

濃厚飼料多給条件下で測定した各種飼料のルーメン内分解特性

西口靖彦・安藤 貞・早坂貴代史

Key words : in situ, degradation, rumen, nylon bag technique, Japanese black cattle

目 次

I 緒 言	61	III 結 果	62
II 材料および方法	61	IV 考 察	63
1 供試家畜	61	V 摘 要	65
2 供試飼料	62	謝 辞	65
3 分析方法	62	引用文献	65
4 解析方法	62	Summary	67

I 緒 言

近年、飼料中タンパク質の評価は粗タンパク質含量や可消化タンパク質含量等の成分分析だけでなく、ルーメン内での飼料タンパク質分解と微生物タンパク質合成量を加味した「MP (代謝タンパク質) システム」の考え方が導入され、乳牛の飼料設計に取り入れられつつある¹³⁾。肉用牛飼料設計への MP システムの導入は、購入飼料費の抑制と飼料中タンパク質過剰に起因する代謝障害低減の面から期待されている¹⁴⁾。この「MP システム」の利用にあたっては、飼料中タンパク質のルーメン内での分解性を明らかにする必要がある。これまで飼料分解性の評価は人工消化法 (in situ 法, in vitro 法) や酵素法等により実施されてきた⁷⁾が、その中でも in situ ナイロンバッグ法は実際のルーメン内で分解性を調査することから、最も有用性が高いと思われる。

In situ ナイロンバッグ法は Nocek の報告^{11,12)}を参考に実験方法が提唱されており^{6,7)}、供試牛の給飼飼料は粗飼料を中心としたものとして極端な飼料構

成としないこと、給飼水準は維持量とすること、などとされている。この方法は多数の飼料について同一条件下で飼料の分解性を比較する場合に有効であるが、測定時の条件とは大きく異なる飼養条件下での飼料設計に用いるには十分とは言えない。とくに、わが国の肉用牛肥育飼養では栄養価の低い稲ワラを唯一の粗飼料とした濃厚飼料多給体系となっていることが多く、ナイロンバッグ法とは異なる飼料構成となっている。

そこで、本研究では現在の肉用牛飼養形態に近い飼料、給与水準下にある黒毛和種牛を用い、肉用牛飼料として広く用いられている各種の濃厚飼料についてルーメン内での分解性を調査した。

II 材料および方法

1 供 試 家 畜

実験は非妊娠黒毛和種雌牛 2 頭 (体重 420, 510kg) を用いて行い、これらは個別の代謝ケージに収容した。飼料は自家配合濃厚飼料と稲ワラとし、それぞ

れを乾物(DM)あたり75%, 25%ずつ給与した。配合飼料はトウモロコシ45, 大麦35, フスマ15, 大豆粕5 (それぞれ%DM) からなり, 可消化養分総量(TDN)が87%DM, 粗タンパク質(CP)が15.3%DMであった。この配合飼料と稲ワラを上記の割合で混合した場合, TDN 76%DM, CP 11.9%DM, NDF 28.6%DM となった。飼料給与量は日本飼養標準¹⁴⁾による日増体量0.6kg期待量として, 9時と17時の2回に等量ずつ給与した。ミネラルブロックおよび水は自由に摂取できるようにした。

ナイロンバッグ実験に先立ち, 供試牛のルーメンに直径10cmの硬質プラスチック製カニューレ(三紳工業)を装着した。装着手術は『近畿中国四国農業研究センター実験指針』に基づき, 鎮静剤(キシラジン, バイエル)と局所麻酔剤(塩酸プロカイン, 第一製薬)の投与下で立位にて実施した。手術後5日間は抗生物質(マイシリンゾル, 明治製薬)を投与し, 4週間の回復期を設定した。回復期間中も上記の飼料給与を行い, 飼料給与開始から2か月経過後に供試した。

2 供試飼料

分析飼料はトウモロコシ(蒸煮圧ペン), 大麦(蒸煮圧ペン), フスマ, 米ヌカ, 大豆粕(フレーク), トウフ粕, ビール粕の7種とした。これらは60℃48時間乾燥後, ウイレ粉碎机(WT-150, 三喜製作所)で2mmふるいを通過するまで粉碎したものを0.5mmふるいで微粉末を除いて分析用試料とした。米ヌカは乾燥処理のみを実施した。

