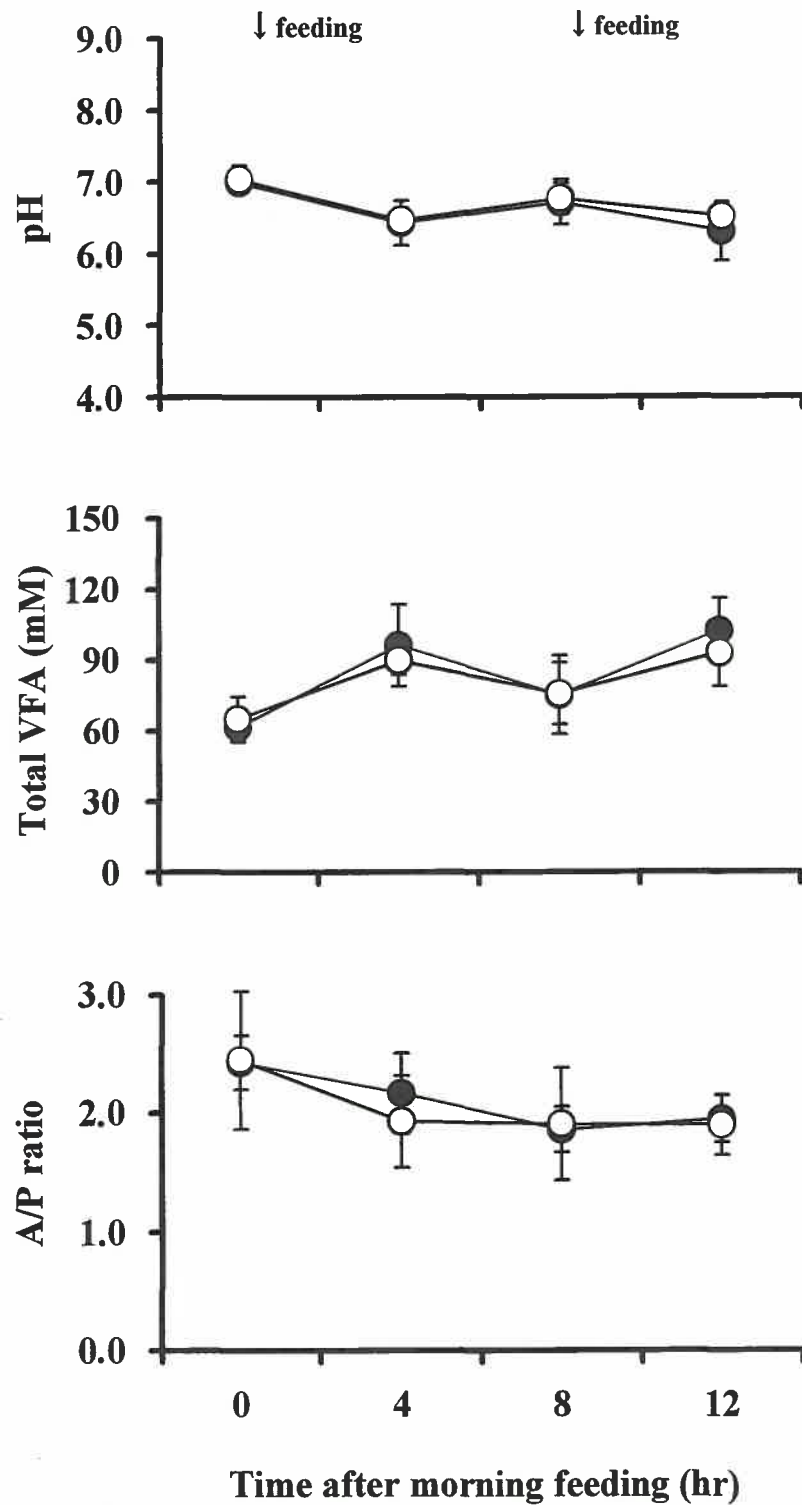
Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Digestibility (%)			
Dry matter	65.9 ± 4.4	62.1 ± 3.4	NS
Organic matter	68.4 ± 4.3	64.4 ± 3.4	NS
Crude protein	48.1 ± 10.1	54.4 ± 7.6	NS
Ether extract	78.3 ± 3.4	77.9 ± 1.8	NS
Nitrogen free extract	75.3 ± 4.0	69.9 ± 2.6	P<0.10
Crude fiber	21.0 ± 9.7	14.4 ± 14.1	NS
Organic cellular content	83.6 ± 2.1	79.7 ± 2.4	P<0.05
Organic cell wall	4.4 ± 5.1	1.6 ± 3.3	NS
Nutrient content (%)			
Total digestible nutrient	60.3 ± 3.8	57.4 ± 2.8	NS
Digestible crude protein	4.8 ± 1.1	5.4 ± 0.8	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).



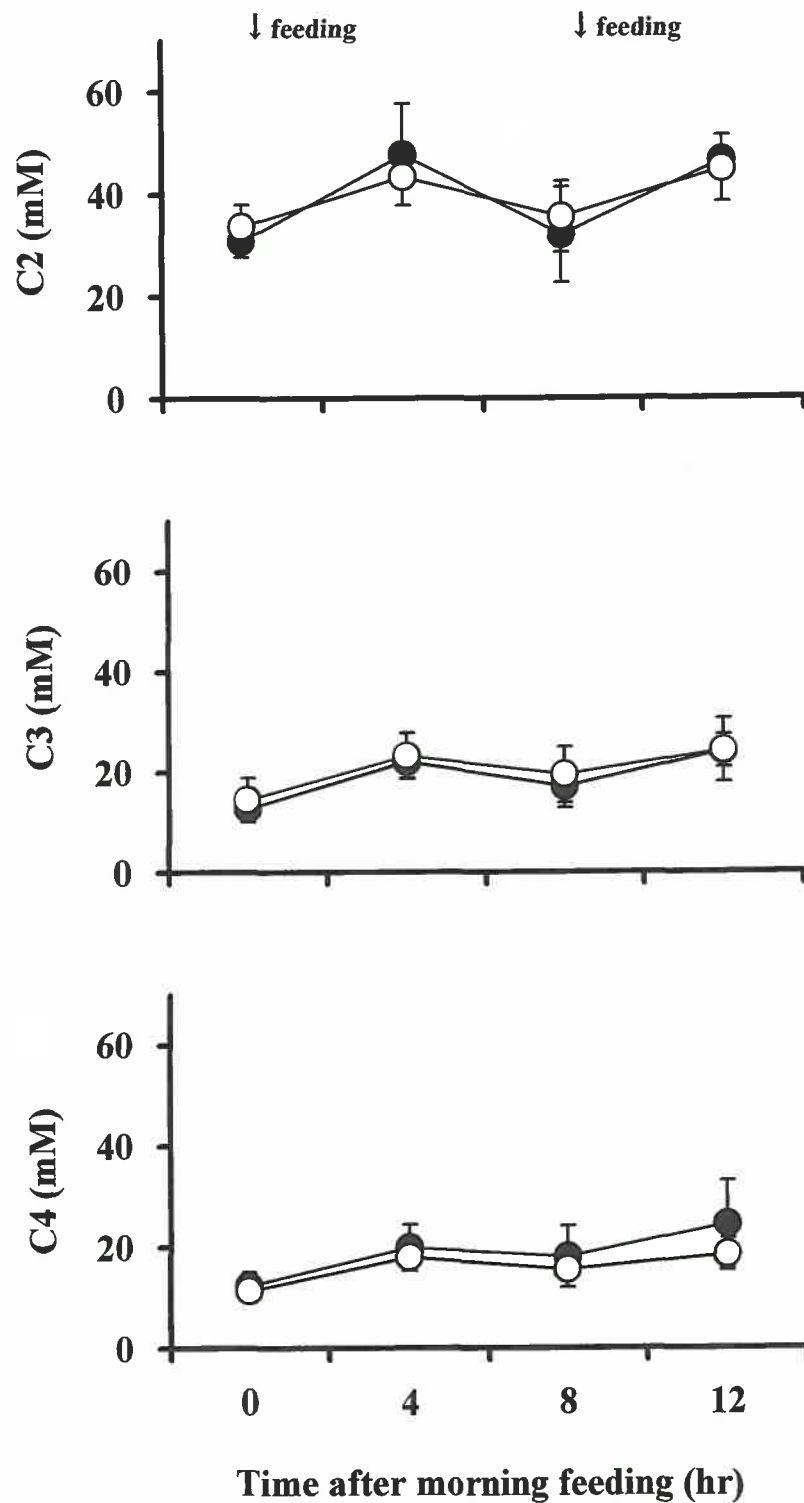
**Fig. 2-2-1.** Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 25% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



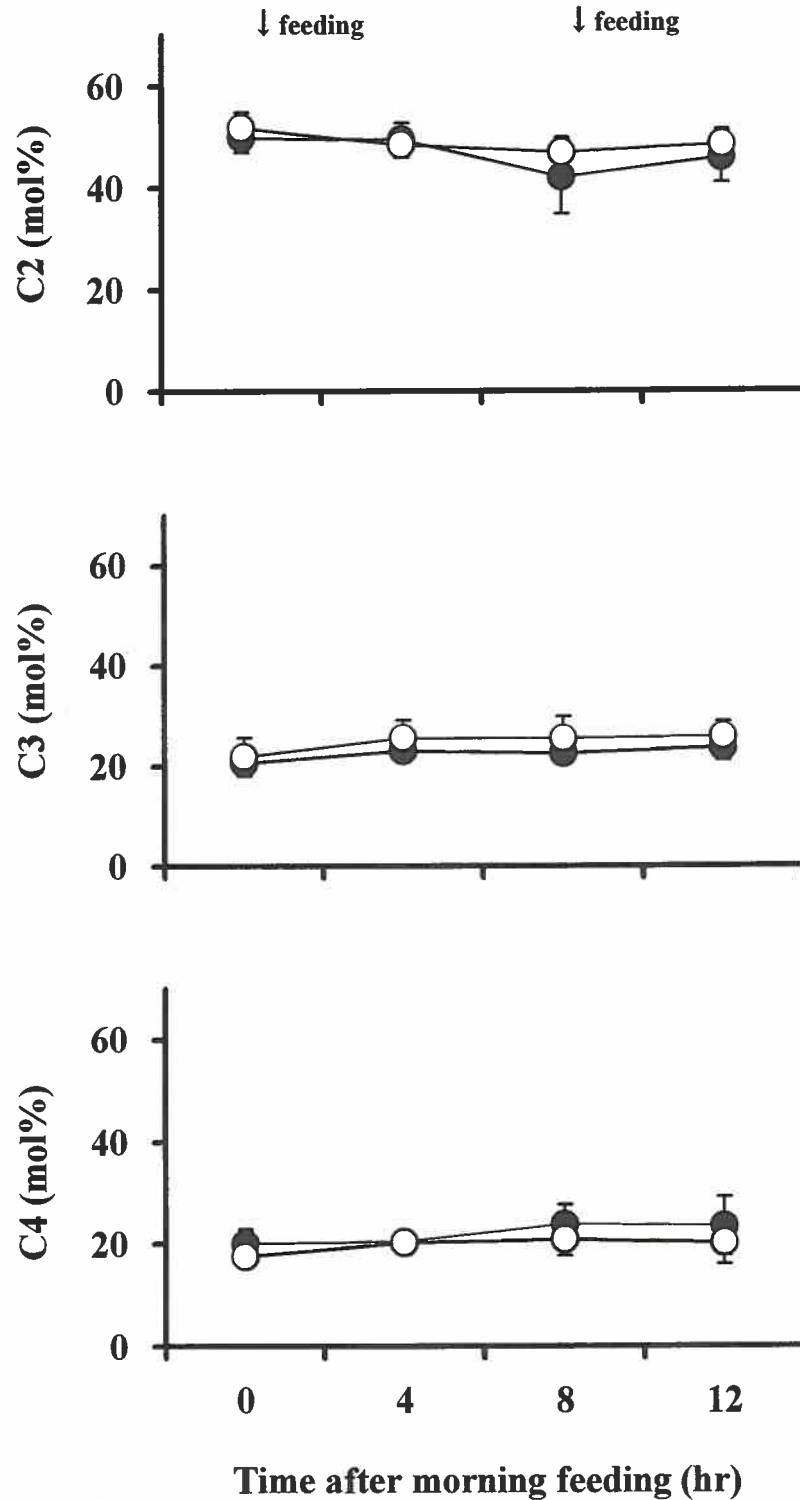
**Fig. 2-2-2.** Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 25% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



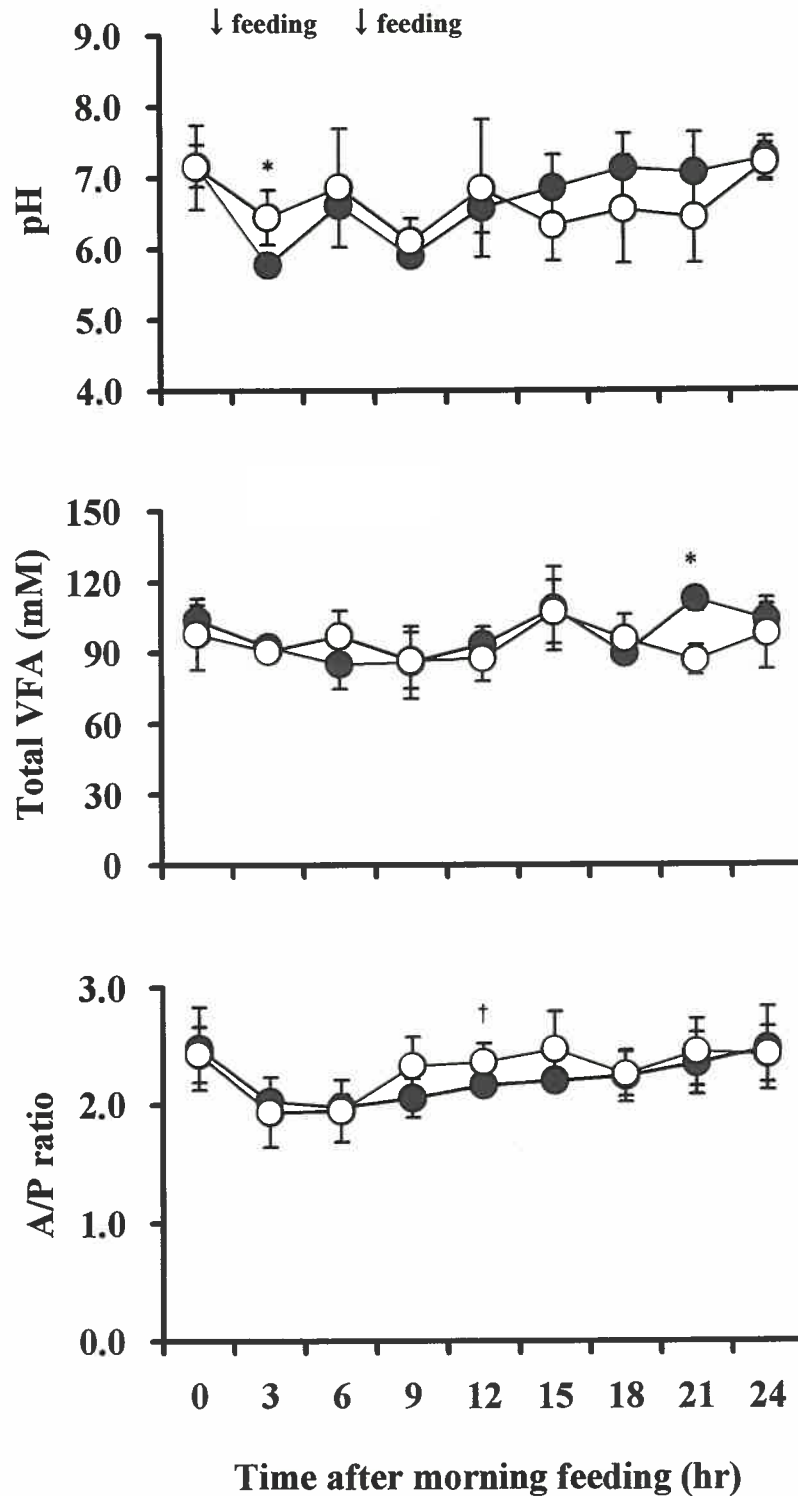
**Fig. 2-2-3.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 25% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



**Fig. 2-2-4.** Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 20% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

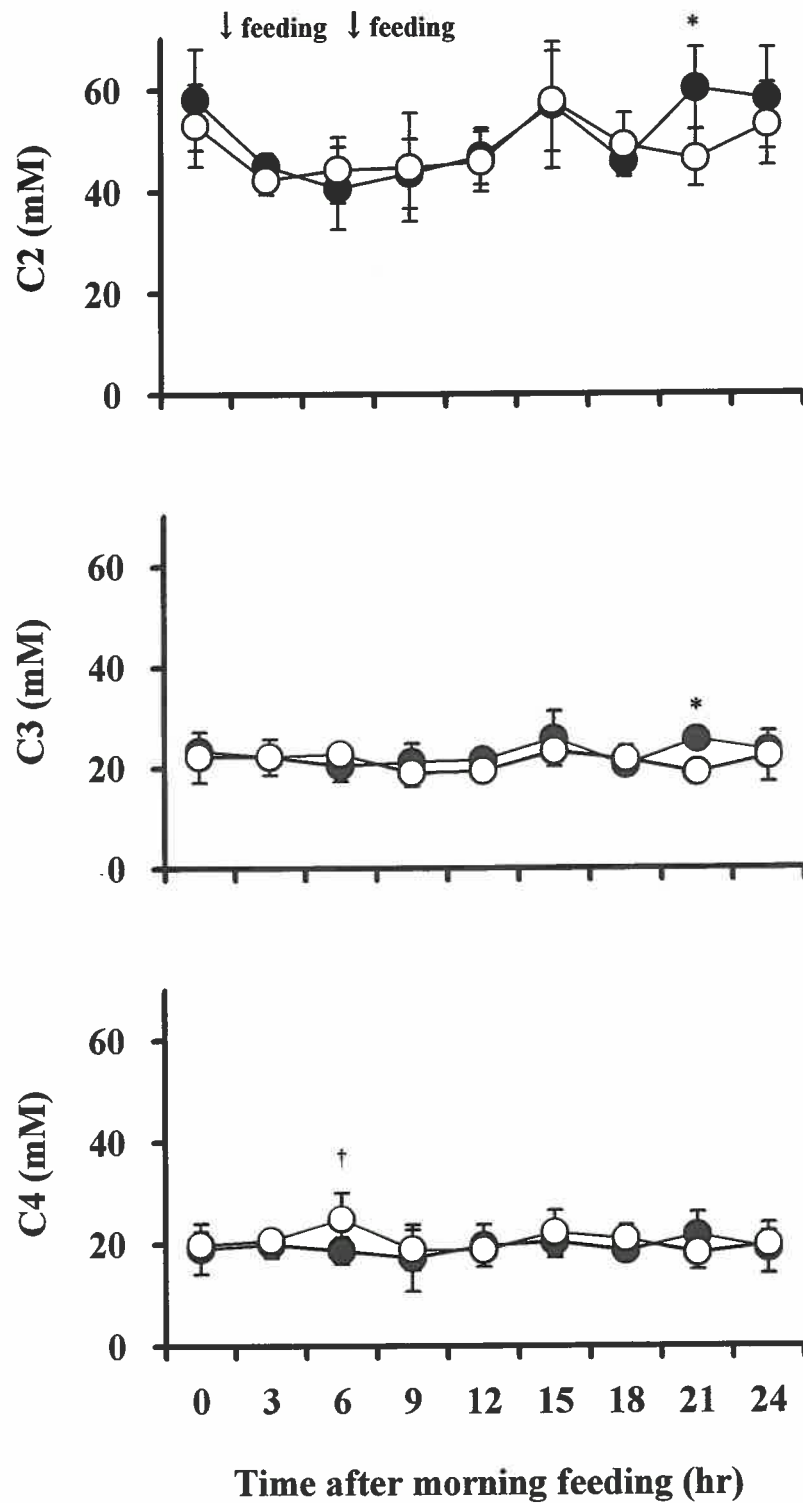
○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .





**Fig. 2-2-5. Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 20% organic cell wall as fed basis).**

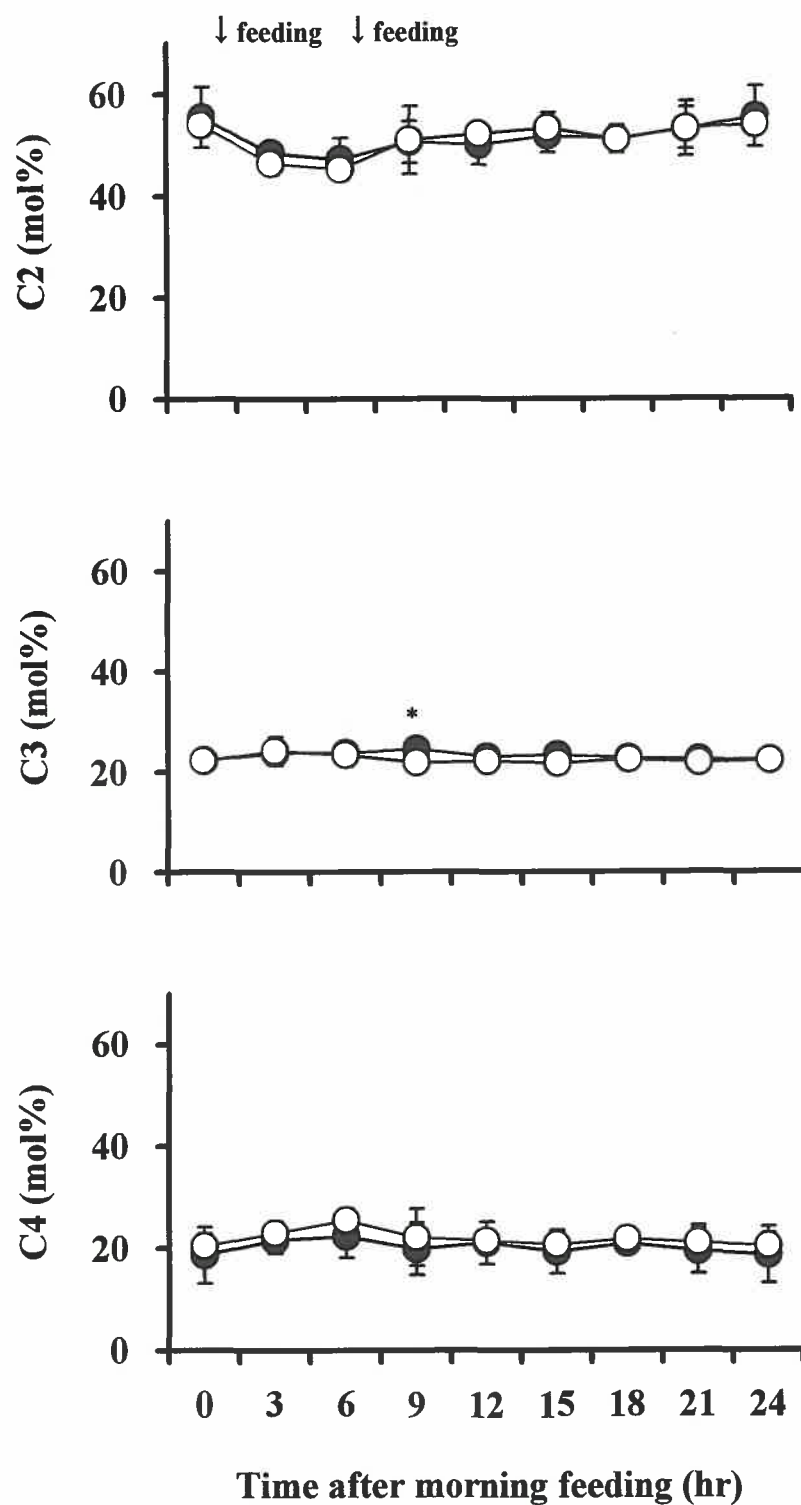
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 2-2-6.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 20% organic cell wall as fed basis).

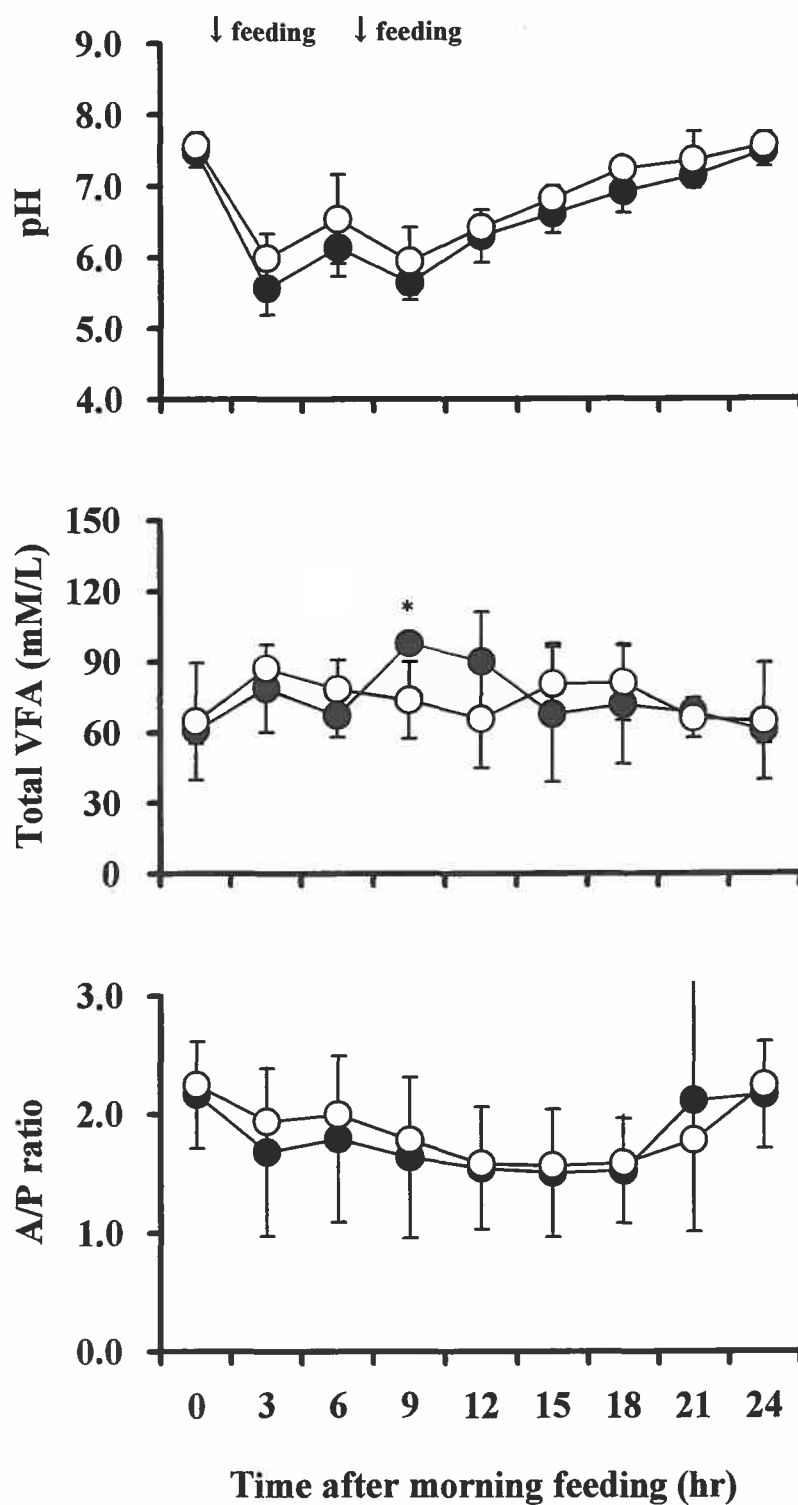
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

\*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 2-2-7.** Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 15% organic cell wall as fed basis).

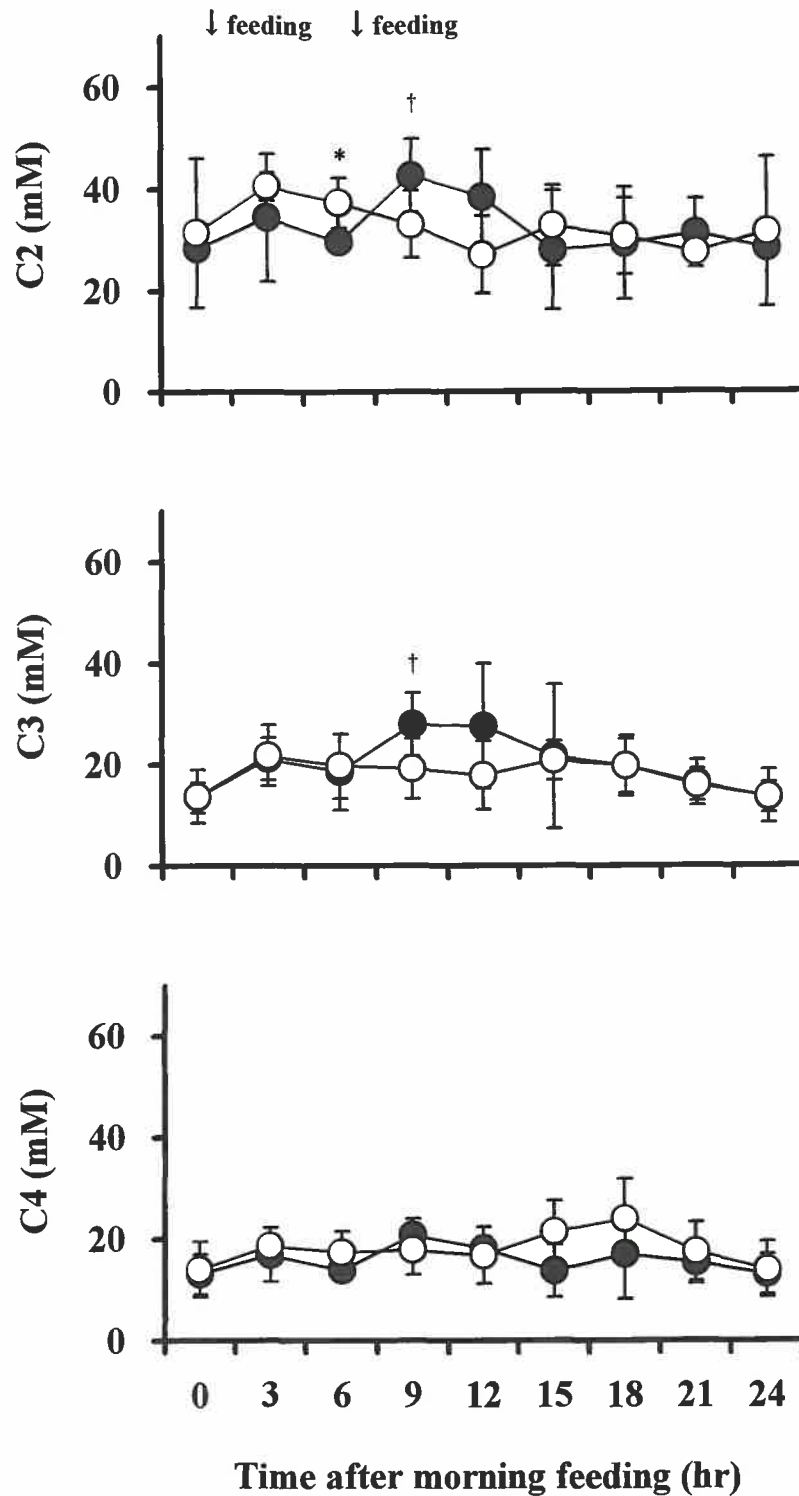
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

\*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 2-2-8.** Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 15% organic cell wall as fed basis).

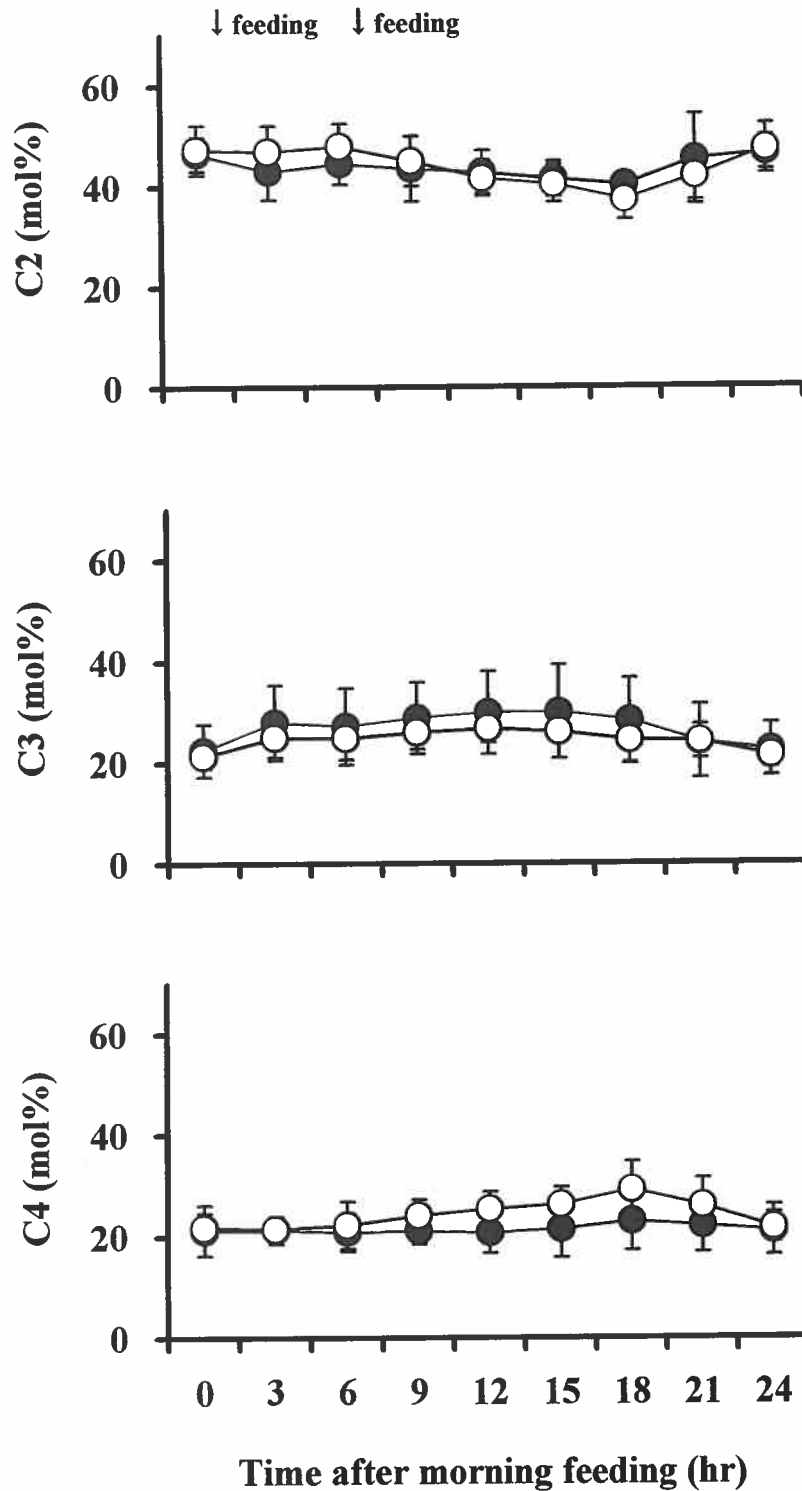
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

O: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .



