

### 第Ⅲ章 消化管通過速度に影響する粗飼料側要因の解明

第Ⅱ章では、希土類元素が消化管通過速度測定のための固相マーカーとして適当か否かを検討した。その結果、浸漬法で飼料に直接希土類元素を標識することによって、従来の固相マーカーに比べ、摂取飼料の消化管内における挙動をより的確に反映し、実用性の高い消化管通過速度測定法であることを明らかにした。そこで本章では、実際にこの消化管通過速度測定方法を適用し、各種粗飼料を摂取した反芻家畜の消化管通過速度を測定し、消化管通過速度に影響を及ぼす飼料側の要因について解析するとともに、消化管通過速度の差異が採食反芻時間を指標とした飼料の微細化とどのような関係を持つのかについて検討した。飼料側要因としては、第1節では牧草の生育ステージを、第2節では低タンパク含量の粗飼料に対する窒素源の添加を、第3節では粗飼料の物理的形態としてサイレージの切断長を、そして第4節では飼料の摂取水準を取り上げた。

#### 第1節 乾草の生育ステージによる消化管通過速度の差異

##### 1. 目的

牧草の生育が進むにつれて、リグニン含量の増加や消化率の低下 (Jung, 1989) が起こることは広く知られており、これは繊維構造の変化に起因する (Grenet, 1989) と理解されている。生育に伴う繊維構造の変化は、消化過程における飼料粒子の微細化の難易と密接に関係する (Grenet, 1989) ので、牧草の反芻胃通過速度は生育ステージの影響を受ける。一方、摂取飼料の反芻胃通過速度は乾物摂取量の多少によっても変化する (Shaver et al., 1986; Tyrell and Moe, 1974)。したがって、自由採食下において刈り取り期の異なる飼料

の通過速度を比較した場合，反芻胃通過速度の違いは乾物摂取量の差異および生育に伴う繊維構造の変化の双方に起因するが，これら2つの要因の寄与率あるいは相互作用については，必ずしも十分に明らかとなっていない（甘利ら，1998；中嶋ら，1994）。

そこで，本節の試験では，乾物摂取量を一定にした条件下で刈り取り時期が異なる3種類のチモシー乾草をヒツジに給与して，生育ステージの相違に基づく消化率および反芻胃通過速度の差異を明らかにするとともに，乾草摂取時の採食反芻時間を測定し，微細化の主要因と考えられている咀嚼行動と反芻胃通過速度との関係を併せて検討した。

## 2. 材料および方法

### 1) 飼料の調製

1994年に東北農業試験場（岩手県盛岡市）で単播・栽培したチモシー（*Phleum pratense* L., 品種:クライマックス）を出穂前，出穂，結実期の各生育ステージ（以後，E, M, L区とする）に刈り取り，人工乾燥により乾草を調製した。各乾草とも1cmに切断し，動物試験に供した。

### 2) 動物試験

消化率および通過速度の測定には12頭の去勢雄成ヒツジ（品種:コリデール種，平均体重:61.6±4.5kg）を完全無作為抽出法で各試験区に4頭ずつ割り当て供試した。消化試験は予備期7日間，本期7日間の全糞採取法で行った。供試飼料の給与量は，体重の1.5%に調整し，1日1回午前9時に給与し，ミネラル含有食塩ブロックおよび水は自由に摂取させた。

### 3) 標識方法と通過速度の測定

固相のマーカ―としてDyを，液相のマーカ―としてCoを用いた。第Ⅱ章の方法に準じて，1cmに切断した乾草を塩化ディスプロシウム ( $DyCl_3$ ) の0.5% (w/v) 溶液に24時間浸漬し，1時間流水洗浄した後，55℃で48時間乾燥し，標識飼料を調製した。1日当たり飼料給与量の1/4量に，Co-EDTA水溶液 (1g/25ml) をスプレーし，さらにDy標識飼料20gを混合し，消化試験終了時の午前9時に各ヒツジに採食させた。30分後標識飼料の残食を除去し，1日当たり給与量の残りを採食させた。糞の採取は，標識飼料投与時を0時として以後3日目までは4時間，3～5日目は8時間，5～6日目は12時間間隔で144時間まで行い，糞採取期間中の飼料給与は，消化試験時と同様に行った。

### 4) 採食・反芻時間の測定

採食・反芻時間は，消化試験の本期間中に，タイムラプスビデオ装置を用いて3分間隔20秒で24時間撮影し，1日あたりの採食・反芻時間を集計した。総咀嚼時間は採食時間と反芻時間の合計とした。

### 5) 飼料成分および希土類元素の分析

採取した糞は55℃で48時間乾燥した後，1mmのスクリーンのウィリーミルで粉砕し，分析試料とした。各飼料は，消化試験期間中に3回サンプリングし，糞と同様に処理し，分析した後，その平均値を算出した。一般成分，NDF，ADFおよびADLは第Ⅱ章と同様の方法でそれぞれ測定した。細胞内容物 (OCC) 含量は阿部(1988)の方法で，DyおよびCoは，試料を硝酸・過塩素酸で湿式灰化し，ICP-AES (機種:日本ジャーレルアッシュ社製，ICPA757s) で分析した。

## 6) 計算および統計処理

通過速度定数は糞中に排泄されたDyおよびCoの濃度を，第Ⅱ章と同様に，Grofum and Williams (1973)の two-compartment model に当てはめて計算した。統計処理はSAS (1990)のGLMプロシジャーを用いて，刈り取り時期を要因として次のモデルを用いて解析した。

$$Y_i = \mu + M_i + e_i$$

$\mu$  : 総平均

$M_i$  : 刈り取り時期の効果

$e_i$  : 誤差

各処理間の平均値の差の検定はScheffeの方法による多重比較で行った。

## 3. 結果

### 1) 供試乾草の飼料成分組成および消化率

試験に供した乾草の飼料成分組成および消化率をTable 11に示した。生育に伴い粗タンパク質 (CP) 含量が9.6%から4.8%に減少し，ADL含量が3.3%から6.9%に増加した。E区のADF，NDF含量はそれぞれ37.4，62.9%で，M区の44.5，70.0%，L区の44.5，70.0%に比べ少なかった。逆にOCC含量はE区で26.4%，MおよびL区で21%であった。

乾物消化率はE，M，L区の順に，72.9，61.3，55.6%で生育に伴って有意に低下した ( $p < 0.01$ )。CPおよび繊維成分の消化率も乾物消化率と同様に，生育に伴って有意に低下した ( $p < 0.01$ )。OCC消化率はE区で79.5%，MおよびL区では75%となった。

## 2) 採食・反芻時間

供試乾草の採食・反芻時間をTable 12に示した。各区の乾物摂取量は代謝体重あたり35g前後であった。採食時間はE区がM, L区に比べて短い傾向にあったが、個体差が大きく有意差は認められなかった。反芻時間および総咀嚼時間はE区がM, L区に比べ、有意に短かった ( $p < 0.05$ )。単位摂取量 (乾物, ADF およびNDF) あたりの反芻時間および総咀嚼時間も、E区がM, L区に比べ、有意に短かった ( $p < 0.05$ )。これに対して、M区とL区の間には有意な差は認められなかった。

## 3) 消化管内通過速度

各乾草のヒツジ消化管通過速度の各パラメータをTable 13に示した。液相では、 $k_1$ ,  $k_2$ , TTおよびTMRTのいずれのパラメータにおいても刈り取り時期による違いは認められなかった。これに対して、固相の $k_1$ では、E区がL区に比べ有意に大きかった ( $p < 0.05$ )。また、TTは、E区がMおよびL区より長く ( $p < 0.05$ )、TMRTは、L区がEおよびM区より10時間長かった ( $p < 0.05$ )。

Table 11. Chemical composition and digestibility of timothy hays harvested at three different maturities.