3 分析方法

試料は目開き48 μ mのナイロンメッシュで作製したバッグ(20×10cm)に2~5g封入してルーメン内に浸漬した。各試料は1頭あたり2袋ずつを, ルーメン内での浸漬時間が72, 48, 36, 24, 12, 8, 4および0時間になるよう逐次挿入し, すべてのバッグを一括して取り出した。取り出したバッグは, 家庭用洗濯機を用いて10分間注水洗浄を行い, 内容物をJIS 5種Aろ紙(アドバンテック, 東京)上に集めた。この試料を60℃の強制通風乾燥機で48時間乾燥してDM量ならびにケルダール法によるCP量を測定した。

各飼料の消失率がルーメン液性状の変動によって影響を受けることを考慮して, 一連の挿入と取り出し作業は7種の試料から任意に選択した2種に対して実施した。これを各試料につき3反復で実施し, 2頭×3反復から得られた値(n=6)を各試料の消失率として求めた。

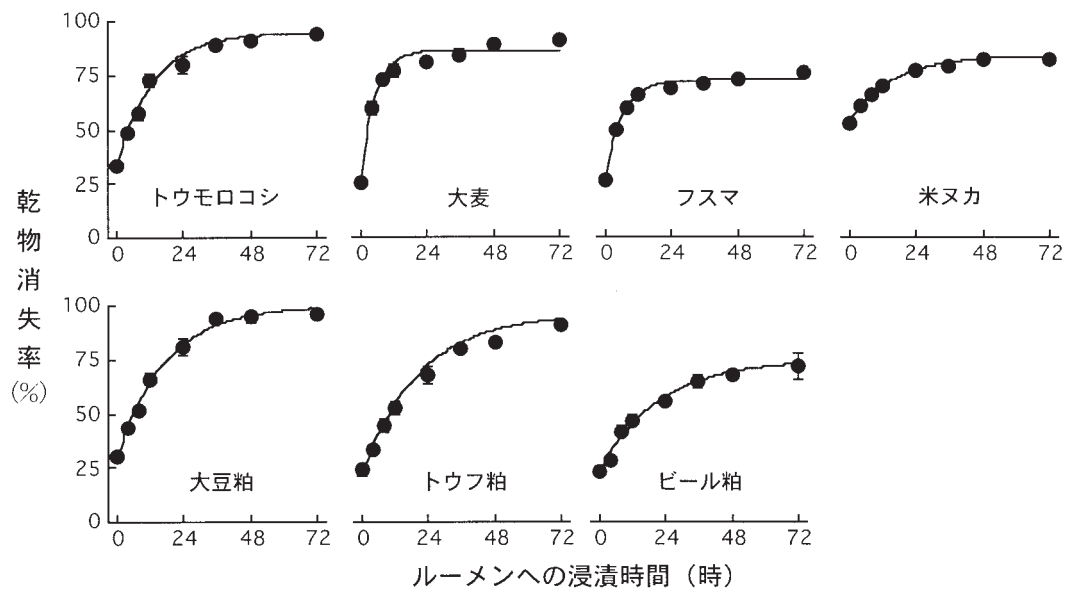
4 解析方法

各成分の消失率の推移は Orskov and McDonald¹⁵⁾が提唱した回帰式『 $p=a+b(1-e^{-ct})$, $a+b\leq 100$ 』にあてはめ, 係数を統計パッケージ(KaleidaGraph, Synergy Software)で算出した。ここで, p:消失率(%), t:浸漬時間(時), a:溶解性画分(%), b:分解性画分(%), c:分解性画分の消失速度定数(/時)である。また, ED:有効分解率(%)を『 $ED=a+bc/(c+r)$ 』で算出した。なお, EDの算出に当たってはr:ルーメン希釈率(/時)の値は0.05とした。この値は, 肥育牛や飼料摂取量が維持量の2倍程度給与された牛に適用される値である⁷⁾。