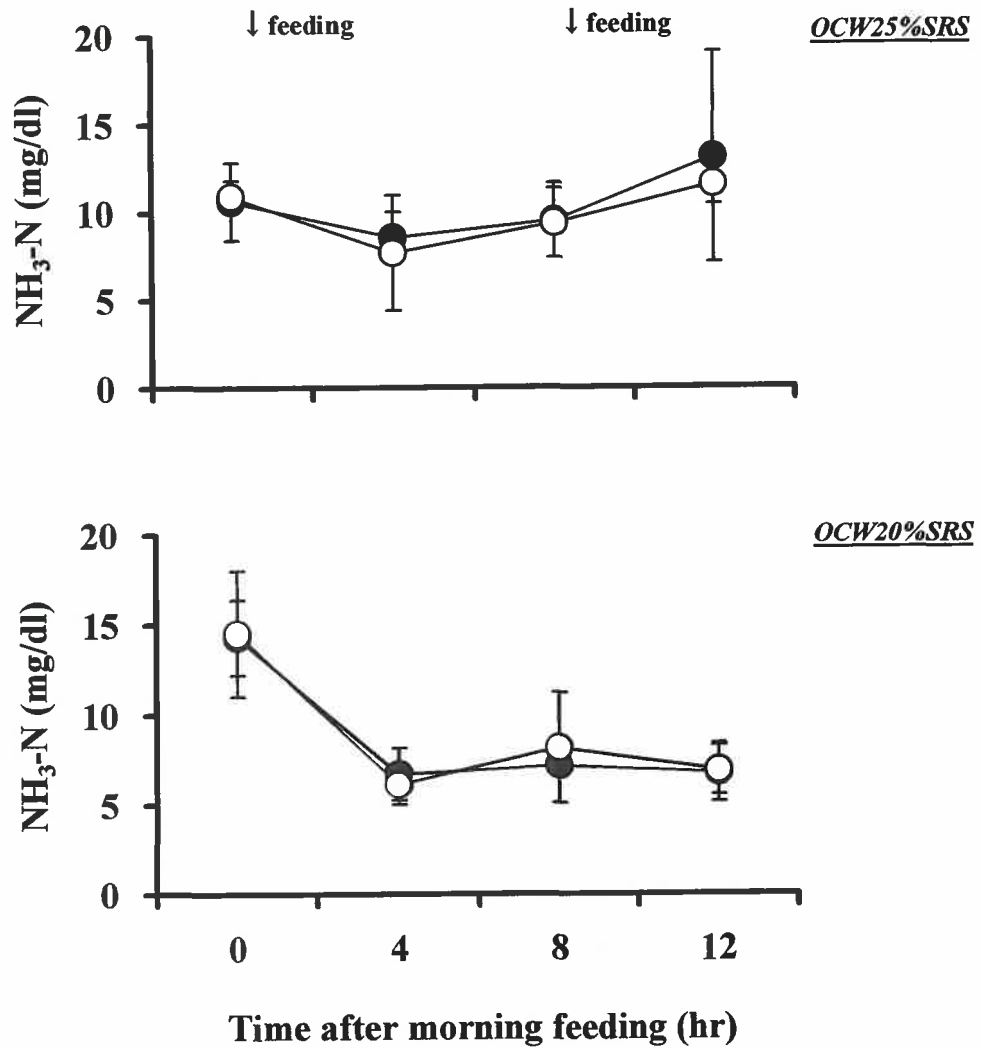
**Fig. 2-2-9.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short length (under 15% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



**Fig. 2-2-10.** Diurnal changes in  $\text{NH}_3\text{-N}$  concentration of rumen fluid in steers fed with concentrate and rice straw at short (SRS) length (under 25% and 20% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

*Table 2-2-7.* Effects of RF dosing on turnover rate and turnover time of ruminal fluid in steers fed concentrate and rice straw at short length (under 20% and 15% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
OCW 20%			
Turnover rate (%/hr)	10.2 ± 0.9	9.2 ± 1.0	NS
Turnover time (hr)	9.9 ± 1.0	11.0 ± 1.2	NS
OCW 15%			
Turnover rate (%/hr)	8.3 ± 2.5	8.3 ± 0.7	NS
Turnover time (hr)	12.9 ± 3.7	12.2 ± 1.0	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

## 要 約

濃厚飼料多給条件下において、形態や給与割合の異なる粗飼料を給与して、飼料中のOCW含量を変えたときのRFの投与が反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について検討した。ホルスタイン種去勢雄牛8頭を各試験(試験1, 2および3)に供試した。処理としてRFを投与しない対照の牛群(RF無投与)と投与する牛群(RF投与)に、試験1開始時にそれぞれ4頭ずつ割り当てた。RF投与の供試牛には1頭当たり3個のRFを試験1の予備期開始1週間前に投与した。飼料は市販配合飼料と粗飼料として稲ワラ(切断長:30cmと2cm)とアルファルファヘイキューブを用いた。飼料の給与量は各試験とも増体日量1.4kgを充足するTDN要求量とし、飼料中のOCW含量が原物換算で25%(試験1)、20%(試験2)および15%(試験3)となるように濃厚飼料と粗飼料の給与割合を調製した。1日当たりの反芻時間および総咀嚼時間は、飼料中OCW含量や稲ワラの切断長の違いによる各飼料条件下とも、RFの投与による影響がなかった。成分消化率については、OCW15%飼料(短切断稲ワラ)給与時のNFEおよびOCCの消化率がRFの投与により低下する傾向であったが、他の飼料条件下では各処理ともほぼ同じであった。第一胃内の発酵性状は、各飼料条件下においてRF無投与とRF投与の処理間に大きな違いが認められなかった。第一胃内液相の回転率についても、各飼料条件下においてRFの投与による影響がなかった。なお、試験2において、粗飼料にアルファルファヘイキューブを給与したとき、RFの有無に関係なく鼓脹症が発生した。これらの調査結果から、濃厚飼料多給条件下の肉牛において、切断長に関係なく0.8kg以上の稲ワラを給与した場合、反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に対するRF投与の影響はほとんどないことが確認され、一定量以上の稲ワラを給与する飼料条件下では飼料中のOCW含量を低くしてもRFの第一胃への物理的刺激機能は現れにくいことが示唆された。



### 第3章

#### 繊維性成分が異なる濃厚飼料単独給与条件下における 反芻時間、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響

##### 緒 言

肉牛生産においては、肉質の良好な枝肉生産を達成させるために肥育期間中の栄養水準をコントロールし、また、エネルギー効率の向上を目指して肥育時の濃厚飼料の割合を高める飼育管理が一般的であり、経済性を加味した飼養システムと言える。さらに、肥育時の後期では、穀類を主体にした濃厚飼料が多量に給与され、粗飼料の給与を極力制限する飼養システムが行われている。肥育後期の粗飼料の給与水準を低くした場合、枝肉の肉質は良好になる[木村ら 1996]とされている。この原因は、濃厚飼料の給与割合が高まると、第一胃内のプロピオン酸の産生比率が高まり、脂肪の生成および蓄積が進行し、また、第一胃内での消化率は減少するが、下部消化管での消化率が高まり、結果的に全消化管の消化率が向上してエネルギー効率が改善されるためである[農林水産省農林水産技術会議事務局 1995]と推察される。

反芻家畜において粗飼料は、栄養源として、また第一胃粘膜への物理的な刺激物として、重要な役割を有していることが広く知られている。特に、低質乾草や稲ワラといった難発酵性の粗飼料は、発酵性の良い飼料に比べて飼料乾物 1kg 当たりの咀嚼・反芻時間が長いことが報告されている[Sudweeks ら 1981]。上述のような経済性を最重要視した肥育期における飼養システムでは、低質乾草や稲ワラといった難発酵性の粗飼料が制限されながら給与され、肉牛の生理機能を保持することを主目的として利用されている。このような肉牛の肥育期での飼養システムでは、粗飼料を栄養源としてではなく、粗飼料がもつ第一胃に対する物理的な刺激作用のみを重視する傾向が強いと考えられる。したがって、第一胃への物理的的刺激機能という点だけを考慮するならば、化学合成繊維の不消化の刺激物質でもこの機能を補うことが可能であると考えられる。

ところで、反芻家畜における第一胃内の恒常性は、第一胃発酵、運動性、唾液分泌およびあい気のような生理的作用により保持されている[Obara ら 1994]。粗飼料は、その固有の形状により第一胃壁を物理的に刺激し、その機械的な運動の反覆により第一胃内容物を混和させ、また反芻を促進させる作用を有する[中村 1981]と考えられる。さらに、第一胃内容物の混和は局所的な異常発酵の進行を抑制し、また反芻時の多量の唾液分泌により第一胃内発酵の過度の酸性化を制御する効果を発揮する[中村 1981]と思われる。したがって、粗飼料が有する第一胃に対する物理的な刺激作用を代替する目的で開発された第一胃刺激用具 (RF) の機能が肉牛における第一胃内の恒常性に及ぼす影響についての知見を得ることが必要であると思われる。

第2章において、濃厚飼料を多給して稲ワラをある程度 (1日当たり原物で 0.8kg 以上) 給与したときの肉牛への RF の投与は、反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に影響を及ぼさないことが明らかとなった。しかしながら、稲ワラなどの粗剛性がある粗飼料を給

与せず、穀類主体の濃厚飼料のみを給与する飼料条件下での肉牛において、RF 投与と反芻時間や第一胃内の発酵性状などとの関係についてはまだ十分に明らかにされていない。さらに、反芻時間に関しては、反芻時に吐き戻される食塊に含まれる飼料片の内容（堅さ、かさ）に影響を受けることが考えられるので、濃厚飼料中の繊維性成分が異なる飼料条件下での RF の投与に関する検討も必要であると思われる。

そこで本章（第3章）では、異なる繊維性成分の濃厚飼料を単独給与した飼料条件下における肉牛への RF の投与が反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について調査するため、第1節として、繊維性成分を調製した濃厚飼料単独給与条件下において、第2節として、低繊維性成分の濃厚飼料を単独給与した条件下において、それぞれ検討した。

### 第3章第1節

#### 繊維性成分が調製された濃厚飼料単独給与下における

#### 反芻時間、成分消化率、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響

反芻家畜において粗飼料は、栄養源としての役割と併せて、第一胃粘膜への物理的な刺激物としての役割も有していることが知られている。特に、低質乾草や稲ワラといった難発酵性の粗飼料は、第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用が強く、反芻の促進[谷口ら 1987; Luginbuhl ら 1989; Beauchemin ら 1994]による唾液の分泌など第一胃内の安定した発酵を保持するために必要であると思われる。

反芻家畜の第一胃粘膜に対する物理的刺激用具として市販されている第一胃刺激用具 (RF) の利用により肉牛の第一胃粘膜への物理的な刺激作用を補うことができれば、低質乾草や稲ワラなどの粗剛性がある粗飼料を給与しない飼料条件下においても、第一胃の恒常性をある程度正常に維持できることが推察される。肉牛の肥育期においては、第一胃機能が正常に維持される範囲内で穀類を主体とした濃厚飼料を多給し、可能な限り揮発性脂肪酸 (VFA) 産生量を高めることが重要であると思われる。したがって、肉牛の肥育での新たな飼養システムを開発する上で RF が有する機能を明らかにすることは重要であると思われる。

第2章では、粗飼料として稲ワラを給与し、飼料由来の物理的な刺激作用が十分に存在する飼料条件下での RF の投与について検討した。しかしながら、濃厚飼料を単独給与し、飼料からの物理的刺激が少ない飼料条件下の肉牛において、RF の投与による第一胃粘膜への物理的な刺激作用が反芻行動や第一胃内の発酵性状に及ぼす影響について調査した報告はない。さらに、RF が有する機能を有効に活用して肉牛の肥育期に利用するためには、各種飼料給与条件下において、RF の投与が肉牛の反芻行動や第一胃内の発酵性状に及ぼす影響を詳細に調査し、RF の第一胃粘膜に対する物理的刺激機能に対する飼料条件についても検討しておくことが必要であると思われる。

ところで、反芻過程での食塊の吐き戻しは、第一胃および噴門部付近の粘膜に粗剛な飼料片が接触することによって誘発される[Balch 1952; Ash と Kay 1959]。吐き戻された食塊を咀嚼することは、口腔内の機械刺激受容器を興奮させて反射性の唾液分泌を増加させる[山崎 1998]。また、唾液分泌は休息時に比べ飼料摂食時、反芻時に活発となる[Bailey と Balch 1961]ことが知られている。これらのことから、RF を投与したときの肉牛の反芻行動および第一胃内の発酵性状を調査することにより、RF の投与が反芻誘発に及ぼす影響について検討することが可能であると考えられる。

そこで本試験では、ホルスタイン種去勢雄牛を用い、繊維性成分が調製された濃厚飼料を単独給与したときの反芻時間、成分消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす RF 投与の影響について調査した。

## 材料および方法

### 供試動物

本試験ではRFを投与しない対照区(RF無投与)とRFを投与する区(RF投与)を設け、各処理にホルスタイン種去勢雄牛それぞれ4頭(計8頭)を供試した。試験開始時の体重(平均値±標準偏差)は、RF無投与 $657\pm 32\text{kg}$ 、RF投与 $659\pm 45\text{kg}$ であった。RFの投与は、供試牛の月齢が8ヶ月齢のときに行い、1頭当たり3個を経口投与した。試験期間については、本試験に供試した飼料への慣らし期間8日間を含め30日(予備期7日間、本期15日間)とした。本試験に用いた各供試牛は、同時に導入され、導入後2ヶ月間の飼養環境への馴致期を設け、馴致期中に除角と鼻環の装着を実施した。また、馴致期を通して徐々に濃厚飼料多給条件下に慣らし、馴致終了後17ヶ月齢時まで濃厚飼料(商品名:オギノスペシャル、北日本くみあい飼料株式会社)を1日1頭当たり7~10kgと稲ワラを1日1頭当たり2~1kg給与する飼養条件下で管理した。

### 供試飼料と飼養方法

本試験では濃厚飼料のみを給与し、市販の配合飼料(商品名:雪印配合飼料RF後期、雪印種苗株式会社)を用いた。濃厚飼料の原材料の配合割合は、穀類(トウモロコシ、エンバク他)73%、糟糠類(乾燥ビール粕、コーングルテンフィード他)16%、植物性油粕類(大豆油粕他)5%およびその他(糖蜜、炭酸カルシウム他)6%であった。試験期間中の濃厚飼料の給与量は、予備期前日に各供試牛の体重を測定し、その体重から日本飼養標準・肉用牛[農林水産省農林水産技術会議事務局1995]に基づき可消化養分総量(TDN)要求量で増体日量1.0kgを充足する量とした。

飼養方法は、供試牛を個別に頭絡を使用して繋ぎ飼いし、舎内でゴムマットを敷いて管理した。飼料の給与は、午前9時と午後4時の2回(半量ずつ)に分けてそれぞれ行った。水および固形塩は試験期間中を通じて自由に摂取できるようにした。

### 行動調査

行動調査は、本期7日目から2日間連続で実施した。行動の撮影は、第1章第2節と同様に、広角レンズ付き監視用カメラとタイムラプスビデオカセットレコーダーを用い、同ビデオカセットレコーダーの録画間隔を0.22秒として連続走行させ、48時間行った。同監視用カメラの設置は、行動調査開始日の前日に行い、同監視用カメラ1機で2頭を撮影するようにそれぞれ配置した。

行動の解析は、午前の飼料給与時を起点とし、録画テープを再生しながら連続観察によりそれぞれの供試牛の各行動時間を記録して行った。観察した行動は、各行動時間として飼料摂食時間、反芻時間および総咀嚼時間(飼料摂食時間+反芻時間)をそれぞれ記録した。その際、飼料摂食時の咀嚼と反芻時の咀嚼の区別は、それぞれの観察された咀嚼行動における前後の行動から判断した。また、給与飼料の摂取量は、行動調査と並行して調査した。

## 消化試験と飼料および糞の分析

各供試牛からの糞の採取は、本期1日目から5日目まで(5日間)、1日2回(午前10時と午後5時)行った。採取した糞は、通風乾燥機内で乾燥させた後、粉碎して各種分析まで常温で保存した。

消化率の算出は、酸不溶性灰分を標識物とするindex法を用いて行った。飼料および糞中の一般成分の分析ならびに細胞内容物質(OCC)と細胞壁構成物質(OCW)の分画は、第1章第2節と同様な方法で実施した。

## 第一胃内の発酵性状調査

第一胃内の発酵性状調査用の試料(第一胃内容液, 500ml)は、本期11日目の午前の飼料給与前および飼料給与後4, 8および12時間目(計4回)に、第2章で使用した経口カテーテル(胃汁採取器)を用いて採取した。採取した第一胃内容液は、二重ガーゼでろ過した後、各種分析に供するまで $-30^{\circ}\text{C}$ で凍結保存した。なお、この試料を用いて、アンモニア態窒素および乳酸を測定した。また、第一胃内pHおよびVFAの測定は、第一胃内液相の通過速度調査用の試料を用いて行った。

第一胃内pHの測定、各種VFAの分離定量、アンモニア態窒素濃度および乳酸濃度の測定は、第1章第2節と同様にそれぞれ行った。

## 第一胃内液相の通過速度の測定

第一胃内液相の通過速度の調査は、第1章第2節と同様に、マーカーとしてCo(II)-EDTAを用い、1頭当たり10gを300mlの水道水に溶かして飼料給与直前に経口投与して行った。Co分析用の試料(第一胃内容液, 500ml)は、本期14日目から15日目に経口カテーテル(胃汁採取器)を用いて経時的に採取した。採取時間は、午前の飼料給与前および飼料給与後3, 6, 9, 12, 15, 18, 21および24時間(計9回)とした。採取後、第一胃内容液は二重ガーゼでろ過し、各種分析に用いるまで $-30^{\circ}\text{C}$ で凍結保存した。

第一胃内液相の通過速度(回転率)は、第1章第2節と同様な方法で分析したCoの第一胃内含量の経時的減衰曲線から算出した。

## 統計処理

行動、消化率および通過速度の各データは、Studentのt検定を用いて処理間の平均値を比較した。また、第一胃内の発酵性状の各データは、それぞれの調査時における処理間の平均値の差をt検定により比較した。なお、5%以下の危険率は統計的な有意差があるとし、危険率10%以下の場合には傾向があるとした。

## 結 果

本試験に供試した飼料の化学成分組成を表3-1-1に示した。本試験に用いた濃厚飼料は、中性データ

ージェクト繊維含量の高い[農林水産省農林水産技術会議事務局 1995]エンバク、乾燥ビール粕およびコーングルテンフィードが配合されており、OCW 含量は乾物中で 27.5%であった。

表 3-1-2 には高繊維性成分割合の濃厚飼料単独給与下における各処理の飼料摂取量および摂食時と反芻時の咀嚼時間の結果を示した。1 日当たりの乾物および OCW 摂取量は、RF 投与が RF 無投与よりも多かった ( $P<0.05$ )。1 日当たりの飼料摂食時間は、RF 無投与、RF 投与ともにほぼ同じであった。1 日当たりの反芻時間は、RF 無投与に比較して RF 投与が長く ( $P<0.05$ )、総咀嚼時間についても RF 投与が長かった ( $P<0.05$ )。1 日当たりの反芻回数および 1 反芻期の平均持続時間は、RF 投与が RF 無投与を上回ったが、処理間に有意差が認められなかった。摂取乾物 1kg 当たりの反芻時間は、RF 無投与に比較して RF 投与が長く ( $P<0.05$ )、総咀嚼時間についても RF の投与により長くなる傾向を示した ( $P<0.10$ )。摂取 OCW1kg 当たりの反芻時間および総咀嚼時間についても、RF 無投与よりも RF 投与が長かった ( $P<0.05$ )。

表 3-1-3 には高繊維性成分割合の濃厚飼料単独給与下における各処理の各成分消化率および栄養価を示した。乾物の消化率は、RF 無投与に比較して RF 投与が低い傾向であった ( $P<0.10$ )。可溶無窒素物 (NFE) の消化率についても乾物消化率と同様に RF 投与が低かった ( $P<0.05$ )。粗脂肪の消化率については、RF 投与が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。粗繊維の消化率においては、各処理とも負の消化率となった個体が 2 頭ずつあり、他の 4 頭についても非常に低い消化率であった。TDN および可消化粗蛋白質 (DCP) は、RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなく、ほぼ同等であった。

高繊維性成分割合の濃厚飼料単独給与下での第一胃内の発酵性状における飼料給与後の日内変動を図 3-1-1~3-1-3 にそれぞれ示した。第一胃内 pH は、各処理とも午前と午後の飼料給与後に低下し、午前の飼料給与後 9 時間の調査時において最も低くなり、その後上昇する経時的変化を示した。また、第一胃内 pH は、RF 無投与よりも RF 投与が低く推移し、午前の飼料給与後 9 時間目において有意差が認められ ( $P<0.05$ )、給与後 12 時間目でも有意な傾向があった ( $P<0.10$ )。総 VFA 濃度については、有意差がないものの、午前の飼料給与後 6~12 時間の調査時において RF 投与が RF 無投与を上回り、他の調査時では各処理ともほぼ同じ濃度で推移した。酢酸濃度は、各調査時とも処理間に有意差がなかった。プロピオン酸濃度は、RF 無投与 23~27 mM/L、RF 投与 27~37mM/L の範囲であり、1 日を通して RF の投与により高く推移し、午前の飼料給与後 3 および 9 時間の調査時で処理間に有意差が認められ ( $P<0.05$ )、給与後 6 および 12 時間目で有意な傾向があった ( $P<0.10$ )。酪酸濃度は、飼料給与後 15 時間の調査時において処理間に有意差があった ( $P<0.05$ ) が、他の調査時では処理間に有意差がなかった。酢酸/プロピオン酸 (A/P) 比については、1 日を通して RF 投与が低く推移し、午前の飼料給与後 12 時間の調査時において処理間に有意差が認められ ( $P<0.05$ )、給与後 18 時間の調査時でも有意な傾向があった ( $P<0.10$ )。なお、第一胃内の発酵性状を調査したときの各処理の飼料摂取量 (現物量) は、RF 無投与 9.4kg、RF 投与 10.2kg であり、処理間に有意差がなかった。

高繊維性成分割合の濃厚飼料単独給与下における各処理のアンモニア態窒素濃度および乳酸濃度の飼料給与後の経時的変化を図 3-1-4 に示した。アンモニア態窒素濃度は、午前の飼料給与前の調査時

でRF投与が高かった ( $P<0.05$ ) が、他の調査時では処理間に有意差がなかった。乳酸濃度については、RF無投与よりもRF投与が低く推移したが、各調査時とも処理間に有意差がなかった。

表 3-1-4 には高繊維性成分割合の濃厚飼料単独給与下における各処理の第一胃内液相の回転率および回転時間を示した。第一胃内液相の回転率は、RF無投与に比較してRF投与が高い傾向があり ( $P<0.10$ )、回転時間は、RFの投与により短くなる傾向であった ( $P<0.10$ )。

## 考 察

本試験のような繊維性成分が調製された濃厚飼料のみを給与した飼料条件下において、1日当たりの反芻時間は、RF投与がRF無投与に比べ有意に長かった。また、乾物およびOCW摂取量ともRF投与が有意に多かった。そのため、飼料由来の物理的刺激はRF無投与に比べRF投与で多くなったと推察され、飼料摂取量の処理間の違いが反芻時間に影響を及ぼした1つの要因であると考えられる。一方、摂取乾物1kg当たりの反芻時間はRF投与がRF無投与よりも長く、処理間に統計的な有意差が認められた。また、摂取OCW1kg当たりの反芻時間についてもRF無投与に比較してRF投与が有意に長かった。これらのことから、飼料由来の物理的刺激に加え、RFの物理的な刺激作用が反芻時間に影響を及ぼした1つの要因ではないかと推察される。

Welch と Smith[1974, 1975]は、反芻家畜の第一胃に対する物理的な刺激作用を人工刺激物質で代替して種々の試験を試み、濃厚飼料多給条件下でのヒツジや去勢牛、粉碎乾草と濃厚飼料給与下での乳牛において、人工刺激物質の投与が反芻時間を明らかに増加させたことを報告し、人工刺激物質の第一胃粘膜への物理的作用が反芻を促す主要な要因であることを示唆した。また、谷口ら[1987]は、第一胃カニューレ装着去勢雄山羊を用い、濃厚飼料とともに形状の異なる乾草および不消化物質を直接第一胃へ投与した試験を実施し、粉碎乾草給与区に比べ粉碎乾草に不消化物質を投与した区では、反芻刺激が活発になり、反芻時間が著しく増加したと報告している。これらの報告は、反芻家畜の第一胃へ物理的刺激のある人工的な物質を投与することにより反芻時間が長くなるという点で本試験と一致する結果であった。ところで、本試験のような濃厚飼料のみを成牛に単独給与した報告[Freer と Campling 1965; Beauchemin ら 1994]によれば、1日当たりの反芻時間は100分以下であり、食塊の吐き戻し後での反芻時の咀嚼時間は非常に短かったことが観察されている。本試験において濃厚飼料を単独給与したRF無投与では、1日当たりの反芻時間が160~180分の範囲であった。これは本試験に用いた濃厚飼料がエンバクや乾燥ビール粕を配合し、繊維性成分を調製した飼料であることにより反芻時間を多少長くさせたものと思われる。すなわち、粗飼料給与時に比べて小さな飼料片を反芻咀嚼していることが推察されるが、圧扁状の殻付きのエンバクや大麦などが影響し、1食塊当たりの咀嚼時間がある程度維持され、RF無投与でも1日当たり3時間ほどの反芻時間が得られたのではないかと考えられる。

本試験における第一胃内の発酵性状の結果をみると、総VFA濃度は各処理とも午前中の飼料給与後急激に上昇し、その後、RF無投与では76~94mM/Lの範囲で推移したが、RF投与では100mM

／L以上と発酵が進み、異なる発酵パターンを示した。それに伴い第一胃内 pH は、午前の飼料給与後6時間以降で処理間に開きが生じ、RF 投与が低く推移した。総VFA濃度における処理間の相違は、各処理の飼料摂取量の違いが影響していることと思われた。A/P 比はRF 無投与に比較してRF 投与が低く推移した。プロピオン酸のモル比率は、RF 無投与で23～27%、RF 投与で30～37%の範囲にあり、RF の投与によりプロピオン酸の割合が高くなった。したがって、本試験のような飼料条件下ではRF の投与により、第一胃内におけるプロピオン酸発酵を促進する可能性があることが示唆された。一方、第一胃内 pH は両処理ともほぼ同様な経時的変化を示しているものの、RF 無投与に比べてRF 投与では午前の飼料給与後9時間目の調査時に示した最低値から午前の飼料給与前の数値までの上昇が大きかった。午前の飼料給与後15時間以降の総VFA濃度は両処理ともほぼ同等であったことから、これは反芻時に吐き戻された食塊の咀嚼時に耳下腺からの唾液分泌が増加し[Bailey と Balch 1961; 山崎 1998]、第一胃内 pH を上昇させたものと思われる。本試験のような濃厚飼料のみを給与した飼料条件下におけるRF の投与は、偽反芻に類する反芻が起こっていた可能性が考えられるが、RF 無投与に比較してRF 投与では1日当たりの反芻時間が増加していたことから、反芻時の1日当たりの咀嚼時間も増加し、それにより唾液分泌が高められたことが推察される。

以上の結果から、繊維性成分が調製された濃厚飼料のみを給与した飼料条件下において、ホルスタイン種去勢雄牛の第一胃内へ投与したRF は、第一・二胃の収縮運動に伴って内容物とともに第一・二胃内を流動しながら第一胃粘膜への刺激物として作用していることが推察され、反芻過程での食塊の吐き戻しを誘発し、1日当たりの反芻時の咀嚼時間を長くする可能性のあることが示唆された。また、第一胃内のプロピオン酸発酵が高まり、第一胃内液相の回転率が高まる傾向になることが確認された。



Table 3-1-1. Chemical composition of concentrate diet used in this experiment

Composition	Contents (% of dry matter)
	Concentrate <sup>1)</sup>
Organic matter	95.8
Crude protein	12.9
Ether extract	4.8
Nitrogen free extract	71.8
Crude fiber	6.3
Organic cellular content	68.3
Organic cell wall	27.5
Crude ash	4.2

<sup>1)</sup> RF Koki (flaking and meal, Snow Brand Seed Co., Ltd.).

Table 3-1-2. Effects of RF dosing on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed only concentrate diet (under 28% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Intake, kg/day			
DM	8.3 ± 0.6	9.6 ± 0.4	P<0.05
OCW	2.3 ± 0.2	2.6 ± 0.1	P<0.05
Time spent, min/day			
Eating	52.3 ± 10.6	55.5 ± 7.7	NS
Rumination	128.3 ± 11.5	197.6 ± 35.9	P<0.05
Total chewing	180.6 ± 16.1	253.1 ± 43.5	P<0.05
No. of rumination periods	8.4 ± 2.6	10.1 ± 2.0	NS
Rumination time per period, min	17.9 ± 6.6	20.2 ± 3.9	NS
Chewing time, min/kg DM intake			
Eating	6.5 ± 1.8	5.7 ± 0.7	NS
Rumination	15.1 ± 1.1	20.4 ± 3.1	P<0.05
Total	21.6 ± 1.3	26.1 ± 3.7	P<0.10
Chewing time, min/kg OCW intake			
Eating	22.3 ± 4.7	20.9 ± 2.4	NS
Rumination	48.1 ± 14.7	74.2 ± 11.2	P<0.05
Total	70.5 ± 12.1	95.1 ± 13.6	P<0.05

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

DM: dry matter, OCW: organic cell wall, NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 3-1-3. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content in steers fed only concentrate diet (under 28% organic cell wall as fed basis)

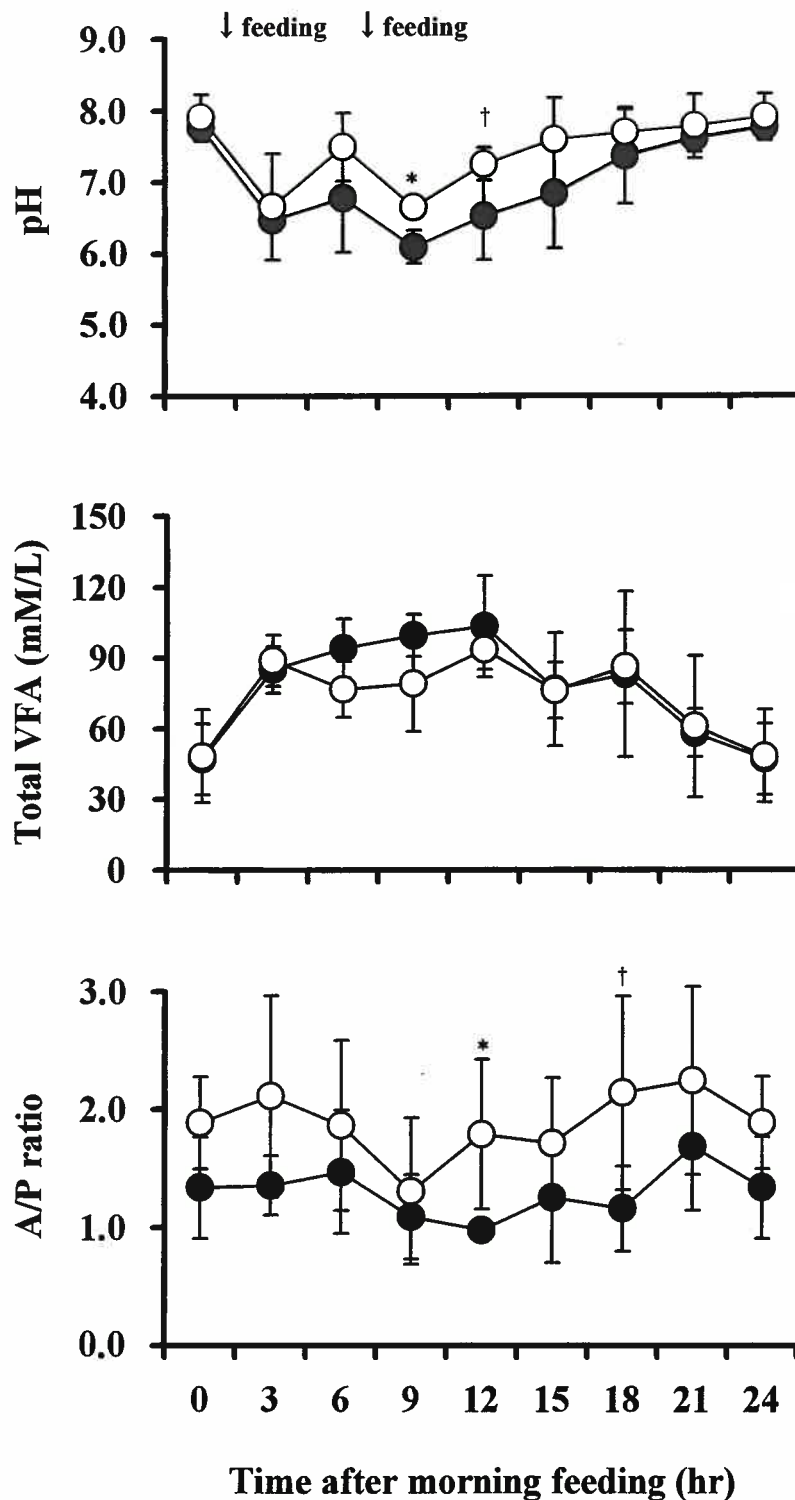
Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
<b>Digestibility (%)</b>			
Dry matter	74.5 ± 1.0	73.0 ± 1.1	P<0.10
Organic matter	76.6 ± 1.0	75.4 ± 1.3	NS
Crude protein	77.6 ± 1.9	77.0 ± 1.9	NS
Ether extract	79.5 ± 3.2	84.6 ± 3.5	P<0.10
Nitrogen free extract	83.2 ± 0.5	81.0 ± 1.2	P<0.05
Crude fiber	1.7 ± 2.3	5.1 ± 4.9	NS
Organic cellular content	93.9 ± 0.7	93.3 ± 0.4	NS
Organic cell wall	33.7 ± 2.1	30.7 ± 4.2	NS
<b>Nutrient content (%)</b>			
Total digestible nutrient	69.3 ± 0.8	68.4 ± 1.2	NS
Digestible crude protein	8.8 ± 0.2	8.8 ± 0.2	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).



**Fig. 3-1-1.** Changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid in steers fed with only concentrate diet (under 28% organic cell wall as fed basis).

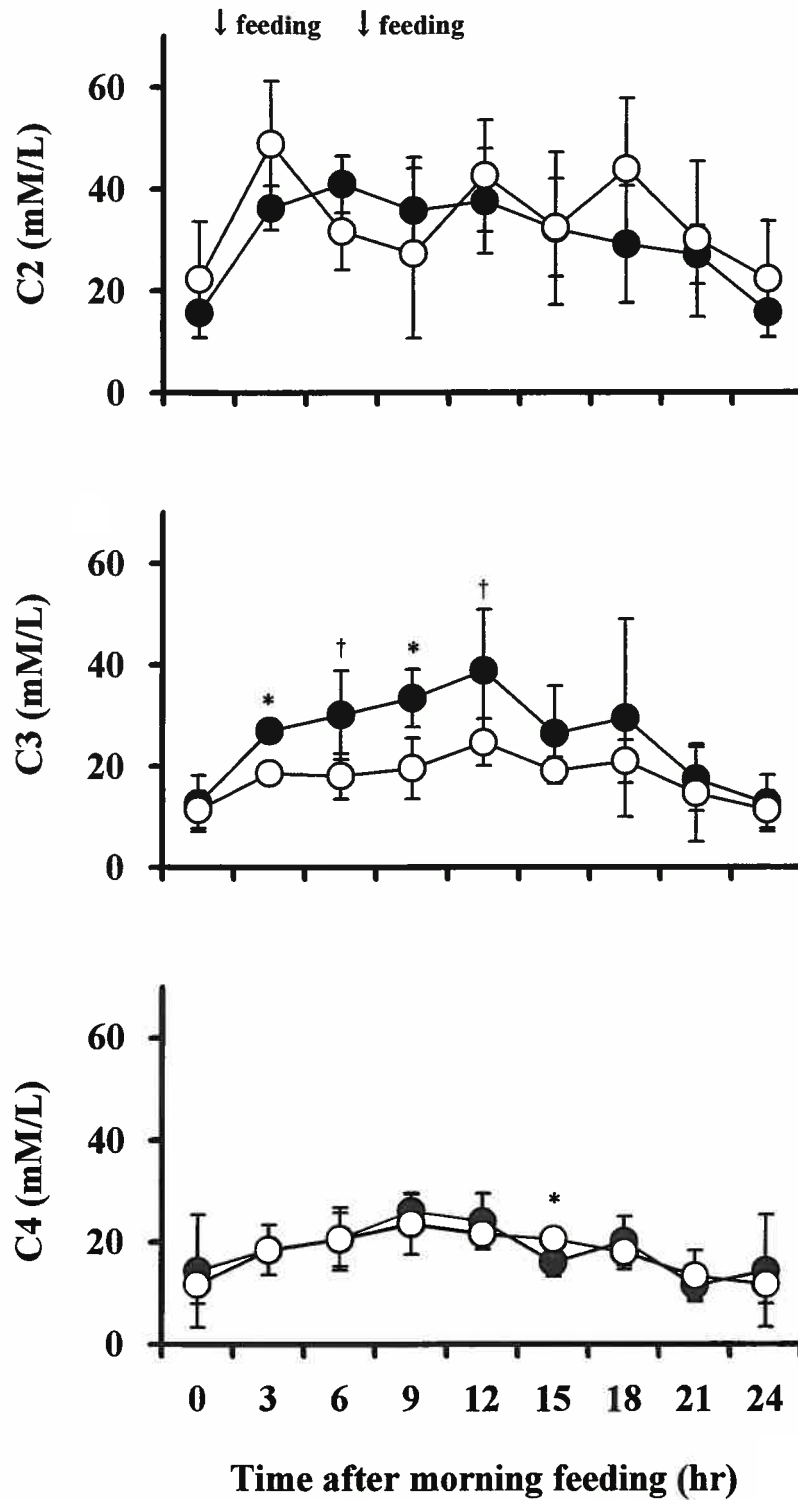
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

O: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 3-1-2. Changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid in steers fed with only concentrate diet (under 28% organic cell wall as fed basis).**

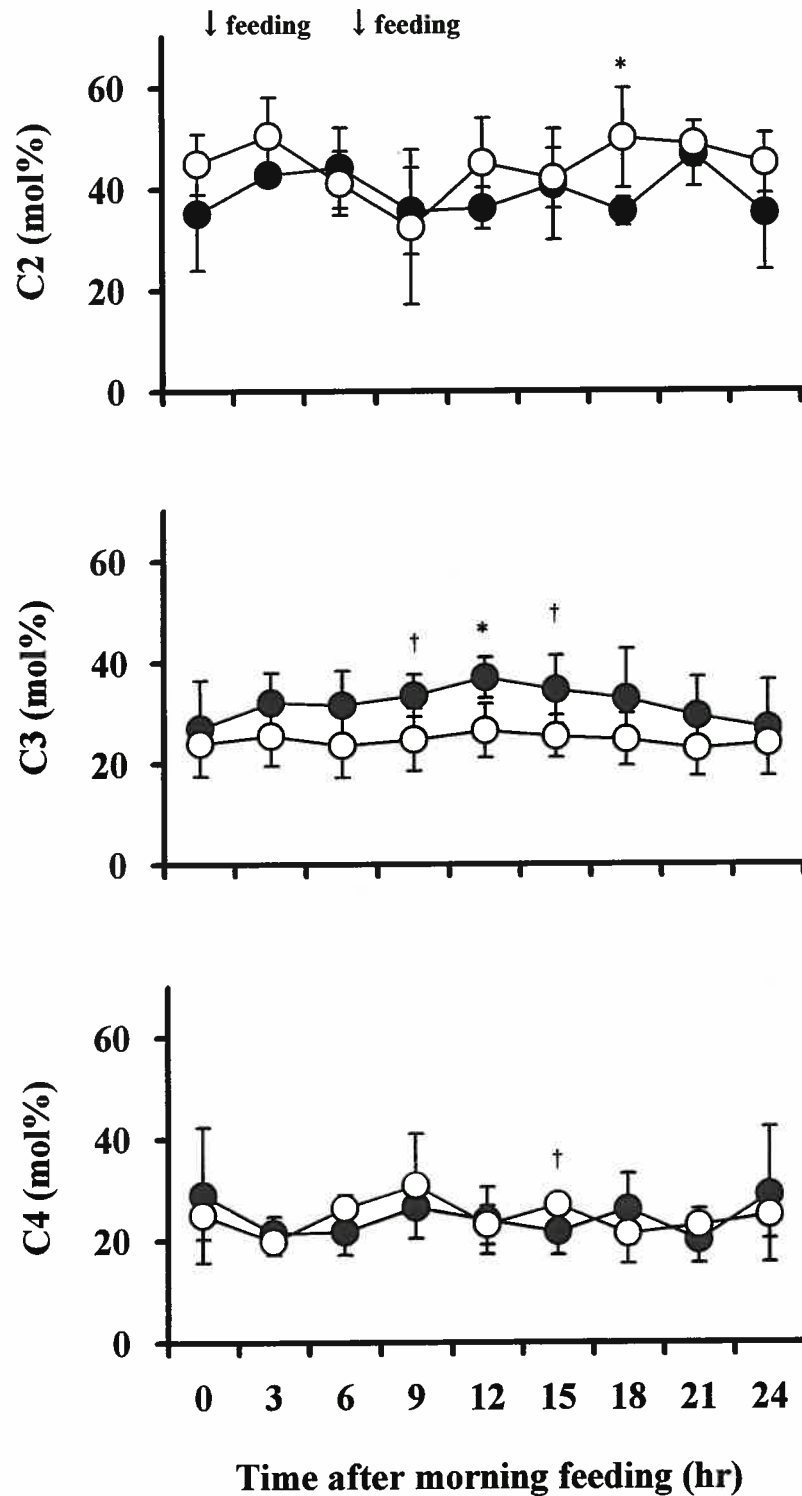
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 3-1-3.** Changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid in steers fed with only concentrate diet (under 28% organic cell wall as fed basis).