	Stage of maturity		
	Preheading (E)	Heading (M)	Seed setting (L)
Chemical composition (% of dry matter) <sup>1)</sup>			
Organic matter (OM)	92.5	93.4	93.9
Crude protein (CP) <sup>2)</sup>	9.6	6.8	4.8
Neutral detergent fiber (NDF) <sup>3)</sup>	62.9	70.0	70.0
Acid detergent fiber (ADF)	37.4	43.8	44.5
Acid detergent lignin (ADL)	3.3	5.5	6.9
Organic cellular contents (OCC) <sup>4)</sup>	26.4	20.9	20.6
Digestibility (%) <sup>5)</sup>			
DM	72.9 ± 0.5 <sup>a, 6)</sup>	61.3 ± 1.8 <sup>b</sup>	55.6 ± 1.3 <sup>c</sup>
OM	74.5 ± 0.5 <sup>a</sup>	62.6 ± 1.8 <sup>b</sup>	57.2 ± 1.5 <sup>c</sup>
CP	66.7 ± 1.5 <sup>a</sup>	56.5 ± 2.5 <sup>b</sup>	36.6 ± 4.0 <sup>c</sup>
NDF	76.7 ± 0.2 <sup>a</sup>	62.8 ± 2.3 <sup>b</sup>	55.2 ± 2.2 <sup>c</sup>
ADF	76.1 ± 0.3 <sup>a</sup>	62.2 ± 2.0 <sup>b</sup>	54.7 ± 1.1 <sup>c</sup>
OCC	79.5 ± 1.4 <sup>a</sup>	75.0 ± 0.8 <sup>b</sup>	75.3 ± 1.3 <sup>b</sup>

1) Mean values for triplicate determinations.

2) Nitrogen × 6.25.

3) Determined according to Goering and Van Soest (1970), except that neutral detergent fiber was analyzed without sodium sulphite and decahydronaphthalene.

4) OCC = OM - organic cell wall (determined according to Abe (1988)).

5) Mean ± SE based on four wethers.

6) Mean values with different superscript letters were significantly different ( $p < 0.01$ ).

Table 12. Daily intake and chewing time of wethers fed timothy hay of different maturities.

	Stage of maturity		
	Preheading (E)	Heading (M)	Seed setting (L)
Daily intake (g/W <sup>0.75</sup> /day) <sup>1)</sup>			
DM	35.5±1.1 <sup>2)</sup>	35.2±0.7	33.5±0.5
ADF	13.3±0.4	15.4±0.3	14.9±0.2
NDF	22.3±0.7	24.7±0.5	23.4±0.4
Chewing time (min/day)			
Eating time (E)	115±45	176±23	161±63
Ruminating time (R)	375±9 <sup>a,3)</sup>	520±30 <sup>b</sup>	506±53 <sup>b</sup>
Total chewing time (E+R)	488±42 <sup>a</sup>	695±17 <sup>b</sup>	667±72 <sup>b</sup>
Unitary duration (min/gDM/W <sup>0.75</sup> ) <sup>4)</sup>			
R/DMI	10.5±0.5 <sup>a</sup>	14.8±1.1 <sup>b</sup>	15.2±1.5 <sup>b</sup>
R/ADFI	28.2±1.3 <sup>a</sup>	33.7±2.3 <sup>b</sup>	34.0±3.3 <sup>b</sup>
R/NDFI	16.7±0.8 <sup>a</sup>	21.1±1.5 <sup>b</sup>	21.6±2.1 <sup>b</sup>
T/DMI	13.7±0.9 <sup>a</sup>	19.7±0.8 <sup>b</sup>	20.0±2.1 <sup>b</sup>
T/ADFI	36.8±2.1 <sup>a</sup>	45.1±1.8 <sup>b</sup>	44.9±4.7 <sup>b</sup>
T/NDFI	21.9±1.4 <sup>a</sup>	28.2±1.1 <sup>b</sup>	28.5±3.0 <sup>b</sup>

1) DM, dry matter; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber.

2) Mean±SE based on four wethers.

3) Mean values with different superscript letters were significantly different (p<0.05).

4) R/DMI, ruminating time per DM intake; R/ADFI, ruminating time per ADF intake; R/NDFI, ruminating time per NDF intake; T/DMI, total chewing time per DM intake; T/ADFI, total chewing time per ADF intake; T/NDFI, total chewing time per NDF intake.

Table 13. Fractional passage rates<sup>1)</sup>, transit time and total mean retention time calculated from Co-EDTA as a liquid phase marker and dysprosium-labeled hay as a particulate phase marker.

	Stage of maturity		
	Preheading (E)	Heading (M)	Seed setting (L)
Co-EDTA (as a liquid phase marker)			
k <sub>1</sub> (%/hr)	3.9±0.2 <sup>2)</sup>	3.4±0.2	3.6±0.2
k <sub>2</sub> (%/hr)	13.0±1.8	15.5±3.4	15.1±2.4
TT (hr)	13.1±1.0	11.8±0.2	11.5±1.2
TMRT (hr)	46.6±0.5	48.1±3.6	46.5±2.2
Dy-labeled hay (as a particulate phase marker)			
k <sub>1</sub> (%/hr)	2.4±0.1 <sup>a,3)</sup>	2.2±0.2 <sup>a,b</sup>	1.9±0.2 <sup>b</sup>
k <sub>2</sub> (%/hr)	6.7±0.6	8.1±1.6	6.1±1.0
TT (hr)	16.4±0.5 <sup>a</sup>	13.8±0.9 <sup>b</sup>	13.7±0.8 <sup>b</sup>
TMRT (hr)	73.5±0.7 <sup>a</sup>	71.9±3.6 <sup>a</sup>	82.7±4.0 <sup>b</sup>

1) k<sub>1</sub>, ruminal passage rate; k<sub>2</sub>, post-ruminal passage rate; TT, transit time; TMRT, total mean retention time in the alimentary tract calculated from the equation of Grovum and Williams (1973).

2) Mean±SE based on four wethers.

3) Mean values with different superscript letters were significantly different (p<0.01).



### 3. 考察

牧草の生育が進むと、CP含量が低下し、繊維含量およびリグニン含量が増加して、乾物消化率が低下する (Jung, 1989; 近藤, 1992) ことが報告されており、本試験に供試したチモシー1番草でも同様な結果が得られた。

本試験のM区とL区では繊維成分であるADF, NDF含量はほとんど変わらなかったにも関わらず、乾物, ADFおよびNDF消化率はL区の方が低かった。これは、リグニン化が進み、繊維構造が反芻胃微生物により利用されにくいものに変化したことやCP含量が低下したことが原因と考えられる。牧草の繊維構造が微細化と密接な関係があることは、多くの研究者 (Grenet, 1989; Mertens, 1987; Wilson and Mertens, 1995) から指摘されている。飼料の微細化は採食反芻時の咀嚼が主要因である (Ulyatt et al., 1986) ことから考えると、イネ科牧草の生育に伴ってリグニン化が進むほど細胞壁の構造も強固になり、第二・三胃口を通過できる粒子サイズ (臨界粒度) (Poppi et al., 1980; Ulyatt et al., 1986) に微細化されるまでに要する時間が増加すると考えられ、このため総咀嚼時間も長くなると考えられる。本試験では、採食・反芻時の咀嚼時間を飼料の微細化に要する時間と考え、採食・反芻時間を測定した。その結果、E区はM, L区に比べ、1日あたりの総咀嚼時間および単位摂取量あたりの総咀嚼時間がいずれも短く、予想通り出穂前の乾草は出穂後に比べ、微細化に要する時間が短かった。一方、M区とL区の総咀嚼時間はそれぞれ695, 667分と同様な値であり、単位摂取量あたりの総咀嚼時間にも有意差が認められなかった。十分な長さの粗飼料を十分に摂取している時の1日あたりの反芻時間の上限は概ね10時間程度とされている (岡本, 1991) ので、本試験のM, L区では、1cmに細切した乾草であったものの、1日あたりの総咀嚼時間がこの上限に達していたのかもしれない。