Ⅲ 結 果

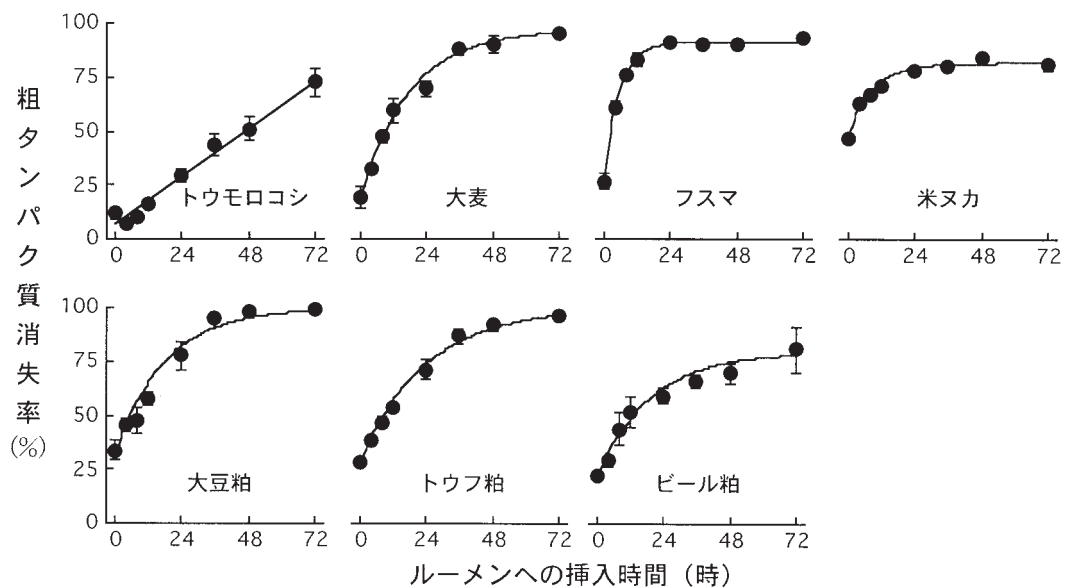
第1図に各飼料のルーメン内DM消失率の推移を示した。いずれの飼料も消失率は48時間後にはプラトーとなり, 指数回帰式によく一致していた。第1表上には回帰式にあてはめて求めたDM消失パラメータを示した。溶解性画分は米ヌカが約54%と高かったのを除いて, 17~33%の値となった。分解性画分は米ヌカ, ビール粕, フスマで低く, それ以外は60~74%と高い値になった。分解性画分の消失速度定数は, ムギ類を原料とした大麦とフスマで高い値であった以外は0.05~0.08の間であった。有効分解率は溶解性画分, 分解性画分ともに低かったビール粕で36%, トウフ粕で56%であった以外は, すべて60%以上の値を示した。

第2図にはルーメン内CP消失率の推移を示した。CP消失率はおおむねDM消失率と同様な傾向を示した。しかしトウモロコシでは72時間後まで消失率が一次関数的に推移し, 他の飼料とは明らかに異なった推移を示した。第1表下にCP消失パラメータを示した。CP消失パラメータも飼料間の比較ではDMと同様な傾向があった。トウモロコシに関しては回



2頭3反復（計6試料）の平均値
縦のバーは標準誤差を表す

第1図 濃厚飼料多給下でのルーメン内乾物消失率の推移



2頭3反復（計6試料）の平均値
縦のバーは標準誤差を表す

第2図 濃厚飼料多給下でのルーメン内粗タンパク質消失率の推移

帰式『 $p = a + b(1 - \exp(-ct))$ 』にあてはめることができなかったため、パラメータが計算できなかった。

Ⅳ 考 察

わが国では、in situ ナイロンバッグ法による飼料

成分消失率測定方法として統一されたものがなく、Nocekの報告¹¹⁾に準じた方法が用いられていることが多い。この方法では、供試動物は粗飼料主体の飼料を維持要求量程度給与されたものを用いることとされ^{10,12)}、多種の飼料特性を同一条件下で調査する場合には有効である。しかし、この方法で求められた消失率が肥育牛などの濃厚飼料多給条件下であって