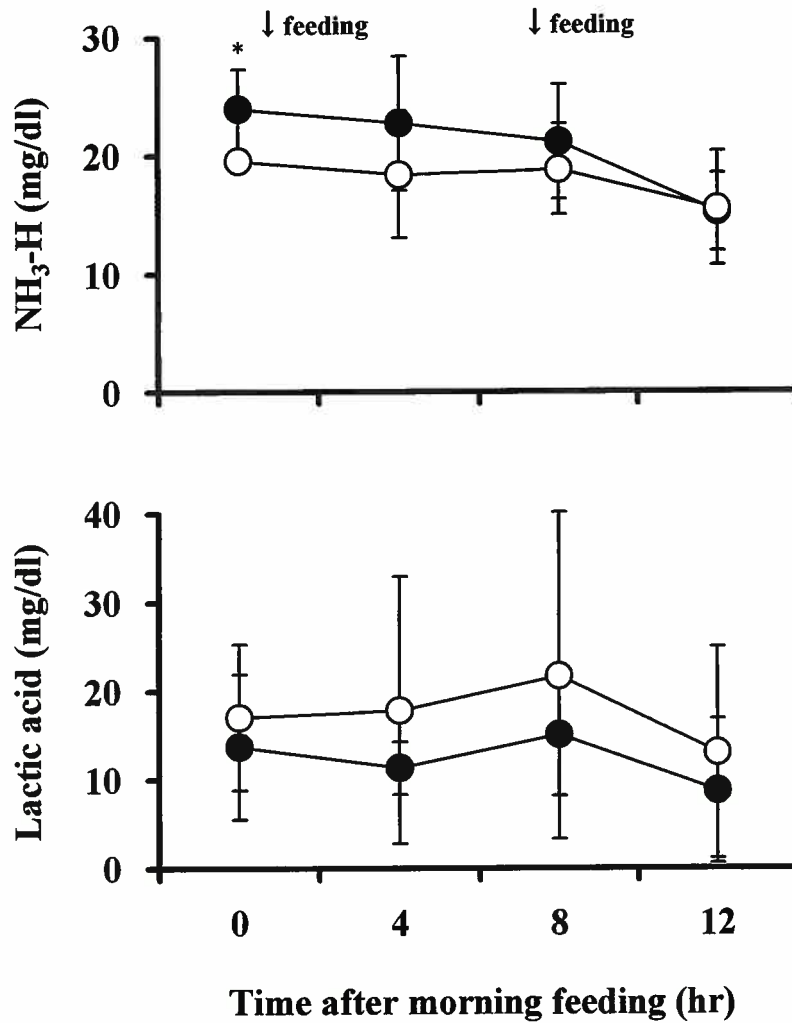
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 3-1-4. Diurnal changes in NH<sub>3</sub>-N and lactic acid concentration of rumen fluid in steers fed with only concentrate diet (under 28% organic cell wall as fed basis).**

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

\*:  $P < 0.05$ .

*Table 3-1-4.* Effects of RF dosing on turnover rate and turnover time in steers fed only concentrate diet (under 28% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Turnover rate (%/hr)	10.1 ± 0.5	11.5 ± 0.9	P<0.10
Turnover time (hr)	9.9 ± 0.5	8.7 ± 0.7	P<0.10

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



## 要 約

繊維性成分が調製された濃厚飼料（OCW 含量：乾物中 27.5%）単独給与下において、RF の投与が反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす影響について検討した。供試牛として RF 無投与（対照）と RF 投与のホルスタイン種去勢雄牛それぞれ 4 頭を用いた。RF の投与は、8 ヶ月齢時に実施し、1 頭当たり 3 個とした。給与飼料は濃厚飼料のみを給与し、TDN 要求量で増体日量 1.0kg を満たす量とした。飼料摂取量は RF 投与が多く、1 日当たりの反芻時間は RF 投与が長かった。摂取乾物 1kg 当たりの反芻時間は RF の投与により長くなった。乾物および NFE の消化率は、RF 無投与に比較して RF 投与が低い傾向であり、粗脂肪の消化率は RF 投与が高い傾向であった。TDN および DCP は処理間に有意差がなかった。総 VFA 濃度は、午前の飼料給与後 6～12 時間の調査時において RF 投与が高く推移する傾向であった。それに伴い第一胃内 pH は、RF 投与が RF 無投与より低い値で推移する傾向であったが、午前の飼料給与前の値には処理間の差がみられなかった。A/P 比は RF 投与が低く推移した。第一胃内液相の回転率は、RF 無投与に比較して RF 投与が高い傾向であり、回転時間は RF 投与が短い傾向であった。以上の結果から、本試験に用いた濃厚飼料のみを給与した飼養条件下において、RF は第一胃粘膜に対して物理的的刺激物として作用していることが推察され、反芻時での食塊の吐き戻しを誘発し、1 日当たりの反芻時の咀嚼時間を長くする可能性のあることが示唆された。また、RF の投与によりプロピオン酸の発酵が高まり、第一胃内液相の回転率が高まる傾向にあることが確認された。

## 第3章第2節

### 低繊維性成分の濃厚飼料単独給与下における

#### 反芻時間、第一胃内発酵性状および第一胃内通過速度に及ぼす影響

反芻家畜において稲ワラや低質乾草といった粗飼料（低質粗飼料）は、一般に主要な繊維源であり、反芻を促進し[谷口ら 1987; Luginbuhlら 1989; Beaucheminら 1994]、第一胃機能を維持するためが必要であると思われる。しかし、低質粗飼料は相対的に低エネルギー、高価格な飼料であるため、肥育期の肉牛生産において、第一胃機能を損なうことなく給与飼料から低質粗飼料を低減することが可能ならば、肉牛の生産性向上の面から有益であると思われる。そのためには、肉牛生産での濃厚飼料多給条件下において、第一胃機能を維持させるために併給する粗飼料に代わる人工物質の実用が期待される。

反芻家畜の第一胃に対する物理的な刺激作用を有する人工的な物質については、幾つかの投与試験が試みられ、飼料摂取量[Bolingら 1969]、増体[WhiteとReynolds 1969; Loerch 1991]、反芻時間[WelchとSmith 1974, 1975; 谷口ら 1987]および代謝性疾病[Ørskovら 1979]に及ぼす影響についての報告が行われている。しかしながら、これらの人工刺激物質は試験研究の範囲にとどまっており、家畜生産で実用化されたものはない。近年、肉牛の第一胃粘膜に対する物理的作用を補うための人工的な刺激用具（RF）が開発され、動物用医療用具として利用されている。前節（第3章第1節）において、繊維性成分を調製した濃厚飼料単独給与下のホルスタイン種去勢雄牛にRFを投与すると、反芻時の食塊の吐き戻しを誘発して1日当たりの反芻時の咀嚼時間を長くする可能性があることが示唆された。反芻は第一胃の収縮運動と連動して摂取飼料を咀嚼により細切し、飼料の微生物による利用を促進することが一般に知られている。また、第一胃内における摂取飼料の通過速度は、第二胃の収縮運動により影響を受けることが報告されている[Sissonsら 1984]。これらのことから、濃厚飼料単独給与下の肉牛へRFを投与した場合、第一胃内における摂取飼料の通過速度に影響を及ぼすことが考えられるが、これまでに低繊維性成分の濃厚飼料単独給与の飼料条件下におけるRFと摂取飼料の第一胃内通過速度の関連性について検討した報告はない。一方、前節（第3章第1節）の試験は、圧扁状の殻付きのエンバクや大麦が配合された濃厚飼料が用いられ、濃厚飼料由来の繊維性成分がある程度備わった飼料条件下で実施された。肉牛においてRFを有効に活用していくためには、様々な飼料条件下について検討し、RFがもつ機能を明らかにすることが必要である。したがって、飼料由来の繊維性成分が少なく、粗剛性のない飼料条件下における肉牛へのRFの投与についても、反芻や第一胃内の発酵性状の面から検討することが必要であると思われる。

そこで本試験では、繊維性成分が少ない濃厚飼料を単独制限給与したホルスタイン種去勢雄牛を用いて、反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼすRF投与の影響について検討した。

## 材料および方法

### 供試動物

本試験では第一胃にフィステルを装着したホルスタイン種去勢雄牛4頭を供試した。供試牛の体重(平均値±標準偏差)は $638 \pm 83$ kgであった。試験処理としてRF無投与(対照)とRF投与を設定し、各処理に供試牛2頭をそれぞれ割り当て、クロスオーバー法により飼育試験を実施した。すなわち、供試牛4頭のうち2頭にRFを投与して1期目の飼育試験を行った後、RFを取り除き、引き続き他の2頭にRFを投与して同様に2期目の飼育試験を実施した。飼育試験は予備期7日間、本期4日間で行った。RFは1頭当たり3個を第一胃フィステルから投与した。RFの投与は予備期開始日の飼料給与前に実施した。RFは投与前に紙製のカプセルから取り出して熱湯に入れ、RF本体の植毛部分を完全に開かせた状態にしてから供試した。

### 供試飼料と飼養方法

給与した濃厚飼料は、表3-2-1に示した成分の市販配合飼料(商品名:オギノスペシャル,北日本くみあい飼料株式会社)を用いた。飼料の給与量は、日本飼養標準・肉用牛[農林水産省農林水産技術会議事務局1995]に従い、飼育試験期ごとに予備期開始時の体重から維持に必要な可消化養分総量(TDN)要求量の105%相当量となるように算出した。供試牛は個別ストール内で飼養し、舎内で管理した。飼料は午前9時と午後4時の2回に分けて、半量ずつ給与した。水と固形塩は飼育試験期間中を通じて自由に摂取できるようにした。なお、本試験に用いた供試牛は、濃厚飼料のみの飼料条件下に慣らすため、10日間の馴致期を通じて徐々に飼料の切り替えを行った。

### 行動調査

行動の観察は、第1章第1節と同様に、広角レンズ付き監視用カメラを用い、本期1日目の午前の飼料給与時から1分間隔で24時間実施した。観察時に記録した行動は、各行動時間として飼料摂食時間、反芻時間および総咀嚼時間(飼料摂食時間+反芻時間)をそれぞれ記録した。その際、飼料摂食時の咀嚼と反芻時の咀嚼の区別は、咀嚼行動が観察された時点の前後の行動から判断した。反芻時の吐き戻し食塊当たりの咀嚼回数と咀嚼時間は、行動観察中に反芻が確認された供試牛についてそれぞれ計測した。監視用カメラの設置は、行動調査開始日の前日に行い、1機で1頭を撮影するようにそれぞれ配置した。

### 第一胃内の発酵性状調査

第一胃内pHおよび揮発性脂肪酸(VFA)の測定用試料(第一胃内容液,300ml)は、第一胃内通過速度調査用の試料採取時に同時に行った。採取した第一胃内容液は、二重ガーゼでろ過を行い、ただちにpHを測定した。ろ過した第一胃内容液は、VFAの分析に供するまで $-30^{\circ}\text{C}$ で凍結して保存した。

pHの測定およびガスクロマトグラフィーによる各種VFAの分離定量は、第1章第2節と同様な方

法でそれぞれ実施した。

#### 第一胃内液相の通過速度の測定

第1章第2節と同様に、第一胃内液相の通過速度を求めるため、Co(II)-EDTAを本期3日目の飼料給与直前に第一胃フィステルから直接投与した。Co分析用の試料(第一胃内容液, 300ml)は、本期3日目から4日目に第一胃フィステルから経時的に採取した。採取時間は、午前の飼料給与前および飼料給与後3, 6, 9, 12, 15, 18, 21および24時間目(計9回)とした。採取した第一胃内容液は二重ガーゼでろ過後、 $-30^{\circ}\text{C}$ で凍結保存した。

第一胃内液相の通過速度(回転率)は、第1章第2節と同様に、原子吸光光度計を用いてCoを分析して算出した。

#### 飼料の化学成分分析

飼料中の水分、粗灰分、粗蛋白質、粗脂肪および粗繊維の分析ならびに細胞内容物質(OCC)および細胞壁構成物質(OCW)の分画は、第1章第2節と同様な方法で行った。

#### 統計処理

行動および第一胃内液相の通過速度の調査データは、Studentのt検定により処理間を比較した。第一胃内pHおよび各VFAの調査データは、RFを要因とする分散分析を行い、各調査時における処理間の差はt検定により比較した。

## 結 果

低繊維性成分の濃厚飼料単独給与下における各処理の行動観察時の飼料摂取量、摂食時と反芻時の咀嚼時間および吐き戻し食塊当たりの咀嚼回数と咀嚼時間の結果を表3-2-2に示した。1日当たりの乾物およびOCW摂取量は、各処理とも同じであった。1日当たりの飼料摂食時間は、各処理ともほぼ同じであった。1日当たりの反芻時間については、RF無投与15分、RF投与24分であり、処理間に有意差がなく、両処理とも非常に短かった。反芻が観察された個体は、RF無投与で2頭、RF投与で3頭であった。1日当たりの総咀嚼時間についても処理間に有意差がなかった。摂取乾物および摂取OCW1kg当たりの反芻時間および総咀嚼時間は、それぞれ処理間に有意差がなかった。反芻が観察された供試牛の吐き戻し食塊当たりの咀嚼回数と咀嚼時間は、RF無投与23回、25秒、RF投与26回、31秒であった。

低繊維性成分の濃厚飼料単独給与下における各処理の第一胃内pH、総VFA濃度および各VFA濃度と組成の飼料給与後の日内変動を図3-2-1~3-2-3にそれぞれ示した。第一胃内pHは、各処理とも午前と午後の飼料給与後に低下し、午前の飼料給与後9時間目において両処理とも最小値となり、その後、各処理とも同様に上昇した。総VFA濃度は、pHとは逆に、両処理とも午前の飼料給与後9時

間の調査時に最も高くなり、その後低下する経時的変化を示した。第一胃内 pH および総 VFA 濃度は、各調査時とも処理間に有意差がなかった。酢酸濃度は、総 VFA 濃度と同様に各調査時とも処理間に有意差がなかった。プロピオン酸濃度は、RF 無投与に比較して RF 投与が、午前の飼料給与前および飼料給与後 12 時間の調査時において高い傾向を示し ( $P<0.10$ )、午前の飼料給与後 24 時間の調査時において高くなった ( $P<0.05$ )。酪酸濃度は、午前の飼料給与後 6 時間および 21 時間の調査時において RF 投与が低くなる傾向であった ( $P<0.10$ )。

低繊維性成分の濃厚飼料単独給与下における各処理の第一胃内液相の通過速度(回転率と回転時間)を表 3-2-3 に示した。RF 無投与に比較して、第一胃内液相の回転率は RF 投与が高く ( $P<0.05$ )、回転時間は RF 投与が短かった ( $P<0.05$ )。

## 考 察

繊維性成分を調製した濃厚飼料(乾物中 OCW27.5%)を単独給与した飼料条件下で実施された前節(第 3 章第 1 節)の試験では、摂取乾物 1kg 当たりの反芻時間は、RF 無投与 15 分、RF 投与 20 分であり、処理間に統計的な有意差が認められた。本試験における摂取乾物 1kg 当たりの反芻時間は、両処理とも前節(第 3 章第 1 節)の結果を極端に下回り、処理間には有意差がなかった。谷口ら[1987]は、濃厚飼料を単独給与した去勢雄山羊に不消化物質であるポリプロピレンを投与した飼育試験を実施している。それによると、1 日当たりの反芻時間は、無投与において 18 分以下と非常に短かったが、ポリプロピレンの投与により 200 分以上の反芻時間が観察された。この試験に用いられたポリプロピレンは、反芻時において食塊の内容物の一部として吐き戻されて咀嚼されていた。本試験に用いた RF は、反芻時に吐き戻されない形状をしており、咀嚼されない。したがって、本試験のような飼料由来の繊維性成分が少なく、粗剛性がない飼料給与条件下では、RF がもつ第一胃粘膜への物理的な刺激作用により反芻時の食塊の吐き戻しが誘発されても、吐き戻された食塊に含まれる固形物が少なく、咀嚼がほとんど行われなかったものと考えられる。

本試験における酢酸/プロピオン酸(A/P)比は、RF 無投与で 1.8~2.9、RF 投与で 1.7~2.3 の範囲であり、RF の投与により有意に低下した。前節(第 3 章第 1 節)の試験結果においても、RF の投与により A/P は低く推移しており、本試験とはほぼ同様な結果であった。このように、第一胃内の VFA 発酵において、RF の投与によりプロピオン酸型の発酵が強まる傾向が認められた。その機構の一つとして、第一胃内での飼料の発酵過程において、各種微生物により生成された代謝性水素がメタン生成に利用されず、プロピオン酸生成に利用されたことが考えられる。すなわち、本試験では RF の投与により第一胃内液相の通過速度が速くなっていた。メタン細菌の多くは、プロトゾアの体表面や細胞内に生息している[Vogelsら 1980; Stummら 1982]。RF の投与による第一胃内液相の回転率の増加は、プロトゾアの第三胃への流出割合を増し、第一胃内のメタン細菌を減少させていたことが推察される。Okineら[1989]は、維持飼料給与下の去勢牛の第一胃に重しを投与したとき、第一胃内液相の回転率が高まり、メタン生成量が低下したことを報告している。また、Takenaka と

Itabashi[1995]は、子牛の第一胃からプロトゾアを実験的に除去したとき、メタン生成量が減少し、メタン細菌数が著しく低下したことを確認している。一方、Henderson[1980]は、水素 (H<sub>2</sub>) を添加して気流下で 3 種の細菌 *Bacteroides ruminicola*, *Anaerovibrio lipoytica* および *Selenomonas ruminantium* を培養した試験を行い、いずれの細菌においても H<sub>2</sub> の添加によりプロピオン酸の産生が顕著に増加したことを報告し、フマル酸の還元にも H<sub>2</sub> が利用されたことを示している。また、Van Nevel ら[1974]は、同様に H<sub>2</sub> を添加した細菌 *Megasphaera elsdenii* の培養試験において、乳酸からのプロピオン酸の産生が増加したことを報告している。

Loerch[1991]は、濃厚飼料を単独給与した飼料条件下の去勢肉牛にプラスチック製タワシ (plastic pot scrubbers) を投与した試験を実施し、無投与に比較して有意差はないものの、プラスチック製タワシの投与により第一胃内液の希釈率 (回転率) が高くなることを示した。一般に、第一・二胃収縮運動の頻度の増加 (第一胃運動の増加) により、摂取飼料の通過速度が速まることが知られている。Sisson ら[1984]は、第二胃収縮運動の頻度と第一胃内液相の回転率との間の明確な関係を明らかにした。Okine ら[1989]は、維持飼料給与下において、去勢牛の第一胃に重しを投与して第一胃内液相の通過割合に及ぼす第二胃収縮運動の頻度の影響について検討し、重しの投与により第二胃収縮運動の頻度は低下したが、第二胃収縮運動の持続時間は増加したことを確認し、収縮運動の持続時間の増加が第一胃内液相の通過割合を高めた要因であると推察している。これらの報告のように、第一・二胃の収縮運動と摂取飼料の第一胃内通過速度とは明らかに正の関係があることが認められる。ところで、第一・二胃収縮運動の頻度は摂食時に最も高くなり、反芻時、休息時の順で低くなる[Mcleay ら 1982; Waghorn と Reid 1983; Baumont ら 1990]。また第一・二胃収縮運動は、特に摂食および反芻行動の発現に先立って起こる生理的反応であり、反芻と同調している[星野 1994]ことが知られている。本試験において、1 日当たりの摂食時間および反芻時間は処理間に有意差がなかったが、摂取飼料の第一胃内通過速度は RF 投与により有意に速くなった。1 日当たりの反芻時間と 1 食塊当たりの咀嚼時間から算出した 1 日当たりの反芻食塊の吐出回数は、RF 無投与で 36 回、RF 投与で 47 回となり、有意差はないものの RF の投与により多くなっていた。したがって、これらの報告や本試験の結果から、RF がもつ第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用により第一・二胃の収縮運動を増加させたことが考えられ、それにより摂取飼料の第一胃内通過速度が速まったものと推察される。第一胃内における摂取飼料の通過速度は消化率とも関連することであり、RF の第一胃への物理的な刺激作用と第一胃の収縮運動との関連性については、今後詳細に検討することが必要であろう。なお、本試験において、第一胃内液相の通過速度が RF の投与により早くなったが、第一胃内 pH や総 VFA 濃度は処理間に差がなかった。これは上述したように RF の投与により第一・二胃の収縮運動が刺激され、それに伴う第一胃内容物の攪拌とそれによる発酵促進が影響したのではないかとと思われる。

以上の結果から、本試験に用いたような繊維性成分が少なく、粗剛性のない濃厚飼料を単独制限給与した飼料条件下において、ホルスタイン種去勢雄牛に RF を投与すると、反芻時間に与える影響は少ないが、第一胃内液相の通過速度を速めることが認められ、第一胃内のプロピオン酸発酵割合を高める傾向にあることが確認された。

Table 3-2-1. Chemical composition of concentrate diet used in this experiment

Composition	Contents (% of dry matter)
	Concentrate <sup>1)</sup>
Organic matter	95.1
Crude protein	12.0
Ether extract	4.4
Nitrogen free extract	75.6
Crude fiber	3.1
Organic cellular content	82.7
Organic cell wall	12.5
Crude ash	4.9

<sup>1)</sup> Ogino-Special (flaking and meal, Kita-Nihon-Kumiai-Shiryo Co., Ltd.).

Table 3-2-2. Effects of RF dosing on feed intake and chewing time during eating and rumination in steers fed only concentrate diet (under 11% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>		RF treatment <sup>2)</sup>		Difference
Intake, kg/day					
DM	5.5	± 0.6	5.5	± 0.6	NS
OCW	0.7	± 0.1	0.7	± 0.1	NS
Time spent, min/day					
Eating	27.8	± 3.6	29.3	± 7.6	NS
Rumination	15.3	± 18.2	23.8	± 19.8	NS
Total chewing	43.0	± 19.6	53.0	± 24.1	NS
No. of rumination periods	2.0	± 2.4	2.5	± 3.1	NS
Rumination time per period, min	3.9	± 4.5	9.9	± 8.2	NS
Chewing time, min/kg DM intake					
Eating	5.1	± 1.1	5.3	± 1.4	NS
Rumination	3.0	± 3.7	4.6	± 4.2	NS
Total	8.1	± 4.5	9.9	± 5.3	NS
Chewing time, min/kg OCW intake					
Eating	40.2	± 8.5	42.1	± 11.1	NS
Rumination	23.4	± 29.2	36.3	± 33.3	NS
Total	63.7	± 35.2	78.4	± 41.4	NS
No. of chews per rumination bolus, chews	22.7	± 5.0	26.0	± 1.9	NS
Chewing time per bolus, sec	25.3	± 4.2	30.6	± 1.7	NS

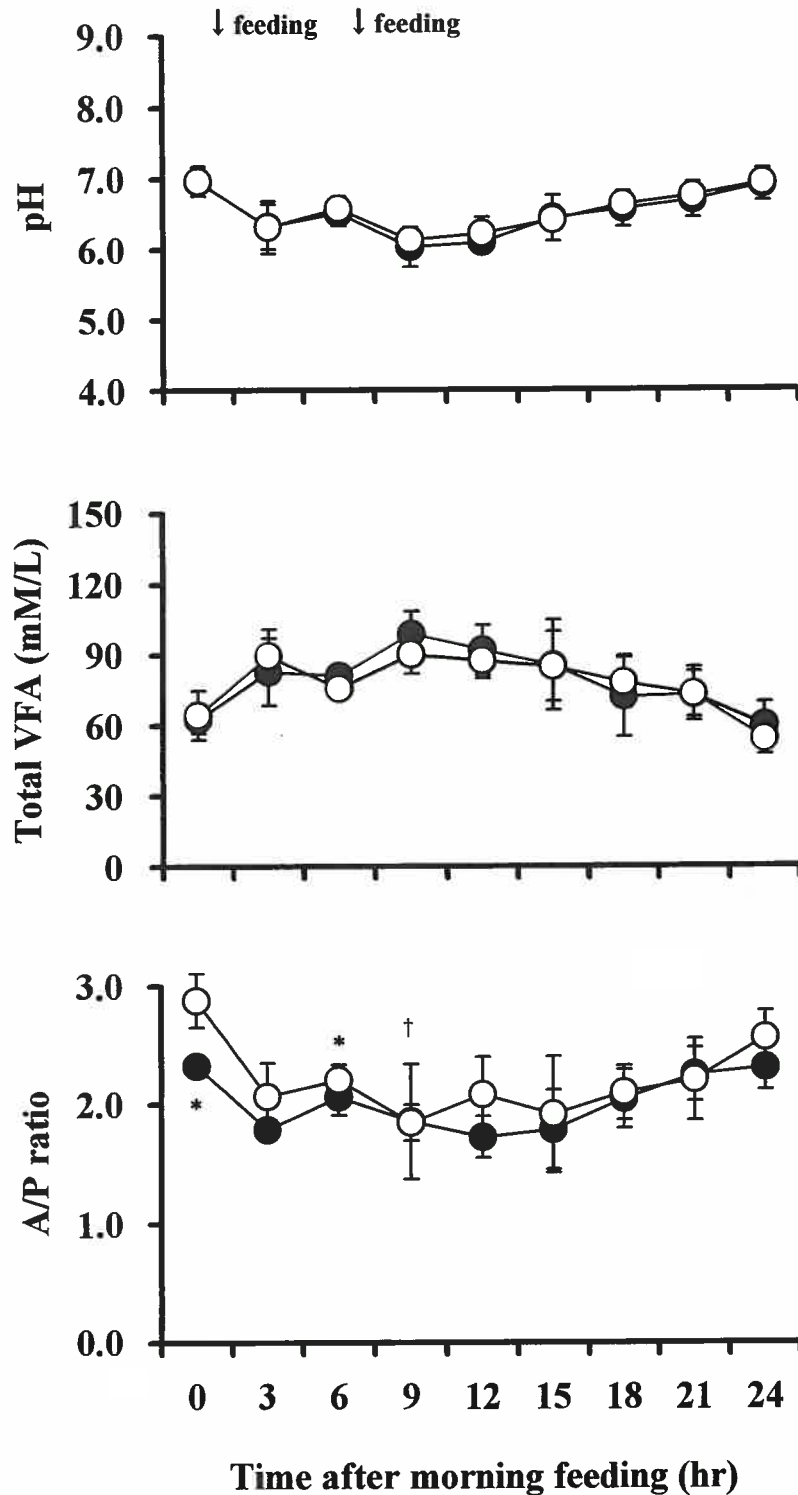
Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

DM: dry matter, OCW: organic cell wall, NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).





**Fig. 3-2-1.** Changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid in steers fed with only concentrate diet (under 11% organic cell wall as fed basis).

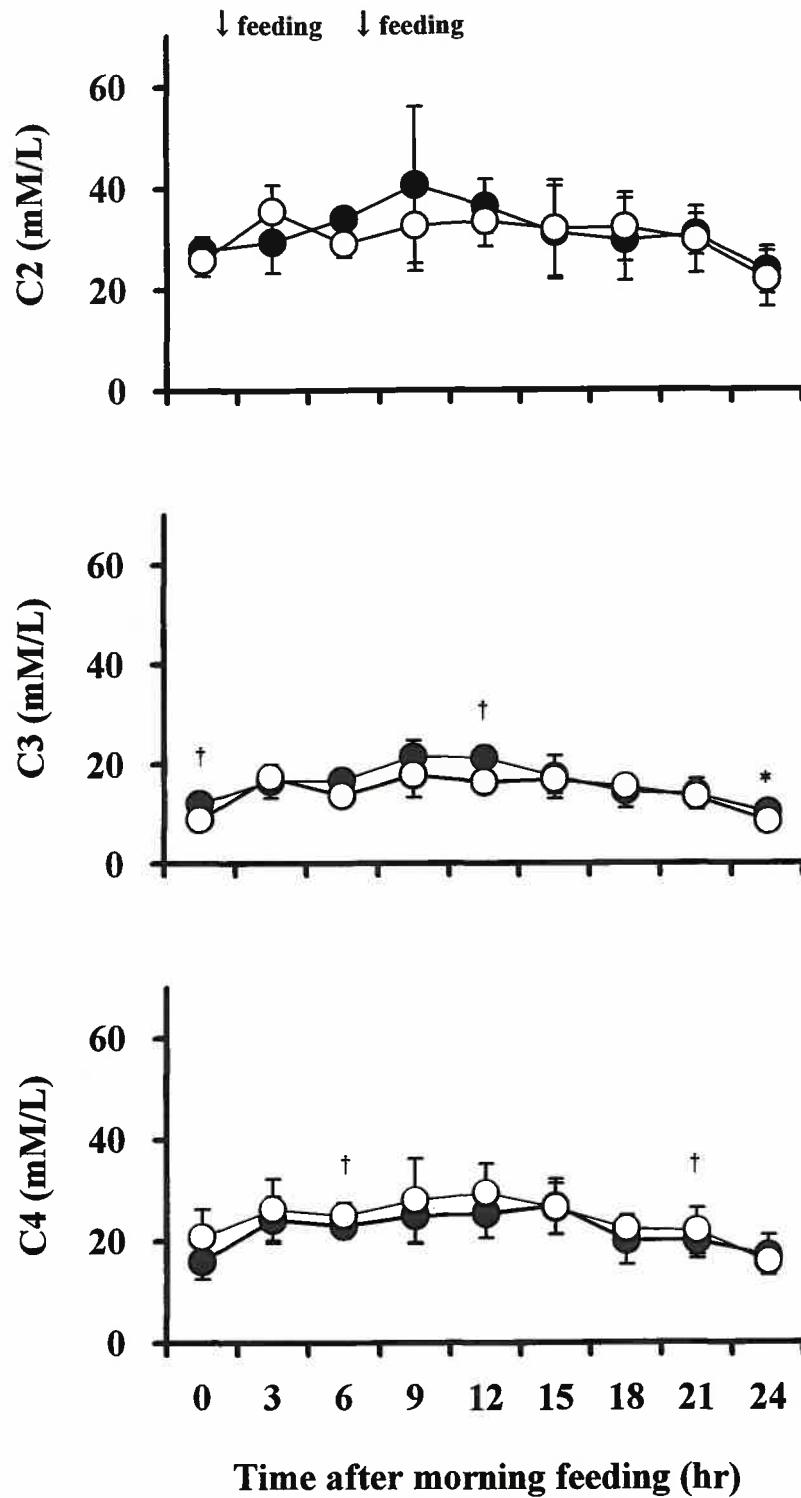
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 3-2-2. Changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid in steers fed with only concentrate diet (under 11% organic cell wall as fed basis).**

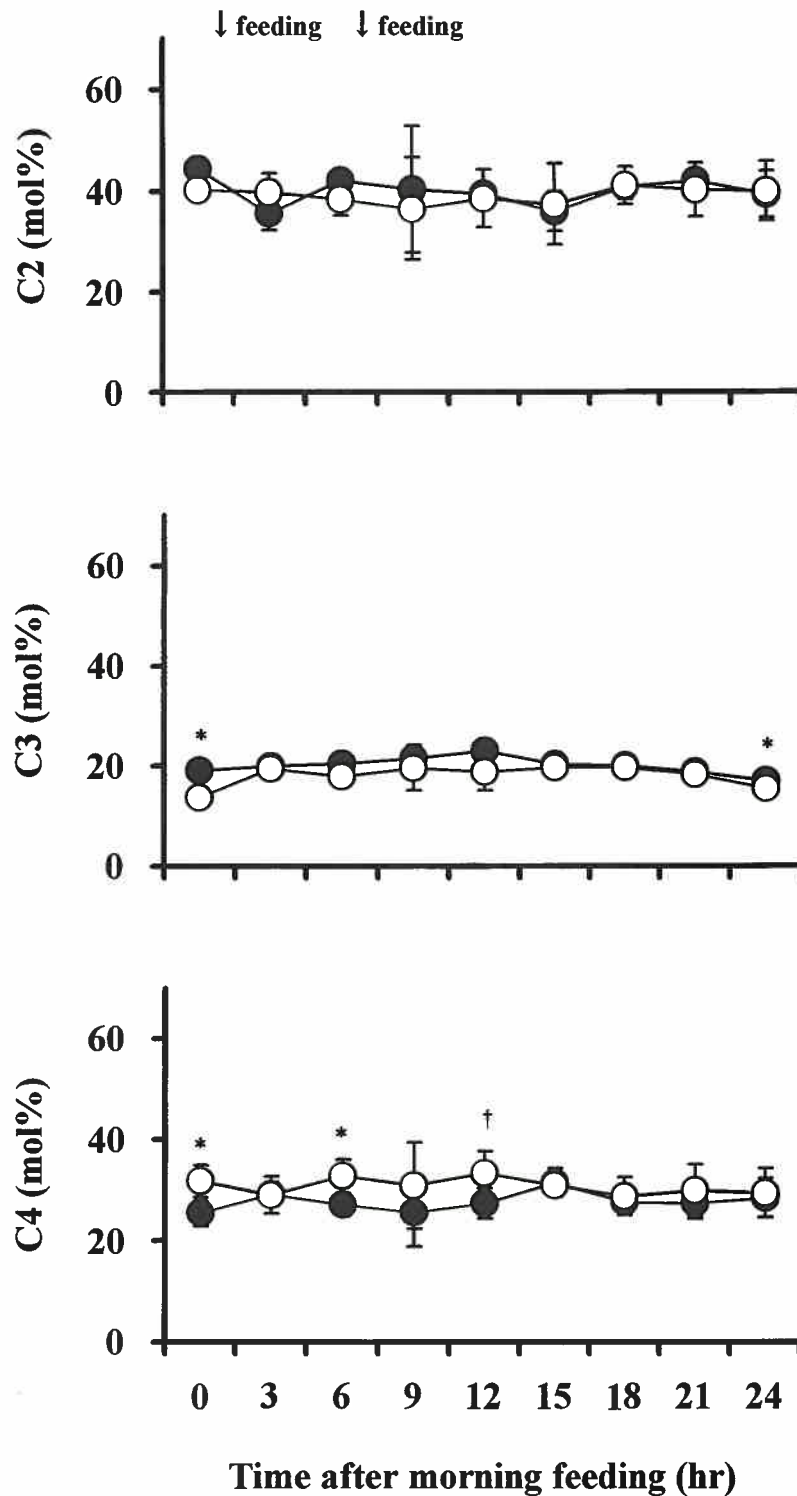
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

O: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 3-2-3.** Changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid in steers fed with only concentrate diet (under 11% organic cell wall as fed basis).

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ , \*:  $P < 0.05$ .