本試験では、液相の通過速度定数ではいずれのパラメータも刈り取り時期による差異は認められず、オーチャードグラス乾草では、刈り取り期の遅いものほど液相の $k_1$ が大きかったとしている一戸ら(1992)の試験とは異なる結果であった。反芻胃内液相の回転率の変動は飼料給与条件の相違、すなわち固形物の充満度や唾液分泌量の差に起因すると考えられている(阿部, 1994)。一戸ら(1992)の試験では飼料を自由採食で給与したのに対して、本試験では制限給餌下で行った。したがって、この飼料給与条件の相違が液相 $k_1$ の違いにつながったものと考えられる。反芻家畜に摂取された飼料が下部消化管へ流出移行するためには、臨界粒度まで微細化されることが必要とされており(Poppi et al., 1980)、微細化の難易は固相の通過速度に影響する主たる要因であると考えられている。本試験では、E区の総咀嚼時間がL区より有意に短く、固相の $k_1$ が大きくTMRTが短かったことから、E区ではL区よりも速やかに飼料片が微細化され、より速く反芻胃を通過したと推察される。また、固相の $k_1$ がM区に比べL区で小さい傾向にあり、TMRTはL区で有意に長かった。これは、L区の乾草は消化管通過にM区より長い時間を要したことを示している。これについては、1日あたりの採食反芻時間が上限に近く、反芻による物理的微細化が進まなかったことや反芻を惹起する粒子サイズ(岡本, 1979)以下にはなっても通過可能なサイズまでは微細化が進行しなかったことなどの理由が考えられる。一方、Ichinohe et al.(1994)は、刈り取り期の異なるオーチャードグラス乾草を給与したヒツジの消化管内容物の粒度分布を調べた試験で、遅刈り乾草を摂取したヒツジ反芻胃には早刈り乾草を摂取した時よりも、臨界粒度以下の微細な粒子の占める割合が高かったとしている。飼料粒子の微細化と反芻胃通過の関係を明らかにするためには、反芻胃における微細化や粒子の下部消化管への移行に関わる要因についてさらに検討する必要がある。

以上、本試験の成績から、乾物摂取量が同一レベルであっても、チモシー乾

草の反芻胃通過速度は刈り取り期の相違によって異なることが明らかとなった。また、採食反芻行動の成績から、牧草の生育ステージに基づく反芻胃通過速度の差異は、飼料粒子の微細化の難易に関するものであることが示唆された。

## 第2節 窒素源の添加がチモシー乾草の消化管通過速度に及ぼす影響

### 1. 目的

前節では、牧草の生育に伴う繊維構造の変化と消化管通過速度との関係を検討した。その結果、イネ科乾草では、生育に伴って固相の消化管通過速度が遅くなるとともに、飼料粒子の微細化の主要因と考えられている採食・反芻に要する時間が長くなることが判明した。

一般に、イネ科牧草は生育が進むにつれ、粗タンパク質含量が減少し、繊維含量が増加して、消化率が低下する。また、生育に伴い反芻家畜の乾物摂取量が大きく減少するが、それは不消化物がより長く反芻胃に滞留するためと考えられている（柴田, 1994）。反芻胃内の微生物による繊維成分の消化・発酵は、ルーメン内環境によって大きく左右される。粗タンパク質含量が低い飼料に窒素源を添加した場合、繊維成分の消化率が上昇することは、多くの知見（亀岡, 1982; Ndlovu and Buchanan-Smith, 1985; 大下ら, 1992）より明らかであり、この理由として、窒素源添加によるルーメン微生物の繊維分解活性の上昇が考えられている。したがって、低タンパク質粗飼料に窒素源を添加した場合、ルーメン微生物による繊維消化がより活発化され、飼料粒子の脆弱化・微細化が促進されて、飼料はより速く反芻胃を通過するものと予想される。前節では、遅刈り乾草の消化管通過速度が遅くなる理由を、生育に伴う飼料の繊維構造の変化の側面から論じた。そこで本節では、粗飼料に対する窒素源の添加が消化管通過速度に及ぼす影響を明らかにする目的で、大豆粕の添加が出穂期および結実期のチモシー乾草の消化率および消化管通過速度に及ぼす影響を検討し、併せて微細化の主要な要因とされる採食・反芻行動との関係を考察することにした。なお、本試験は前節の試験と併行して実施したものであり、次項で後述

する大豆粕無添加区の成績は前節におけるM区およびL区のそれと同一である。

## 2. 材料および方法

### 1) 給与飼料

東北農業試験場で栽培したチモシー (*Phleum pratense* L., 品種:クライマックス)を出穂期および結実期に刈り取り, 人工乾燥により乾草を調製した後, 1cmに切断して供試した。また, 大豆粕は市販品 (CP含量44%以上) を供試した。

### 2) 動物試験

16頭の去勢成雄ヒツジ (品種: コリデール種, 平均体重:  $61.5 \pm 4.0$ kg) を試験に供した。出穂期および結実期刈りのチモシー乾草をそれぞれ単独で1日あたり900g給与した2区 (前節のM区およびL区に相当) と, これらのチモシー乾草にそれぞれ200gの大豆粕を混合給与した2区の計4区を設定し, 各4頭ずつのヒツジを無作為に割り当てて, 消化率, 採食・反芻時間および消化管通過速度を測定した。消化試験は, 予備期7日間, 本期7日間の全糞採取法で行った。飼料給与は1日1回午前9時に行い, ミネラル含有食塩ブロックおよび水は自由に摂取させた。消化管通過速度の測定はDyで標識した乾草およびCo-EDTAをそれぞれ固相と液相のマーカースとして第1節に準じて行った。採食・反芻時間は, 消化試験の本期間中に, タイムラプスビデオ装置を用いて, 3分間隔20秒撮影で24時間撮影し, 1日あたりの採食・反芻時間を集計した。また前節と同様, 総咀嚼時間は採食時間と反芻時間の合計とした。

### 3) 化学分析

採取した糞の処理方法および飼料の採取と処理は、第1節に準じて行った。一般成分、NDF、ADFおよびADLについても第1節と同様に測定し、ヘミセルロースはNDFよりADFを減じて算出した。DyおよびCoは、試料を硝酸・過塩素酸で湿式灰化し、ICP発光分析装置（機種:日本ジャーレルアッシュ社製、ICPA757s）で分析した。

### 4) 計算および統計処理

通過速度定数は第1節と同様に、糞中に排泄されたDyおよびCoの濃度を、Grovmum and Williams (1973)の two compartment model に当てはめて計算した。統計処理はSAS(1990)のGLMプロシジャーを用いて、乾草の種類および大豆粕添加の有無を要因とし、次のモデルを用いて解析した。

$$Y_{ij} = \mu + H_i + S_j + HS_{ij} + e_{ij}$$

$\mu$  : 総平均

$H_i$  : 乾草の効果

$S_j$  : 大豆粕添加の効果

$HS_{ij}$  : 乾草の種類と大豆粕添加の交互作用

$e_{ij}$  : 誤差

## 4. 結果

### 1) 飼料成分

大豆粕乾物中の粗タンパク質 (CP) 含量は48.6%, NDF, ADF含量はそれぞれ11.2, 10.9%であった。Table 14に試験に供した飼料の成分組成を示した。出穂期, 結実期刈りのチモシー乾草に大豆粕を混合した飼料のCP含量はそれ

ぞれ13.7, 13.3%であり, そのうちチモシーに由来するCPの割合は, 39.4, 28.9%であった。混合飼料のNDF, ADF含量は, 出穂期刈りでそれぞれ, 59.4, 38.2%であり, 結実期刈りでは, 58.5, 38.4%であった。各刈り取り期とも混合飼料のNDFの96%, またADFの95%がチモシー乾草由来であった。

## 2) 成分消化率

各刈り取り期のチモシー乾草の消化率と混合飼料の消化率をTable 15 に示した。出穂期, 結実期とも, 乾草単独給与に比較して大豆粕混合給与で乾物および有機物消化率は6-7%程度高かった ( $p < 0.001$ )。また, CP消化率では, 出穂期で22.5%, 結実期で38.5%, 繊維成分の消化率では出穂期で2.2-3.1%, 結実期で0.6-2.8%, いずれも大豆粕を混合給与した区で高かった ( $p < 0.001$ )。

## 3) 採食・反芻時間

Table 16 に1日当たりの摂取量, 採食・反芻時間および単位摂取量当たりの採食・反芻時間を示した。乾物摂取量は大豆粕の添加によって, 出穂期で $8g/W^{0.75}$ , 結実期で $6g/W^{0.75}$ 増加した。いずれの刈り取り期も大豆粕を添加することによって, 反芻時間が有意に短くなった ( $p < 0.01$ )。これによって総咀嚼時間も有意に短くなり, また, 乾物, ADF, NDF摂取量当たりの反芻時間および総咀嚼時間も有意に短くなった ( $p < 0.01$ )。しかし, 刈り取り期の違いは, 大豆粕添加の有無に関わらず, 採食・反芻時間に影響を及ぼさなかった。

## 4) 消化管通過速度

各飼料を摂取したヒツジの消化管通過速度をTable 17 に示した。液相ではいずれのパラメータとも, 刈り取り期および大豆粕の添加による違いは認められなかった。これに対して, 固相では出穂期の反芻胃通過速度定数 ( $k_i$ ) は結

Table 14. Chemical composition of the diets used in the experiment.