第1表 供試飼料のルーメン内消失パラメータ

成分	項目	供 試 飼 料 名						
		トウモロコシ	大麦	フスマ	米ヌカ	大豆粕	トウフ粕	ビール粕
DM	溶解性画分 ¹⁾	32.8 ±0.94 ⁴⁾	26.0 ±1.7	26.4 ±1.9	53.8 ±1.2	29.0 ±0.7	22.6 ±2.0	17.4 ±0.4
	分解性画分 ¹⁾	61.9 ±1.4	60.3 ±2.3	46.0 ±2.6	29.9 ±1.9	71.0 ±1.3	74.1 ±4.5	33.6 ±3.1
	速度定数 ²⁾	0.08±0.01	0.19±0.00	0.16±0.00	0.06±0.01	0.06±0.01	0.05±0.01	0.05±0.00
	有効分解率 ^{1,3)}	69.1 ±1.5	73.4 ±1.1	61.6 ±0.4	69.7 ±0.4	66.6 ±1.6	56.1 ±1.9	35.8 ±1.3
CP	溶解性画分	NC ⁵⁾	18.9 ±3.2	26.9 ±3.2	47.9 ±1.9	31.6 ±1.6	28.5 ±1.3	16.6 ±1.2
	分解性画分	NC	77.8 ±2.8	64.2 ±2.9	33.6 ±1.7	68.1 ±1.6	71.2 ±1.2	42.9 ±4.8
	速度定数	NC	0.06±0.01	0.19±0.02	0.11±0.01	0.06±0.01	0.04±0.01	0.05±0.01
	有効分解率	NC	59.0 ±2.0	77.3 ±0.6	70.9 ±0.5	66.8 ±2.5	60.5 ±1.8	37.4 ±2.9

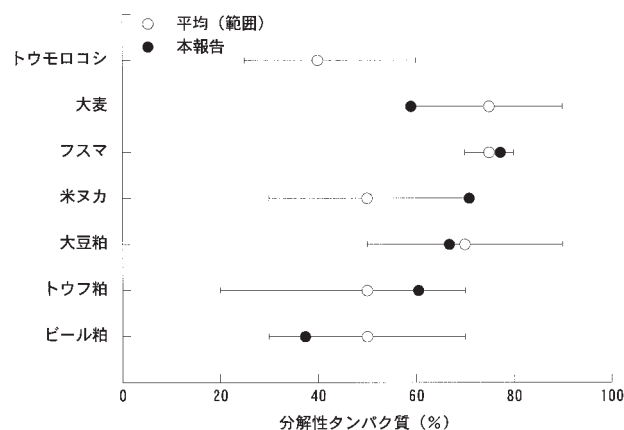
¹⁾単位：％，²⁾単位：/時，³⁾希釈率を5％/時と仮定，⁴⁾平均±標準誤差（n=6，2頭3反復），⁵⁾計算不可能

もそのまま適用可能であるか、疑問がある。

Lindberg⁹⁾は粗飼料としてアンモニア処理麦ワラと乾草を、濃厚飼料として粉碎オーツ麦を使用して、粗飼料を100・70・30%としたときのルーメン内DM・CP消失率の変化を5種の飼料について調査している。それによると、同一の飼料であっても粗飼料の種類と粗濃比によって消失率の変動傾向が異なり、さらに、DMとCPで異なる傾向を示すなど、給与飼料がルーメン消失率に及ぼす影響は複雑である。

一般に濃厚飼料多給ではルーメン内の総菌数が増加すること、デンプン分解性菌が優占となることが知られている⁸⁾。さらに、濃厚飼料中のデンプンが分解されて揮発性脂肪酸産生が高まり、これによりルーメン液のpHが6以下に低下するとタンパク分解菌数が減少することが報告されている⁸⁾。わが国では、渋井¹⁶⁾が濃厚飼料多給条件下での各種飼料のルーメン消失率を報告している。そこでは、濃厚飼料が原物割合で66%含む飼料を給与した牛を用いている。本研究では濃厚飼料の乾物割合で75%まで高めていて、濃厚飼料をさらに多給した条件となっている。