*Table 3-2-3.* Effects of RF dosing on turnover rate and turnover time in steers fed only concentrate diet (under 11% organic cell wall as fed basis)

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Turnover rate (%/hr)	2.5 ± 0.6	4.6 ± 0.3	P<0.05
Turnover time (hr)	42.3 ± 9.8	22.0 ± 1.6	P<0.05

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

## 要 約

第一胃フISTEL装着ホルスタイン種去勢雄牛4頭(平均体重638kg)を用い、繊維性成分が少ない濃厚飼料(OCW含量:乾物中12.7%)を単独制限給与した飼料条件下において、反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼすRFの投与の影響について検討した。飼育試験はRF無投与(対照)とRF投与を設定し、各処理に供試牛2頭をそれぞれ割り当て、クロスオーバー法により実施した。RFは1頭当たり3個を第一胃フISTELから投与した。飼料の給与量は維持に必要なTDN要求量の105%相当量とした。1日当たりの反芻時間は、RF無投与15分、RF投与24分と非常に短かった。反芻が観察されなかった個体は、RF無投与で2頭、RF投与で1頭であった。第一胃内pHおよび総VFA濃度は、各調査時とも処理間に有意差がなく、各処理ともほぼ同様な経時的変化を示した。酢酸および酪酸濃度は、処理間に大きな違いがなかった。プロピオン酸濃度は、RFの投与により高くなる傾向を示した。A/P比は、RF無投与1.8~2.9、RF投与1.7~2.3の範囲であり、RFの投与により低くなった。第一胃内液相の回転率は、RF無投与よりRF投与が高くなり、回転時間はRFの投与により短くなった。これらの結果から、本試験に用いたような繊維性成分が少なく、粗剛性のない濃厚飼料単独制限給与下の肉牛へのRFの投与は、反芻時間に与える影響が少なく、第一胃内液相の通過速度を速め、第一胃内のプロピオン酸発酵割合を高める傾向にあることが確認された。

## 第4章

### 濃厚飼料多給条件下での肥育時における飼料の利用性, 反芻時間, 成分消化率, 第一胃内発酵性状, 枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響

#### 緒 言

反芻家畜にとって繊維質飼料である粗飼料は, 第一胃において微生物の働きにより分解される栄養素として, また第一胃粘膜を刺激する物理的な役割としても重要である。肉牛の肥育では低質乾草や稲ワラといった粗剛な繊維の高い粗飼料を給与することが一般に行われている。今後, 飼養技術の進歩や畜産経営の集約化により, 肉牛の肥育形態が多頭化へと更に進行する可能性がある現状を考えると, 粗剛性が強く均質な粗飼料を充分量確保することは難しく, 畜産経営の拡大に伴う飼料費に占める粗飼料費の割合の上昇による経済的な負担も増加することが予想される。また, 多頭化による粗飼料の調製から給与までの作業に要する労力の増加も考えられ, これらは畜産経営を圧迫する要因となりかねない。他方, 肉牛の肥育では濃厚飼料を多給する傾向が強くなり, 増体や肉質の改善効果が上昇する反面, 様々な疾病の危険性を伴っていると思われる。鼓脹症や乳酸アシドーシスなどの濃厚飼料多給による障害を抑制することは, 畜産経営上重要であると考えられる。

反芻家畜の第一胃粘膜に対する物理的作用を補うための人工的な刺激用具である第一胃刺激用具 (RF) の開発により, 肉牛の肥育期において, 低質乾草や稲ワラなどの粗剛な繊維の高い粗飼料を給与せず, 第一胃粘膜への物理的な刺激作用を主に RF で補うことが可能であると考えられる。しかしながら, RF を投与して肥育した肉牛に関する研究報告は, 立山ら[1998]や大木場ら[1998]の報告があるに過ぎず, RF を実際の生産現場において有効に活用していくためには, 肥育肉牛での様々な側面からの検討により, RF がもつ機能を明らかにすることが重要であると思われる。特に, 肉牛の生産現場における最終的な評価となる肉質についての知見を得ることは今後の肉牛生産にとって重要である。一方, 濃厚飼料多給条件下での長期肥育時において, RF を投与した肉牛の第一胃の形態, 特に第一胃半絨毛の発達について詳細に検討した報告はない。肉牛の肥育期において, RF を有効に活用するためには多くの知見を得ることが重要であり, これらの側面からの検討も必要であると思われる。

枝肉格付けや食味性において牛肉中の不飽和脂肪酸との関連が報告されている[Waldman ら 1968; 伊藤ら 1994]。肉牛を肥育したときに飼料中の不飽和脂肪酸は第一胃内で水素添加されるため, 体脂肪の脂肪酸は飽和脂肪酸に富む[板橋 1994]が, 第一胃内のプロピオン酸の増加[田中と板橋 1986]や不飽和脂肪酸に対する水素添加を防止した[Huerta-Leidenz ら 1991]とき, 体脂肪の不飽和度は高まることが知られている。一方, 第一胃内発酵の形態学的指標となる第一胃半絨毛の発達[Brownlee 1956]は, 飼料の物理的な刺激に加え, 揮発性脂肪酸 (VFA: 酢酸, プロピオン酸, 酪酸など) の第一胃粘膜からの供給に依存している[玉手 1986]ことが明らかにされている。特に, プロピオン酸と酪酸は半絨毛の発達を促す作用が大きいことが報告されている[Sander ら 1959; Tamate ら 1962]。第3章の試験結果において, 繊維性成分が異なる濃厚飼料単独給与条件下の肉牛に RF を投与すると,

第一胃内のプロピオン酸濃度が上昇することや第一胃内液相の通過速度が速くなることが確認された。これらの結果から、飼料中の不飽和脂肪酸が第一胃内での水素添加を免れ、体脂肪の不飽和脂肪酸の割合を高めることが考えられる。また、第一胃の発達、特に半絨毛の発達に影響を及ぼすことが推察される。

そこで本章では、濃厚飼料多給の肥育条件下における肉牛への RF の投与が飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪性状および第一胃の形態に及ぼす影響について主に調査するため、第 1 節として、繊維性成分を調製した濃厚飼料多給条件下で肥育した肉牛において、第 2 節として、濃厚飼料および易発酵性粗飼料を給与した肥育条件下の肉牛において、飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃半絨毛の発達に及ぼす影響について、反芻時間、成分消化率および第一胃内の発酵性状の調査と併せてそれぞれ検討した。

#### 第4章第1節

繊維性成分が調製された濃厚飼料多給下の肥育時における飼料の利用性、反芻時間、成分消化率、  
第一胃内発酵性状、枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響

反芻家畜において、飼料中の不飽和脂肪酸は第一胃内で微生物の作用により水素添加され飽和化される[Reiser 1951; Jenkins 1993]ため、体脂肪の脂肪酸はC18:0脂肪酸やC18:1脂肪酸が多く含まれる[Kempら 1981]、給与飼料中の脂質の影響を比較的受けにくいことが一般に知られている。しかしながら、給与飼料中の不飽和脂肪酸を第一胃内の微生物による水素添加から保護した場合[Huerta-Leidenzら 1991]や第一胃内の酢酸とプロピオン酸の比率を人為的に変化させた場合[高橋と太田 1985; 田中と板橋 1986; TakahashiとKayaba 1993]は、体脂肪の脂肪酸組成に影響を及ぼすことが明らかにされている。すなわち、Huerta-Leidenzら[1991]は、去勢牛に綿実を給与して飼育すると、腎臓周囲脂肪のC18:2脂肪酸の割合が高まったと報告している。また、ヒツジ[高橋と太田 1985; TakahashiとKayaba 1993]または去勢牛[田中と板橋 1986]を供試してプロピオン酸塩を添加給与した肥育試験の結果によれば、皮下脂肪、内蔵脂肪および筋肉内脂肪ともにC18:1脂肪酸および不飽和脂肪酸の割合が増加したことが報告されている。さらに、高橋と太田[1985]は、濃厚飼料および粗飼料の給与割合と体脂肪の脂肪酸組成との関係についても検討し、濃厚飼料に含まれている不飽和脂肪酸が粗飼料よりも多いことと、濃厚飼料の第一胃内の通過速度が粗飼料よりも速いことから、濃厚飼料多給条件下では第一胃内における不飽和脂肪酸への水素添加が不十分となり、体脂肪の不飽和脂肪酸の割合が高まったと考察している。

一方、第一胃粘膜に密生する半絨毛は、第一胃の表面積を増大して吸収代謝能力を高める機能を有する[玉手 1986]と考えられている。子牛の第一胃内に酢酸、プロピオン酸および酪酸の中性水溶液を直接投与して第一胃の発達を調査した報告[Sanderら 1959]によると、酢酸に比べ、プロピオン酸と酪酸の投与で半絨毛の成長が促進された。Tamateら[1962]も同様な試験を子牛を供試して試み、第一胃半絨毛の発達はプロピオン酸、酪酸といった揮発性脂肪酸(VFA)の第一胃粘膜からの供給に依存していることを明らかにした。また、飼料の物理的性質も二次的に関与していることも報告された[Tamateら 1962]。

繊維性成分を調製した濃厚飼料を単独で給与した飼料条件下で実施した第3章第1節の試験結果から、第一胃刺激用具(RF)の投与により第一胃内のプロピオン酸に対する酢酸の比率は1日を通じて低く推移し、プロピオン酸型の発酵が強まり、第一胃内液相の回転率が高まる傾向であったことが確認された。

これらの結果から、繊維性成分を調製した濃厚飼料を多給した飼料条件下の肉牛へRFを投与すると、第一胃内における摂取飼料の発酵性状や通過速度に違いが生じ、長期間肥育した場合、飼料の利用性、屠体の枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に影響を及ぼすことが考えられる。しかしながら、粗剛性の強い粗飼料をほとんど給与せず、繊維性成分を調製した濃厚飼料を多給した飼料条件



下の肉牛にRFを投与して肥育したときの飼料の利用性、枝肉性状や枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃半絨毛の発達に及ぼす影響について詳細に検討した報告はない。肉牛の肥育期においてRFを有効に利活用していくためには、RFの機能を通じて生じる現象を明らかにすることが必要であり、特に肉牛の肥育における評価の一つとなる肉質についての知見を得ること、ならびに第一胃発酵の形態学的指標となる第一胃半絨毛の発達度に関する基礎的データを収集しておくことは重要であると思われる。

そこで本試験では、ホルスタイン種去勢雄牛にRFを投与し、繊維性成分を調製した濃厚飼料多給条件下で肥育したときの飼料の利用性、枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響について詳細に検討し、また、各肥育段階での反芻時間、成分消化率および第一胃内の発酵性状についても併せて調査した。

## 材料および方法

### 供試動物

本試験ではホルスタイン種去勢雄牛8頭を供試した。供試牛は平均体重が同等となるように4頭ずつの2群にそれぞれ振り分け、処理としてRFを投与しない対照群（RF無投与）とRFを投与する群（RF投与）を設定した。本試験では供試牛をRF無投与とRF投与に振り分けた時点を試験開始時とした。試験開始時の各処理の体重（平均値±標準偏差）は、RF無投与401±26kg、RF投与399±29kgであった。RFは1頭当たり3個を経口投与した。RFの投与は試験開始12日後に実施した。RF投与時の供試牛の月齢は12ヶ月齢であった。本試験では、試験終了時の目標仕上げ体重を各処理の平均体重で750kgとして肥育した。各処理における肥育の試験期間は、RF無投与340日、RF投与350日であった。なお、本試験に用いた供試牛は導入後3ヶ月間の馴致期を設け、馴致期中に除角と鼻環の装着を実施した。また、濃厚飼料多給の飼養条件下に慣らすため、飼料の切り替えは馴致期を通じて徐々に行った。

### 供試飼料と飼養方法

給与飼料は、濃厚飼料として第3章第1節の供試飼料と同様の市販配合飼料（商品名：雪印配合飼料RF後期、雪印種苗株式会社）を用いた。また、粗飼料としてオーチャードグラス主体の混播乾草を試験途中まで給与した。すなわち、用いた乾草は10cmに切断し、1日1頭当たり0.2kgを濃厚飼料と混合して両処理とも19ヶ月齢時まで給与した。その後、乾草は給与量を徐々に減らして1週間で無給与とした。給与した飼料の化学成分組成は表4-1-1に示した。濃厚飼料の給与量は、翌日の残量が給与量の1割程度になるように調整した。飼料摂取量は、各処理全頭の摂取量を毎日調査し、総摂取量は累積して求め、各処理の総摂取量から1頭当たりの飼料摂取量を算出した。また、各飼料の摂取量は各飼料の給与割合から求めた。

飼養方法は、籾殻を敷料として用い、1群4頭の群飼として舎内で管理した。飼料の給与は1日1

回午前9時30分に行った。水と固形塩は肥育試験期間中を通じて自由に摂取できるようにした。

### 行動調査

行動の観察は、肥育の試験期間中に3回実施した。各調査時の供試牛の月齢（平均体重±標準偏差）は、14ヶ月齢（513±30kg）、17ヶ月齢（616±37kg）および20ヶ月齢（696±46kg）であった。行動の撮影は、第1章第2節と同様に、広角レンズ付き監視用カメラとタイムラプスビデオカセットレコーダーを用いて行った。同監視用カメラの設置は、各調査時とも行動調査開始日の前日に行い、各処理とも同監視用カメラを2機配置して撮影するようにそれぞれ配置した。撮影の録画間隔は、各調査時とも0.12秒として録画テープを連続走行させ、各処理とも72時間の行動をそれぞれ連続撮影した。

行動の解析は、各調査時とも飼料給与時を起点とし、録画テープを再生しながら5分間隔でその瞬時の行動頭数を記録して行った。すなわち、24時間（1,440分）の観察時間を5分のサンプル間隔に分け、288のサンプル点（各サンプル間隔の終わる瞬間）の行動を記録し、それを3回反復した。なお、行動時間は、各サンプル点における各行動の頭数を合計してサンプル間隔の5分を乗じ、各処理の頭数で除して1頭当たりの平均時間として算出した。

### 消化試験と飼料および糞の分析

消化試験は、肥育期間中3回実施した。各消化試験実施時の供試牛の月齢（平均体重±標準偏差）は、16ヶ月齢（583±36kg）、19ヶ月齢（675±44kg）および21ヶ月齢（715±48kg）であった。糞の採取は、各消化試験とも5日間とし、1日2回（午前10時と午後6時）行った。採取した糞は、第1章第2節と同様に、通風乾燥機内で乾燥させて粉碎し、分析まで常温で保存した。

消化率の算出は、酸不溶性灰分を標識物とするindex法を用いて行った。飼料および糞中の一般成分の分析ならびに細胞内容物質（OCC）および細胞壁構成物質（OCW）の分画は、第1章第2節と同様に実施した。

### 第一胃内の発酵性状調査

第一胃内の発酵性状の調査用試料（第一胃内容液、500ml）の採取は、肥育の試験期間中3回行い、各消化試験終了後1週間以内に実施した。採取時間は、各調査時とも午前の飼料給与前および飼料給与後4、8および12時間目（計4回）とし、経ロカテーテル（胃汁採取器）を用いてそれぞれ採取した。採取した第一胃内容液は二重ガーゼでろ過し、第1章第2節と同様に、pH計を用いて第一胃内pHを測定した。その後、ろ過した第一胃内容液は、分析に供するまで-30°Cで凍結保存した。各種VFAの分離定量およびアンモニア態窒素濃度の測定については、第1章第2節と同様に行った。

### 枝肉性状検査と枝肉脂肪の脂肪酸分析

枝肉性状の測定と格付は、牛枝肉格付基準[日本食肉格付協会 1988]に基づき、日本食肉格付協会の

格付員により実施された。格付後、ロース芯とばらの部位を採取した。採取部分の厚さは左半丸の第6～7肋骨間切開部（頭部側）の側面から1cmとした。また、皮下脂肪は左半丸の第6～7肋骨間切開部（頭部側）の広背筋外側の部位から約10g採取した。同時に、左半丸の腎臓周囲脂肪を約10g採取した。各試料は分析に供するまで-30℃で保存した。

総脂質の抽出のうち、ロース芯とばらの脂肪はソックスレー抽出法[堀井ら 1971]、皮下脂肪と腎臓周囲脂肪はFolchら[1957]の方法を用いて行った。ロース芯とばらの筋肉内脂肪については、中性脂質をケイ酸カラムクロマトグラフィーにより分画した。それぞれの脂質での各脂肪酸の分離定量は、5% (V/V) 無水硫酸メタノール溶液を用いて脂肪酸のメチルエステル化を95℃下で3時間行い、ガスクロマトグラフィー (3300GC, Varian社) により実施した。ガスクロマトグラフィーの運転条件は以下の通りとした。カラムとしてキャピラリーカラム (DB-225, J&W Scientific社, カラムサイズ: 0.53mm×30m, コーティング剤: 25% Cyanopropyl, 25% Phenyl, 50% Methyl polysiloxane) を使用した。キャリアガスは窒素を用い、その流速は10ml/minとし、分配比は1:50とした。燃焼ガスは水素を用い、その流速は15ml/minとした。気化室温度は220℃, カラム温度は210℃, ディテクター温度は300℃とした。

脂肪の融点は内径1mmの毛細管を用いて上昇融点を測定した。

#### 第一胃の形態調査

第一胃は肥育試験終了後、屠場にて採取した。第一胃は付着脂肪を丁寧に取り、重量を計量した。その後、第一胃の形態調査のために第一胃の4部位を採取した。すなわち、背前盲嚢 (Cranial sac), 背嚢体 (Dorsal sac), 腹嚢体 (Ventral sac) および腹後盲嚢 (Caudovertral blind sac) の各部位の一定面積 (10cm×10cm) を切り取り、10%のホルマリンで固定して保存した。第一胃の形態調査としては半絨毛の密度と長さについて実施した。その際、第一胃の4部位から採取した試料の粘膜面と筋層を丁寧に切り離し、1cm<sup>2</sup>の方眼紙を切離面に置き、メスで正確に切れ目を入れ、1cm<sup>2</sup> (1cm×1cm) 面の調査試料を3個採取した。この1cm<sup>2</sup>面中の半絨毛を計数し、半絨毛の密度を求めた。同時に、5mm以上の半絨毛の長さを計測し、長さ別に分類した。

#### 統計処理

得られた行動データは、Mann-WhitneyのU-検定[石居 1999]を用いて各処理での3回の全個体の調査データから処理間の値を比較した。飼料の利用性、枝肉性状、枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に関する各データは、Studentのt-検定を用いて処理間の平均値を比較した。また、第一胃内の発酵性状の経時的データは、それぞれの調査時間における処理間の平均値の差をt-検定により比較した。なお、5%以下の危険率は統計的有意差があるとし、危険率10%以下の場合には傾向があるとした。

## 結 果

表 4-1-2 には肥育試験の全期間における生体重、増体量、体尺測定値、飼料摂取量および飼料要求率について示した。肥育試験終了時の平均生体重は、各処理ともほぼ同じであった。平均増体日量は、処理間に有意差がなく、RF 無投与 1.08kg、RF 投与 1.02kg であった。肥育試験終了時の体高、胸囲および腹囲についても処理間に有意差がなかった。試験開始時から終了時までの肥育期間中の 1 頭当たり飼料摂取量（現物量）は、RF 無投与 3,630kg、RF 投与 3,640kg であった。飼料要求率については、RF 無投与 9.9、RF 投与 10.2 であり、処理間に大きな違いがなかった。

試験開始後の各調査（月齢）時における飼料摂取量および反芻時間を表 4-1-3 に示した。1 日 1 群当たりの乾物および OCW 摂取量は、14 および 20 ヶ月齢時において各処理ともほぼ同様であった。1 日当たりの飼料摂食時間は、各調査時とも RF 投与が RF 無投与を下回り、処理間に有意差が認められた ( $P<0.05$ )。1 日当たりの反芻時間は、各調査時とも RF 投与が RF 無投与を上回り、RF 無投与と RF 投与の間に有意差があった ( $P<0.05$ )。また、1 日当たりの総咀嚼時間についても RF 投与が上回り、処理間に有意差が認められた ( $P<0.05$ )。1 日当たりの飲水時間は、処理間に違いがなかった。

各月齢時（16、19 および 21 ヶ月齢時）における成分消化率および栄養価を表 4-1-4~4-1-6 にそれぞれ示した。16 ヶ月齢時（表 4-1-4）において、粗繊維の消化率は RF 投与が低く ( $P<0.05$ )、他の成分消化率については、RF 無投与と RF 投与の間に有意差がなかった。可消化養分総量 (TDN) および可消化粗蛋白質 (DCP) についても処理間に有意差がなかった。19 ヶ月齢時（表 4-1-5）では、乾物、有機物、粗蛋白質、粗脂肪および OCW の消化率が RF 投与で低い傾向が認められ ( $P<0.10$ )、TDN および DCP についても RF 投与が低い傾向であった ( $P<0.10$ )。21 ヶ月齢時（表 4-1-6）においては、粗蛋白質および可溶無窒素物の消化率が RF 無投与に比較して RF 投与で低い傾向があり ( $P<0.10$ )、DCP についても RF 投与が低い傾向であった ( $P<0.10$ )。

各月齢時（16、19 および 21 ヶ月齢時）における第一胃内 pH、総 VFA 濃度および各 VFA 濃度と組成の経時的変化を図 4-1-1~4-1-9 にそれぞれ示した。16 ヶ月齢時の調査（図 4-1-1~4-1-3）において、第一胃内 pH は、各処理とも 6.1~6.6 の範囲で推移し、各調査時とも処理間に有意差がなかった。総 VFA 濃度は、各処理とも 70~100mM/L の範囲で同様な変動を示し、飼料給与後 8 時間の調査時で RF 投与が RF 無投与よりも低い傾向であった ( $P<0.10$ )。酢酸濃度については、総 VFA 濃度と同様に飼料給与後 8 時間の調査時で RF 投与が低くなった ( $P<0.05$ )。プロピオン酸濃度と酪酸濃度は、各調査時とも処理間に有意差がなかった。酢酸およびプロピオン酸の割合は、各調査時とも処理間に有意差がなく、酢酸/プロピオン酸 (A/P) 比についても処理間に有意差がなかった。酪酸の割合は、各調査時とも RF 投与が上回り、飼料給与後 4 および 8 時間の調査時で RF 無投与より RF 投与が高い傾向が認められた ( $P<0.10$ )。19 ヶ月齢時の調査（図 4-1-4~4-1-6）において、第一胃内 pH は、各調査時とも処理間に有意差がなく、6.3~6.6 の範囲で変動した。総 VFA 濃度は、各処理とも 60~90mM/L の範囲であり、飼料給与後 4 時間の調査時で RF 投与が低かった ( $P<0.05$ )。酢酸濃度は、各調査時とも RF 投与が RF 無投与を下回り、飼料給与後 8 時間の調査時で RF 投与が低い傾

向であった ( $P<0.10$ )。プロピオン酸濃度は、各調査時とも処理間に有意差がなかった。酪酸濃度は、飼料給与後 4 時間の調査時で RF 投与が低い傾向であった ( $P<0.10$ )。酢酸の割合は、飼料給与後 8 時間目において RF 投与が低い傾向であり ( $P<0.10$ )、プロピオン酸の割合は、飼料給与後 4 および 8 時間の調査時で RF 投与が高い傾向にあり ( $P<0.10$ )、A/P 比は、RF 無投与よりも RF 投与が各調査時とも低く、飼料給与後 8 時間の調査時では処理間に有意差が認められた ( $P<0.05$ )。21 ヶ月齢時 (図 4-1-7~4-1-9) の調査において、第一胃内 pH は、各処理とも 6.4~6.8 の範囲で推移し、各調査時とも処理間に有意差がなかった。総 VFA 濃度は、各処理とも 80~100mM/L の範囲で変動し、各調査時とも処理間に有意差がなかった。酢酸濃度と酪酸濃度は、各調査時とも RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなかった。プロピオン酸濃度は、飼料給与前の RF 投与が低い傾向であった ( $P<0.10$ )。それぞれの VFA 割合は、各調査時とも処理間に有意差がなく、A/P 比についても RF 無投与と RF 投与の間に有意差がなかった。

各月齢時 (16, 19 および 21 ヶ月齢時) におけるアンモニア態窒素濃度の経時的変化を図 4-1-10 に示した。アンモニア態窒素濃度は、16 および 19 ヶ月齢時では各処理とも 7~11mg/dl の範囲で変動し、各調査時とも処理間に有意差がなかった。21 ヶ月齢時には有意差がないものの、RF 無投与よりも RF 投与が各調査時とも高く、RF 無投与 8~13mg/dl、RF 投与 11~15mg/dl の範囲で変動した。

枝肉歩留、枝肉の歩留基準値および枝肉格付の結果を表 4-1-7 に示した。枝肉重量は、処理間に有意差がなかった。枝肉歩留は、両処理ともほぼ同等であった。ロース芯面積とばらの厚さは、処理間に有意差がなかった。皮下脂肪の厚さについては、RF 投与が RF 無投与を上回ったが、処理間に有意差は認められなかった。歩留基準値は、両処理とも 69 であり、処理間に有意差がなかった。牛肉色基準 (BCS) については、RF 投与が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。牛脂肪交雑基準 (BMS)、肉の締まりときめの等級値および牛脂肪色基準 (BFS) は、各項目ともに処理間に有意差がなかった。その結果、枝肉の肉質を総合的に評価した肉質等級値は、RF 無投与 2.3、RF 投与 2.0 となり、両処理ともほぼ同様な値であった。

表 4-1-8 にはロース芯およびばらの筋肉内の粗脂肪含量ならびに皮下脂肪および腎臓周囲脂肪の融点を示した。ロース芯、ばらともに筋肉内の粗脂肪含量は、両処理とも同じであった。脂肪の融点については、皮下脂肪、腎臓周囲脂肪ともに処理間に有意差が認められず、両処理ともほぼ同等な数値を示した。

表 4-1-9 には皮下脂肪および腎臓周囲脂肪の総脂質中脂肪酸組成ならびにロース芯およびばらの筋肉内脂肪の中性脂質中脂肪酸組成を示した。皮下脂肪では、RF 無投与よりも RF 投与の C18:2 (炭素数 : 不飽和結合の数) 脂肪酸が高かった ( $P<0.05$ )。腎臓周囲脂肪については、RF 無投与と比較して、RF 投与の C16:0 脂肪酸が低く ( $P<0.05$ )、RF 投与の C18:2 脂肪酸と炭素数 18 の総不飽和脂肪酸が高かった ( $P<0.05$ )。ロース芯の筋肉内脂肪では、RF 投与の C18:2 脂肪酸が高い値を示し ( $P<0.05$ )、C18:1 脂肪酸と炭素数 18 の総不飽和脂肪酸についても RF 投与が RF 無投与を上回った。ばらの筋肉内脂肪については、C18:1 脂肪酸、C18:2 脂肪酸および炭素数 18 の総不飽和脂肪酸とも RF 投与が

RF 無投与よりも高かった ( $P < 0.05$ ).

第一胃部位別の半絨毛の密度と長さおよび第一胃の重量を表 4-1-10 に、半絨毛の長さ別の数を表 4-1-11 にそれぞれ示した。半絨毛の密度については、それぞれの部位とも RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなかった。5mm 以上の平均長で示した半絨毛の長さは、背嚢体 (Dorsal sac) において RF 投与が短く ( $P < 0.05$ )、他の 3 部位では処理間に有意差がなかった。第一胃の重量は、処理間に大きな違いがなかった。長さ別の半絨毛の数については、背前盲嚢 (Cranial sac)、背嚢体、腹嚢体 (Ventral sac) および腹後盲嚢 (Caudovertral blind sac) の各部位とも 4.9mm 以下の半絨毛の割合が多かった。4.9mm 以下の半絨毛では処理間に有意差がなかった。5.0mm 以上の半絨毛では、背嚢体の 5.0~9.9mm で RF 投与が少なく ( $P < 0.05$ )、他の背前盲嚢、腹嚢体および腹後盲嚢では処理間に有意差が認められなかった。

## 考 察

本試験において、飼料要求率は有意差がないものの RF 無投与に比べ RF 投与が若干高かった。肥育開始後 4、7 および 9 ヶ月 (16、19 および 21 ヶ月齢) 時に実施した消化試験の結果では、各成分消化率とも無投与に比較して RF 投与が低い傾向が認められた。また、本試験での各消化試験終了後に実施した 3 回の第一胃内の発酵性状調査では、総 VFA 濃度は各調査時とも無投与に比較して RF を投与した処理がやや低い傾向にあった。したがって、これらの要因が影響し、RF 投与の飼料要求率が RF 無投与に比べて多少悪かったのかもしれない。

高橋と太田[1985]および Takahashi と Kayaba[1993]は、ヒツジを用いた肥育試験において、プロピオン酸塩の添加給与により屠殺時での皮下脂肪の C18:1 脂肪酸ならびに皮下脂肪および筋肉内脂肪の総不飽和脂肪酸が高くなったことを報告し、プロピオン酸が体脂肪の不飽和化を促進することを示唆した。また、田中と板橋[1986]は、去勢肥育牛における VFA 塩添加給与が蓄積脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響について調査し、第一胃内へのプロピオン酸塩の添加給与により枝肉脂肪、内臓脂肪ともに C18:1 脂肪酸および総不飽和脂肪酸の割合が増加したと報告している。本試験において、肥育開始 9 ヶ月後 (21 ヶ月齢) の A/P 比は、RF 投与により高く推移したが、各調査時とも処理間に有意差がなかった。一方、肥育開始 7 ヶ月後 (19 ヶ月齢) の調査では、RF 投与のプロピオン酸の割合が RF 無投与を有意に上回り、A/P 比は、RF 無投与 1.6~2.1、RF 投与 1.4~1.8 の範囲となり、RF を投与した処理が経時的に低く推移した。また、本試験に供試した同一の濃厚飼料を単独給与した第 3 章第 1 節の試験においても、第一胃内における総 VFA 中のプロピオン酸の発酵割合は、RF の投与により高くなる傾向を示し、A/P 比についても RF 投与が無投与よりも低く推移した。これらのことから、本試験での RF 投与において、C18:1 脂肪酸や C18:2 脂肪酸といった不飽和脂肪酸の割合が増加した要因の 1 つとして、各処理における第一胃内で発酵する VFA の発酵割合の違い、すなわちプロピオン酸型の発酵促進が影響を及ぼしたのではないかと推察される。

一方、本試験期間中に実施した行動観察の結果によれば、1 日当たりの反芻時間および総咀嚼時間

は、RF 投与が RF 無投与よりも有意に長かった。第一胃の収縮運動は、反芻行動の発現に先立って起こる生理的反応であり、反芻行動と同調している[星野 1994]。一般に、第一胃・二胃収縮運動の頻度の増加（第一胃運動の増加）により、摂取飼料の通過速度が速まることが知られている。Sissonら[1984]は、第二胃収縮運動の頻度と第一胃内液相の回転率との間の明確な関係を明らかにした。また、Loerch[1991]は、濃厚飼料のみ給与下の去勢肉牛にプラスチック製タワシ (plastic pot scrubbers) を投与した試験を実施し、無投与に比較して有意差はないものの、プラスチック製タワシの投与により第一胃内液の回転率が高くなることを示した。第3章で実施した RF 投与試験においても、本試験と同じ濃厚飼料を単独給与した条件下（第1節）、ならびに低繊維性成分の濃厚飼料を単独給与した条件下（第2節）とも、RF の投与により第一胃内液相の回転率が高くなることを確認した。本試験において、RF 投与の C18:2 脂肪酸は、調査した4部位の脂肪組織とも RF 無投与に比較して有意に高かった。必須脂肪酸である C18:2 脂肪酸は、動物体内では合成できないため、飼料から取り込んで利用する以外に方法がない[山本 1982]。これらのことから、本試験のような飼料条件下では、RF の第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用により飼料の第一胃内の通過速度が速くなっていたことが推察され、処理間で不飽和脂肪酸の割合が異なっていた要因として、第一胃内における摂取飼料の通過速度の違いが考えられた。すなわち、RF の投与により、摂取飼料の第一胃内の滞留時間が短くなり、第一胃内での微生物の作用による水素添加を免れた飼料中の不飽和脂肪酸が下部消化管において吸収され、体脂肪内に取り込まれたものと推察される。

小堤ら[1985]は、黒毛和種およびホルスタイン種の去勢肥育牛におけるロース芯の粗脂肪含量および総脂質中脂肪酸組成と枝肉格付との関連性について検討し、粗脂肪含量と脂肪交雑との間には両品種とも高い正の相関が認められたが、脂肪酸組成では両品種とも格付等級間で比較しても顕著な差異が認められず、筋肉内の脂肪酸組成が牛肉の評価に及ぼす影響は少ないと考察している。田中[1985]も同様に、日本短角種、黒毛和種およびホルスタイン種の去勢肥育牛において、ロース芯の中性脂質中脂肪酸組成と脂肪交雑の間に有意な相関は認められないと報告している。本試験においても、枝肉性状とロース芯の筋肉内の粗脂肪含量は処理間に差が認められなかったことから、本試験に供試した繊維性成分を調整した濃厚飼料多給の飼養条件下のホルスタイン種去勢牛では RF の投与による筋肉内に含まれる脂肪量に与える影響はないことが示され、処理間の脂肪交雑に差が生じなかったものと推察される。

本試験では、RF 投与の C18:1 脂肪酸の割合が、RF 無投与に比較して、ロース芯の筋肉内脂肪では3%上回り、ばらの筋肉内脂肪では有意に高かった。牛肉中の脂肪酸と食味性の関係において、脂肪酸の中でも C18:1 脂肪酸は食味との間に正の相関が認められている[Waldmanら 1968]。したがって、RF を投与した処理群の牛肉は食味のうえで RF 無投与より優れていると考えられ、肥育肉牛への RF 利用が食味の優れた良質の牛肉生産を可能にすることが期待される。

第一胃粘膜に密生する半絨毛（第一胃粘膜上皮）の発達は、第一胃内の VFA 生成量[Flattら 1958]や各 VFA の発酵割合[Sanderら 1959; Tamateら 1962]により影響を受けることが明らかにされている。Flattら[1958]は、第一胃フィステルを装着した子牛を用い、牛乳を摂取させて各 VFA 混合物

を第一胃内に直接投与することにより、第一胃半絨毛が発達することを実証した。Tamate ら[1962]は、それぞれの VFA の中でも酪酸が第一胃半絨毛の発達に対する効果が最も強く、続いてプロピオン酸、酢酸の順であることを報告した。Sakata と Tamate[1978a, 1978b]は、反芻家畜の第一胃粘膜の組織構造に及ぼす酪酸の影響を調査するため、絶食下の成ヒツジに n-酪酸ナトリウムを投与する試験を実施した。n-酪酸ナトリウムの投与により、第一胃粘膜における上皮細胞の分裂増加などの変化が生じ、酪酸が成ヒツジの第一胃粘膜の組織を変化させることを確認した。本試験において肥育開始後に実施した 3 回の第一胃内性状調査では、総 VFA 濃度はそれぞれの調査時とも RF 無投与に比べ RF 投与が多少低い傾向が認められた。一方、肥育開始後 4 ヶ月 (16 ヶ月齢) および 9 ヶ月 (21 ヶ月齢) の調査時では、RF 投与により、酪酸濃度が高く推移していた。これらの結果から、総 VFA 濃度の低下と酪酸濃度の上昇が相殺し、第一胃半絨毛の発達に処理間による違いが生じなかったことが推察される。

これらの結果から、本試験に用いたような繊維性成分を調製した濃厚飼料を多給した飼料条件下において、RF を投与してホルスタイン種去勢雄牛を肥育すると、飼料の利用性や枝肉性状に与える影響は少ないが、枝肉脂肪の脂肪酸組成に影響を与え、不飽和脂肪酸の割合を高めることが明らかとなった。また、第一胃半絨毛の発達に及ぼす影響は少ないことが確認された。



Table 4-1-1. Chemical composition of concentrate and grass hay used in this experiment

Composition	Contents (% of dry matter)	
	Concentrate <sup>1)</sup>	Grass hay <sup>2)</sup>
Organic matter	95.8	89.9
Crude protein	12.9	15.4
Ether extract	4.8	1.7
Nitrogen free extract	71.8	30.1
Crude fiber	6.3	42.7
Organic cellular content	68.3	18.7
Organic cell wall	27.5	71.2
Crude ash	4.2	10.1

<sup>1)</sup> RF Koki (flaking and meal, Snow Brand Seed Co., Ltd.).

<sup>2)</sup> Mix-seeding grass hay in which orchardgrass was main.

Table 4-1-2. Effects of RF dosing on live weight, weight gain, body measurement and feed utilization in growing-fattening steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Live weight , kg			
Initial	401.3 ± 25.8	399.4 ± 29.4	NS
Final	769.3 ± 52.0	757.6 ± 50.4	NS
Weight gain , kg			
Total gain	368.0 ± 33.4	358.2 ± 31.2	NS
Daily gain	1.08 ± 0.1	1.02 ± 0.1	NS
Body measurement , cm			
Withers height			
Initial	126.8 ± 3.0	127.4 ± 1.0	NS
Final	148.6 ± 2.6	148.9 ± 0.6	NS
Chest girth			
Initial	172.3 ± 5.9	172.0 ± 3.6	NS
Final	228.5 ± 11.3	230.1 ± 3.4	NS
Abdomen girth			
Initial	205.5 ± 7.1	197.3 ± 7.4	NS
Final	270.4 ± 15.9	258.8 ± 14.2	NS
Feed intake , kg/head			
Concentrate	3590	3600	-
Roughage	40	40	-
Total	3630	3640	-
Feed conversion ratio	9.9 ± 0.6	10.2 ± 1.0	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-1-3. Effects of RF dosing on feed intake and chewing time during eating and rumination at each stage of growing-fattening in steers

Item	1st <sup>1)</sup>		2nd <sup>1)</sup>		3rd <sup>1)</sup>		Difference
	-RF <sup>2)</sup>	+RF <sup>3)</sup>	-RF	+RF	-RF	+RF	
Intake, kg/group/day							
DM	42.9	41.1	38.4	33.2	37.5	38.7	NS
OCW	12.1	11.6	10.9	9.4	10.3	10.6	NS
Time spent, min/head/day							
Eating	90.4	80.4	76.7	70.8	87.9	67.5	P<0.05
Rumination	278.8	324.2	161.3	332.5	164.4	205.4	P<0.05
Total chewing	369.2	404.6	238.0	403.3	252.3	272.9	P<0.05
Drinking	20.0	25.8	55.0	40.4	28.3	30.4	NS

Values are mean for four animals.

<sup>1)</sup> 1st: 14 month age (average body weight 513kg), 2nd: 17 month age (616kg) and 3rd: 20 month age (696kg).

<sup>2)</sup> -RF (Control): a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>3)</sup> +RF (RF treatment): a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

DM: dry matter, OCW: organic cell wall, NS: not statistically significant ( $P \geq 0.05$ ).

Table 4-1-4. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content at 16 month of age (average body weight 583kg) in growing-fattening steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
<b>Digestibility (%)</b>			
Dry matter	83.3 ± 6.6	77.2 ± 2.8	NS
Organic matter	84.7 ± 6.5	78.9 ± 2.8	NS
Crude protein	83.8 ± 7.5	79.7 ± 4.2	NS
Ether extract	89.0 ± 5.1	86.9 ± 3.9	NS
Nitrogen free extract	89.3 ± 5.3	86.3 ± 2.6	NS
Crude fiber	52.9 ± 13.9	24.4 ± 8.9	P<0.05
Organic cellular content	96.2 ± 2.1	94.7 ± 1.7	NS
Organic cell wall	64.7 ± 14.1	51.5 ± 5.4	NS
<b>Nutrient content (%)</b>			
Total digestible nutrient	72.4 ± 5.4	67.7 ± 2.4	NS
Digestible crude protein	10.8 ± 1.0	10.3 ± 0.5	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-1-5. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content at 19 month of age (average body weight 675kg) in growing-fattening steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Digestibility (%)			
Dry matter	86.0 ± 3.9	81.3 ± 2.3	P<0.10
Organic matter	87.4 ± 4.1	82.8 ± 2.0	P<0.10
Crude protein	87.9 ± 4.1	82.9 ± 2.7	P<0.10
Ether extract	92.8 ± 2.4	88.3 ± 3.1	P<0.10
Nitrogen free extract	91.9 ± 3.1	89.1 ± 2.0	NS
Crude fiber	53.8 ± 5.4	38.5 ± 8.0	NS
Organic cellular content	97.0 ± 1.6	95.7 ± 0.9	NS
Organic cell wall	70.9 ± 8.2	60.7 ± 4.6	P<0.10
Nutrient content (%)			
Total digestible nutrient	74.8 ± 3.3	70.9 ± 1.7	P<0.10
Digestible crude protein	11.3 ± 0.5	10.7 ± 0.3	P<0.10

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-1-6. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content at 21 month of age (average body weight 715kg) in growing-fattening steers

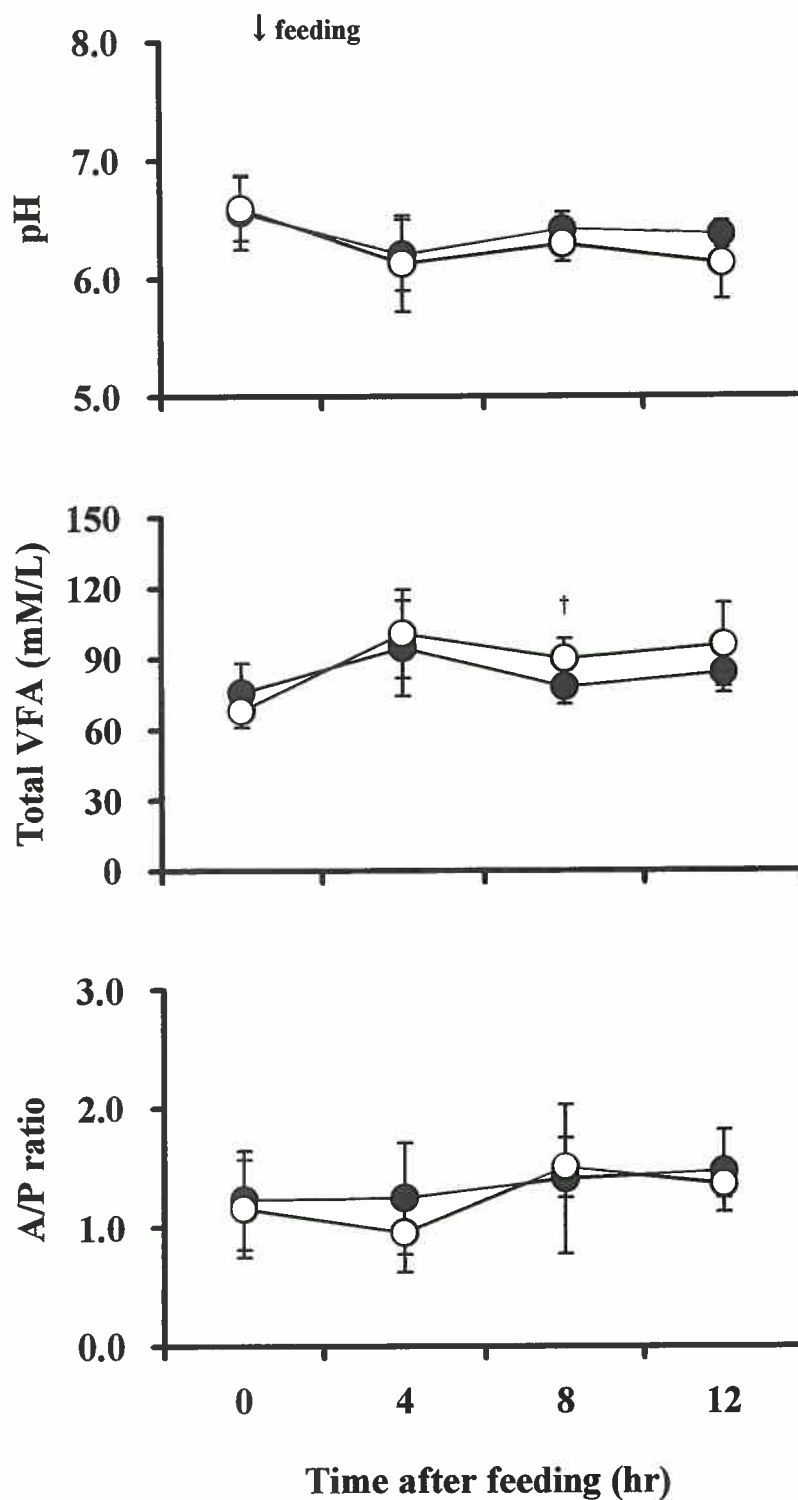
Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Digestibility (%)			
Dry matter	86.8 ± 4.7	82.3 ± 2.3	NS
Organic matter	88.2 ± 4.6	84.0 ± 2.1	NS
Crude protein	89.5 ± 4.0	84.6 ± 2.6	P<0.10
Ether extract	92.9 ± 3.1	89.9 ± 0.9	NS
Nitrogen free extract	92.1 ± 2.9	88.9 ± 1.1	P<0.10
Crude fiber	55.5 ± 19.0	44.6 ± 10.0	NS
Organic cellular content	97.7 ± 1.3	97.0 ± 0.9	NS
Organic cell wall	71.0 ± 10.5	60.5 ± 6.1	NS
Nutrient content (%)			
Total digestible nutrient	75.5 ± 3.8	72.0 ± 1.7	NS
Digestible crude protein	11.5 ± 0.5	10.9 ± 0.3	P<0.10

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).