Maturity	Timothy hay			
	Heading		Seed setting	
Supplement of soybean meal <sup>1)</sup>	-	+	-	+
	-----% of dry matter---			
Organic matter (OM)	93.4 <sup>6)</sup>	93.6	93.9	93.8
Crude protein (CP) <sup>2)</sup>	6.8	13.7	4.8	13.3
Neutral detergent fiber (NDF) <sup>3)</sup>	70.0	59.4	70.0	58.5
Acid detergent fiber (ADF)	43.8	38.2	44.5	38.4
Acid detergent lignin(ADL)	5.5	4.9	6.9	6.1
Cellulose <sup>4)</sup>	38.3	33.3	37.6	32.3
Hemicellulose <sup>5)</sup>	26.2	21.2	25.5	20.1

1) Data for non-supplemented groups are the same as Table 11.

2) Nitrogen×6.25.

3) Determined according to Goering and Van Soest (1970), except that neutral detergent fiber was analyzed without sodium sulphite and decahydronaphthalene.

4) ADF-ADL

5) NDF-ADF

6) Mean values for triplicate determinations.



実期の $k_1$ より大きく、全消化管滞留時間 (TMRT) も8-10時間短く、刈り取り期による違いが認められたが、大豆粕の添加による差異は両刈り取り期とも認められなかった。

Table 14. Chemical composition of the diets used in the experiment.

Maturity	Timothy hay			
	Heading		Seed setting	
Supplement of soybean meal <sup>1)</sup>	-	+	-	+
	-----% of dry matter---			
Organic matter (OM)	93.4 <sup>6)</sup>	93.6	93.9	93.8
Crude protein (CP) <sup>2)</sup>	6.8	13.7	4.8	13.3
Neutral detergent fiber (NDF) <sup>3)</sup>	70.0	59.4	70.0	58.5
Acid detergent fiber (ADF)	43.8	38.2	44.5	38.4
Acid detergent lignin(ADL)	5.5	4.9	6.9	6.1
Cellulose <sup>4)</sup>	38.3	33.3	37.6	32.3
Hemicellulose <sup>5)</sup>	26.2	21.2	25.5	20.1

1) Data for non-supplemented groups are the same as Table 11.

2) Nitrogen×6.25.

3) Determined according to Goering and Van Soest (1970), except that neutral detergent fiber was analyzed without sodium sulphite and decahydronaphthalene.

4) ADF-ADL

5) NDF-ADF

6) Mean values for triplicate determinations.

Table 15. Apparent digestibility<sup>1)</sup> of wethers fed timothy hay of two different maturities with or without soybean meal supplementation.

Maturity	Timothy hay				SEM <sup>3)</sup>	Significant effects <sup>4)</sup>		
	Heading		Seed setting			M	S	M×S
Supplement of soybean meal <sup>2)</sup>	-	+	-	+				
Dry matter	61.3 <sup>5)</sup>	67.8	55.6	62.3	0.4	***	***	NS
Organic matter	62.6	69.3	57.2	63.5	0.4	***	***	NS
Crude protein	56.5	79.0	36.6	75.1	1.0	***	***	***
Neutral detergent fiber (NDF)	62.8	65.4	55.2	56.2	0.6	***	*	NS
Acid detergent fiber (ADF)	62.2	65.3	54.7	56.3	0.6	***	**	NS
Cellulose <sup>6)</sup>	69.5	72.0	61.4	64.2	0.5	***	**	NS
Hemicellulose <sup>7)</sup>	65.3	67.5	56.5	57.1	0.8	***	NS	NS

1) Values are expressed as % of dry matter.

2) Data for non-supplemented groups are the same as Table 11.

3) Standard error of the mean.

4) M, maturity of timothy hay; S, soybean meal supplementation; M×S, maturity×supplementation interaction; NS; not significant; \*, p<0.05; \*\*, p<0.01; \*\*\*, p<0.001.

5) Mean values based on four wethers.

6) ADF-ADL

7) NDF-ADF

Table 16. Daily intake and chewing time of wethers fed timothy hay of two maturities with or without soybean meal supplementation.

Maturity	Timothy hay				SEM <sup>2)</sup>	Significant effects <sup>3)</sup>		
	Heading		Seed setting			M	S	M×S
Supplement of soybean meal <sup>1)</sup>	-	+	-	+				
Daily intake (g/W <sup>0.75</sup> /day) <sup>4)</sup>								
DM	35.2 <sup>5)</sup>	43.0	33.5	39.2	0.8	*	***	NS
ADF	15.4	15.9	14.9	14.9	0.3	NS	NS	NS
NDF	24.7	26.1	23.4	23.4	0.4	*	NS	NS
Chewing time (min/day)								
Eating time (E)	176	161	161	101	17	NS	NS	NS
Ruminating time (R)	520	445	506	412	16	NS	**	NS
Total chewing time (E+R)	695	606	667	513	22	NS	**	NS
Unitary duration (min/gDM/W <sup>0.75</sup> ) <sup>6)</sup>								
R/DMI	14.8	10.3	15.2	10.5	0.5	NS	***	NS
R/ADFI	33.7	27.9	34.0	27.8	1.2	NS	**	NS
R/NDFI	21.1	17.0	21.6	17.7	0.7	NS	**	NS
T/DMI	19.7	14.1	20.0	13.1	0.6	NS	***	NS
T/ADFI	45.1	38.0	44.9	34.5	1.3	NS	***	NS
T/NDFI	28.2	23.2	28.5	21.9	0.8	NS	***	NS

1) Data for non-supplemented groups are the same as Table 12.

2) Standard error of the mean.

3) M, maturity of timothy hay; S, soybean meal supplementation; M×S, maturity×supplementation interaction; NS, not significant; \*, p<0.05; \*\*, p<0.01; \*\*\*, p<0.001.

4) DM, dry matter; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber.

5) Mean values based on four wethers.

6) R/DMI, ruminating time per DM intake; R/ADFI, ruminating time per ADF intake; R/NDFI, ruminating time per NDF intake; T/DMI, total chewing time per DM intake; T/ADFI, total chewing time per ADF intake; T/NDFI, total chewing time per NDF intake.

Table 17. Fractional passage rates<sup>1)</sup>, transit time and total mean retention time calculated from Co-EDTA as a liquid phase marker and dysprosium-labeled hay as a particulate phase marker.

Maturity	Timothy hay				SEM <sup>3)</sup>	Significant effects <sup>4)</sup>			
	Heading		Seed setting			M	S	M×S	
Supplement of soybean meal <sup>2)</sup>	-	+	-	+					
Co-EDTA (as a liquid phase marker)									
k <sub>1</sub>	(%/hr)	3.4 <sup>5)</sup>	3.6	3.6	3.3	0.1	NS	NS	NS
k <sub>2</sub>	(%/hr)	15.5	15.9	15.1	14.8	1.1	NS	NS	NS
TT	(hr)	11.8	11.6	11.5	12.1	0.4	NS	NS	NS
TMRT	(hr)	48.1	45.7	46.5	49.2	1.3	NS	NS	NS
Dy-labeled hay (as a particulate phase marker)									
k <sub>1</sub>	(%/hr)	2.2	2.2	1.9	1.9	0.1	*	NS	NS
k <sub>2</sub>	(%/hr)	8.1	8.3	6.1	8.3	0.5	NS	NS	NS
TT	(hr)	13.8	14.5	13.7	16.3	0.5	NS	NS	NS
TMRT	(hr)	71.9	72.1	82.7	80.9	1.8	**	NS	NS

1) k<sub>1</sub>, ruminal passage rate; k<sub>2</sub>, post-ruminal passage rate; TT, transit time; TMRT, total mean retention time in the alimentary tract calculated from the equation of Grovum and Williams (1973).

2) Data for non-supplemented groups are the same as Table 13.

3) Standard error of the mean.

4) M, maturity of timothy hay; S, soybean meal supplementation; M×S, maturity×supplementation interaction; NS, not significant; \*, p<0.05; \*\*, p<0.01.

5) Mean based on four wethers.