今回の実験は濃厚飼料多給条件であったため、大豆粕やトウフ粕などのCP含量の高い飼料では消失率が低下することが予想されたが、第3図に示すように大きな変化は認められなかった。一方、トウモロコシのCP消失率の推移は他の飼料とは異なる直線的な傾向を示した。トウモロコシに含まれる主要なタンパク質のひとつであるグルテン、はルーメンで分解されにくいタンパク質とされている⁹⁾。したがって、ルーメンでの消失パターンが他の飼料とは異なったのであろう。同様な結果は荒田¹⁾、Harstad and



第3図 飼料中分解性タンパク質割合の飼養標準値との比較

Prestlokken⁴⁾も報告している。これらの結果とDM消失パターンの推移から、トウモロコシDM消失率の結果は、ルーメンで分解あるいは溶解しやすいデンプンによるものであり、溶解性CP含有量が低いことを表している。

バッグに封入する飼料の粒度もルーメン消失率を解析する際の変動要因のひとつである。ガイドラインでは2mmふるい通過物を試料とするように記されている。しかしNocekの大豆粕を用いた試験¹¹⁾では、2mmふるい通過物の論理的平均粒径は0.76mmであり、0.6mm以下の微細物が通過物の23%であると報告している。今回の実験では米ヌカ以外の供試飼料は2mmふるい通過物から0.5mm以下の微細物を除いている。試料によっては微細化により消失率が過大評価されることがあり、消失率評価に最適な粒度の検討が必要であらう。

第3図には、本試験結果と日本飼養標準における

既報値¹⁴⁾とを比較結果を示した。本結果はトウモロコシを除いて既報の範囲内であったが、大麦では報告値の下限値、米ヌカでは上限値と、平均値と異なる数値を示した。

本報告で測定された分解性タンパク質の割合は、概ね日本飼養標準における既報値の範囲内にあったが、飼料によっては最小値や最大値に近いものが認められた。今後、MP システムの導入等により、飼料中のタンパク質の最適化を図るには、より精細なデータが必要となる。今回の濃厚飼料75%給与条件下で得られたデータはそのための知見となると考えられる。しかし、肥育中期以降では濃厚飼料割合を90%程度に高めた肥育が実施されていることも多く¹⁷⁾、このような飼養条件での分解特性の解明は今後の検討課題である。従って、今後は肥育牛の飼養体系に即した実験方法の検討と、それによる測定値の集積が必要と思われた。

V 摘 要

肉牛用濃厚飼料として広く用いられている7種(トウモロコシ、大麦、フスマ、米ヌカ、大豆粕、トウフ粕およびビール粕)について、DM と CP のルーメン内消失特性を調査した。ルーメンカニューレ装着牛2頭に濃厚飼料75%、粗飼料25%からなる飼料を給与し、0時間から72時間までルーメン内に2mm粉砕飼料を浸漬して消失パターンを解析した。DM 消失率はいずれの飼料も48時間後以降に定常となった。有効分解率は、ビール粕で36%、トウフ粕で56%と低かった以外は60~73%であった。CP 消失率はDM 消失率と同様な傾向を示したが、トウモロコシで72時間後にかけて直線的に増加し、他の飼料とは明らかに異なる傾向を示した。CP 消失率を既報値と比較したところ、おおむね平均の範囲内であったが、大麦で下限値、米ヌカで上限値となった。以上のことから、肉用牛肥育用飼料の設計にあたっては、CP の分解性が濃厚飼料多給下で変動することに配慮し、実際の肥育牛飼養に近い条件下で測定された数値を用いるべきと思われた。

謝 辞

本実験の遂行にあたり、当研究センター企画調整部業務第4科環境・肥育牛舎班各氏に供試動物の管理を、中村範子氏に手術および分析で協力いただいた。改めて感謝いたします。