**Fig. 4-1-1.** Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid at 16 month of age (average body weight 583kg) in growing-fattening steers.

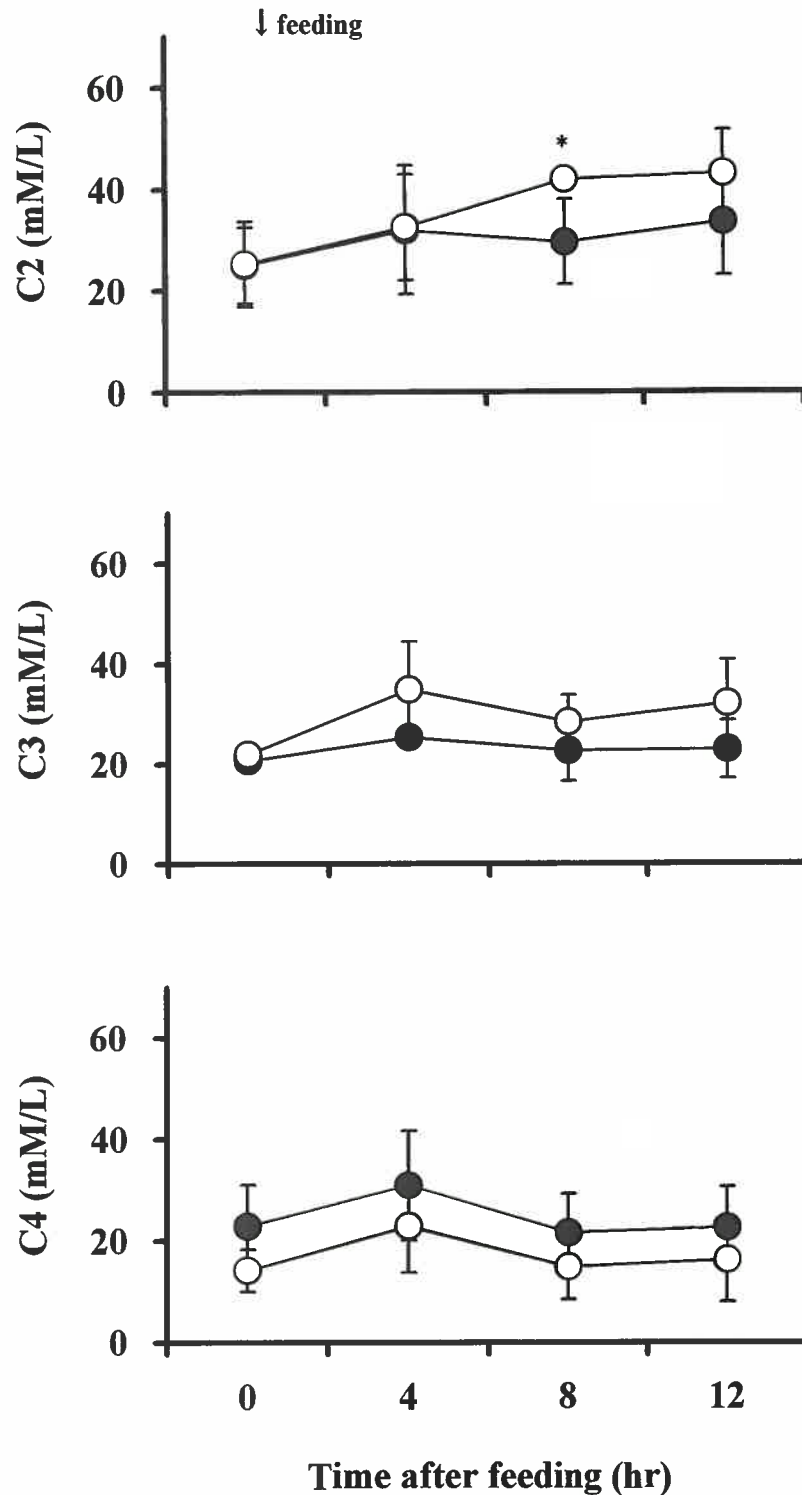
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ .



**Fig. 4-1-2.** Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid at 16 month of age (average body weight 583kg) in growing-fattening steers.

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

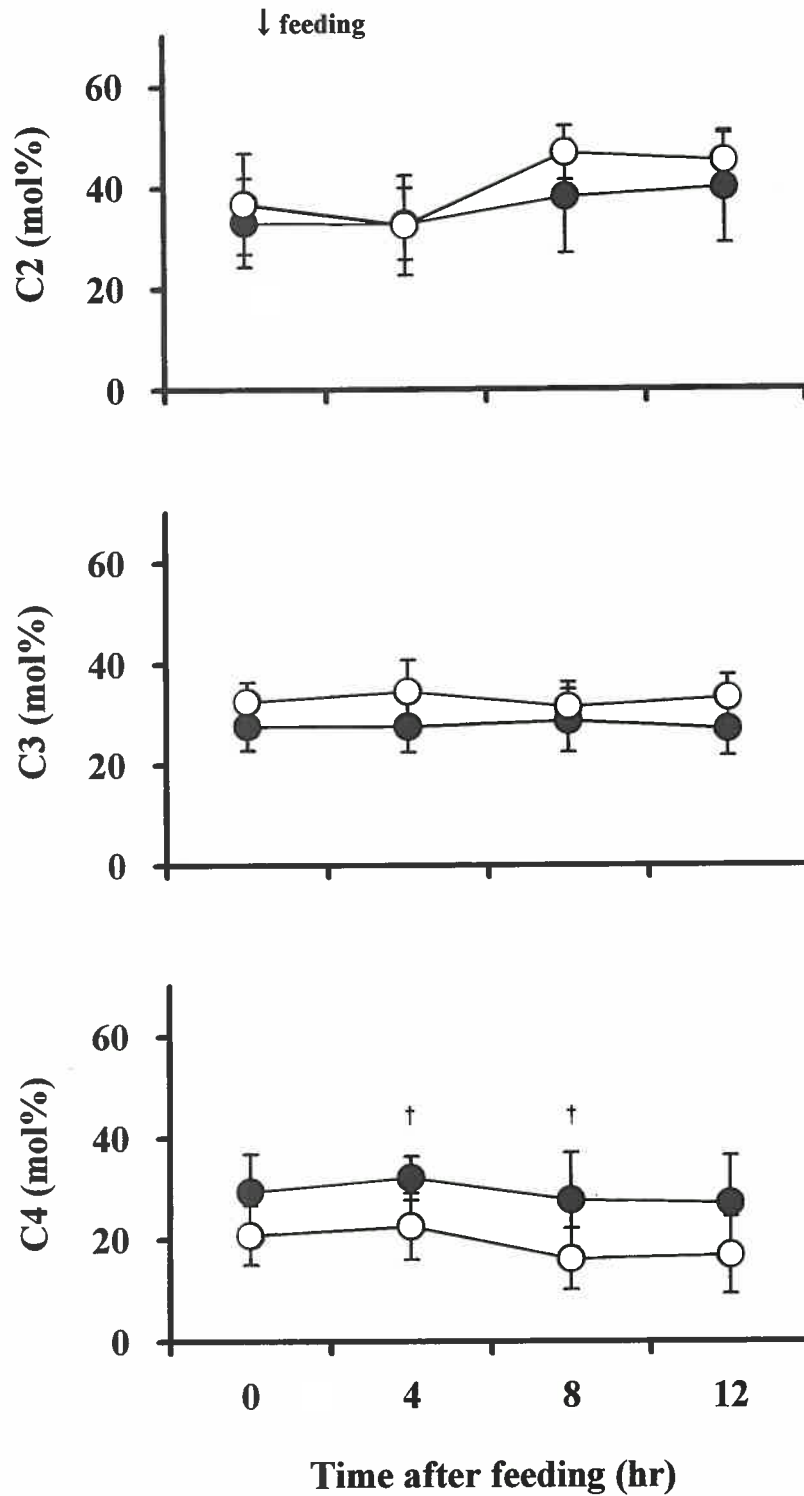
○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

\*:  $P < 0.05$ .





**Fig. 4-1-3.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid at 16 month of age (average body weight 583kg) in growing-fattening steers.

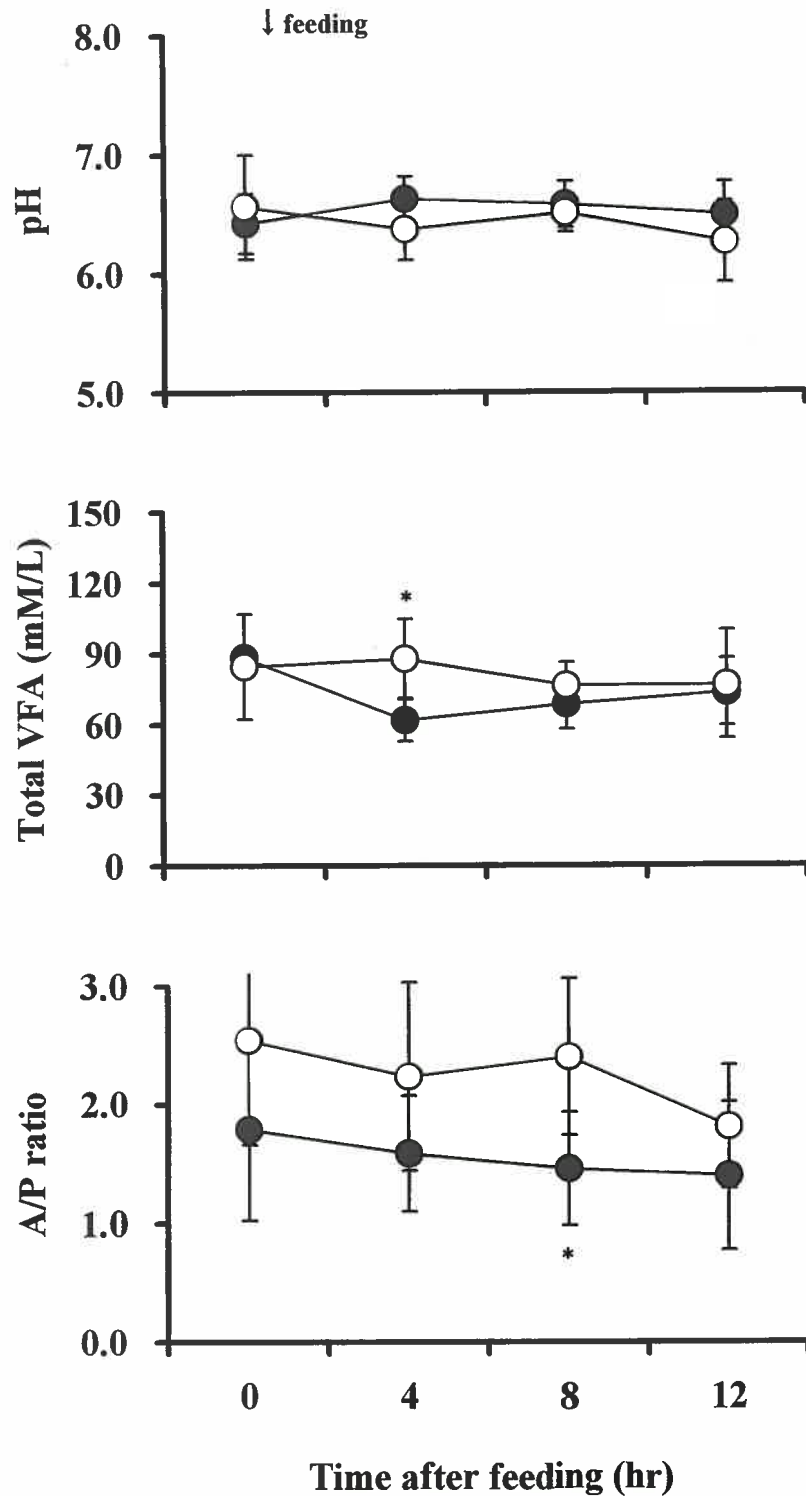
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ .



**Fig. 4-1-4.** Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid at 19 month of age (average body weight 675kg) in growing-fattening steers.

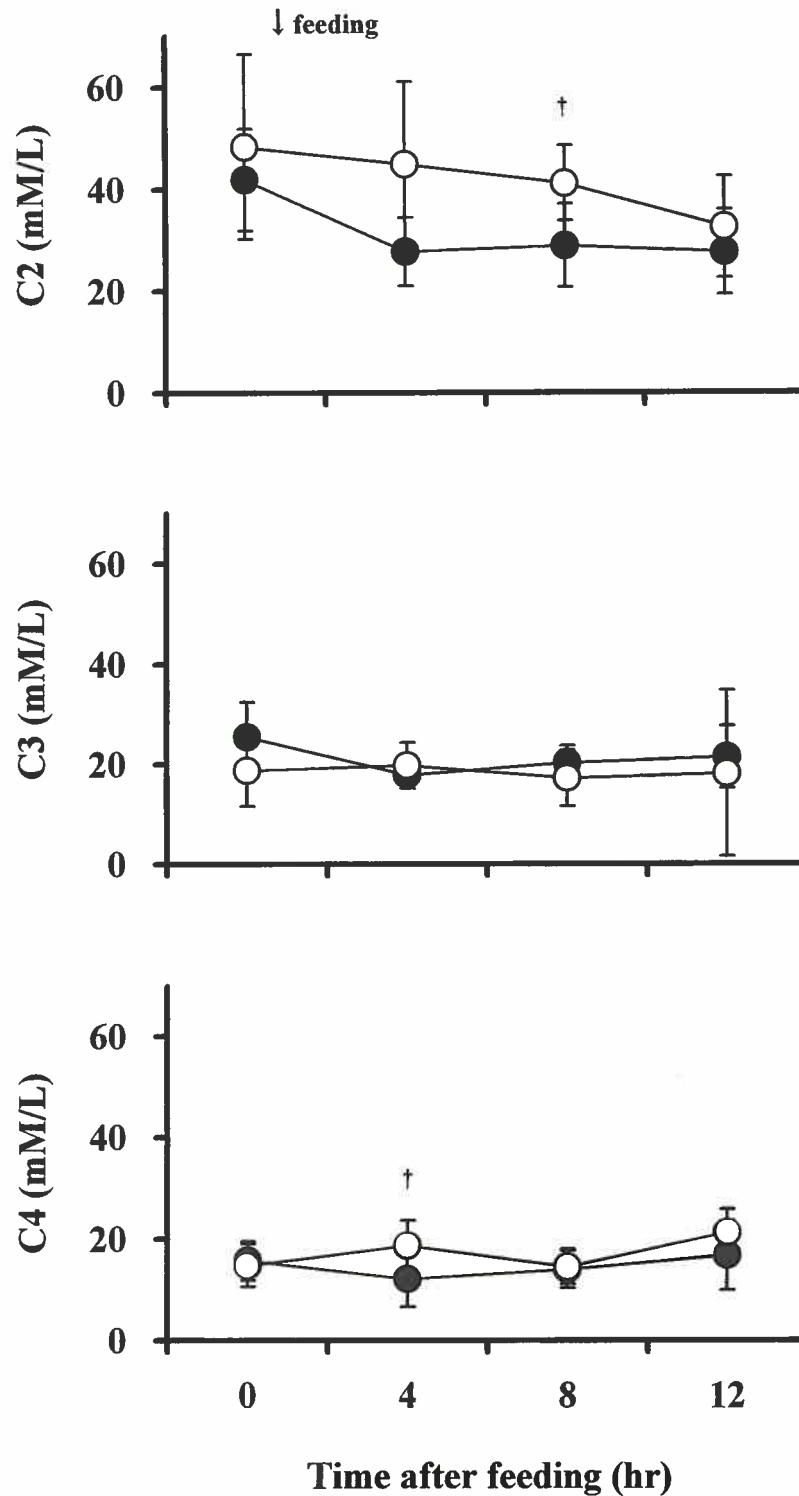
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

\*:  $P < 0.05$ .



**Fig. 4-1-5.** Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid at 19 month of age (average body weight 675kg) in growing-fattening steers.

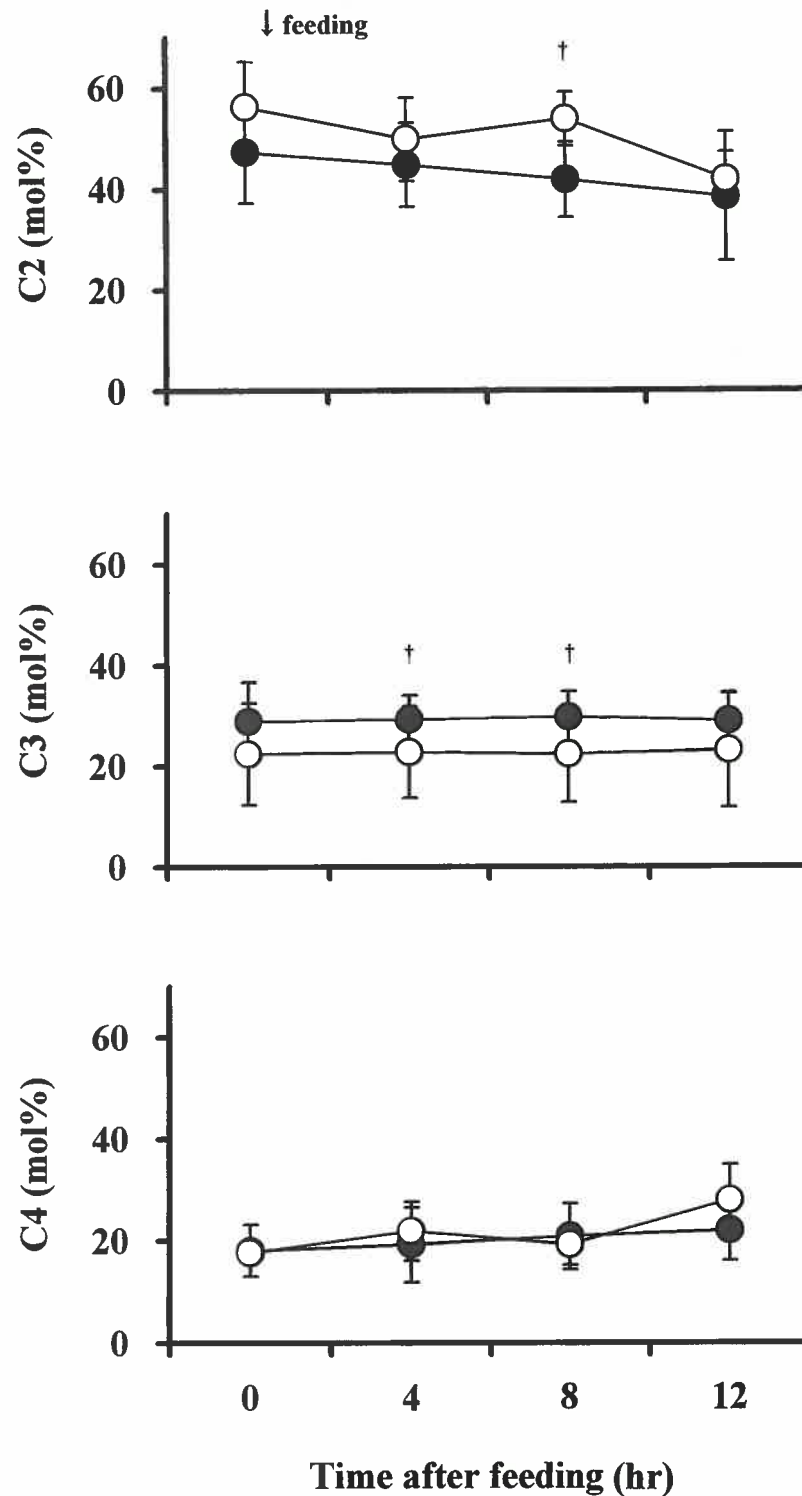
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ .



**Fig. 4-1-6.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid at 19 month of age (average body weight 675kg) in growing-fattening steers.

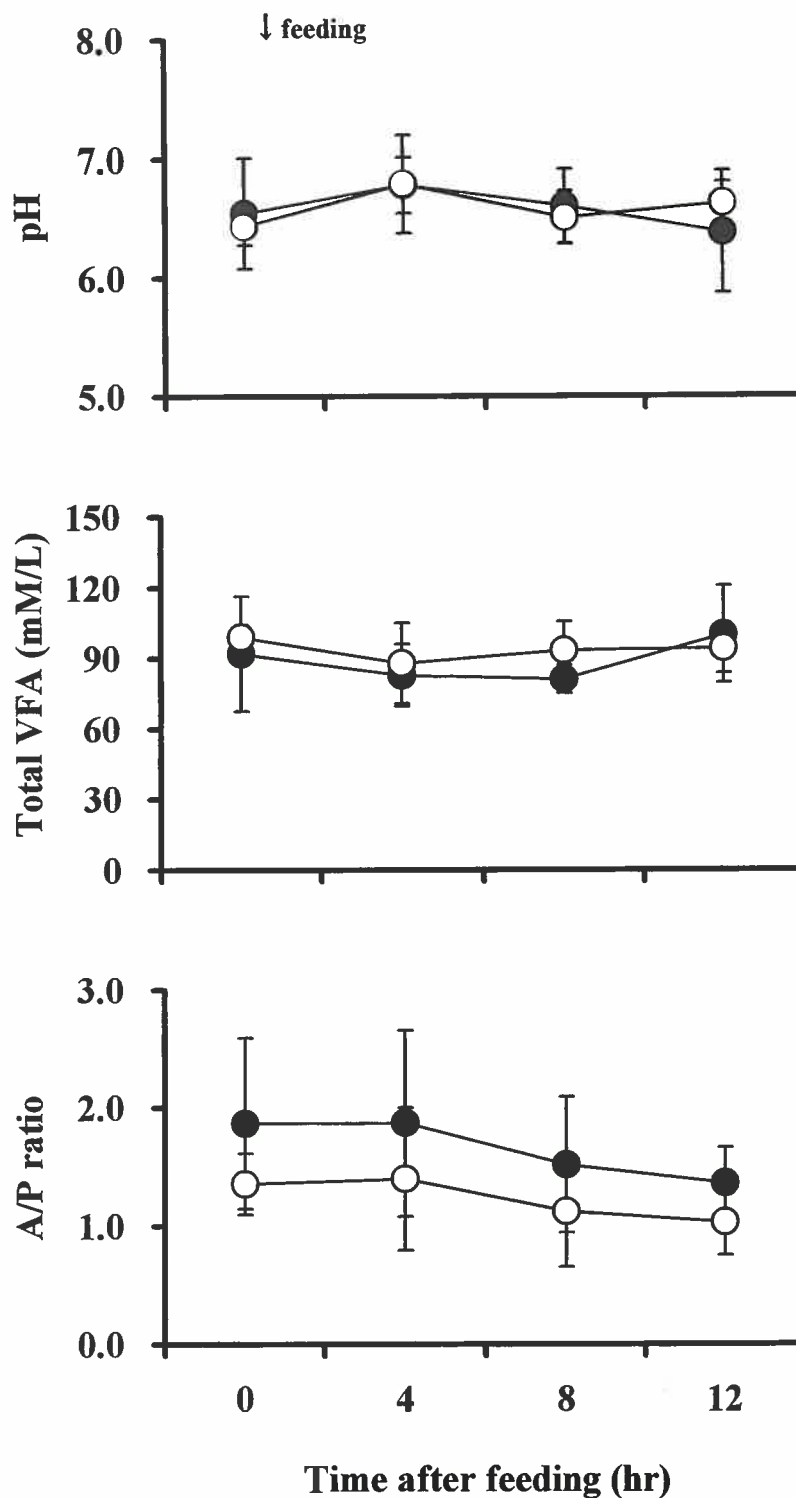
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ .



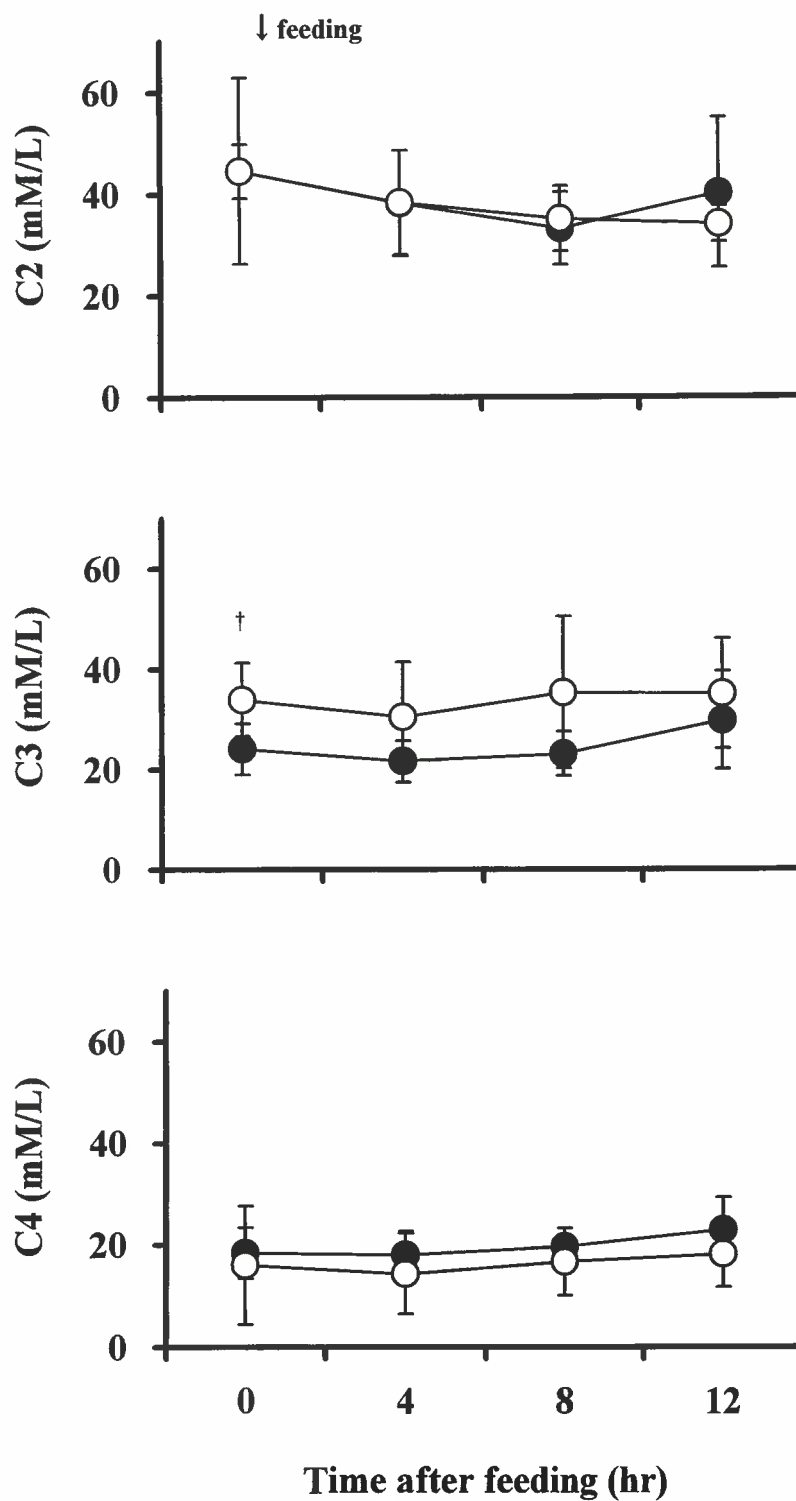
**Fig. 4-1-7. Diurnal changes in ruminal pH, total volatile fatty acids (VFA) concentration and ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) of rumen fluid at 21 month of age (average body weight 715kg) in growing-fattening steers.**

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



**Fig. 4-1-8.** Diurnal changes in acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) concentration of rumen fluid at 21 month of age (average body weight 715kg) in growing-fattening steers.

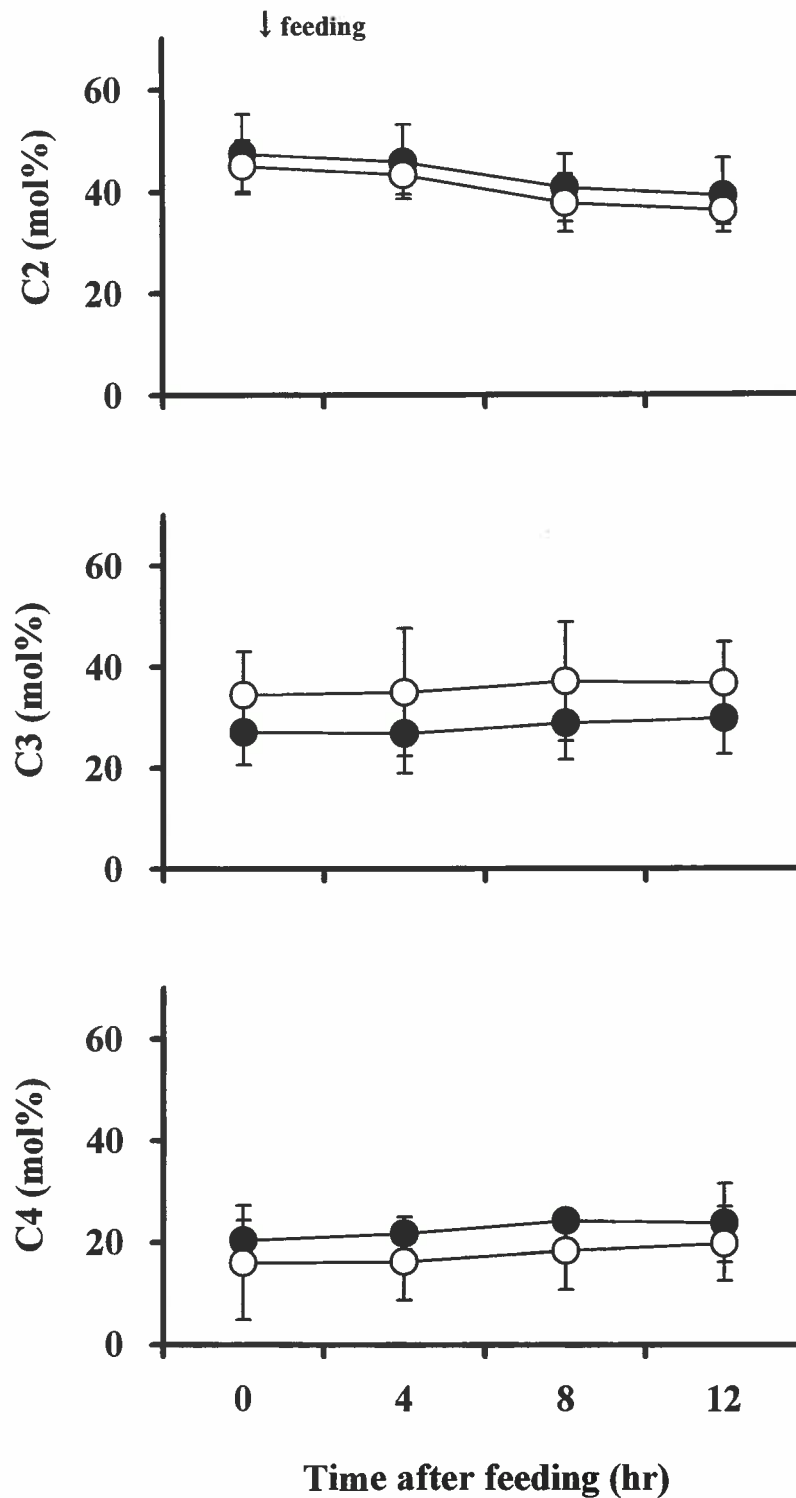
Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

†:  $P < 0.10$ .



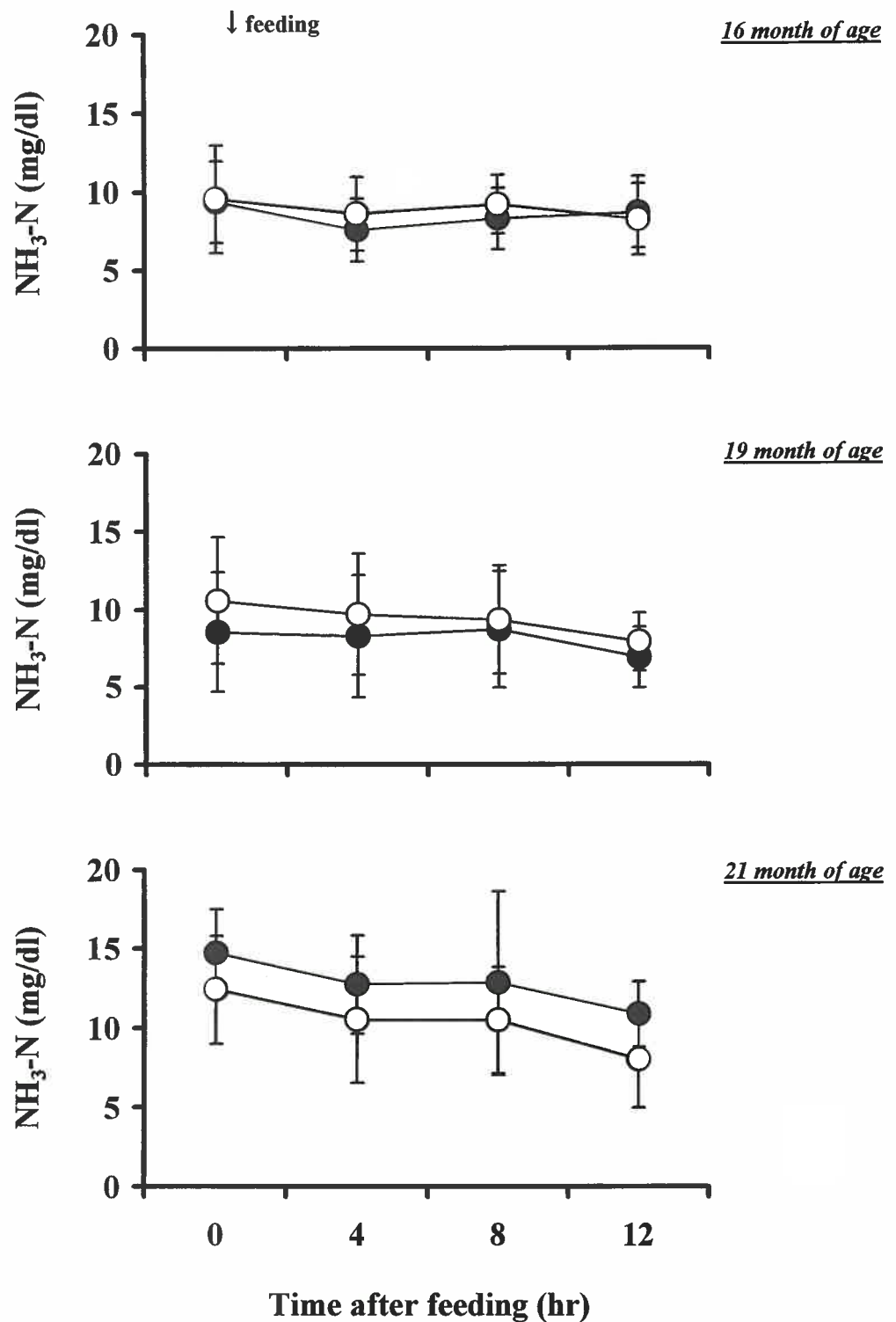
**Fig. 4-1-9.** Diurnal changes in molar composition of acetic acid (C2), propionic acid (C3) and butyric acid (C4) of rumen fluid at 21 month of age (average body weight 715kg) in growing-fattening steers.

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



**Fig. 4-1-10.** Diurnal changes in NH<sub>3</sub>-N concentration of rumen fluid at 16, 19 and 21 month of age (average body weight 583, 675 and 715kg) in growing-fattening steers.

Values are indicated means  $\pm$  s.d. for four animals.

○: Control, ●: RF treatment.

Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.