#### 4. 考察

##### 1) 大豆粕の添加が飼料成分および消化率に及ぼす影響

本試験に用いた乾草は刈り取り時期によってCP含量とADL含量が異なったが、大豆粕の添加によって、混合飼料中の成分組成はADL以外は同様なものとなった。

低タンパク質飼料に窒素源を添加することによって、繊維成分の消化率が向上することは多くの知見より明らかである（亀岡，1982；Ndlovu and Buchanan-Smith, 1985；大下ら，1992）が、本試験の出穂期刈りのチモシー乾草では、混合飼料のNDFとADFはそれぞれ96，95%がチモシー由来であり、大豆粕の添加によって、チモシーの繊維成分の消化率が向上したと考えられた。一方、結実期刈りのチモシー乾草では大豆粕混合飼料が乾草単独給与に比較してセルロースで約3%，NDF，ADFで0.5－1.5%高かったものの、大豆粕添加による消化率への影響は出穂期刈りに比べ小さかった。大豆粕添加によってCP含量を同程度にしたにもかかわらず、繊維の消化率に及ぼす影響が刈り取り期によって異なったことは、結実期の乾草の繊維構造は反芻胃微生物にとって出穂期刈りの乾草に比べ分解されにくいことを示しており、その一因として生育に伴う繊維のリグニン化の進行が考えられた。

##### 2) 大豆粕の添加が採食・反芻時間に及ぼす影響

採食時間は大豆粕の添加によって有意ではないものの短くなる傾向にあり、この傾向は結実期刈り乾草で顕著であった。これはおそらく乾草と混合給与した大豆粕の嗜好性が高いためであろう。

一方、反芻時間は出穂期および結実期刈りのいずれにおいても大豆粕添加によって有意に減少し、結果として総咀嚼時間も有意に短縮した。本試験におけ

る出穂期および結実期の大豆粕混合給与区の単位摂取量当たりの反芻時間は乾物、ADF、NDFのいずれを基準にした場合にも、前節に示した出穂前チモシー乾草のそれに近い値を示した。大豆粕添加による反芻時間減少のメカニズムを飼料の消化・微細化との関係で考えてみると、前述のとおり、大豆粕添加によるCP含量の増加がルーメン微生物を活性化し、消化・微細化を促進した可能性が推察される。事実、Murphy and Nicolletti (1984)は反芻胃内における飼料粒子の微細化には咀嚼反芻による物理的消化だけでなく微生物による消化が関与することを報告している。本試験においても、出穂期刈りのチモシー乾草では、大豆粕の添加によるCP含量の上昇によって繊維成分の消化率が向上し、飼料粒子の微細化と反芻時間の直接的な関係を示唆する成績が得られた。しかしながら、結実期刈りでは大豆粕添加による繊維成分の消化率の変化は小さく、ルーメン微生物による飼料の消化・微細化と反芻時間との関係は明確ではなかった。

Welch and Smith (1969)は繊維摂取量と反芻時間との間に高い正の相関が認められたと報告しており、久馬ら (1992)も、ソルガム (サイレージ) とアルファルファ (サイレージおよび乾草) を採食したヒツジの反芻および咀嚼時間はADF摂取量と有意な相関があり、単位摂取量当たりの反芻時間の増加の程度は草種によって異なることを報告した。さらに、ハイキューブとイナワラを単独給与もしくは併給した試験 (久馬ら, 1993) で、採食・反芻時間と繊維摂取量との間に有意な相関を認めている。一方、本試験では、ADF摂取量は乾草単独給与区、大豆粕添加区とも同様な値であったものの、乾物および繊維摂取量当たりの反芻および咀嚼時間は大豆粕添加区で有意に短くなった。このことから、粗飼料に濃厚飼料を添加した場合の採食・反芻時間と繊維摂取量との関係については、さらに検討すべき課題があると思われる。

### 3) 大豆粕の添加が消化管通過速度に及ぼす影響

いずれの刈り取り期のチモシー乾草においても、大豆粕の添加によって、微細化の主要因である反芻時間が減少したことから、反芻胃内におけるチモシー乾草の微細化が促進され、より速く反芻胃を通過することが予想された。しかし、本試験の成績では、固相の $k_1$ およびTMRTに、大豆粕の添加による差は認められなかった。前節では、出穂前に刈り取ったチモシー乾草のヒツジ消化管通過速度は出穂期および結実期刈りに比べ、有意に速かった。出穂前のチモシー単独給与区の反芻および総咀嚼時間は、本節における結実期刈りチモシーに大豆粕を添加した区と同程度であったにもかかわらず、前節で示した出穂前のチモシー乾草単独給与時の $k_1$ は2.4 %/hr、TMRTは73.5時間であり、本節の結実期刈りチモシー乾草に大豆粕を添加した場合の $k_1$ (1.9%/hr)およびTMRT(80.7時間)に比較して $k_1$ が大きく、TMRTが短かった。このように、結実期刈のチモシー乾草において、反芻および総咀嚼時間が大豆粕の添加によって乾草単独摂取区より短く、出穂前乾草摂取時と同程度であったにもかかわらず、反芻胃通過速度は乾草単独摂取区と変わらず、出穂前乾草より遅かった理由として次のことが考えられる。結実期刈乾草に大豆粕を添加すると、乾草単独給与時に比べ、反芻を引き起こすサイズまでの微細化は速く進むものの、リグニン化した繊維含量が多いため、反芻胃を通過できるサイズまでへは微細化が進まず、その結果、大豆粕添加区の消化管通過速度は、乾草単独給与区と変わらなかったのかもしれない。一方、遅刈りオーチャードグラス乾草を摂取したヒツジの反芻胃内容物の粒度分布は早刈り乾草摂取時に比べ、微細な粒子の占める割合が高かったとしたIchinohe et al. (1994)の報告と本試験の結果を併せて考えると、飼料粒子の消化管通過速度には乾物摂取量や飼料粒子の微細化速度以外の要因が関与している可能性も否定できない。粗飼料の反芻胃における微細化と通過との関係については不明な点が数多く残されている。反芻胃内容



物の比重や粘度等も通過速度に影響をする要因である (Welch, 1986)とされており、今後は、これらの要因との相互関係についてもさらに究明することが必要であろう。

### 第3節 飼料の物理的形態（切断長）の差異が消化管通過速度に及ぼす影響

#### 1. 目的

第1節および2節では、イネ科乾草の反芻家畜消化管における通過速度は生育時期によって異なること、この原因としては、飼料中の窒素含量の影響よりもむしろ、繊維含量やその構造変化による微細化の難易度が密接に関与していることを示した。そこで、本節では、イネ科乾草摂取時に認められた消化管通過速度と飼料微細化の難易度との関係が他の飼料作物にも認められるか否かを検証するとともに、給与飼料の物理的形態（切断長）の差異と消化管通過速度との関係について検討した。

トウモロコシは単位面積当たりの養分収量が高いこと、比較的品質の安定したサイレージ調製が可能なことから、わが国の基幹的な飼料作物と位置づけられている(名久井, 1995)。一方、ソルガムはトウモロコシよりも乾物生産性が高いこと、遅播適性が高く、転換畑への適応性も比較的高いことなどが評価されることから、東北地域への導入が図られてきた(小池ら, 1995; 佐藤, 1991)。これらの飼料作物のサイレージ利用では、調製時の切断長は反芻家畜による飼料の利用性に関与する重要な要因であるとされている(板東, 1993; 出岡と板東, 1981; 岡本ら, 1979b)。すなわち、トウモロコシやソルガムサイレージにおいては、切断長はその発酵品質に影響し、また、切断長が長くなると糞中への未消化子実の排泄割合が増加する(名久井ら, 1977)。さらにサイレージの切断長は家畜に給与した際の採食・反芻行動に影響を与えることが認められている(岡本ら, 1979b; Weigand et al., 1993)。粗飼料の粉碎、ペレット化、ウェファア化など微細化を伴う加工処理によって、反芻時間や消化管滞留時間が短縮することが知られているが(Blaxter et al., 1956; 岡本, 1991)、ソルガムサイレー

ジの切断長による採食性や消化性の影響を消化管における飼料粒子の通過速度との関連で検討した例はほとんどない。本節では、Coを液相の、Dyを固相のマーカ―として用いて、切断長の異なるトウモロコシおよびソルガムサイレージを給与したヒツジの消化管通過速度を測定し、粗飼料の切断長が家畜の消化管通過速度に及ぼす影響について検討した。さらに、これらのサイレージ給与時の採食・反芻時間と消化管通過速度との関係も併せて検討した。