引用文献

- 1) 荒田直樹・栗原光規・石田 武・西田武弘・Purnomoadi A.・青木 稔・田中義春・河野良輝・阿部 亮 1997. 全粒および蒸煮圧片処理したトウモロコシまたは大麦の給与が乳牛の第一胃内容液の化学性状および微生物相に及ぼす影響。畜産試験場研究報告 58:19-30.
- 2) 畜産技術協会編 2000. 飼料分析技術マニュアル(社) 畜産技術協会。東京。62-66.
- 3) Galyean M. L. and F. N. Owens 1991. Effects of diet composition and level of feed intake on site and extent of digestion in ruminants. Eds. T. Tsuda, Y. Sasaki and R. Kawashima, Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants. Proceedings of the Seventh International Symposium on Ruminant Physiology. Academic Press, San Diego. 483-514.
- 4) Harstad O. M. and E. Prestlokken 2001. Rumen degradability and intestinal digestibility of individual amino acids in corn gluten meal, canola meal and fish meal determined in situ. Anim. Feed Sci. Technol. 94:127-135.
- 5) Herrera-Saldana R. E., J. T. Huber and M. H. Poore 1990. Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains. J. Dairy Sci. 73:2386-2393.
- 6) 北農会、牧草・飼料作物栄養価問題検討委員会編 1991. 牧草・飼料作物の栄養価評価の手引き。札幌。58-62.
- 7) 自給飼料品質評価研究会編 2001. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック(社) 日本草地畜産種子協会。東京。45-48.

- 8) 神立 誠・須藤恒二 監修 1985. ルーメンの世界 — 微生物生態と代謝機能 — 農文協, 東京, 287-303.
- 9) Lindberg J. E. 1981. The effect of basal diet on the ruminal degradation of dry matter, nitrogenous compounds and cell walls in nylon bags. *Swedish J. Agric. Res.* 11 : 159-169.
- 10) Michalet-Doreau B. and M. Y. Ould-Bah. 1992. In vitro and in sacco methods for the estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen : a review. *Anim. Feed Sci. Technol.* 40 : 57-83.
- 11) Nocek J. E. 1985. Evaluation of specific variables affecting in situ estimates of ruminal dry matter and protein digestion. *J. Anim. Sci.* 60 : 1347-1358.
- 12) Nocek J. E. 1988. In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility : A review. *J. Dairy Sci.* 71 : 2051-2069.
- 13) 農林水産省農林水産技術会議事務局 1999. 日本飼養標準・乳牛 東京.
- 14) 農林水産省農林水産技術会議事務局 2000. 日本飼養標準・肉用牛 東京.
- 15) Orskov E. R. and I. McDonald 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. (Camb)* 92 : 499-503.
- 16) 渋井仁志・河井武則・加藤信人・阿部又信 1983. 濃厚飼料多給時の牛の第一胃内における飼料蛋白質の分解特性. *日本畜産学会報* 54 : 511-517.
- 17) 圖師和好・井口明浩・小林正和・森 知夫・生井和夫・笠井勝美・棚井幸雄・岩倉直行・神辺佳弘・増山秀人・斉藤友喜・須藤慶子・浅田 勉・宮重俊一・甫立京子・阿部啓之・河北由美・阿部 亮 1999. 肥育前期における飼料中 CP 水準及び肥育後期におけるデンプン・NDF 水準が黒毛和種去勢牛の産肉性に及ぼす影響. 畜産試験場研究資料 13 農林水産省畜産試験場.

Degradability of Several Feed Sources in the Rumen of Japanese Black Cattle Fed High Concentrates Diet

Yasuhiko NISHIGUCHI, Sada ANDO and Kiyoshi HAYASAKA

Summary

The rumen degradabilities of seven feed sources (flaked corn, flaked barely, wheat bran, rice bran, soybean meal, soybean curd residue and brewer's grain) were determined by the in situ nylon bag method. Two non-pregnant Japanese black cattle fitted ruminal cannula were fed 75% of concentrates and 25% rice straw twice a daily at 0900 and 1700. Five grams of ground (0.5-2mm) feed sources were incubated in the rumen for 0, 4, 8, 12, 24, 48 and 72 hours. Dry matter (DM) and crude protein (CP) disappearance were analysed by Orskov's model ($p = a + b(1 - e^{-ct})$).

The effective degradabilities of the DM of brewer's grain and soybean curd residue were 37% and 56%, respectively. The other five feed sources were in the range from 60% to 70%.

The patterns of CP disappearance of the tested feed sources, except for corn, were similar to the patterns of DM disappearance. Corn had no similar patterns between CP and DM disappearances.