Table 4-1-7. Effects of RF dosing on carcass characteristics in steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Live weight, kg	769.3 ± 52.0	757.6 ± 50.4	NS
Carcass weight <sup>a)</sup> , kg	456.7 ± 22.0	452.8 ± 24.5	NS
Dressing percentage <sup>b)</sup> , %	57.7 ± 2.7	59.8 ± 1.5	NS
Rib eye area, cm <sup>2</sup>	38.0 ± 2.0	36.8 ± 4.6	NS
Rib thickness, cm	6.3 ± 0.3	6.5 ± 0.7	NS
Subcutaneous fat thickness, cm	1.7 ± 0.2	2.4 ± 0.6	NS
Yield score <sup>c)</sup>	69.3 ± 0.3	68.7 ± 1.1	NS
Marbling score <sup>d)</sup>	2.3 ± 0.5	2.0 ± 0.0	NS
Beef color score <sup>e)</sup>	4.0 ± 0.0	5.0 ± 0.8	p<0.10
Firmness grade <sup>f)</sup>	2.3 ± 0.5	2.0 ± 0.0	NS
Fat color score <sup>g)</sup>	2.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	NS
Beef quality grade	2.3 ± 0.5	2.0 ± 0.0	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>a)</sup> Chilled carcass weight.

<sup>b)</sup> Chilled carcass weight / Live weight.

<sup>c)</sup>  $67.37 + (0.130 \times \text{Rib eye area cm}^2) + (0.667 \times \text{Rib thickness cm}) - (0.025 \times \text{Cold left side weight kg}) - (0.896 \times \text{Subcutaneous fat thickness cm})$ .

<sup>d)</sup> Beef Marbling Standard Number, rating from 0 (none) to 12 (most abundant).

<sup>e)</sup> Beef Color Standard Number, rating from 1 (very bright) to 7 (dark).

<sup>f)</sup> Rating from 1 (rough) to 5 (smooth).

<sup>g)</sup> Beef Fat Color Standard Number, rating from 1 (white) to 7 (yellow).

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-1-8. Effects of RF dosing on meat composition and melting point of subcutaneous and kidney fat in steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Meat composition, %			
Rib eye			
Moisture	58.9 ± 2.0	59.0 ± 1.9	NS
Crude fat	14.7 ± 3.1	14.7 ± 2.1	NS
Crude ash	0.9 ± 0.0	0.9 ± 0.0	NS
Rib			
Moisture	50.6 ± 4.8	51.3 ± 2.7	NS
Crude fat	28.6 ± 6.3	26.7 ± 2.6	NS
Crude ash	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.0	NS
Melting point, °C			
Subcutaneous fat	30.1 ± 1.0	29.6 ± 1.1	NS
Kidney fat	46.9 ± 0.1	45.0 ± 2.2	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-1-9. Effects of RF dosing on fatty acid composition of subcutaneous, kidney, rib eye and rib fat in steers

Fatty acid <sup>a)</sup>	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Subcutaneous fat <sup>b)</sup> , %			
C14:0	4.0 ± 0.4	4.2 ± 0.4	NS
C14:1	2.7 ± 0.4	2.8 ± 0.8	NS
C16:0	30.4 ± 1.3	29.4 ± 0.4	NS
C16:1	7.7 ± 1.3	8.4 ± 2.6	NS
C18:0	8.2 ± 1.1	7.4 ± 1.8	NS
C18:1	44.4 ± 1.8	44.0 ± 1.5	NS
C18:2	2.3 ± 0.8	3.5 ± 0.2	P<0.05
C18:3	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.0	NS
USFA	46.9 ± 2.5	47.8 ± 1.7	NS
USFA/SFA	5.8 ± 1.1	6.7 ± 1.6	NS
Kidney fat <sup>b)</sup> , %			
C14:0	4.8 ± 1.0	4.5 ± 0.8	NS
C14:1	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1	NS
C16:0	33.9 ± 2.3	30.0 ± 1.3	P<0.05
C16:1	1.5 ± 0.0	1.6 ± 0.3	NS
C18:0	24.5 ± 2.5	23.9 ± 2.9	NS
C18:1	32.5 ± 1.6	35.9 ± 3.0	NS
C18:2	2.2 ± 0.8	3.3 ± 0.3	P<0.05
C18:3	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.0	NS
USFA	34.9 ± 0.8	39.4 ± 2.8	P<0.05
USFA/SFA	1.4 ± 0.1	1.7 ± 0.3	NS
Rib eye fat <sup>c)</sup> , %			
C14:0	4.0 ± 0.4	4.0 ± 1.3	NS
C14:1	1.0 ± 0.1	1.0 ± 0.3	NS
C16:0	32.5 ± 2.2	30.3 ± 1.8	NS
C16:1	4.1 ± 0.3	4.0 ± 0.5	NS
C18:0	14.3 ± 1.4	12.3 ± 2.2	NS
C18:1	41.9 ± 2.2	45.0 ± 3.0	NS
C18:2	2.1 ± 0.4	3.2 ± 0.3	P<0.05
C18:3	0.2 ± 0.1	0.2 ± 0.1	NS
USFA	44.1 ± 2.7	48.4 ± 3.0	NS
USFA/SFA	3.1 ± 0.4	4.0 ± 0.8	NS
Rib fat <sup>c)</sup> , %			
C14:0	3.8 ± 0.1	3.4 ± 0.3	NS
C14:1	1.4 ± 0.0	1.2 ± 0.3	NS
C16:0	28.3 ± 0.9	26.9 ± 0.9	P<0.05
C16:1	5.1 ± 0.1	4.7 ± 0.4	NS
C18:0	11.7 ± 0.7	11.0 ± 1.1	NS
C18:1	47.3 ± 1.1	49.2 ± 0.8	P<0.05
C18:2	2.3 ± 0.7	3.3 ± 0.3	P<0.05
C18:3	0.2 ± 0.0	0.3 ± 0.1	NS
USFA	49.8 ± 1.4	52.8 ± 0.8	P<0.05
USFA/SFA	4.3 ± 0.3	4.8 ± 0.5	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>a)</sup> Number of carbon atoms : number of double bonds.

<sup>b)</sup> Total lipid.

<sup>c)</sup> Neutral lipid.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

USFA = C18:1 + C18:2 + C18:3, USFA/SFA = (C18:1 + C18:2 + C18:3)/C18:0.

Table 4-1-10. Effects of RF dosing on form of rumen in steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Papillary number , per 1cm <sup>2</sup>			
Cranial sac	54.6 ± 7.9	57.1 ± 11.4	NS
Dorsal sac	55.5 ± 9.6	61.2 ± 9.9	NS
Ventral sac	50.1 ± 7.6	48.5 ± 6.0	NS
Caudovertral blind sac	49.8 ± 2.0	47.5 ± 6.8	NS
Papillary length , mm			
Cranial sac	9.1 ± 1.2	9.1 ± 0.8	NS
Dorsal sac	6.3 ± 0.3	5.6 ± 0.3	P<0.05
Ventral sac	9.1 ± 1.3	8.5 ± 1.0	NS
Caudovertral blind sac	7.6 ± 0.8	8.0 ± 1.0	NS
Weight of rumen , kg	15.1 ± 2.3	14.4 ± 2.6	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-1-11. Effects of RF dosing on papillary number classified by length at cranial, dorsal, ventral and caudoventral blind sac in rumen of steers

Places of examination	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
<b>Cranial sac</b>			
~ 4.9 (mm)	44.0 <sup>a)</sup> ± 8.2 ( 80.3 ) <sup>b)</sup>	44.4 ± 12.9 ( 76.9 )	NS
5.0 ~ 9.9	7.3 ± 0.8 ( 13.5 )	8.0 ± 1.5 ( 14.7 )	NS
10.0 ~ 14.9	2.5 ± 0.7 ( 4.6 )	3.6 ± 1.7 ( 6.6 )	NS
15.0 ~ 19.9	0.9 ± 1.3 ( 1.6 )	0.8 ± 0.8 ( 1.4 )	NS
20.0 ~	0.0 ± 0.1 ( 0.1 )	0.2 ± 0.4 ( 0.3 )	NS
<b>Dorsal sac</b>			
~ 4.9	52.3 ± 10.3 ( 94.0 )	59.8 ± 10.5 ( 97.4 )	NS
5.0 ~ 9.9	3.2 ± 1.0 ( 6.0 )	1.5 ± 0.8 ( 2.6 )	P<0.05
10.0 ~ 14.9	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
15.0 ~ 19.9	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
20.0 ~	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
<b>Ventral sac</b>			
~ 4.9	30.5 ± 5.3 ( 60.8 )	32.7 ± 7.3 ( 67.1 )	NS
5.0 ~ 9.9	13.2 ± 2.7 ( 26.3 )	11.2 ± 1.6 ( 23.1 )	NS
10.0 ~ 14.9	5.5 ± 3.3 ( 11.0 )	4.7 ± 3.6 ( 9.7 )	NS
15.0 ~ 19.9	0.9 ± 1.1 ( 1.8 )	0.0 ± 0.1 ( 0.1 )	NS
20.0 ~	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
<b>Caudoventral blind sac</b>			
~ 4.9	37.4 ± 1.0 ( 75.3 )	35.9 ± 7.3 ( 75.4 )	NS
5.0 ~ 9.9	10.5 ± 1.6 ( 21.0 )	9.3 ± 2.3 ( 20.0 )	NS
10.0 ~ 14.9	1.8 ± 1.4 ( 3.5 )	2.1 ± 1.6 ( 4.4 )	NS
15.0 ~ 19.9	0.1 ± 0.1 ( 0.2 )	0.1 ± 0.2 ( 0.2 )	NS
20.0 ~	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>a)</sup> Number per 1 cm<sup>2</sup>.

<sup>b)</sup> Ratio for total papillary number (%).

NS: not statistically significant (P ≥ 0.10).

## 要 約

RF の投与が飼料の利用性、枝肉性状、枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃半絨毛の発達に及ぼす影響について検討するため、ホルスタイン種去勢雄牛 8 頭を用い、繊維性成分を調製した濃厚飼料 (OCW 含量: 乾物中 27.5%) 多給下において肥育試験を実施した。試験処理群として、RF を投与しない対照群 (RF 無投与, 4 頭) と 1 頭当たり 3 個の RF を第一胃内に投与する群 (RF 投与, 4 頭) を設けた。RF の投与は、12 ヶ月齢時に実施した。給与飼料として、両処理とも切断乾草 0.2kg/頭/日を 19 ヶ月齢時まで給与した後無給与とし、濃厚飼料は不断給与した。増体日量は、処理間に有意差がなく、RF 無投与 1.08kg, RF 投与 1.02kg であった。飼料要求率については、RF 無投与 9.9, RF 投与 10.2 であり、処理間に有意差がなかった。枝肉格付において、歩留基準値と肉質等級は処理間に差がなかった。枝肉脂肪の脂肪酸組成において、皮下脂肪では、RF 投与の C18:2 脂肪酸が有意に高かった。腎臓周囲脂肪では、RF 無投与に比較して、RF 投与の C16:0 脂肪酸が有意に低く、RF 投与の C18:2 脂肪酸と炭素数 18 の総不飽和脂肪酸が有意に高かった。ロース芯の筋肉内脂肪では、RF 投与の C18:2 脂肪酸が有意に高い値を示した。ばらの筋肉内脂肪では、RF 投与の C18:1 脂肪酸、C18:2 脂肪酸および炭素数 18 の総不飽和脂肪酸が RF 無投与よりも有意に高かった。半絨毛の密度は、各部位とも RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなかった。5mm 以上の平均半絨毛の長さは、背囊体において RF 投与が有意に短かった。長さ別の半絨毛の数は、4.9mm 以下では各部位とも処理間に有意差がなかった。5.0mm 以上では背囊体の 5.0~9.9mm で RF 投与が有意に少なかった。以上の調査結果から、本試験に用いた濃厚飼料を多給した肥育条件下において、RF を投与すると、飼料の利用性、枝肉性状および第一胃半絨毛の発達に及ぼす影響は少ないが、枝肉脂肪の C18:1 と C18:2 の不飽和脂肪酸の割合が増加することが明らかとなった。

## 第4章第2節

### 牧乾草の物理性を第一胃刺激用具で代替した肥育時における 飼料の利用性、枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響

肉牛の肥育では、高い増体や肉質の改善を期待するため、エネルギーの給与量を多くする傾向がある。そのため、エネルギー含量が低い粗飼料の給与量を極力少なくし、穀類などの易発酵性の濃厚飼料を多給する飼養システム下で肉牛生産が一般に行われている。このような濃厚飼料多給の飼養システムでは、ルーメンアシドーシスや鼓脹症などの消化器病や尿石症などの疾病の発生が増加し、生産性の低下に結びつくケースも増えている。しかしながら、肥育効率の向上や市場での評価の高い牛肉を生産するためには、穀類給与を主体とした濃厚飼料多給型の集約的管理による肉牛生産のための飼養システムが不可欠であると思われる。したがって、濃厚飼料多給による弊害を少なくし、肉牛の生産性を向上させ、市場価値の高い牛肉を生産する新たな飼養管理体系の構築が必要であると思われる。

肉牛の肥育において、第一胃刺激用具 (RF) を利用することにより第一胃粘膜への物理的な刺激作用を主に RF で補い、牧乾草や稲ワラなどの粗剛性が強い粗飼料を給与しない条件下においても第一胃機能を正常に保持できる可能性があり、これは、新たな飼養管理体系を探る上において興味ある課題であると思われる。しかしながら、肉牛の肥育時に RF を投与して検討した試験報告は少ない。また、前節の第4章第1節においては、圧扁状の殻付きのエンバクや大麦が配合された濃厚飼料を供試し、濃厚飼料由来の第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用 (物理性) をある程度確保した条件下で実施しており、物理性の少ない濃厚飼料を多給した飼料条件下での長期肥育時における飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪性状および第一胃の形態については詳細に検討されていない。肉牛の肥育において、RF を有効に活用するためには様々な飼料条件下での検討が必要であり、その検討から得られた多くの知見を基本として RF の肉牛生産での有効利用を考えるべきである。

そこで本試験では、飼料由来の第一胃粘膜に対する物理性が少ない濃厚飼料および易発酵性粗飼料を給与した肥育条件下において、RF の投与による牧乾草の無給与が飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃半絨毛の発達に及ぼす影響について、牧乾草を給与した肉牛と比較しながら検討することとした。

#### 材料および方法

##### 供試動物と飼養方法

本試験にはホルスタイン種去勢雄牛 8 頭 (平均体重 226kg) を用いた。供試牛は 40 日間の馴致期間後、平均体重が同等となるように 4 頭ずつに分け、RF を投与しない対照群 (RF 無投与, 平均体重  $\pm$  標準偏差: 263  $\pm$  15kg) と RF を投与する群 (RF 投与, 264  $\pm$  21kg) の 2 処理を設定した。RF の投与は平均体重 270kg 時に実施し、1 頭当たり 3 個を経口投与した。なお、本試験では仕上げ体重を

750kg 以上、肥育期間を 15 ヶ月とし、肥育試験の終了時期を個々の体重と肥育期間から判断した。

各処理の給与飼料は、RF 投与には濃厚飼料として 2 種類の市販の肉牛用配合飼料（商品名：オギノバルキー前期、オギノバルキー後期、庄内くみあい飼料株式会社）を、粗飼料として粗剛性が弱く易発酵性のアルファルファヘイキューブとビートパルプを用いた。RF 無投与にはそれらの他に粗剛性の強い牧乾草を用いた。濃厚飼料の原材料の配合割合は、オギノバルキー前期が穀類（トウモロコシ、マイロ他）62%、糟糠類（ビール粕、ふすま他）22%、植物性油粕類（大豆油粕）5%およびその他（アルファルファミール、炭酸カルシウム、食塩他）11%であり、オギノバルキー後期が穀類（トウモロコシ、大麦他）76%、糟糠類（コーングルテンフィード、ふすま他）17%、植物性油粕類（大豆油粕）5%およびその他（炭酸カルシウム、食塩他）2%であった。牧乾草はオーチャードグラス主体の混播牧草であり、切断長を 10cm とした。各飼料の給与量は、慣行法の給与基準を参考にして体重ごとに算出した。すなわち、両処理とも肥育段階ごとに同一の目標増体量（1.5～0.7kg/日）を設定し、各飼料の給与量を求めた。その際、各処理の給与飼料全体に対する粗飼料の給与割合（現物）は、RF 無投与で 16.0～5.5%、RF 投与で 15.1～3.7%とし、各粗飼料の給与量（現物）が等量となり、各期間の目標増体量に必要な可消化養分総量（TDN）要求量を充足するように濃厚飼料で調整した。

飼養形態は 1 群 4 頭の群飼とし、敷料として籾殻を用いて舎内で飼育した。飼料の給与は、1 日 2 回午前 9 時と午後 4 時に行い、濃厚飼料と粗飼料を混合して規定量の半量ずつを給与した。飼料の給与量の切り替えは、毎月の体重測定後に各処理の平均体重値から判断して実施した。水と固形塩は、肥育期間中自由に摂取できるようにした。

#### 行動調査

行動調査は、供試牛の月齢が 9 ヶ月齢（平均体重 359kg）時に行った。行動の観察は、直接観察により全頭同時に行い、両処理とも 3 回（3 日間連続）実施した。その際、観察対象の供試牛からある程度の距離を置き、なるべく目の届かない場所から観察した。行動調査の時間は、午前の飼料給与時（午前 9 時）から午後の飼料給与前（午後 3 時）までの 6 時間とした。観察記録した行動は、摂食行動と反芻行動であり、各行動の開始から完了までを分刻みで記録した。

#### 消化試験と飼料および糞の分析

消化試験は、供試牛の月齢が 10 ヶ月齢（平均体重 393kg）時に行った。分析用糞の採取は、3 日間行い、1 日 2 回（午前 10 時と午後 5 時）とした。採取した糞は、60℃の通風乾燥機内で乾燥させ、粉碎後各分析に用いた。消化率は、酸不溶性灰分を標識物として算出した。飼料および糞中の化学成分分析は、第 1 章第 2 節と同様に行った。

#### 飼料摂取量調査

飼料摂取量は各処理全頭の摂取量を毎日調査し、総摂取量は累積して求め、各処理の総摂取量から 1 頭当たりの飼料摂取量を算出した。また、各飼料の摂取量は各飼料の給与割合から求めた。



### 第一胃内の発酵性状調査

肥育試験終了後、屠場にて第一胃内容物を採取し、第一胃内の発酵性状調査用試料として用いた。第一胃内容物は、持ち帰った後に二重ガーゼでろ過し、ろ過した第一胃内容液は揮発性脂肪酸 (VFA) の分析に供するまで $-30^{\circ}\text{C}$ で凍結保存した。VFA の分析は、第 1 章第 2 節と同様に、ガスクロマトグラフィーによる方法で行った。

### 枝肉性状検査と枝肉脂肪の脂肪酸分析

枝肉性状 (歩留等級と肉質等級) の検査は、第 4 章第 1 節と同様に日本食肉格付協会の格付員により実施された。枝肉の採取部位は、ロース芯、ばら、皮下脂肪および腎臓周囲脂肪とし、第 4 章第 1 節と同様な方法を用いて各部位の枝肉脂肪の脂肪酸を分析した。

### 第一胃の形態調査

第一胃は形態調査用に屠場から持ち帰り、第 4 章第 1 節と同様に第一胃の重量を計測し、さらに排水量法により第一胃容積の測定を実施した。測定後、4 部位 (背前盲嚢 (Cranial sac), 背嚢体 (Dorsal sac), 腹嚢体 (Ventral sac) および腹後盲嚢 (Caudovertral blind sac)) を採取した。採取後の処理および各調査方法については、第 4 章第 1 節と同様に行った。

### 統計処理

行動、飼料の利用性、第一胃内の発酵性状、枝肉性状、枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に関する各データは、Student の t-検定を用いて処理間を比較した。なお、5%以下の危険率は統計的有意差があるとし、危険率 10%以下の場合は傾向があったとした。

## 結 果

表 4-2-1 には各処理に給与した飼料の構成割合と乾物中の化学成分組成をそれぞれの肥育期間ごとの平均値で示した。なお、肥育試験の各期間は、慣行法の体重の基準から判断して試験開始日~147 日を肥育前期、148 日~303 日を肥育中期および 304 日~試験終了日を肥育後期とした。濃厚飼料の割合は、肥育試験の進行に伴って増加した。給与飼料の乾物中の細胞壁構成物質 (OCW) 割合は、RF 無投与では肥育前期 30%から後期 26%、RF 投与では肥育前期 29%から後期 25%と、各処理とも 4%減少した。OCW 割合の処理間の差は、それぞれの肥育期間とも小さく、1%以下であった。

表 4-2-2 には各肥育期間における生体重、平均増体日量、体尺測定値、飼料摂取量、飼料要求率および肥育度指数について示した。肥育試験終了時の平均生体重は、RF 無投与 752kg、RF 投与 754kg となり、両処理ともほぼ同じであった。平均増体日量は、各肥育期間とも処理間に有意差がなく、全肥育期間では RF 無投与 1.10kg、RF 投与 1.13kg であった。各肥育期間の体高、胸囲および腹囲についても処理間に有意差はなく、各処理とも同等であった。飼料の総摂取量は、各肥育期間とも RF

無投与よりも RF 投与が下回った。飼料要求率については、各肥育期間とも処理間に有意差が認められなかったが、肥育の前半では RF 投与が、後半では RF 無投与が低い傾向を示した。また、全肥育期間での飼料要求率は、RF 無投与 8.0, RF 投与 7.5 であった。なお、各処理の平均肥育日数は、RF 無投与 443 日, RF 投与 433 日であった。

表 4-2-3 には肥育前期 (9 ヶ月齢時) に実施した行動調査の結果を示した。飼料の摂食時間は、処理間に有意差がなかった。反芻時間は、調査時間が午前の飼料給与後から午後の飼料給与前までの 6 時間ということもあり、各処理とも短かったが、RF 投与が RF 無投与よりも長い傾向が認められた ( $P<0.10$ )。

表 4-2-4 には肥育前期 (10 ヶ月齢時) に実施した消化試験で得られた成分消化率および栄養価を示した。可溶無窒素物の消化率は、RF 無投与に比較して RF 投与が高かった ( $P<0.05$ )。細胞内容物質の消化率についても RF 投与が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。各処理の TDN は、RF 無投与 69%, RF 投与 74% であり、RF 投与が高くなる傾向が認められた ( $P<0.10$ )。

表 4-2-5 には肥育試験終了時の各処理における第一胃内液の各 VFA の濃度および組成を示した。第一胃内の主要な発酵産物である酢酸、プロピオン酸および酪酸の濃度および組成は、RF 無投与と RF 投与の処理間に有意差がなかった。総 VFA 濃度は、RF 無投与よりも RF 投与が低かった ( $P<0.05$ )。なお、表には示さなかったが、第一胃内液の pH は、RF 無投与 6.0, RF 投与 5.9 であった。

枝肉歩留り、枝肉の歩留基準値および枝肉の格付け結果を表 4-2-6 に示した。枝肉重量は、処理間に有意差がなく、枝肉歩留りは、両処理とも 60% 前後と同等であった。ロース芯面積とばらの厚さについても処理間に有意差はなかった。皮下脂肪の厚さについては、RF 無投与では 1.6~2.4cm の範囲にあり、RF 投与では 4 頭のうち 3 頭が 3.0cm 以上と厚くなったが、処理間に有意差は認められなかった。歩留基準値は、RF 無投与 69.7%, RF 投与 68.9% であり、処理間に有意差がなかった。牛肉色基準 (BCS) については、RF 無投与よりも RF 投与が低い傾向であった ( $P<0.10$ )。牛脂肪交雑基準 (BMS)、肉の締まりときめの等級値および牛脂肪色基準 (BFS) は、各項目ともに処理間に有意差が認められなかった。枝肉の肉質を総合的に評価した肉質等級値は、RF 無投与 2.0, RF 投与 2.3 となり、両処理とも同様な値を示した。

表 4-2-7 にはロース芯とばらの筋肉内の粗脂肪含量を示した。ロース芯の粗脂肪含量は、RF 無投与、RF 投与とも同じであった。ばらの粗脂肪含量は、RF 投与が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。

背脂肪および腎臓周囲脂肪の総脂質の脂肪酸組成ならびにロース芯脂肪およびばら脂肪の中性脂質の脂肪酸組成を表 4-2-8 に示した。背脂肪については、C14:0 (炭素数 : 不飽和結合の数) 脂肪酸において RF 投与が低く ( $P<0.05$ )、C18:1 脂肪酸では RF 投与が高い傾向であった ( $P<0.10$ )。また、炭素数 18 の総不飽和脂肪酸では RF 投与が RF 無投与に比べ 6% ほど上回った。腎臓周囲脂肪については、各脂肪酸において処理間に有意差が認められず、両処理とも同程度であった。ロース芯脂肪においては、C18:1 脂肪酸と炭素数 18 の総不飽和脂肪酸が RF 投与でやや高い値を示したが、有意差はなかった。ばら脂肪については、C14:0 脂肪酸では RF 投与が低い傾向であり ( $P<0.10$ )、脂肪酸中の大部分を占める C18:1 脂肪酸では RF 投与が RF 無投与より 4% ほど高く、処理間に有意差が認め

られた ( $P<0.05$ ).

第一胃部位別の半絨毛の密度と長さおよび第一胃の容積と重量を表 4-2-9 に、半絨毛の長さ別の数を表 4-2-10 にそれぞれ示した。半絨毛の密度は、各 4 部位ともに RF 投与が RF 無投与を上回ったが、各調査部位とも処理間に有意差は認められなかった。5mm 以上の平均長で示した半絨毛の長さについては、背嚢体 (Dorsal sac) において RF 投与が長い傾向にあり ( $P<0.10$ )、他の 3 部位では各処理とも同程度の長さであった。第一胃の容積は、RF 投与が若干大きく、第一胃の重量は、両処理とも同等の数値を示した。長さ別の半絨毛の数については、4.9mm 以下の半絨毛の割合が多く、4.9mm 以下の半絨毛では各 4 部位ともに RF 投与が RF 無投与を上回ったが、処理間に有意差はなかった。5.0mm 以上の各長さ別の半絨毛では、背前盲嚢 (Cranial sac)、背嚢体、腹嚢体 (Ventral sac) および腹後盲嚢 (Caudovertral blind sac) とも処理間に有意差が認められなかったが、5.0mm 以上の半絨毛の総数では、腹後盲嚢において RF 無投与 8.8、RF 投与 12.6 となり、RF 投与が多い傾向であった ( $P<0.10$ )。

## 考 察

給与飼料中の各化学成分組成のうち、粗繊維と OCW の処理間の差は各肥育期間ともそれぞれ 1% 以下であり、両処理とも同等の繊維性成分を給与する試験設定ができたと判断した。一般に、肉牛の肥育では高い増体量を期待するため、エネルギー含量の低い粗飼料の給与量を抑える飼養管理が行われている。しかし、このような飼養形態による粗飼料の給与不足では、ルーメンパラケラトーシス、肝膿瘍、尿石症などの障害が発生しやすいと思われる。そのため、これらの障害を防止するには、肉牛における第一胃の消化と代謝機能を維持するための最低限必要な繊維量を給与する必要があると思われる。日本飼養標準・肉用牛[農林水産省農林水産技術会議事務局 1995]によれば、肥育牛における粗繊維の最低必要量は、粗飼料の乾物給与割合で給与飼料全体の 15%以上が必要である。したがって、日本飼養標準に示されている粗飼料の最低給与量を満たしていれば RF を投与する必然性はない。本試験において、各処理に給与した粗飼料の乾物換算での全肥育期間中の平均給与割合は、RF 無投与で 9.6%、RF 投与で 8.2%となり、肥育牛に必要な粗飼料の給与割合を満たしていなかったものと推察される。なお、RF の投与後の形状については、肥育試験終了時に RF を回収して投与前の RF の形状と比較したところ、擦り切れているようなことはなく、投与前の形状を維持していた。

本肥育試験での平均肥育日数は、RF 投与が RF 無投与よりも 10 日短かった。RF を投与した処理では 4 頭のうちの 2 頭が良好な増体成績を示したため、他の個体よりも 3~5 週間早く肥育試験を終了した。この 2 頭により RF 投与の肥育日数が RF 無投与に比べ短くなったものと思われる。全肥育期間中の 1 頭当たりの総飼料摂取量は、RF 無投与 3,875kg、RF 投与 3,677kg であり、RF 投与の処理が下回った。これは、各処理の肥育日数の違いによるものと考えられるが、1 日 1 頭当たりの飼料摂取量にも若干の違いが認められ、特に肥育前期の処理間の差が大きいことから、この両者による影響ではないかと推察される。

黒毛和種去勢牛を用い、粗飼料多給型（育成期の濃厚飼料給与量：体重の 1.5%）および濃厚飼料多給型（体重の 2.5%）で実施された一連の RF 投与肥育試験[立山ら 1998; 大木場ら 1998]によると、両試験とも全肥育期間の飼料要求率は、RF を投与した処理が低い傾向にあり、本試験と同様な傾向を示していた。本試験において、肥育前期に実施した消化試験の結果では、各成分消化率とも RF 投与が RF 無投与を上回り、TDN 含量は RF を投与した処理が有意に高い傾向であった。この消化試験の結果から、肥育前期における RF 投与の飼料要求率が RF 無投与に比べて良好であった理由の 1 つとして、消化率が良かったことが考えられる。

去勢肥育牛における VFA 塩添加給与が蓄積脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響について調査した報告[田中と板橋 1986]によると、第一胃内でのプロピオン酸の増加により枝肉脂肪、内臓脂肪ともに C18:1 脂肪酸および総不飽和脂肪酸は増加した。本肥育試験終了時（屠殺時）に採取した第一胃内液の VFA 濃度および組成の結果では、処理間に有意差がないものの、RF 投与のプロピオン酸濃度は RF 無投与を上回り、プロピオン酸の割合は RF 投与が 5 mol%ほど高かった。今後、本試験のような飼料条件下における RF の投与による第一胃内の発酵性状に関する詳細な調査が必要であろうと思われるが、RF 投与におけるプロピオン酸の生成量の増加が、不飽和脂肪酸である C18:1 脂肪酸の割合を増加させた要因の 1 つではないかと思われる。一方、RF の第一胃に対する物理的な刺激作用により反芻や第一胃・二胃収縮運動が増加して飼料の第一胃内の通過速度が速まり、第一胃内の微生物による水素添加を免れた飼料中の不飽和脂肪酸が下部消化管において吸収され、体内に取り込まれた可能性も考えられる。

現在のわが国の牛肉取引市場では「適度にねばりがあり、舌ざわりのなめらかな脂肪」の質が良いとされており[木村ら 1996]、枝肉格付けの高い牛肉は、脂肪の融点が低く、C18:1 脂肪酸を中心とする不飽和脂肪酸の割合が高かったと報告されている[中井ら 1987; 伊藤ら 1994]。また、牛肉中の脂肪酸と食味性の関係において、脂肪酸の中でも C18:1 脂肪酸は食味との間に正の相関が認められたことが報告されている[Waldman ら 1968]。本試験では、RF 投与の C18:1 脂肪酸および炭素数 18 の総不飽和脂肪酸の割合が高い傾向であり、食味性のうえで優れた牛肉を生産する可能性があると考えられる。

反芻家畜における半絨毛（第一胃粘膜上皮）の発達と摂取飼料の第一胃内での物理的・化学的な刺激作用との関連性についての報告[Flatt ら 1958; Tamate ら 1962]によれば、半絨毛の発達は粗飼料に比べ、エネルギー含量の高い濃厚飼料による効果が大きく、第一胃内での微生物発酵により産生される VFA は半絨毛の発達のための刺激物質となることが示唆されている。本試験において、屠殺時に採取した第一胃内液の総 VFA 濃度は RF 投与が有意に低く、半絨毛の発達程度については、RF 投与に比較して RF 無投与が良好になることが考えられた。しかし、半絨毛の密度と長さには、処理間に明らかな差が認められず、両処理の半絨毛の発達程度は同等であったと推察される。各処理の半絨毛の発達に違いがみられなかったことから、肥育期間を通しての VFA による半絨毛への化学的な刺激作用は両処理ともほぼ同じであったと思われる。したがって、屠殺時での総 VFA 濃度の違いは、各処理に給与した飼料の相違により発酵パターンに違いが生じた結果とも考えられるが、第一胃内容

物の通過速度が影響したのではないかと考えられる。すなわち、RF 投与では RF の第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用が RF 無投与よりも強く、これにより第一・二胃の収縮運動が高められ、第一胃内容物の第三胃への通過が速められたことが推察される。この点については、第一胃での VFA 発酵の経時的な調査と併せて、詳細な検討が必要であろう。

濃厚飼料と粗飼料の給与割合（現物）を 8:2 とし、制限給与条件下（TDN37.5g/体重<sup>0.75</sup>/日）でのヒツジに小型のヒツジ用 RF を投与して飼育した試験では、ヒツジ用 RF を投与すると飼料給与後の乳酸濃度が無投与に比較して低く推移する傾向を示し、プロピオン酸濃度については高く推移した [高橋ら 1995]。乳酸は第一胃半絨毛に障害を与え、第一胃内 pH が 5 以下になると著しい乳酸生成が起こる [星野 1994]。本試験では第一胃内液の乳酸濃度について測定しておらず、はっきりとしたことはいえないが、ヒツジでの試験結果 [高橋ら 1995] および本試験での屠殺時の総 VFA 濃度から推察すると、RF 無投与では半絨毛への化学的な刺激作用が VFA と乳酸により相殺されたのではないかと考えられる。一方、本試験の RF 投与では、肥育前半に実施した行動調査において、飼料給与後 6 時間までの反芻時間が RF 無投与よりも長い傾向にあった。また、プロピオン酸濃度については RF 無投与に比較して高い傾向であり、ヒツジの結果 [高橋ら 1995] と一致した。乳酸利用細菌による乳酸分解の至適 pH は 6.0~6.5 の範囲にあり、この pH 条件下の第一胃内での乳酸は速やかにプロピオン酸などの VFA に発酵される [星野 1994]。本試験における RF 投与では、反芻により第一胃内 pH の著しい低下が抑えられ、乳酸からのプロピオン酸への変換がスムーズに行われ、半絨毛の発達に対する乳酸による障害が少なかったのではないかとと思われる。

以上の結果から、本試験のような濃厚飼料および易発酵性粗飼料を給与する飼料条件下での長期肥育ホルスタイン種去勢雄牛において、第一胃粘膜への物理的な刺激作用を RF で代替して牧乾草を無給与とすると、肥育前半の飼料の利用性が高まる傾向にあり、枝肉性状に与える影響は少ないが、枝肉脂肪の脂肪酸組成に影響を与えて不飽和脂肪酸の割合を高めることが確認された。また、第一胃の形態、特に第一胃半絨毛の発達は牧乾草給与時と同等であることが分かった。

Table 4-2-1. Feed composition and chemical composition of mixed rations for three periods

Item	Days of fattening					
	Initial-147		148-303		304-final	
	-RF <sup>1)</sup>	+RF <sup>2)</sup>	-RF	+RF	-RF	+RF
	( % )					
Feed composition						
Concentrate <sup>3)</sup>	84.4	85.4	91.9	93.2	93.1	95.2
Alfalfa, cubed	5.2	7.3	2.7	3.4	2.3	2.4
Beetpulp	5.2	7.3	2.7	3.4	2.3	2.4
Hay <sup>4)</sup>	5.2	—	2.7	—	2.3	—
	( % DM )					
Chemical composition						
Crude protein	14.9	15.1	15.1	15.2	15.1	15.2
Crude fat	3.6	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9
NFE	61.9	62.5	63.5	63.9	63.6	64.3
Crude fiber	13.6	12.7	11.8	11.2	11.6	10.8
Crude ash	6.0	6.0	5.8	5.8	5.8	5.8
OCC	64.5	65.2	67.6	68.2	68.0	69.0
OCW	29.5	28.8	26.6	26.0	26.2	25.2

NFE: nitrogen free extract, OCC: organic cellular content, OCW: organic cell wall.

<sup>1)</sup> -RF(Control): a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> +RF(RF treatment): a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>3)</sup> Concentrate was used commercial formula feed for beef cattle.

<sup>4)</sup> Hay chopped at a length of 10 cm was a mixed hay of orchardgrass dominated.

Table 4-2-2. Effects of RF dosing on live weight, weight gain, body measurement and feed utilization at each growing-fattening period

Item	Days of fattening					
	Initial-147		148-303		304-final	
	-RF <sup>1)</sup>	+RF <sup>2)</sup>	-RF	+RF	-RF	+RF
Live weight <sup>3)</sup> , kg						
Initial	263 (15)	264 (21)	416 (19)	420 (21)	615 (13)	622 (28)
Final	416 (19)	420 (21)	615 (13)	622 (28)	752 (27)	754 (47)
Weight gain, kg						
Total gain	153 (26)	156 (26)	199 (21)	203 (12)	136 (14)	131 (37)
Daily gain	1.0 (0.2)	1.1 (0.2)	1.3 (0.1)	1.3 (0.1)	1.0 (0.1)	1.0 (0.4)
Body measurement <sup>3)</sup> , cm						
Withers height	130 (0)	131 (3)	141 (0)	143 (4)	147 (1)	150 (5)
Chest girth	178 (6)	178 (3)	207 (3)	205 (6)	225 (5)	225 (7)
Abdomen girth	205 (4)	211 (3)	239 (5)	242 (9)	263 (5)	264 (8)
Feed intake, kg/head						
Total	991	883	1456	1426	1428	1368
Daily						
Concentrate	5.7	5.1	8.6	8.5	9.5	10.0
Roughage	1.1	0.9	0.7	0.6	0.7	0.5
Feed conversion ratio	6.6 (1.3)	5.8 (1.0)	7.4 (0.8)	7.1 (0.4)	10.6 (1.5)	11.2 (3.9)
Fattening index <sup>4)</sup>	319 (15)	321 (18)	438 (9)	435 (24)	513 (22)	505 (37)

Values are mean for four animals (s.d.).

<sup>1)</sup> -RF(Control): a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> +RF(RF treatment): a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>3)</sup> Live weight and body measurement are results determined at final day in each period.

<sup>4)</sup> (Final body weight/withers height) × 100.

*Table 4-2-3.* Effects of RF dosing on chewing time during eating and rumination of a 6h period after feeding at 9 month of age (average body weight 359kg) in growing-fattening steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Time spent, min/day			
Eating	40.0 ± 10.5	29.0 ± 7.0	NS
Rumination	18.8 ± 7.7	47.0 ± 17.1	P<0.10
Total chewing	58.8 ± 5.1	76.0 ± 13.0	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).