## 2. 材料および方法

### 1) サイレージの調製方法

東北農業試験場（岩手県盛岡市）で栽培したトウモロコシ（*Zea mays* L., 品種: G4589）とソルガム（*Sorghum bicolor* Moench, 品種: スズホ）を供試した。1991年4月24日に播種したトウモロコシを黄熟後期（9月26日）に、5月17日に播種したソルガムを糊熟期（10月7日）に、切断長をそれぞれ9mmと20mmに設定したコーンハーベスタで収穫し、強化プラスチックサイロ（2,000リットル容）にホールクロップサイレージとして埋蔵した。以下、トウモロコシの9mm切断および20mm切断のサイレージをそれぞれ、CS, CL, ソルガムの9mm切断および20mm切断のサイレージをそれぞれ、SS, SLと略記する。

### 2) 動物試験

#### (1) 消化試験

消化率および通過速度の測定には、12頭の去勢ヒツジ（平均体重: 62.3±2.3kg）を完全無作為抽出法で各飼料3頭ずつ割り当て供試した。消化試験は予備期7日間、本期7日間の全糞採取法で行った。1日のサイレージ給与量は単味で代謝体重当たり40g（ただし、乾物重）を目途に残食が出ないように予備期間

に調整し、午前9時に1回/日給与とした。ミネラル含有食塩ブロックおよび水は自由に摂取させた。

### (2) 採食・反芻時間

採食・反芻時間は消化試験の本期間中に、タイムラプスビデオ装置を用いて3分間隔20秒で24時間撮影し、一日当たりの採食・反芻行動時間を集計し、採食時間と反芻時間の合計を総咀嚼時間とした。

### (3) 通過速度の測定方法

摂取飼料の消化管内における固相の通過速度を測定するため、Teeter et al. (1984)の方法に準じて、各飼料500gをDyCl<sub>3</sub>の0.5% (w/v)溶液に24時間浸漬した後、流水で1時間洗浄、50℃で48時間乾燥させ、Dy標識飼料とした。一日当たりの給与量の1/4量にDy標識飼料30gを混合し、さらに液相のマーカースとしてCo-EDTAの3% (w/v)溶液を25mlスプレイし、消化試験終了後の午前9時から各ヒツジに30分間採食させた後、標識飼料の残食を除去して、給与量の残り(給与量の3/4量)を採食させた。糞の採取は、標識飼料給与時を0時として以後3日目までは4時間、3～5日目は8時間、5～7日目は12時間間隔で168時間まで行った。

### 3) 成分分析

採取した糞の処理方法は、第Ⅲ章第1節に準じて行った。サイレージのサンプルは、開封時に1回、消化試験本期中に2回採取し、糞と同様に処理し分析試料とした。一般成分組成は常法(堀井, 1971)により、またNDF、ADFおよびADLは、第1節と同様に測定し、セルロースは、ADFよりADLを減じて算出した。総繊維(OCW)の酵素分画は、阿部(1988)の方法で行った。デンプン

は、80%エタノール抽出残渣を過塩素酸で抽出し、グルコースオキシダーゼ法（小坂，1994）によって定量した。サイレージの発酵品質は、新鮮物の水抽出液を分析試料として、pHはガラス電極pHメーターで、乳酸および揮発性脂肪酸(VFA)はガスクロマトグラフィーでそれぞれ測定した(柁木，1994)。また、揮発性塩基態窒素(VBN)は水蒸気蒸留法，総窒素(TN)はケルダール法(堀井，1971)で定量した。DyおよびCoは、ICPA -AES（日本ジャーレルアッシュ社製，機種：ICPA757s)で分析した。

#### 4) 計算および統計処理

通過速度定数は Grovum and Williams (1973)のtwo compartments modelを糞中に排泄されたCoおよびDyの濃度に当てはめて計算した。SAS(1990)のGLMプロシジャー草種および切断長を要因として，次のモデルを用いて解析した。

$$Y_{ij} = \mu + F_i + L_j + FL_{ij} + e_{ij}$$

$\mu$  : 総平均

$F_i$  : 草種の効果

$L_j$  : サイレージの切断長の効果

$FL_{ij}$  : 草種と切断長の交互作用

$e_{ij}$  : 誤差

### 3. 結果

#### 1) サイレージの飼料成分組成および発酵品質

Table 18 にサイレージの飼料成分およびpHを示した。乾物率は切断長が短いほうが高い傾向にあった。CP含量はCL区が5.5%と他の区より低かった。織

維成分のNDF, ADF, セルロースおよびリグニン含量はソルガムサイレージがトウモロコシサイレージに比べ高かった。デンプン含量は, トウモロコシサイレージがソルガムサイレージより高かった。

ソルガムサイレージはトウモロコシサイレージに比べpHが若干高く, 乳酸, 酢酸含量およびVBN/TNが低かったものの, いずれのサイレージも乳酸, 酢酸以外の有機酸は認められず, 良好な発酵品質を示した。

## 2) 採食・反芻時間

サイレージの乾物摂取量および採食・反芻時間をTable 19 に示した。乾物摂取量はトウモロコシサイレージがソルガムサイレージより多く ( $p < 0.01$ ), NDF摂取量はソルガムサイレージがトウモロコシサイレージより多かった。また, 切断長の短い方がいずれもDM, NDF摂取量が高かった ( $p < 0.01$ )。ADF摂取量では飼料の種類(F), 切断長(C)に有意差が認められ, その交互作用(F×C)も有意であった(F, F×C,  $p < 0.01$ ; C,  $p < 0.05$ )。切断長の長い方が, 採食時間(E), 反芻時間(R)および総咀嚼時間(T)が長かった。乾物当たりの反芻時間(R/DMI)および総咀嚼時間(T/DMI)は飼料, 切断長間に有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められた。繊維成分当たりの反芻時間, 採食・反芻時間(R/ADF, R/NDF, T/ADF, T/NDF)は切断長の長いものが有意に長かった ( $p < 0.01$ )。

## 3) 消化率

各試験区の成分消化率をTable 20に示した。トウモロコシサイレージはソルガムサイレージに比べ, DM, 有機物(OM)およびADFの消化率が高かった ( $p < 0.01$ )。また, トウモロコシサイレージのDM, OMでは切断長の長いもので消化率が低い傾向にあったが, 逆に両サイレージともADFおよびセルロースは切断長の短いもので消化率が低かった ( $p < 0.05$ )。NDFの消化率は飼料間で

有意差 ( $p < 0.01$ ) があり、また、飼料と切断長の交互作用も有意であった ( $p < 0.01$ )。デンプンの消化率はトウモロコシサイレージおよびソルガムサイレージ給与のいずれもほぼ100%であった。

#### 4) 消化管通過速度

Coをマーカーとして測定した液相部、Dyをマーカーとして測定した固相部の消化管通過速度定数をTable 21に示した。液相部の消化管通過速度定数の各パラメータでは、草種間に有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められ、また草種と切断長の交互作用も有意 ( $p < 0.01$ ) であった。草種と切断長の交互作用が有意となったため、最小有意差法で解析した結果、液相の反芻胃通過速度定数 ( $k_1$ )、下部消化管通過速度定数 ( $k_2$ ) および全消化管滞留時間 (TMRT) では、切断長が20mmの場合のみ、草種間に有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められた。Coの糞中への初期出現時間 (TT) は、切断長が9mmの場合に、トウモロコシサイレージがソルガムサイレージより有意に長かった ( $p < 0.01$ )。トウモロコシサイレージでは、TMRTは20mm区が9mm区より有意 ( $p < 0.01$ ) に短かったのに対して、ソルガムサイレージでは20mm区が9mm区より有意に長かった。 $k_2$ ではトウモロコシサイレージでのみ、切断長による有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められたが、 $k_1$ およびTTにはいずれの草種とも切断長による違いは認められなかった。

固相の $k_1$ はトウモロコシサイレージがソルガムサイレージより有意に大きく ( $p < 0.01$ )、ソルガムではSL区とSS区の間有意差 ( $p < 0.05$ ) が認められた。また、固相の下部消化管通過速度定数 ( $k_2$ ) はいずれも8%程度で、草種、切断長による有意差は認められなかった。TTでは切断長による有意差 ( $p < 0.01$ ) が認められ、また草種と切断長の交互作用も有意 ( $p < 0.01$ ) であった。固相のTMRTでは、草種、切断長に有意差が認められ、その交互作用も有意であった (F, F×C,  $p < 0.01$ ; C,  $p < 0.05$ )。さらに、最小有意差法により解析した結果、

TTではトウモロコシにおいて切断長による有意差が認められ、TMRTではソルガムのSL区はSS区より有意 ( $p < 0.01$ ) に長かった。



Table 18. Chemical composition of corn and sorghum silages used in the experiment.

Item	Forage Length of silage <sup>1)</sup>	Corn silages		Sorghum silages	
		9mm (CS)	20mm (CL)	9mm (SS)	20mm (SL)
pH		3.7 <sup>4)</sup>	3.7	4.0	3.9
Dry matter (DM) (g/kg)		331	313	363	328
Organic matter (OM) (g/kg DM)		942	937	923	917
Crude protein (CP) (g/kg DM)		72	55	72	73
Ether extract (EE) (g/kg DM)		34	33	25	28
Neutral detergent fiber (NDF) (g/kg DM)		393	393	502	530
Acid detergent fiber (ADF) (g/kg DM)		226	254	326	347
Acid detergent lignin (ADL) (g/kg DM)		28	31	61	65
Cellulose <sup>2)</sup> (g/kg DM)		198	224	266	282
Organic cell wall (OCW) (g/kg DM)		423	484	542	567
Organic cellular contents (OCC) <sup>3)</sup> (g/kg DM)		519	453	382	350
Starch (g/kg DM)		268	222	208	169
Volatile basic nitrogen (VBN) (% of total N)		6.9	7.4	5.0	4.4
Lactic acid (g/kg DM)		58.9	51.1	39.1	46.3
Acetic acid (g/kg DM)		16.9	15.0	10.2	13.4

1) Theoretical chopping length of forage harvester.

2) Cellulose= ADF-ADL

3) OCC= OM-OCW

4) Mean values for triplicate determinations.

Table 19. Mean silage intake, eating time, ruminating time and total chewing time of wethers fed corn and sorghum silages.

Item	Forage Length of silage	Corn silages		Sorghum silages		Significant effects <sup>2)</sup>			
		9mm (CS)	20mm (CL)	9mm (SS)	20mm (SL)	SEM <sup>1)</sup>	F	C	F×C
Daily silage intake (g/W <sup>0.75</sup> /day) <sup>3)</sup>									
DM		40.5 <sup>4)</sup>	36.6	33.4	28.6	0.3	**	**	NS
ADF		9.2	9.3	10.9	9.9	0.1	**	*	**
NDF		15.9	14.4	16.8	15.1	0.1	**	**	NS
Chewing time (min/day)									
Eating time (E)		65	133	76	107	6.5	NS	**	NS
Ruminating time (R)		358	376	387	490	15.7	NS	NS	NS
Total chewing time (E+R)		423	509	463	597	17.2	NS	*	NS
Unitary duration (min/gDM/W <sup>0.75</sup> ) <sup>5)</sup>									
R/DMI		8.8	10.3	11.6	17.1	0.4	**	**	*
R/ADFI		38.9	45.4	35.9	49.9	1.5	NS	**	NS
R/NDFI		22.5	26.2	23.0	32.3	0.9	NS	**	NS
T/DMI		10.4	13.9	13.8	20.9	0.5	**	**	NS
T/ADFI		46.2	54.9	42.4	60.2	1.6	NS	**	NS
T/NDFI		26.6	35.5	27.6	39.4	1.0	NS	**	NS

1) Standard error of the mean.

2) F, forage; C, chopping length of silage; F×S, forage×chopping length interaction; NS, not significant; \*, p<0.05; \*\*, p<0.01.

3) DM, dry matter; ADF, acid detergent fiber; NDF, neutral detergent fiber.

4) Mean values based on four wethers.

5) R/DMI, ruminating time per DM intake; R/ADFI, ruminating time per ADF intake; R/NDFI, ruminating time per NDF intake; T/DMI, total chewing time per DM intake; T/ADFI, total chewing time per ADF intake; T/NDFI, total chewing time per NDF intake.

Table 20. Apparent digestibility<sup>1)</sup> in wethers fed corn and sorghum silages.

Item	Forage Length of silage	Corn silages		Sorghum silages		Significant effects <sup>3)</sup>			
		9mm (CS)	20mm (CL)	9mm (SS)	20mm (SL)	SEM <sup>2)</sup>	F	C	F×C
Dry matter (DM)		66.0 <sup>5)</sup>	62.9	52.3	52.1	0.5	***	NS	NS
Organic matter (OM)		68.1	64.3	54.0	53.9	0.5	***	NS	NS
Crude protein (CP)		48.4	32.5	45.9	48.4	3.7	NS	NS	NS
Neutral detergent fiber (NDF)		43.7	37.7	33.1	38.1	0.7	**	NS	**
Acid detergent fiber (ADF)		42.6	44.6	33.9	37.3	0.5	NS	*	NS
Cellulose(ADF-ADL)		47.9	48.9	40.7	48.8	0.8	NS	*	NS
Organic cell wall (OCW)		39.7	43.2	29.9	33.2	1.0	**	NS	NS
Organic cellular contents (OCC) <sup>4)</sup>		91.1	86.8	87.7	83.6	0.7	NS	*	NS
Starch		100	100	99.5	97.5	0.4	NS	NS	NS

1) Values are expressed as % of dry matter.

2) Standard error of the mean.

3) F, forage; C, chopping length of silage, F×C, forage×chopping length interaction; NS, not significant; \*, p<0.05; \*\*, p<0.01.

4) OCC=OM-OCW

5) Mean values based on four wethers.

Table 21. Fractional passage rates<sup>1)</sup>, transit time and total mean retention time of Co-EDTA as a liquid phase marker and dysprosium-labeled silage as a particulate phase marker.

Item	Forage Length of silage	Corn silages		Sorghum silages		SEM <sup>2)</sup>	Significant effects <sup>3)</sup>		
		9mm (CS)	20mm (CL)	9mm (SS)	20mm (SL)		F	C	F×C
Co- EDTA (as a liquid phase maker)									
k <sub>1</sub>	(%/hr)	4.0	4.5	3.6	3.2	0.1	**	NS	*
k <sub>2</sub>	(%/hr)	12.6	22.2	13.5	10.5	0.5	**	*	**
TT	(hr)	13.2	11.0	8.9	10.9	0.3	**	NS	**
TMRT	(hr)	46.1	37.7	45.1	51.4	0.5	**	NS	**
Dy-labeled silage (as a particulate phase maker)									
k <sub>1</sub>	(%/hr)	3.2	3.2	3.0	2.3	0.1	**	*	NS
k <sub>2</sub>	(%/hr)	8.7	8.2	9.0	7.3	0.3	NS	NS	NS
TT	(hr)	16.3	11.7	13.4	13.8	0.3	NS	**	**
TMRT	(hr)	59.7	54.9	58.5	72.4	0.8	**	*	**

1) k<sub>1</sub>, ruminal passage rate; k<sub>2</sub>, post-ruminal passage rate; TT, transit time; TMRT, total mean retention time in the alimentary tract calculated from the equation of Grovum and Williams (1973).

2) Standard error of the mean.

3) F, forage; C, chopping length of silage; F×S, forage×chopping length interaction; NS, not significant; \*, p<0.05; \*\*, p<0.01.