Table 4-2-4. Effects of RF dosing on digestibility and nutrient content at 10 month of age (average body weight 393kg) in growing-fattening steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Digestibility (%)			
Crude protein	76.8 ± 6.6	82.7 ± 3.9	NS
Ether extract	80.4 ± 6.4	85.5 ± 3.0	NS
Nitrogen free extract	89.6 ± 1.5	93.8 ± 1.6	P<0.05
Crude fiber	41.9 ± 15.5	58.2 ± 7.3	NS
Organic cellular content	92.5 ± 1.7	95.5 ± 1.1	P<0.10
Organic cell wall	53.7 ± 9.9	67.5 ± 6.3	NS
Nutrient content (%)			
Total digestible nutrient	68.9 ± 3.7	74.4 ± 2.3	P<0.10
Digestible crude protein	10.0 ± 0.9	10.8 ± 0.5	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-2-5. Effects of RF dosing on concentration and component of volatile fatty acids (VFA) of rumen fluid at slaughter in steers

VFA	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
VFA concentration, mM/L			
Acetic acid	57.9 ± 13.3	56.8 ± 15.7	NS
Propionic acid	55.6 ± 20.6	56.9 ± 19.5	NS
Iso butyric acid	2.2 ± 0.5	0.9 ± 0.4	P<0.05
Butyric acid	57.2 ± 12.2	41.2 ± 13.5	NS
Iso valeric acid	13.5 ± 1.4	7.1 ± 4.4	P<0.10
Valeric acid	9.4 ± 2.4	6.2 ± 4.3	NS
Total	195.6 ± 4.3	169.0 ± 13.2	P<0.05
VFA component, mol%			
Acetic acid	36.8 ± 7.5	39.2 ± 11.6	NS
Propionic acid	28.8 ± 10.8	34.0 ± 13.8	NS
Iso butyric acid	0.9 ± 0.2	0.4 ± 0.2	P<0.05
Butyric acid	24.9 ± 5.1	20.7 ± 4.6	NS
Iso valeric acid	5.1 ± 0.6	3.0 ± 1.7	P<0.10
Valeric acid	3.5 ± 1.0	2.7 ± 1.6	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-2-6. Effects of RF dosing on carcass characteristics in steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Live weight, kg	733.8 ± 25.0	737.5 ± 39.3	NS
Carcass weight <sup>a)</sup> , kg	446.5 ± 26.4	439.5 ± 30.2	NS
Dressing percentage <sup>b)</sup> , %	60.8 ± 2.0	59.6 ± 1.6	NS
Rib eye area, cm <sup>2</sup>	43.5 ± 5.8	41.5 ± 3.4	NS
Rib thickness, cm	6.1 ± 0.5	6.0 ± 0.8	NS
Subcutaneous fat thickness, cm	2.1 ± 0.3	2.7 ± 1.2	NS
Yield score <sup>c)</sup>	69.7 ± 0.9	68.9 ± 1.3	NS
Marbling score <sup>d)</sup>	2.0 ± 0.0	2.3 ± 0.5	NS
Beef color score <sup>e)</sup>	5.0 ± 0.8	3.8 ± 1.0	P<0.10
Firmness grade <sup>f)</sup>	2.0 ± 0.0	2.3 ± 0.5	NS
Fat color score <sup>g)</sup>	2.0 ± 0.0	2.0 ± 0.0	NS
Beef quality grade	2.0 ± 0.0	2.3 ± 0.5	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>a)</sup> Chilled carcass weight.

<sup>b)</sup> Chilled carcass weight / Live weight.

<sup>c)</sup>  $67.37 + (0.130 \times \text{Rib eye area cm}^2) + (0.667 \times \text{Rib thickness cm}) - (0.025 \times \text{Cold left side weight kg}) - (0.896 \times \text{Subcutaneous fat thickness cm})$ .

<sup>d)</sup> Beef Marbling Standard Number, rating from 0 (none) to 12 (most abundant).

<sup>e)</sup> Beef Color Standard Number, rating from 1 (very bright) to 7 (dark).

<sup>f)</sup> Rating from 1 (rough) to 5 (smooth).

<sup>g)</sup> Beef Fat Color Standard Number, rating from 1 (white) to 7 (yellow).

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-2-7. Effects of RF dosing on meat composition of rib eye and rib in steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Meat composition, %			
Rib eye			
Moisture	62.2 ± 3.0	62.9 ± 2.5	NS
Crude fat	15.3 ± 4.3	15.9 ± 2.8	NS
Rib			
Moisture	60.6 ± 2.7	56.1 ± 3.0	P<0.10
Crude fat	20.3 ± 0.9	27.4 ± 4.9	P<0.10

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-2-8. Effects of RF dosing on fatty acid composition of subcutaneous, kidney, rib eye and rib fat in steers

Fatty acid <sup>a)</sup>	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Subcutaneous fat <sup>b)</sup> , %			
C14:0	4.5 ± 0.6	3.5 ± 0.4	P<0.05
C14:1	2.4 ± 0.4	1.9 ± 0.4	NS
C16:0	31.3 ± 2.4	28.1 ± 2.8	NS
C16:1	7.6 ± 1.6	7.8 ± 1.4	NS
C18:0	10.4 ± 1.8	8.7 ± 1.5	NS
C18:1	42.1 ± 3.1	47.1 ± 3.0	P<0.10
C18:2	1.4 ± 0.6	2.0 ± 0.9	NS
C18:3	0.3 ± 0.2	0.8 ± 0.8	NS
USFA	53.8 ± 4.1	59.7 ± 4.6	NS
USFA/SFA	4.4 ± 1.0	5.9 ± 1.4	NS
Kidney fat <sup>b)</sup> , %			
C14:0	4.3 ± 1.0	3.8 ± 0.6	NS
C14:1	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.2	NS
C16:0	30.3 ± 3.2	28.9 ± 1.3	NS
C16:1	2.6 ± 1.1	2.3 ± 0.4	NS
C18:0	22.6 ± 3.8	25.4 ± 2.7	NS
C18:1	37.5 ± 5.5	36.8 ± 2.1	NS
C18:2	2.1 ± 0.9	2.0 ± 0.8	NS
C18:3	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.0	NS
USFA	42.8 ± 6.7	41.8 ± 2.0	NS
USFA/SFA	1.8 ± 0.5	1.6 ± 0.2	NS
Rib eye fat <sup>c)</sup> , %			
C14:0	3.6 ± 0.7	3.3 ± 0.7	NS
C14:1	0.8 ± 0.3	0.8 ± 0.2	NS
C16:0	28.7 ± 3.6	27.8 ± 1.8	NS
C16:1	4.7 ± 0.6	5.3 ± 1.9	NS
C18:0	12.4 ± 0.6	12.1 ± 1.6	NS
C18:1	47.3 ± 5.0	48.6 ± 1.9	NS
C18:2	2.4 ± 0.6	2.0 ± 1.0	NS
C18:3	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.0	NS
USFA	55.3 ± 4.8	56.8 ± 1.8	NS
USFA/SFA	4.0 ± 0.6	4.2 ± 0.4	NS
Rib fat <sup>c)</sup> , %			
C14:0	4.0 ± 0.6	3.0 ± 0.8	P<0.10
C14:1	1.5 ± 0.3	1.1 ± 0.4	NS
C16:0	27.9 ± 1.4	26.1 ± 2.4	NS
C16:1	6.0 ± 1.3	5.0 ± 1.0	NS
C18:0	9.4 ± 0.9	10.3 ± 1.2	NS
C18:1	48.1 ± 1.9	51.9 ± 2.3	P<0.05
C18:2	3.0 ± 1.0	2.6 ± 0.6	NS
C18:3	0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	NS
USFA	58.7 ± 2.4	60.6 ± 2.4	NS
USFA/SFA	5.5 ± 0.7	5.3 ± 0.5	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>a)</sup> Number of carbon atoms : number of double bonds.

<sup>b)</sup> Total lipid.

<sup>c)</sup> Neutral lipid.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

USFA = C18:1+C18:2+C18:3, USFA/SFA = (C18:1+C18:2+C18:3)/C18:0.

Table 4-2-9. Effects of RF dosing on form of rumen in steers

Item	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
Papillary number , per 1cm <sup>2</sup>			
Cranial sac	53.9 ± 10.6	60.8 ± 8.3	NS
Dorsal sac	50.8 ± 5.1	54.6 ± 13.4	NS
Ventral sac	52.3 ± 8.5	56.5 ± 4.2	NS
Caudovertral blind sac	47.9 ± 3.5	54.4 ± 10.1	NS
Papillary length , mm			
Cranial sac	8.3 ± 0.3	7.6 ± 1.2	NS
Dorsal sac	5.6 ± 0.3	6.0 ± 0.2	P<0.10
Ventral sac	7.6 ± 0.1	7.5 ± 1.0	NS
Caudovertral blind sac	7.0 ± 0.6	7.2 ± 1.0	NS
Capacity of rumen , l	125.0 ± 10.0	131.3 ± 23.9	NS
Weight of rumen , kg	13.6 ± 1.1	13.2 ± 1.9	NS

Values are mean ± s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

Table 4-2-10. Effects of RF dosing on papillary number classified by length at cranial, dorsal, ventral and caudoventral blind sac in rumen of steers

Places of examination	Control <sup>1)</sup>	RF treatment <sup>2)</sup>	Difference
<b>Cranial sac</b>			
~ 4.9 (mm)	36.0 <sup>a)</sup> ± 11.1 ( 65.2 ) <sup>b)</sup>	46.8 ± 11.2 ( 75.8 )	NS
5.0 ~ 7.4	8.3 ± 1.1 ( 15.9 )	8.3 ± 2.4 ( 14.0 )	NS
7.5 ~ 9.9	5.8 ± 2.3 ( 10.9 )	3.3 ± 1.8 ( 5.9 )	NS
10.0 ~ 12.4	1.8 ± 0.6 ( 4.0 )	1.6 ± 0.9 ( 3.0 )	NS
12.5 ~ 14.9	1.3 ± 1.1 ( 2.4 )	0.6 ± 0.7 ( 1.0 )	NS
15.0 ~ 17.4	0.4 ± 0.3 ( 0.8 )	0.1 ± 0.2 ( 0.1 )	NS
17.5 ~ 19.9	0.3 ± 0.3 ( 0.5 )	0.1 ± 0.2 ( 0.2 )	NS
20.0 ~ 22.4	0.1 ± 0.2 ( 0.2 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
22.5 ~	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
<b>Dorsal sac</b>			
~ 4.9	47.9 ± 5.6 ( 94.4 )	51.7 ± 13.4 ( 94.8 )	NS
5.0 ~ 7.4	2.7 ± 1.4 ( 5.3 )	2.7 ± 1.6 ( 4.8 )	NS
7.5 ~ 9.9	0.2 ± 0.3 ( 0.3 )	0.3 ± 0.3 ( 0.4 )	NS
10.0 ~ 12.4	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
12.5 ~ 14.9	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
15.0 ~ 17.4	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
17.5 ~ 19.9	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
20.0 ~ 22.4	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
22.5 ~	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
<b>Ventral sac</b>			
~ 4.9	34.3 ± 5.6 ( 65.4 )	40.8 ± 7.8 ( 71.6 )	NS
5.0 ~ 7.4	9.8 ± 2.3 ( 18.7 )	8.7 ± 2.7 ( 15.4 )	NS
7.5 ~ 9.9	5.6 ± 2.8 ( 10.8 )	4.3 ± 3.0 ( 7.9 )	NS
10.0 ~ 12.4	2.2 ± 0.8 ( 4.2 )	1.8 ± 1.6 ( 3.3 )	NS
12.5 ~ 14.9	0.3 ± 0.3 ( 0.6 )	0.5 ± 0.4 ( 1.0 )	NS
15.0 ~ 17.4	0.1 ± 0.2 ( 0.1 )	0.3 ± 0.5 ( 0.6 )	NS
17.5 ~ 19.9	0.1 ± 0.2 ( 0.2 )	0.1 ± 0.2 ( 0.1 )	NS
20.0 ~ 22.4	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
22.5 ~	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
<b>Caudoventral blind sac</b>			
~ 4.9	39.1 ± 4.3 ( 81.0 )	41.8 ± 8.9 ( 76.5 )	NS
5.0 ~ 7.4	6.1 ± 1.5 ( 13.1 )	8.0 ± 2.7 ( 14.5 )	NS
7.5 ~ 9.9	1.9 ± 1.3 ( 4.0 )	2.9 ± 1.5 ( 5.6 )	NS
10.0 ~ 12.4	0.6 ± 0.6 ( 1.4 )	1.2 ± 0.8 ( 2.4 )	NS
12.5 ~ 14.9	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.5 ± 0.6 ( 1.1 )	NS
15.0 ~ 17.4	0.2 ± 0.3 ( 0.3 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
17.5 ~ 19.9	0.1 ± 0.2 ( 0.1 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
20.0 ~ 22.4	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS
22.5 ~	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	0.0 ± 0.0 ( 0.0 )	NS

Values are mean±s.d. for four animals.

<sup>1)</sup> Control: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was not dosed into the rumen.

<sup>2)</sup> RF treatment: a treatment in which mechanical stimulating brush (RF) was dosed into the rumen.

<sup>a)</sup> Number per 1 cm<sup>2</sup>.

<sup>b)</sup> Ratio for total papillary number (%).

NS: not statistically significant ( $P \geq 0.10$ ).

## 要 約

粗飼料がもつ第一胃粘膜への物理的な刺激作用（物理性）を RF で代替し、濃厚飼料多給下で肥育したときの肉牛における飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響について検討した。ホルスタイン種去勢雄牛 8 頭を用い、平均体重が同等となるように 4 頭ずつの 2 群に分け、RF を投与しない対照群（RF 無投与）と投与する群（RF 投与）を設定して肥育試験を実施した。給与飼料は、濃厚飼料として肉牛用配合飼料を、粗飼料としてアルファルファヘイキューブとビートパルプを、RF 無投与にはそれらの他に牧乾草を用いた。全肥育期間の平均増体日量は、RF 無投与 1.10kg、RF 投与 1.13kg であった。飼料要求率は、肥育の前半では RF 投与が、後半では RF 無投与が低い傾向を示し、全肥育期間では RF 無投与 8.0、RF 投与 7.5 であった。枝肉格付において歩留基準値と肉質等級は、処理間に有意差がなかった。筋肉中の粗脂肪含量は、ばらで RF 投与が高い傾向であった。枝肉脂肪の脂肪酸組成のうち、RF 投与の C18:1 脂肪酸が、背脂肪では高い傾向にあり、ばら脂肪では有意に高かった。半絨毛の密度は、全調査部位ともに RF 投与が RF 無投与を上回ったが、処理間に有意差がなかった。5mm 以上の平均半絨毛長は、背囊体で RF 投与が長い傾向にあり、他の部位では同程度の長さであった。以上の結果から、濃厚飼料多給下で牧乾草を給与せず、その物理性を RF で代替して肉牛を肥育すると、肥育前半の飼料の利用性が高まる傾向にあり、枝肉脂肪中の不飽和脂肪酸の割合を高めることが確認され、半絨毛の発達を乾草給与時と同等にすることが分かった。



## 第5章

### 総合考察

反芻動物は繊維性成分を多く含む粗飼料を摂取して最大限の栄養素を消化、吸収できるように長い年月を掛けて進化してきた。ところが、家畜化されて乳、肉の生産が経済活動に組み込まれ、生産量や生産物の質が問題になるにつれて、穀類や副産物飼料といった濃厚飼料の給与量が必然的に増加してきた[岡本 2001]。特に、近年の国内における肉牛の肥育生産では、肉質の向上や肉牛の生産コストの低減が強く求められ、市場での評価の高い、生産効率を重視した肉牛生産に取り組むため、濃厚飼料を多給して稲ワラや低質牧乾草などの粗飼料を制限給与する飼養システムが一般的に行われている。このような飼養システムにおける粗飼料の役割は、濃厚飼料の過給に起因する種々のルーメントラブルを予防することであると思われる。しかしながら、肉牛の肥育生産においては、畜産経営の集約化や規模拡大に伴う多頭化が進行しており、飼料費に占める粗飼料費の上昇や粗飼料の給与作業に要する労力の大幅な増加が、肥育農家の畜産経営を圧迫する要因となりかねない。したがって、第一胃の恒常性を正常に維持させながら、稲ワラや低質牧乾草といった粗剛な粗飼料を極力減らす、もしくは給与しない飼料条件下での新たな飼養システムを確立していくことが必要であると思われる。第一胃刺激用具 (RF) は、繊維質飼料である粗飼料が有する第一胃粘膜に対する物理的刺激機能を代替する目的で開発された用具[高田と飯塚 1992]であり、その利用により穀類や副産物飼料などの濃厚飼料を多給する給与体系を最大限に活用できる可能性を秘めていると思われる。

反芻家畜に対する RF の投与に関する試験研究は、ヒツジでは高橋ら[1995]や松山ら[1999]、肉牛では立山ら[1998]や大木場ら[1998]により取り組まれているが、それらの限られた試験研究から得られた現象だけが報告されているに過ぎず、肉牛における第一胃内の発酵特性や消化・吸収、反芻、枝肉脂肪および第一胃の形態に及ぼす RF の影響については不明な点が多い。

そこで本研究では、RF が有する機能が各種飼料条件下の肉牛の反芻時間や咀嚼時間、成分消化率、第一胃内発酵性状および第一胃内容物の通過速度に及ぼす影響について調査し、また肥育肉牛への RF の投与が飼料の利用性、枝肉性状や枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響について検討し、肥育期の肉牛において、RF を有効に活用する上での現象を捉えながら、さらに、得られた現象を体系的に解析し、その機構を詳細に解明することを目的とした。

肉牛において、投与する RF の個数や大きさについて詳細に検討した報告はない。そのため、まず初めに肉牛に対する適切な RF の投与個数と大きさについて検討した (第1章)。

RF の投与個数を検討するため、1頭当たり 0 (無投与)、1 (RF1)、3 (RF3) および 5 個 (RF5) を投与した各処理を設け、反芻時間と第一胃内 pH について調査し (第1章第1節)、1日当たりの反芻時間と第一胃内 pH の日内変動の結果から、肉牛に対する RF の投与個数は 3 個が適切であると考えられた。次に、投与する RF の大きさについて検討するため、市販の RF (RF・S) の大きさ (容積) を標準とし、その容積の 1.6 倍 (RF・M) および 2.0 倍 (RF・L) の各大きさの RF を 1

頭当たり 3 個投与した処理と無投与の処理を設定し、反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の回転率について調査した（第 1 章第 2 節）。その結果、摂取した乾物および細胞壁構成物質（OCW）1kg 当たりの総咀嚼時間が無投与よりも長くなる傾向が認められ、第一胃内 pH に与える影響が少なく、プロピオン酸型の発酵を示した RF-S が肉牛に利用する RF の大きさとして十分であると思われた。以上のような調査結果から、肉牛に対しては現在市販されている大きさの RF を 3 個投与することにより、第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用が得られ、その機能を活用することが可能であると推察された。

国内における肉牛の肥育では、穀類主体の濃厚飼料過給に起因する種々のルーメントラブルを予防するために稲ワラを給与することが多い[中村 1981]。したがって、稲ワラ給与時の肉牛に RF を投与したときの RF の機能を明らかにすることが必要であると思われた。そこで、飼料中の総繊維（OCW）含量を切断長の異なる稲ワラを給与して 3 段階に設定した飼料条件下（飼料中の OCW 含量が原物換算で 25%、20%および 15%）において、反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の回転率について詳細に調査した（第 2 章）。その結果から、切断の長さに関係なく 0.8kg 以上の稲ワラを給与した場合、反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に対する RF 投与の影響はほとんどないことが明らかとなった。また、一定量以上の稲ワラを給与する飼料条件下においては飼料中の OCW 含量を低くしても RF の第一胃に対する物理的な刺激機能が現れにくいことが示唆された。穀類や食品製造副産物などに比べて乾草やワラ類の咀嚼・反芻時間は、一般に長い[Sudweeks ら 1981]ことが知られている。したがって、第 2 章の試験のような飼料条件下では、飼料由来の第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用が十分に存在していたことが推察され、このような状況下においては RF が有する機能を生かすことができないと考えられた。

一定量以上の稲ワラ給与時における RF の投与試験（第 2 章）の結果を踏まえ、肥育期の肉牛に RF の機能を十分に発揮させるための飼料条件を模索するため、異なる繊維性成分の濃厚飼料を単独給与した飼料条件下を設定し、反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の通過速度に及ぼす RF 投与の影響について検討した（第 3 章）。その結果、1 日当たりの反芻時間は、繊維性成分を調製した濃厚飼料単独給与下では RF の投与により長くなったが、繊維性成分が少ない濃厚飼料を単独給与した飼料条件下では無投与、RF 投与とも 30 分以下と非常に短かった。第一胃内 pH と総揮発性脂肪酸（VFA）濃度については、繊維性成分を調製した濃厚飼料単独給与下では RF の有無により若干の違いが認められたが、繊維性成分が少ない濃厚飼料単独給与下では処理間に違いがなかった。酢酸/プロピオン酸（A/P）比は、各飼料条件下とも RF の投与により低く推移し、プロピオン酸型の発酵が促進されたことが確認された。第一胃内液相の回転率は、飼料条件に関係なく RF の投与により高くなる傾向を示した。

咀嚼・反芻時間は、飼料の種類や形態、飼料の粒度や切断長などにより大きく変化する[Freer と Campling 1965; 大橋と五島 1968; Mertens 1997]ことが知られている。また、粉碎乾草や濃厚飼料の給与時における咀嚼・反芻時間は極端に短くなる[Freer と Campling 1965; Sudweeks ら 1981; 谷口ら 1987]ことが報告されている。一方、反芻過程における第一胃内容物の食塊の吐き戻しは、第一

胃や噴門部付近の粘膜に粗剛な飼料片などの触刺激により誘発される[Balch 1952; Ash と Kay 1959]ことが確認されている。したがって、第3章の試験のように稲ワラや低質牧乾草などの粗剛な粗飼料を給与しない飼料条件下では、RF が有する第一胃粘膜への物理的な刺激作用が十分に機能し、反芻時における食塊の吐き戻しの誘発が促進されることが示唆された。また、吐き戻された食塊中の固形物量の多少や食塊に含まれる固形物の飼料片の大小が反芻時間に大きく影響することが推察された。この点については濃厚飼料に配合する穀類や副産物飼料の種類や形態も含めて検討した各種の飼料条件下での詳細な調査が必要であると思われる。

第一胃内 pH と総 VFA 濃度については、飼料条件の違いにより若干異なる日内変動を示した。これは、濃厚飼料の給与量や濃厚飼料の配合原材料の違いによる要因が大きいのではないかと思われた。第一胃内 VFA の発酵パターンを左右する要因は多数あり、第一胃内 pH もその1つと考えられる。すなわち、粗飼料の割合を高くすると pH は中性付近となり、酢酸の割合が高くなるが、濃厚飼料を多給すると pH は低下し、それに伴ってプロピオン酸や酪酸の割合が高まるといった現象が一般に認められる。同様に第一胃内液相の通過速度も第一胃内 VFA の発酵パターンを変化させる要因と考えられている[Sutton 1979]。Estell と Galvean[1985]は、第一胃内液相の通過速度と第一胃内 VFA 組成との関係を調査し、第一胃内液相の通過速度と、酢酸割合の間に負の相関、プロピオン酸割合の間に正の相関が認められたことを報告している。第3章の試験においても同様な傾向が認められ、第一胃内の発酵が RF の投与によりプロピオン酸型の発酵となった原因の1つに第一胃内容の通過速度の関与が考えられた。Kennedy と Milligan[1978]は、寒冷および暑熱の環境条件下のヒツジにおいて、第一胃内の液相と固相の通過速度の上昇によりプロピオン酸の発酵が促進され、さらにメタン発生量の低減が認められたことを報告し、この3者に密接な関係があることを示唆している。第一胃内におけるメタン生成は、摂取飼料が微生物により分解される過程において発生する代謝性水素を第一胃内から除去する方法として重要な役割を果たしており、また、第一胃内でのプロピオン酸の合成も代謝性水素の処理方法の1つである[安保 1994]ことが知られている。したがって、メタン生成が抑えられるような条件下では、代謝性水素が他の代謝経路において利用されることとなり、その1つとしてプロピオン酸の合成時に利用される[Jonson と Jonson 1995]ことが考えられる。第3章の試験のように濃厚飼料を単独給与した飼料条件下では、RF の投与により第一胃内液相の通過速度が上昇することが確認された。多くのメタン細菌は、プロトゾアの体表面や細胞内に生息している[Vogels ら 1980; Stumm ら 1982]ので、第一胃内液相の通過割合の増加は第三胃へのプロトゾアの流出を増し、第一胃内のメタン細菌を減少させたことが推察される。Takenaka と Itabashi[1995]は、子牛の第一胃からプロトゾアを除去した試験を試み、メタン細菌数の著しい低下とともに、メタン発生量の減少が認められたことを報告している。さらに、Matsuyama ら[2001]は、第一胃フィステル装着去勢雄牛を用い、濃厚飼料を多給した飼料条件下において RF を投与したときのメタン発生量を調査し、1日当たりおよび可消化有機物 1kg 当たりのメタン発生量が RF の投与により低減したことを報告している。他方、水素 (H<sub>2</sub>) を添加した気流下で各種のメタン細菌を培養した試験において、水素の添加によりプロピオン酸の産生が増加したことが報告されている[Van Nevel ら 1974; Henderson 1980]。これら

の報告や第3章の試験結果から、濃厚飼料単独給与下の肉牛において、RFの投与により第一胃内でのプロピオン酸発酵が促進される機構については、第一胃内容の通過速度とメタン生成の密接な関係を通じて推察することができるが、本研究では第一胃から発生するメタンに関しては調査しておらず、この点については今後に残された課題である。

本研究の最終段階として、実際の肉牛肥育時におけるRFの投与の影響を検討するため、長期の肥育試験を濃厚飼料多給下の肉牛において飼料条件を変えて2回実施し、飼料の利用性、枝肉性状や枝肉脂肪性状および第一胃の形態について調査した(第4章)。その結果、繊維性成分を調製した濃厚飼料を多給した同一の飼料条件下では、RFの投与により、飼料の利用性、枝肉性状および第一胃半絨毛の発達に及ぼす影響が少ないこと、枝肉脂肪のC18:1とC18:2の不飽和脂肪酸の割合が高まることが明らかとなった。また、繊維性成分が少ない濃厚飼料および易発酵性粗飼料を給与した飼料条件下にRFを投与した処理とRFの代わりに牧乾草を給与した処理とを比較した肥育試験では、RF投与処理が、肥育前半の飼料の利用性を高める傾向にあること、ばらの粗脂肪含量を高める傾向にあること、枝肉脂肪の不飽和脂肪酸の割合を増加させること、半絨毛の発達を乾草給与時と同等にすることが分かった。

反芻家畜において、第一胃内の容積の大小により飼料の摂取量が制限される[CamplingとBalch 1961; CarrとJacobson 1967; Hidari 1981]ことが知られている。各種の反芻家畜に合成繊維の不消化物質を投与した試験において、飼料の摂取量の減少が観察されている[CarrとJacobson 1967; Welch 1967; Baumontら 1990]。しかしながら、第4章および第2章のような自由摂取に近い飼料給与条件下での試験結果から、RFの投与による飼料摂取量の減少は認められなかった。ウシの第一胃の容積は100~150Lである[津田 1994]。したがって、投与したRF3個が肉牛の第一胃容積に占める割合は極めて小さく、飼料の摂取量に及ぼす影響はほとんどないものと思われた。

本研究に用いたRFの形状とは異なるが、大きさの似たボール状の合成繊維の不消化物質を去勢牛に経口投与し、長期に肥育したときの増体や飼料要求率に及ぼす影響について詳細に調査した試験によると、濃厚飼料のみを給与した処理に比べ、不消化物質の投与により増体が良くなり、飼料要求率の改善が認められたことを報告している[Loerch 1991]。第3章での2つの試験結果から、第4章のような濃厚飼料を多給した飼料条件下では第一胃内のプロピオン酸の発酵割合が高まることが考えられた。プロピオン酸は酢酸や酪酸よりも飼料エネルギーの変換効率が高い[安保 1994]ことが知られている。したがって、稲ワラや低質乾草などの粗飼料を給与せず、濃厚飼料を多給した飼料条件下におけるRFの投与は、肉牛の飼料効率を改善することが期待できると思われた。第4章において、低繊維性成分の濃厚飼料と易発酵性粗飼料の給与下にRFを投与した試験では、肥育前半で飼料効率の改善が認められるものの、肥育後半の飼料効率は改善されなかった。また、繊維性成分を調製した濃厚飼料を多給した飼料条件下においてもRFの有無による増体や飼料要求率への大きな違いは確認できなかった。この原因については第4章の中で記述しているが、消化率や第一胃発酵パターンの影響が大きいのではないかとと思われる。一方では、同一の飼料条件下の去勢雄牛にRFを投与して肥育した試験において、全肥育期間の飼料要求率はRFの投与により改善される傾向であったことが報告され

ており[立山ら 1998; 大木場ら 1998], 肉牛の飼料効率の改善に関する RF の投与の影響については今後とも詳細な検討が必要であると思われる。

第一胃の発達, 特に第一胃粘膜に密生する半絨毛の成長は, 第一胃内における飼料の微生物発酵の形態学的指標となり, その重要性が認められている[Brownlee 1956; 玉手 1956]. 第一胃半絨毛の機能的意義は, 第一胃の表面積を増大して吸収代謝能力を高めることである[玉手 1986]と考えられている。したがって, 第一胃半絨毛の成長を促すことは, 第一胃内で産生される VFA の代謝・吸収能を増加させることになり, 飼料の消化・吸収を高める上で重要であると思われる。第 4 章の同一飼料条件下での長期の肥育試験から, RF の投与が第一胃半絨毛の発達を促進させることはないようだが, RF が有する第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用が半絨毛の発達にマイナスに働くことはないことが明らかになった。肥育去勢牛に対する合成繊維の不消化物質の投与が第一胃半絨毛に与える影響について調査した試験[Loerch 1991]によると, 濃厚飼料 85%とコーンサイレージ 15%を給与した処理および濃厚飼料のみ給与に不消化物質を投与した処理の半絨毛は密度が高く一様の形状であり, 正常に形成していたことが確認されたが, 濃厚飼料単独給与の処理の半絨毛は被毛や飼料の詰まりが観察され, 塊状で不規則な形状であったことが報告されている。同様に Ørskov ら[1979]も合成繊維の不消化物質の第一胃への投与が正常な半絨毛を形成したことを観察している。これらの報告と同じように, 第 4 章での長期の肥育試験において, 低質牧乾草の代替として RF を投与することにより正常な半絨毛の形成が可能となることが確認された。このことは, RF の利用により低質牧乾草や稲ワラなどの粗剛性の強い粗飼料を給与せず, 濃厚飼料や易発酵性粗飼料を組み合わせた飼料条件を模索するための知見として重要であると思われる。

肉牛の肥育において, 発育や飼料効率の改善といった経済的な生産性の追求は必要であろうが, 市場価値の高い良質な牛肉生産への取り組みも同時に重要であると思われる。現在, 国内における枝肉の肉質評価は, 牛枝肉取引規格[日本食肉格付協会 1988]に基づいて行われ, 脂肪交雑, 肉の色沢, 肉の締まりときめ, および脂肪の色沢と質の 4 項目により決定されている。各項目の中でもロース芯の脂肪交雑が最も重要であると考えられている[小堤ら 1985; Cameron ら 1993]. 牛肉の枝肉の格付けと理化学的特性の関連を検討した調査によると, 去勢肥育牛におけるロース芯の粗脂肪含量と脂肪交雑との間には高い正の相関が認められ[小堤ら 1985], ロース芯の脂質中脂肪酸組成と脂肪交雑の間に相関は認められなかったことが報告されている[小堤ら 1985; 田中 1985]. 一方, 牛肉脂質中の脂肪酸組成は食味性と関係があることが知られている[Dryden と Marchello 1970; Westerling と Hedrick 1979; Melton ら 1982]. Westerling と Hedrick[1979]は, 牛肉の食味評価と脂肪酸組成との関連性を検討するためにパネルテストを実施し, 食味評価の 1 つである風味がロース芯脂肪, 皮下脂肪ともに総不飽和脂肪酸の水準, 特に C18:1 脂肪酸との間に正の相関が認められたことを報告している。その他の報告においても同様なことが確認されている[Dryden と Marchello 1970; Melton ら 1982]. 第 4 章での 2 つの肥育試験から, 肉牛への RF の投与は, 筋肉内脂肪や皮下脂肪の C18:1 脂肪酸および総不飽和脂肪酸の割合を高める傾向にあることが確認され, 良い風味の牛肉を生産することが期待できると考えられる。また, 脂肪交雑に及ぼす直接的な RF の投与の影響はないようだが, RF 利用によ

り低質粗飼料を給与しない飼料条件下の肥育では低質粗飼料を給与するときよりも筋肉内の脂肪含量を高める可能性があることが示唆され、脂肪交雑に及ぼす影響も否定できないことが推察された。

以上、本研究の主要な結果をまとめると、RF は、第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用を有する機能が存在し、この機能により、反芻時の食塊の吐き戻しを誘発することが示唆され、また、第一胃内のプロピオン酸型発酵を促進すること、第一胃内液相の回転率を高めることが明らかとなった。さらに、これらの現象が総合的に関連して長期の肥育時では枝肉脂肪の不飽和脂肪酸の割合を高めることが確認された。なお、RF の機能は、飼料条件により大きく左右されることも明らかとなった。

本研究から得られた結果は限られた条件下での調査からのものであり、今後とも RF に関する不明な点を明らかにするための調査研究が必要であろう。さらに、RF の機能を十分に活用できる肉牛の肥育期における飼養システムの検討が必要であり、例えば、食品製造副産物の利用等による完全配合飼料 (TMR) 給与法への RF の活用が考えられる。肥育肉牛における群飼管理での増体成績の均一化、多頭飼育経営の安定化を図る上では TMR 給与法による飼養管理が有効であると思われ、肉牛の肥育期における新たな飼養システムの確立に取り組む 1 つの手法として RF の利用が考えられる。

## 第6章

### 総 括

本研究では、低質乾草や稲ワラといった粗剛性のある粗飼料の第一胃粘膜に対する物理的な刺激作用を代替する目的で開発された第一胃刺激用具（RF）が有する機能を明らかにし、肥育時の肉牛への有効利用を図る上での知見を得るため、以下のような一連の試験を実施した。

#### 1. 投与する RF の個数および大きさについての検討

肉牛において、投与する RF の個数および大きさについて検討した詳細な報告はない。各種飼料条件下での RF の投与試験を実施するに当たり、RF の投与条件（適切な個数と大きさ）を決めておくことが必要である。そこで、肉牛に異なる個数および大きさの RF を投与した試験を行い、得られたデータから RF の適切な投与条件を検討した。

まず、適切な RF の投与個数を検討するため、維持に必要な可消化養分総量（TDN）要求量を給与した肉牛に異なる個数の RF を投与し、反芻時間と第一胃内 pH に及ぼす影響について調査した。RF の投与個数は1頭当たり0（無投与）、1（RF1）、3（RF3）および5個（RF5）として試験を実施した。飼料摂取量は各処理ともほぼ同じであった。1日当たりの反芻時間は無投与に比べ RF を投与したすべての処理が上回り、無投与と RF3 の間のみで統計的に有意差が認められた。第一胃内 pH は飼料給与後に RF1 と RF3 が無投与よりも低く推移したが、給与後 24 時間の調査時では飼料給与前の数値に回復した。以上の結果から、RF は肉牛の第一胃粘膜に対して物理的な刺激物として作用し、反芻を誘発することが推察され、肉牛への投与は3個が適切な投与個数であることが示唆された。

次に、維持に必要な TDN 要求量を給与した肉牛において、異なる大きさの RF の投与が反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の回転率に及ぼす影響について調査し、適切な RF の大きさについて検討した。RF の大きさは、市販の RF（RF-S）の大きさ（容積）を標準とし、その容積の 1.6 倍（RF-M）および 2.0 倍（RF-L）とした。それぞれの大きさの RF を 1 頭当たり 3 個投与して試験を実施した。摂取した乾物および細胞壁構成物質（OCW）1kg 当たりの総咀嚼時間は RF-S が無投与より長くなる傾向が認められ、他の大きさの RF を投与した 2 処理と無投与の間には有意差がなかった。各成分消化率はそれぞれの処理ともほぼ同じであった。第一胃内 pH は午前、午後の調査時とも RF-L が他の処理よりもやや低く推移した。総揮発性脂肪酸（VFA）濃度は、午前では RF-L が飼料給与後 60～120 分の調査時で高く推移し、午後では RF-S と RF-L を投与した処理がすべての調査時で無投与を上回った。酢酸/プロピオン酸（A/P）比は RF-S 投与が午前の飼料給与後 30 分の調査時を除いて無投与と同等もしくは無投与を下回った。第一胃内液相の回転率はいずれの大きさの RF 投与も無投与と比較して有意に高かった。これらの結果から、咀嚼時間を長くする可能性があり、第一胃内 pH に与える影響が少なく、第一胃内の VFA 発酵が良好となり、プロピオン酸型の発酵を示した RF-S が肉牛に利用する RF の大きさとして十分であることが示唆さ

れた。

## 2. 稲ワラ給与による異なる総繊維含量の飼料条件下における RF 投与の検討

国内の肉牛の肥育期では一般に粗飼料として稲ワラの給与が行われている。したがって、稲ワラ給与時での RF の機能を明らかにしておくことが、RF を肉牛に活用していくためには必要である。そこで、切断長の異なる稲ワラを給与し、飼料中の総繊維 (OCW) 含量を変えた飼料条件下の肉牛に RF を投与した試験を実施し、稲ワラ給与時における RF の機能について検討した。

飼料中の OCW 含量を切断長の異なる稲ワラ (30cm と 2cm) を給与して 3 段階に設定した飼料条件下 (飼料中の OCW 含量が原物換算で 25%、20%および 15%) において、増体日量 1.4kg を充足する TDN 要求量を給与した肉牛に RF を投与し、反芻時間、各成分消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の回転率に及ぼす影響について調査し、稲ワラ給与時における RF が有する第一胃への物理的的刺激機能について検討した。1 日当たりの反芻時間および総咀嚼時間は飼料中 OCW 含量や稲ワラの切断長の違いによる各飼料条件下とも、RF の投与による影響がなかった。成分消化率については OCW15%飼料 (短切断稲ワラ) 給与時の可溶無窒素物 (NFE) および細胞内容物質の消化率が RF の投与により低下する傾向であったが、他の飼料条件下では各処理ともほぼ同じであった。第一胃内の発酵性状は各飼料条件下において無投与と RF 投与の処理間に大きな違いが認められなかった。第一胃内液相の回転率および回転時間についても各飼料条件下において RF の投与による影響がなかった。これらの結果から、濃厚飼料多給条件下の肉牛において、切断長に関係なく 0.8kg 以上の稲ワラを給与した場合、反芻時間、消化率、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の回転率に対する RF の投与の影響はほとんどないことが確認され、一定量以上の稲ワラを給与する飼料条件下では飼料中の OCW 含量を低くしても RF の第一胃への物理的的刺激機能は現れにくいことが示唆された。

## 3. 異なる繊維性成分の濃厚飼料単独給与条件下における RF 投与の検討

RF が有する第一胃に対する物理的な刺激作用を確認し、RF の機能を十分に生かすための飼料条件を模索するため、繊維性成分の異なる濃厚飼料のみを給与した飼料条件下の肉牛に RF を投与した試験を実施し、濃厚飼料単独給与下での RF の機能について検討した。

まず初めの試験では、繊維性成分を調製した濃厚飼料 (OCW 含量: 乾物中 27.5%) 単独給与下を設定し、増体日量 1.0kg を充足する TDN 要求量を給与した肉牛における RF の投与が反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の回転率に及ぼす影響について調査した。飼料摂取量は RF 投与が多かった、1 日当たりの反芻時間は RF の投与により長くなった。摂取乾物 1kg 当たりの反芻時間は無投与より RF 投与が長くなった。乾物および NFE の消化率は無投与に比べ RF 投与が低くなる傾向であったが、粗脂肪の消化率は RF 投与が高い傾向となった。栄養価はそれぞれの処理ともほぼ同じであった。総 VFA 濃度は午前の飼料給与後 6~12 時間の調査時において RF 投与が無投与を上回った。それに伴い第一胃内 pH は RF 投与が無投与より低く推移したが、午前の飼料給与前の値には処理間の差がなかった。A/P 比はすべての調査時で RF 投与が無投与を下回った。第一胃内液



相の回転率は RF 投与が高くなる傾向であった。以上の結果から、繊維性成分が調製された濃厚飼料のみを給与した飼料条件下において、RF は第一胃粘膜に対して物理的的刺激物として作用して反芻時の食塊の吐き戻しを誘発することが推察され、1 日当たりの反芻時の咀嚼時間が長くなった。また、RF の投与によりプロピオン酸型の発酵が促進し、第一胃内液相の回転率が高まる傾向を示すことが確認された。

次に、繊維性成分が少ない濃厚飼料 (OCW 含量：乾物中 12.7%) を単独制限給与した飼料条件下において、維持に必要な TDN 要求量の 105%相当量を給与した肉牛の反芻時間、第一胃内の発酵性状および第一胃内液相の回転率に及ぼす RF の投与の影響について調査した。1 日当たりの反芻時間は無投与 15 分、RF 投与 24 分と非常に短かった。反芻が観察されなかった個体は無投与 2 頭、RF 投与 1 頭であった。第一胃内 pH および総 VFA 濃度はそれぞれの処理ともほぼ同じ日内変動を示した。A/P 比は無投与 1.8 ~2.9, RF 投与 1.7~2.3 の範囲であった。第一胃内液相の回転率は RF の投与により高くなった。これらの結果から、繊維性成分が少なく、粗剛性のない濃厚飼料を単独給与した肉牛への RF の投与は、反芻時間に与える影響が少なく、第一胃内液相の回転率を高め、第一胃内のプロピオン酸発酵割合を高める傾向にあることが明らかとなった。

#### 4. 濃厚飼料多給条件下の肥育時における RF 投与の検討

稲ワラ給与時および濃厚飼料単独給与時の試験結果を踏まえ、本研究の最終段階となる肥育時における RF 投与の検討を実施した。肥育試験は飼料条件を変えて 2 試験行い、濃厚飼料多給下における肉牛への RF の投与が飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪性状および第一胃の形態に及ぼす影響について主に検討した。

最初の肥育試験では、繊維性成分を調製した濃厚飼料 (OCW 含量：乾物中 27.5%) 多給条件下の肉牛において、RF の投与が飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃半絨毛に及ぼす影響について調査した。増体および飼料要求率は処理間に有意差がなかった。枝肉格付は歩留基準値、肉質等級とも RF の投与による影響がなかった。枝肉脂肪の脂肪酸組成については、皮下脂肪では C18:2 脂肪酸が RF の投与により高くなった。腎臓周囲脂肪では RF の投与により C18:2 脂肪酸と炭素数 18 の総不飽和脂肪酸が高くなった。ロース芯の筋肉内脂肪では RF 投与の C18:2 脂肪酸が無投与より高かった。ばらの筋肉内脂肪では C18:1 脂肪酸、C18:2 脂肪酸および炭素数 18 の総不飽和脂肪酸が RF の投与により高くなった。第一胃における半絨毛の密度および長さは背前盲嚢、背嚢体、腹嚢体および腹後盲嚢の各部位とも無投与と RF 投与の処理間に大きな違いがなかった。これらの結果から、繊維性成分を調製した濃厚飼料を多給した肥育条件下において、RF を投与すると、飼料の利用性、枝肉性状および第一胃半絨毛の発達に及ぼす影響は少ないが、枝肉脂肪の C18:1 と C18:2 の不飽和脂肪酸の割合が増加することが明らかとなった。

次の肥育試験では、濃厚飼料および易発酵性粗飼料 (アルファルファヘイキューブとビートパルプ) を給与して粗剛性のある牧乾草を給与せず、その粗剛性を RF で代替した肉牛において、飼料の利用性、枝肉性状と枝肉脂肪の脂肪酸組成および第一胃の形態に及ぼす影響について調査し、牧乾草を給

与した RF 無投与の処理と比較した。全肥育期間の平均増体日量は無投与 1.10kg, RF 投与 1.13kg であった。飼料要求率は肥育の前半では RF の投与により低くなる傾向を示し, 全肥育期間では無投与 8.0, RF 投与 7.5 であった。枝肉格付の歩留基準値と肉質等級は処理間に有意差がなかった。枝肉脂肪の脂肪酸組成のうち, RF 投与の C18:1 脂肪酸が背脂肪では高い傾向であった。ばら脂肪においても RF 投与の C18:1 脂肪酸が無投与より高かった。半絨毛の密度は全調査部位で RF 投与が無投与を上回ったが, 処理間に有意差がなかった。5mm 以上の平均半絨毛長は背囊体で RF 投与が長い傾向にあり, 他の部位では同程度の長さであった。これらの結果から, 濃厚飼料多給下で牧乾草を給与せず, その物理性を RF で代替して肉牛を肥育すると, 肥育前半の飼料の利用性が高まる傾向にあり, 枝肉脂肪中の不飽和脂肪酸の割合を高めることが確認され, 半絨毛の発達を牧乾草給与時と同等にすることが分かった。

以上のような一連の試験結果を総合すると, RF が有する第一胃に対する物理的な刺激作用は, 穀類主体の濃厚飼料を多給した飼料条件下において十分に機能することが明らかとなり, この RF の機能により, 反芻時間が長くなることや第一胃内液相の通過速度が速まることが判明した。さらに, RF の機能は第一胃内の発酵や枝肉脂肪の脂肪酸組成に影響を及ぼし, 第一胃内のプロピオン酸の発酵を高め, 枝肉脂肪を不飽和化することが確認された。

## Summary

The purpose of this study is to clarify the effect of the function of mechanical stimulating brush (Rumen faibu: RF) on rumination and chewing time, apparent digestibility, ruminal fermentation status and ruminal passage rate of rumen contents in beef cattle under dietary condition variously and to examine the effect of ruminal dosing RF on utilization of ration, dressed carcass characteristics, fatty acid composition of dressed carcass fat and form of rumen in growing-fattening beef cattle. This experiment was carried out in order to obtain knowledge for effectively utilizing RF in growing-fattening beef cattle.

### 1. The study on number and size of dosing RF

In this experiment (1-1), rumination time and ruminal pH were investigated in order to examine the appropriate dosing number of RF in steers. Animals were dosed one (RF1), three (RF3) and five RF (RF5) per head through the rumen fistulae (RF treatment) and not dosed (control). The feed intake per day was equal in all treatments. The rumination time per day for the animals in RF treatment surpassed that in control, and there was statistically significance between control and RF3. The ruminal pH for the animals in RF1 and RF3 changed lower than that in control, but the pH recovered the value before feeding at 24 h after feeding. From the above result, it is supposed that RF affected for the mucosa in the rumen as a physical stimulus, and that RF dosing may increase the rumination. It is suggested that the appropriate dosing number was three.

In this experiment (1-2), rumination time, digestibility, ruminal fermentation and ruminal passage rate were investigated in order to examine the appropriate dosing size of RF in steers. The size of RF made the size (volume) of RF (RF-S) of the marketing to be a standard, and it was made to be 1.6 times (RF-M) and 2.0 times (RF-L) of the volume. Animals were dosed three RF of each size per head through the rumen fistulae (RF treatment) and not dosed (control). The chewing time per dry matter (DM) and organic cell wall (OCW) intake for animals in RF-S tended to be longer than those in control. Each apparent digestibility was equal in all treatments. The ruminal pH in RF-L was lower than that in other three treatments after morning and evening feeding. The ruminal volatile fatty acid (VFA) concentration in RF-L was higher than that in control for 60 to 120 min after morning feeding, and that in RF-S and RF-L was higher compared with control throughout the sampling period after evening feeding. The ratio of acetic acid to propionic acid (A/P ratio) for animals dosed RF-S tended to be lower than that in control

animals except for 30 min after morning feeding. Turnover rate of ruminal fluid in RF-S, RF-M and RF-L was higher compared with control. From the above results, it is suggested that the appropriate dosing size was RF-S.

2. The study on RF dosing under the dietary condition of the different OCW contents by rice straw feeding

The objectives of this experiment (2-1 and 2-2) were to determine the effect of RF dosing in the rumen on rumination time, feed digestibility, ruminal fermentation status and passage rate of rumen fluid in steers fed concentrate and rice straw. Experimental animals were orally dosed three RF per head (RF treatment) and not dosed (control). The OCW content of feeding diets was 25, 20 and 15% as fed basis. The rice straw was cut off at 30cm (long) and 2cm (short). All animals were fed enough to gain 1.4kg per day in body weight with concentrate and rice straw. The rumination time and total chewing time per day were not affected by RF dosing regardless of the difference of OCW content in diets and cutting length of rice straw. The digestibility of nitrogen free extract (NFE) and OCW in RF treatment tended to be lower than those in control in OCW 15% diets feeding. The rumen fermentation status was not large difference between control and RF treatment in OCW 25, 20 and 15% diets feeding. The turnover rate of rumen fluid was unaffected by RF dosing in each feeding condition. From the above results, it was suggested that the physical stimulation of RF for the rumen did not functionate under feeding condition that supplies rice straw over 0.8kg.

3. The study on RF dosing under the condition that supplied only concentrate diet of different fibrous components

This experiment (3-1) was undertaken to determine the effect of ruminal dosing of RF on rumination time, apparent digestibility, rumen fermentation status and ruminal passage rate in steers fed a high fibrous concentration diet. The experimental animals were orally dosed three RF per head as a RF treatment, and the non-dosing was made as a control. Concentrate was fed to the animals as a sole diet; and was fed to suffice 1.0 kg daily gain. The OCW content of concentrate diet was 27.5% of DM. The feed intake per day was greater for RF treatment than for control. The rumination time per day and per DM intake for animals in RF treatment was longer than that in control. Digestibility of DM and NFE tended to be lower, but that of crude fat tended to be higher by RF dosing. Total digestible nutrient and digestible crude protein were equal in both treatments. The ruminal VFA concentration was greater for RF treatment than control for 6 to 12 hrs post morning feeding. With the fact, the ruminal pH for animals in RF treatment tended to be lower than that in control, but the pH value before morning feeding was not differed statistically between RF treatment and control. The A/P ratio for animals dosed RF was lower than that in control throughout the sampling period. The turnover rate of ruminal fluid in RF

treatment tended to be higher compared with control. From the above results, it is supposed that RF affected for the mucosa in the rumen as a physical stimulus in steers fed a high fiber concentrate diet. It is suggested that there was the possibility to lengthen mastication time in the rumination per day by the induction of the regurgitation of a bolus in the rumination, and that fermentation of propionic acid is intensified, and that ruminal passage rate tend to be increased by RF dosing

This experiment (3-2) was conducted to determine the effect of ruminal dosing of RF on rumination time, rumen fermentation status and ruminal passage rate in steers fed a low fibrous concentrate diet at maintenance level. Animals were dosed three RF per head through the rumen fistulae (RF treatment) and not dosed (control). The OCW content of the concentrate diet was 12.7% of DM. Daily time spent on rumination was very short in both treatments with 24 min in RF treatment and 15 min in control. There were no differences in ruminal pH and total VFA concentration between RF treatment and control. Acetic and butyric acid concentrations were not different between the both treatments. Propionic acid concentration tended to be higher in the animals on RF treatment than in control animals. The turnover rate of ruminal fluid in RF treatment was higher than that in control. From the above results, it is suggested that the RF dosing in steers fed a low fibrous concentration did not affect the rumination time, but increased rumen digesta passage rate and ruminal propionic acid production.

#### 4. The study on RF dosing in growing-fattening beef cattle fed with high concentrate diets

This growing-fattening experiment (4-1) was undertaken to examine the effect of ruminal dosing of RF for the mucosa in the rumen on feed utilization, dressed carcass characteristics, fatty acid composition of dressed carcass fat and papilla of rumen in steers fed high concentrate diets. Animals were orally dosed three RF per head as RF treatment and other animals without RF was allotted as control. Grass hay was fed to the animals (0.2 kg/head/day) until 19 month of age. Concentrate diet was given *ad libitum* during this experiment. The OCW content of concentrate diet was 27.5% of DM. There were no statistical differences to be observed between control and RF treatment in feed utilization, yield score and meat quality score of dressed carcass characteristics. In fatty acid composition of dressed carcass fat, the proportion of C18:2 fatty acid of subcutaneous fat in RF treatment was higher than that in control. C16:0 fatty acid of kidney fat was decreased, and C18:2 fatty acid and total unsaturated fatty acids of eighteen carbon number of kidney fat were increased by RF dosing. C18:2 fatty acid of rib eye fat for animals dosed RF was higher compared with control. C18:1 fatty acid, C18:2 fatty acid and total unsaturated fatty acids of eighteen carbon number of rib fat in RF treatment were higher than those in control. There was not large difference on papillary density and length of cranial, dorsal,

ventral and caudoventral blind sac between control and RF treatment. These results suggests that the effect of RF on feed utilization, dressed carcass characteristics and papillary growth of rumen is insignificant, but the proportion of unsaturated fatty acid of carcass fat is increased by the ruminal dosing of RF in growing-fattening steers fed high concentrate diets.

This growing-fattening experiment (4-2) was carried out to examine the effect of ruminal dosing of RF substituted for physical function of roughage on feed utilization, dressed carcass characteristics, fatty acid composition of carcass fat and papilla of rumen in steers fed concentrate and comparatively fermentative roughage (alfalfa-cubed and beet pulp), while it was compared with the feeding of grass hay (control). Daily gain in total growing-fattening period was 1.10kg in control and 1.13kg in RF treatment. Feed conversion ratio tended to be higher in RF treatment in early growing-fattening. Feed conversion ratio in total fattening period was 8.0 in control and 7.5 in RF treatment. There was no difference between both treatments in yield score and meat quality score of dressed carcass characteristics. In fatty acid composition of carcass fat, the proportion of C18:1 fatty acid of subcutaneous fat and rib fat was significantly higher in RF treatment compared with control. Papillary density of cranial, dorsal, ventral and caudoventral blind sac was not difference between both treatments. Papillary length of dorsal sac tended to be longer in RF treatment. These results suggest that feed utilization tends to heighten in early growing-fattening, unsaturation of fatty acid in carcass fat is accelerated by RF dosing in steers fed concentrate and comparatively fermentative roughage, and it is indicated that papillary growth of rumen is similar to steers fed with hay.

In conclusion, it became clear that the physical stimulation for the rumen of RF sufficiently functioned under high concentrate feeding condition. By the function of RF, the following were proven: it would induce the regurgitation of a bolus in the rumination and the passage rate of rumen fluid heightens. In addition, it was suggested that the function of RF affects ruminal fermentation and fatty acid composition of dressed carcass fat, and it was indicated that propionic acid production in the rumen is increased and that dressed carcass fat is desaturated by RF dosing in steers.

## 謝 辞

本研究を遂行するに当たって、山形大学農学部生物生産学科教授高橋敏能博士には、終始懇切丁寧なご指導と論文のご校閲をいただき、山形大学農学部附属農場教授萱場猛夫博士には、本研究に有益なご助言をいただいた。

また、帯広畜産大学畜産学部畜産科学科教授左久博士、同大学同学科教授岡本明治博士および岩手大学農学部農業生命科学科助教授佐野宏明博士には論文のご校閲をしていただいた。

名和産業株式会社の高田保之氏には、本研究を行うに当たり、RF の提供にご配慮を賜り、RF 使用についての有益なご助言と多大なご協力をいただいた。

飼養試験および分析実験の実施に当たっては、山形大学農学部生物生産学科動物生産学研究室専攻学生ならびに同大学同学部附属農場の諸氏に多大なご協力をいただいた。

ここに記して、各位に深謝の意を表す。

## 引用文献

- 1) 安保佳一. 新乳牛の科学 (津田恒之・柴田章夫 編). 第1版. pp.335-342. 農文協. 東京. 1987.
- 2) 安保佳一. 牛のゲップは地球環境を破壊するかーその消化・栄養の仕組みから考えるー. 日本畜産学会東北支部会報, 43: 104-112. 1994.
- 3) Ash RW, Kay RNB. Stimulation and inhibition of reticulum contractions, rumination and parotid secretion from the forestomach of conscious sheep. *Journal of Physiology*, 149: 43-57. 1959.
- 4) Bailey CB, Balch CC. Saliva secretion and its relation to feeding in cattle. 1. The composition and rate of secretion of parotid saliva in a small steer. *British Journal of Nutrition*, 15: 371-382. 1961.
- 5) Balch CC. Factors affecting the utilization of food by dairy cows. 6. The rate of contraction of the reticulum. *British Journal of Nutrition*, 6: 366-375. 1952.
- 6) Balch CC. Proposal to use time spent chewing as an index of the extent to which diets for ruminants possess the physical property of fibrousness characteristic of roughages. *British Journal of Nutrition*, 26: 383-392. 1971.
- 7) Baldwin RL, Allison MJ. Rumen metabolism. *Journal of Animal Science*, 57(Supplement 2): 461-477. 1983.
- 8) Baumont R, Halbert CH, Ruckebusch Y. Mechanical stimulation of rumen fill and alimentary behaviour in sheep. *British Society of Animal Production*, 50: 123-128. 1990.
- 9) Barker SB, Summerson WH. The colorimetric determination of lactic acid in biological material. *Journal of Biological Chemistry*, 138: 535-554. 1941.
- 10) Beauchemin KA, McAllister TA, Dong Y, Farr BI, Cheng K-J. Effects of mastication on digestion of whole cereal grains by cattle. *Journal of Animal Science*, 72: 236-246. 1994.
- 11) Boling JA, Kowalczyk T, Hauser ER. Short-term voluntary feed intake and rumen volatile fatty acids of steers fed diets diluted with polyethylene particles. *Journal of Animal Science*, 28: 84-89. 1969.
- 12) Brownlee A. The development of rumen papillae in cattle fed on different diets. *The British Veterinary Journal*, 112: 369-375. 1956.
- 13) Cameron PJ, Lunt DK, Smith SB. Carcass characteristics of Angus steers fed to Japanese market standards. *Meat Science*, 33: 385-390. 1993.
- 14) Campling RC, Balch CC. Factors affecting the voluntary intake of food by cows. 1. Preliminary observations on the effect, on the voluntary intake of hay, of changes in the amount of the reticulo-ruminal contents. *British Journal of Nutrition*, 15: 523-530. 1961.
- 15) Carr SB, Jacobson DR. Intraruminal addition of mass or removal of rumen contents on



- voluntary intake of the bovine. *Journal of Dairy Science*, 50: 1814-1818. 1967.
- 16) 千葉寿夫. 輸入粗飼料に対抗した自給飼料の生産と利用. 東北草地研究会誌, 15: 31-37. 2002.
  - 17) Colucci PE, Chase LE, Van Soest PJ. Feed intake, apparent diet digestibility, and rate of particulate passage in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 65: 1445-1456. 1982.
  - 18) Conway CL. Microdiffusion analysis and volumetric error. Lockwood and Son Ltd. London. 1950.
  - 19) Dryden FD, Marchello JA. Influence of total lipid and fatty acid composition upon the palatability of three bovine muscles. *Journal of Animal Science*, 31: 36-41. 1970.
  - 20) Erdman RA. Dietary buffering requirements of the lactating dairy cow: A review. *Journal of Dairy Science*, 71: 3246-3266. 1988.
  - 21) Estell II RE, Galyean ML. Relationship of rumen fluid dilution rate to rumen fermentation and dietary characteristics of beef steers. *Journal of Animal Science*, 60: 1061-1071. 1985.
  - 22) Flatt WP, Warner RG, Loosli JK. Influence of purified materials on the development of the ruminant stomach. *Journal of Dairy Science*, 41: 1593-1600. 1958.
  - 23) Freer M, Campling RC. Factors affecting the voluntary intake of food by cows 7. The behaviour and reticular motility of cows given diets of hay, dried grass, concentrates and ground, pelleted hay. *British Journal of Nutrition*, 19: 195-207. 1965.
  - 24) Folch J, Lees M, Sloane Stanley GH. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *Journal of Biological Chemistry*, 226:497-509. 1957.
  - 25) Gordon JG. The relationship between rumination and the amount of roughage eaten by sheep. *Journal of Agricultural Science*. 64: 151-155. 1965.
  - 26) Henderson C. The influence of extracellular hydrogen on the metabolism of *Bacteroides ruminicola*, *Anaerovibrio lipolytica* and *Selenomonas ruminantium*. *Journal of General Microbiology*, 119: 485-491. 1980.
  - 27) Hidari H. The relationships between rumen load and diurnal eating pattern of sheep fed in various time of access to feed. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 52: 219-226. 1981.
  - 28) Homma H. Ruminant liquid turnover rate and saliva flow in buffaloes and Holstein cattle. *Animal Science and Technology*, 65: 239-243. 1994.
  - 29) 堀井 聰・倉田陽平・林弥太郎・田辺 忍. 動物栄養試験法 (森本 宏 監修). 第1版. pp.280-310. 養賢堂. 東京. 1971.
  - 30) 星野貞夫. 牛の鼓脹症と反芻胃内性状. 日本畜産学会報, 54: 153-164. 1983.
  - 31) 星野貞夫. ルーメンの世界—微生物生態と代謝機能— (神立 誠・須藤恒二 監修). 第2版. pp.30-42. pp.612-627. 農山漁村文化協会. 東京. 1994.
  - 32) Huerta-Leidenz NO, Cross HR, Lunt DK, Pelton LS, Savell JW, Smith SB. Growth, carcass

- traits, and fatty acid profiles of adipose tissues from steers fed whole cottonseed. *Journal of Animal Science*, 69: 3665-3672. 1991.
- 33) 石居 進. 生物統計学入門. 第 27 版. pp.74-211. 培風館. 東京. 1999.
- 34) 板橋久雄. ルーメンの世界—微生物生態と代謝機能— (神立 誠・須藤恒二 監修). 第 2 版. pp.407-429. 農山漁村文化協会. 東京. 1994.
- 35) 伊藤 良・有原圭三・近藤 洋. ホルスタイン種去勢牛の枝肉格付における肉質評価と筋肉脂質の脂肪酸組成との関連性. 日本畜産学会報, 65: 368-375. 1994.
- 36) Jenkins TC. Lipid metabolism in the rumen. *Journal of Dairy Science*, 76: 3851-3863. 1993.
- 37) Jonson KA, Jonson DE. Methane emissions from cattle. *Journal of Animal Science*, 73: 2483-2492. 1995.
- 38) Kajikawa H, Odai M, Saitoh M, Takahashi T, Tano R, Abe H, Abe A. Effects of sugar-beet pulp on ruminal and lactation performances of cows having different rumen fermentation patterns. *Animal Feed Science and Technology*, 31: 91-104. 1990.
- 39) Kemp JD, Mahyuddin M, Ely DG, Fox JD, Moody WG. Effect of feeding systems, slaughter weight and sex on organoleptic properties, and fatty acid composition of lamb. *Journal of Animal Science*, 51: 321-330. 1981.
- 40) Kennedy PM, Milligan LP. Effects of cold exposure on digestion, microbial synthesis and nitrogen transformation in sheep. *British Journal of Nutrition*, 39: 105-117. 1978.
- 41) Kennedy PM. Effect of rumination on reduction of particle size of rumen digesta by cattle. *Australian Journal of Agricultural Research*, 36: 819-828. 1985.
- 42) 木村信熙・木村聖二・小迫孝実・井村 毅. 黒毛和種去勢牛の肥育後期における粗飼料給与水準が枝肉性状および枝肉脂肪の脂肪酸組成に及ぼす影響. 日本畜産学会報, 67: 554-560. 1996.
- 43) 古賀照章・阿部 亮. アミラーゼ・プロテアーゼ混合酵素による細胞壁物質の定量及び牧乾草・牧草サイレージの TDN 含量推定法の検討. 日本草地学会誌, 40: 8-15. 1994.
- 44) Kromann RP, Clemens ET, Ray EE. Digestible, metabolizable and net energy values of corn grain and dehydrated alfalfa in sheep. *Journal of Animal Science*, 41: 1752-1758. 1975.
- 45) Latham MJ, Sharpe ME, Sutton JD. The microbial flora of the rumen of cows fed hay and high cereal rations and its relationship to the rumen fermentation. *Journal of Applied Bacteriology*, 34: 425-434. 1971.
- 46) Leek BF. Digestion in the ruminants stomach. In: Swenson MJ and Reece WO (eds.), *Dukes' Physiology of domestic animals*, 11th ed, pp.387-416. Comstock Publishing Associates, Ithaca, New York. 1993.
- 47) Loerch SC. Efficacy of plastic pot scrubbers as a replacement for roughage in high-concentrate cattle diets. *Journal of Animal Science*, 69: 2321-2328. 1991.

- 48) Luginbuhl J-M, Pond KR, Burns JC, Russ JC. Eating and ruminating behavior of steers fed coastal bermudagrass hay at four levels. *Journal of Animal Science*, 67: 3410-3418.1989.
- 49) 松山裕城・堀口健一・高橋敏能・萱場猛夫. 反芻動物における繊維質飼料の物理的機能代替用具の効果 9. メン羊における異なる大きさの RF 投与が消化率と第一胃 VFA 組成に及ぼす影響. 日本畜産学会第 95 回大会講演要旨: 28. 1999.
- 50) Matsuyama H, Horiguchi K, Takahashi T, Kayaba T. Control of methane emission from rumen by ruminal dosing of mechanical stimulating brush in Holstein steer fed high concentrate. The 1st international conference on greenhouse gases and animal agriculture (GGAA2001). 321-324. 2001.
- 51) Mcleay LM, Kokich DC, Hockey H-U. Motility of the neticlum and rumen of sheep given juice-extracted pasture. *British Journal of Nutrition*, 47: 79-85. 1982.
- 52) Melton SL, Amiri M, Davis GW, Backus WR. Flavor and chemical characteristics of ground beef from grass-, forage-grain- and grain-finished steers. *Journal of Animal Science*, 55: 77-87. 1982.
- 53) Mertens DR. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 80: 1463-1481. 1997.
- 54) Mitchell HH, Hamilton TS, Haines WT. The utilization by calves of energy in rations containing different percentages of protein and in glucose supplements. *Journal of Agricultural Research*. 61: 847-864. 1940.
- 55) 宗形光蔵. 肥育牛の尿石症. 家畜生化学研究会報, 8: 13-26. 1976.
- 56) 中村亮八郎. 新飼料学 下. 第 1 版. pp.106-123. チクサン出版社. 東京. 1981.
- 57) Nagaraja TG, Chengappa MM. Liver abscesses in feedlot cattle: A review. *Journal of Animal Science*, 76: 287-298. 1998.
- 58) 中井博康・池田敏雄・安藤四郎・小堤恭平・田村久子・荒牧秀俊. 市場牛肉質性状の実態調査. 畜産試験場年次報告, 25: 151-162. 1987.
- 59) Naruse M, Kajikawa H, Morita H, Hashiba K, Maruyama S, Morimoto H, Miura Y, Fujita K, Fuke T, Amari M, Masaki S, Ozutsumi K, Abe A. Relationships of dietary and ruminal characteristics to carcass traits in wagyu steers. *Animal Science and Technology*, 67: 146-152. 1996.
- 60) 日本食肉格付協会. 新しい牛枝肉取引規格. 日本食肉格付協会. 東京. 1988.
- 61) 農林統計協会. 図説 食糧・農業・農村白書. 農林統計協会. 東京. 2001.
- 62) 農林水産省農林水産技術会議事務局. 日本標準飼料成分表 (1995 年版). 中央畜産会. 東京. 1995.
- 63) 農林水産省農林水産技術会議事務局. 日本飼養標準・肉用牛 (1995 年版). 中央畜産会. 東京.

- 1995.
- 64) Obara Y, Motoi Y, Kikuchi F. Diurnal changes in rumen fermentation and blood properties in Holstein steers fed a concentrate mixture for fattening and rolled barley. *Animal Science and Technology*, 65: 217-225. 1994.
- 65) 岡本全弘. 反芻行動とその消化生理学的意義に関する研究. 北海道立農業試験場報告, 30 号. 1979a.
- 66) 岡本全弘. 乾草の粉碎や細切がめん羊の反芻行動に及ぼす影響. 新得畜産試験場研究報告, 10: 37-40. 1979b.
- 67) 岡本全弘. めん羊の乾草摂取量と反芻行動との関係. 新得畜産試験場研究報告, 10: 41-43. 1979c.
- 68) 岡本全弘. 反芻家畜における粗飼料の物理的消化に関する研究. 日本畜産学会報, 62: 717-725. 1991.
- 69) 岡本全弘. 動物の栄養 (唐沢 豊 編). 第 1 版. pp.203-226. 文永堂出版. 東京. 2001.
- 70) Okine EK, Mathison GW, Hardin RT. Effects of changes in frequency of reticular contractions on fluid and particulate passage rates in cattle. *Journal of Animal Science*, 67: 3388-3396. 1989.
- 71) Oltjen RR, Sirny RJ, Tillman AD. Purified diet studies with sheep. *Journal of Animal Science*, 21: 277-283. 1962.
- 72) Oltjen RR, Kozak AS, Putnam PA, Lehmann RP. Metabolism, plasma amino acid and salivary studies with steers fed corn, wheat, barley and milo all-concentrate rations. *Journal of Animal Science*, 26: 1415-1420. 1967.
- 73) 大橋 淳・五島 孝. 乳牛反芻現象の機械的記録. 日本畜産学会報, 39: 386-388. 1968.
- 74) 大木場格・黒木 博・仁田脇一義. 第 1 胃刺激物が黒毛和種去勢牛の肥育に及ぼす影響 (第 2 報). 宮崎県畜産試験場試験研究報告, 11: 16-21. 1998.
- 75) Ørskov ER, Grubb DA, Wenham G, Corrigan W. The sustenance of growing and fattening ruminants by intragastric infusion of volatile fatty acid and protein. *British Journal of Nutrition*, 41: 553-558. 1979.
- 76) 小堤恭平・安藤四郎・池田敏雄・中井博康・千国幸一. 市場牛肉の格付等級と理化学的特性について. 日本畜産学会報, 56: 1-6. 1985.
- 77) Pearce GR, Moir RJ. Rumination in sheep. I. The influence of rumination and grinding upon the passage and digestion of food. *Australian Journal of Agricultural Research*, 15: 635-644. 1964.
- 78) Poutiainen E. The proportion of saliva in the fluid flowing through the reticulo-rumen of the cow. *Annales Agriculturae Fenniae*, 5: 342-344. 1966.
- 79) Reiser R. Hydrogenation of polyunsaturated fatty acids by the ruminant. *Federation*

- Proceedings*, 10: 236. 1951.
- 80) Sakata T, Tamate H. Rumen epithelial cell proliferation accelerated by rapid increase in intraruminal butyrate. *Journal of Dairy Science*, 61: 1109-1113. 1978a.
  - 81) Sakata T, Tamate H. Influence of butyrate on the microscopic structure of ruminal mucosa in adult sheep. *Japanese Journal of Zootechnical Science*, 49: 687-696. 1978b.
  - 82) Sander EG, Warner RG, Harrison HN, Loosli JK. The stimulatory effect of sodium butyrate and sodium propionate on the development of rumen mucosa in the young calf. *Journal of Dairy Science*, 42: 1600-1605. 1959.
  - 83) 佐々木康之. 乳牛の科学 (梅津元昌 編). 第17版. pp.79-89. 農山漁村文化協会. 東京. 1986.
  - 84) Sissons JW, Thurston SM, Smith RH. Reticular myoelectric activity and turnover of rumen digesta in the growing steer. *Canadian Journal of Animal Science*, 64 (Supplement): 70-71. 1984.
  - 85) Stumm CK, Gijzen HJ, Vogels GD. Association of methanogenic bacteria with ovine rumen ciliates. *British Journal of Nutrition*, 47: 95-99. 1982.
  - 86) Sudweeks EM, Ely LO, Sisk LR. Effect of intake on chewing activity of steers. *Journal of Dairy Science*, 63: 152-154. 1980.
  - 87) Sudweeks EM, Ely LO, Mertens DR, Sisk LR. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: Roughage value index system. *Journal of Animal Science*, 53: 1406-1411. 1981.
  - 88) Sutton JD. Carbohydrate fermentation in the rumen—variations on a theme. *Proceedings of Nutrition Society*, 38: 275-281. 1979
  - 89) 高田保之・飯塚三喜. 繊維質飼料の物理的機能代替用具の開発とそれによる肉牛飼養試験. 畜産の研究, 46: 1011-1017. 1992.
  - 90) 高橋敏能・熊坂 克・鈴木 剛・加納昌彦・萱場猛夫. 反芻動物における繊維質飼料の物理的機能代替用具の効果 1. 濃厚飼料多給メン羊における栄養価と第一胃内液性状に及ぼす影響. 日本畜産学会第90回大会講演要旨: 88. 1995.
  - 91) 高橋敏能・太田三郎. 濃厚飼料と粗飼料の給与割合およびVFA 塩添加給与がメン羊の肥育と体脂肪脂肪酸組成に与える影響. 日本畜産学会報, 56: 711-719. 1985.
  - 92) Takahashi T, Kayaba T. Effect of propionate supplement on the fatty acid composition of adipose tissue in sheep fed with high concentrate ration. *Animal Science and Technology*, 64: 813-815. 1993.
  - 93) Takenaka A, Itabashi H. Changes in the population of some functional groups of rumen bacteria including methanogenic bacteria by changing the rumen ciliates in calves. *Journal of General Applied Microbiology*, 41: 377-387. 1995.
  - 94) Tamate H, McGilliard AD, Jacobson NL, Getty R. Effect of various dietaries on the

- anatomical development of the stomach in the calf. *Journal of Dairy Science*, 45: 408-420. 1962.
- 95) 玉手英夫. 羊および山羊の第一胃粘膜の突起の形態. *科学*, 26: 311-312. 1956.
  - 96) 玉手英夫. 乳牛の科学 (梅津元昌 編). 第 17 版. pp.35-56. 農山漁村文化協会. 東京. 1986.
  - 97) 田中彰治. 肉用牛の蓄積脂肪並びに筋肉脂質に関する化学的研究 第 5 報 蓄積脂肪の分布及び脂肪組織の脂肪酸組成と産肉形質との関係. *酪農科学・食品の研究*, 34: A149-159. 1985.
  - 98) 田中彰治・板橋久雄. 肉用牛の蓄積脂肪並びに筋肉脂質に関する化学的研究 第 6 報 蓄積脂肪の脂肪酸組成に及ぼす VFA 塩添加給与の影響. *酪農科学・食品の研究*, 35: A151-160. 1986.
  - 99) 谷口幸三・山谷洋二・大谷 勲. 繊維性物質の第一胃内投与による反芻刺激効果とミネラル代謝. *日本畜産学会報*, 58: 28-35. 1987.
  - 100) 立山松男・近藤政美・大木場格・黒木 博・仁田脇一義・伊東重雄. 第 1 胃刺激物が黒毛和種去勢牛の肥育に及ぼす影響 (第 1 報). *宮崎県畜産試験場試験研究報告*, 10: 19-24. 1998.
  - 101) 津田恒之. *家畜生理学*. 第 1 版. pp.160-161. 養賢堂. 東京. 1994.
  - 102) 梅津元昌. 乳牛の科学 (梅津元昌 編). 第 17 版. pp.19-33. 農山漁村文化協会. 東京. 1986.
  - 103) Van Nevel CJ, Prins RA, Demeyer DI. On the inverse relationship between methane and propionate in the rumen. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde*, 33: 121-125. 1974.
  - 104) Vogels GD, Hoppe WF, Stumm CK. Association of methanogenic bacteria with rumen ciliates. *Applied and Environmental Microbiology*, 40: 608-612. 1980.
  - 105) Waghorn GC, Reid CSW. Rumen motility in sheep and cattle given different diets. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 26: 289-295. 1983.
  - 106) Waldman RC, Suess GG, Brungardt VH. Fatty acids of certain bovine tissue and their association with growth, carcass and palatability traits. *Journal of Animal Science*, 27: 632-635. 1968.
  - 107) Welch JG. Appetite control in sheep by indigestible fibers. *Journal of Animal Science*, 26: 849-854. 1967.
  - 108) Welch JG, Smith AM. Effect of varying amounts of forage intake on rumination. *Journal of Animal Science*, 28: 827-830. 1969.
  - 109) Welch JG, Smith AM. Physical stimulation of rumination activity. *Journal of Animal Science*, 33: 1118-1123. 1974.
  - 110) Welch JG, Smith AM. Milk fat depression and rumination stimulation. *Journal of Dairy Science*, 58: 678-681. 1975.
  - 111) Westerling DB, Hedrick HB. Fatty acid composition of bovine lipids as influenced by diet, sex and anatomical location and relationship to sensory characteristics. *Journal of Animal Science*, 48: 1343-1348. 1979.

- 112) Weston RH, Hogan JP. The digestion of chopped and ground roughages by sheep. 1. The movement of digesta through the stomach. *Australian Journal of Agricultural Research*, 18: 789-801. 1967.
- 113) White TW, Reynolds WL. Various sources and levels of roughage in steer rations. *Journal of Animal Science*, 28: 705-710. 1969.
- 114) 山本 清. ホルモンと脂質の代謝－物質代謝の液性調節Ⅱ－. 第1版. pp.76-78. 共立出版. 東京. 1982.
- 115) 山崎 淳. 反芻動物の栄養生理学 (佐々木康之 監修, 小原嘉昭 編). 第1版. pp.68-82. 農山漁村文化協会. 東京. 1998.