#### 4. 考察

##### 1) 切断長の異なるサイレージの飼料成分組成および発酵品質

飼料成分組成では、9mm切断に比べ20mm切断の方が、いずれの草種とも水分が高く、繊維成分(NDF, ADF, ADL)含量が高い傾向であったが、切断長による影響は認められなかった。また、いずれのサイレージともに切断長に関わらず、pHおよびVBN/TNが低く、酪酸の認められない良好な発酵品質のサイレージであった。切断長は発酵品質に大きな影響を与え、10mm程度の細切が望ましいとされている(名久井, 1995)が、比較的サイレージが調製しやすいトウモロコシやソルガムの場合、この程度の切断長の差は発酵品質や飼料成分組成に与える影響は小さいと考えられた。

##### 2) 切断長の異なるサイレージの摂取量と採食反芻時間

ソルガムサイレージはトウモロコシサイレージに比べ、家畜による採食量が少ないことが多くの研究者(花坂ら, 1988; 三秋ら, 1989)によって指摘されており、本試験の結果も同様であった。サイレージの採食性は、発酵品質の良否によって左右されることが知られているが、本試験で用いたトウモロコシおよびソルガムサイレージの発酵品質はいずれも良好であったことから考えて、本試験では発酵品質が採食量に直接的な影響を及ぼしたとは思われなかった。

採食時間は、両草種とも20mm切断区は9mm切断区よりも有意に長かったのに対して、反芻時間は草種によって反応が異なった。すなわち、トウモロコシ給与区の反芻時間については、切断長による大きな違いは認められなかったが、ソルガムサイレージでは切断長によって反芻時間に有意差が認められた。岡本ら(1979b)は切断長の異なるトウモロコシサイレージを給与した乳牛では採食時間には差は認められず、反芻時間に有意差が認められたと報告している。

本試験の結果が岡本ら(1979)の結果と異なった理由の一つとして、家畜の違いによる反応の差が考えられる。本試験の結果から考えると、切断長の差異に対する家畜の採食反芻行動は、トウモロコシサイレージ摂取時とソルガムサイレージ摂取時では異なることが明らかとなり、Lee and Pearce(1984)が指摘するように、粗飼料の草種・種類の違いは、咀嚼行動による粒度減少に影響することが示唆された。

### 3) 切断長がサイレージの消化率および通過速度定数に及ぼす影響

トウモロコシサイレージでは切断長の長い方が、DM, OMおよびOCCの消化率が低く、逆にNDF, ADFの消化率は切断長の長い方が高かった。これは、トウモロコシでは反芻時間がCS, CL区の違いに差がないことや液相の $k_1$ や $k_2$ がCL区で大きいことから考えて非繊維画分の消化管における滞留時間が短いため、消化率の低下を招いたものと推察される。これに対してソルガムサイレージではSS区とSL区のDM, OMの消化率の差が小さく、繊維成分の消化率はSL区で高かった。この理由としては、固相部の $k_1$ がSS区に比べSL区が有意に小さい( $p < 0.01$ )ことから、固相部がより長く反芻胃内に滞留し、微生物の消化作用をより長く受けたため、結果的に繊維成分の消化率が高くなったと考えられる。

名久井ら(1982)はトウモロコシサイレージを摂取した乳牛では子実(デンブ)の10-20%は未消化で排泄され、また、切断長が異なるトウモロコシサイレージを乳牛に給与した試験(名久井, 1977)では、5mm切断区に比べ10mm区のでんぷん消化率が6-10%程度低下するとしている。トウモロコシサイレージ給与乳牛の単位摂取量当たりの咀嚼時間(Weigand et al., 1993)がヒツジの咀嚼時間に比べ短いことから、ヒツジは乳牛より反芻胃通過に必要な粒度まで微細化されるのに要する時間が長く、このことが乳牛とヒツジのデン

ブンの消化率が異なった理由ではないかと考えられる。

本試験でSL区の液相および固相の $k_1$ はいずれも他区より小さかったが、その理由の一つとしてSL区の乾物摂取量が他区に比べ低かったことが考えられる。しかし、トウモロコシサイレージでもソルガムサイレージと同様に、切断長が長い方が摂取量が低かったものの、液相、固相とも $k_1$ に切断長による有意差が認められなかったことや、9mm切断でのトウモロコシとソルガム間では、液相、固相いずれの $k_1$ およびTMRTに有意差が認められなかったことから、本試験における摂取水準の範囲内では、乾物摂取量による消化管通過速度への影響は小さかったと思われる。液相の消化管通過速度の各パラメータに草種と切断長の交互作用が認められたことから、トウモロコシとソルガムでは9mmと20mmの切断長が液相の通過速度に及ぼす影響が異なったことを意味しているが、トウモロコシ、ソルガムサイレージとも、液相の $k_1$ に切断長による有意差は認められなかったことから、切断長の違いが液相の反芻胃通過に及ぼす影響は小さかったと考えられる。また、トウモロコシサイレージでは、9mm区に比べ20mm区の液相の $k_2$ が大きく、TMRTが短かったが、その理由については不明である。

一方、固相の $k_1$ に草種と切断長による有意差が認められたことは、ソルガムはトウモロコシに比べ、反芻胃に長い時間滞留したことを示している。一般に切断長が長ければ、反芻胃を通過可能な粒子サイズまで微細化されるまでにより長い時間を要すると考えられる。固相の $k_1$ にトウモロコシサイレージのCL区とCS区間に有意差が認められなかったことから、本試験でのトウモロコシサイレージの切断長の違いは微細化および反芻胃通過に及ぼす影響は小さかったと考えられる。これに対して、SL区の通過速度はSS区に比べ有意に遅かったことは、ソルガムでは切断長の影響を強く受けたことを示している。また、1日当たりの反芻時間、総咀嚼時間および繊維摂取量当たりの反芻、総咀嚼時

間がトウモロコシに比べ、ソルガムサイレージにおいて切断長による差が大きかったことから考えて、ソルガムサイレージではトウモロコシサイレージと比較して臨界粒度までに微細化されるのに要する時間が長いため、反芻胃に長く滞留したと考えられた。

以上、本成績からサイレージの切断長の消化管通過速度に対する影響は、草種によって異なること、消化性の低い粗飼料は高いものに比べ、その切断長や加工方法によって生じる粒度の差異が、家畜の摂取量あるいは消化性により強く影響を及ぼすことが明らかとなり、実際の家畜飼養において適正な切断長を求める際には成分組成や消化性などの他の要因との関係を考慮しなければならないことが示された。



## 第4節 飼料摂取量と消化管通過速度の関係

### 1. 目的

消化管通過速度に対する飼料側の要因を明らかにするため、第1節および第2節では、イネ科乾草の生育ステージや窒素源の添加の影響について検討し、前節では、わが国における主要な飼料作物であるトウモロコシサイレージとソルガムサイレージを供して、飼料の物理的形態（切断長）の差異に基づく消化管通過速度の変動について検討した。その結果、牧草の生育ステージ、窒素添加および飼料の切断長は、いずれも消化管内における飼料の動態に影響するが、各要因が実際の消化管通過速度に及ぼす影響は草種によって異なることが明らかになった。本節では、消化管通過速度に関係する飼料側要因の中でも特に大きな影響を持つとされる飼料摂取量を取り上げ、摂取量に対する反応が、飼料によって異なるか否かをアルファルファハイキューブおよびチモシー乾草を用いて比較検討した。

反芻家畜によって摂取された粗飼料は、主に採食・反芻時の咀嚼によって、第二・三胃口を通過可能なサイズにまで微細化され、反芻胃を通過すると考えられている(Ulyatt et al., 1986)。このため、粗飼料の反芻胃通過や咀嚼時間は、草種や飼料の粒度によって異なると予想される。チモシーはわが国における主要な牧草である一方、マメ科牧草であるアルファルファは、高タンパク質高ミネラル含量であるほか、家畜による乾物摂取量が高いことから、乾草あるいはハイキューブとして輸入され、泌乳牛の粗飼料として広く用いられている。これらの粗飼料は粒度等の物理的形態が大きく異なり、反芻胃通過速度や消化率への影響も異なることが予想される。また、飼料摂取量は、消化率および消化管通過速度に強く影響する要因であるが、摂取水準と消化率、咀嚼によ

る微細化および反芻胃通過との相互関係については、いまだ十分な知見が得られていない。

そこで本節では、アルファルファハイキューブおよびチモシー乾草を供し、これらを異なる摂取水準で去勢ヒツジに給与して、消化管通過速度、消化率および咀嚼時間が摂取水準によってどのように変動するのかを解析した。

## 2. 材料および方法

### 1) 供試飼料の調製

東北農業試験場（岩手県盛岡市）にあるチモシー単播草地を供し、一番草を出穂前に刈り取った。圃場で1日予乾した後に、45℃以下で人工乾燥し、乾草を調製した。フォーレイジカッター（設定切断長10mm）で切断し、動物試験に供した。アルファルファハイキューブは市販品を供試した。

### 2) 動物試験

飼料給与量を3水準とし、12頭のコリデール種去勢ヒツジ（平均体重：61.1±2.2kg）を3群に振り分けた。試験は予備期7日、本期13日の2試験期間からなり、1期目はアルファルファハイキューブを、2期目はチモシー乾草をそれぞれ単独で1日1回給与した。1日あたりの給与量は体重の1%、2%および2.5%とした（以下、L、M、H区とする。）。ヒツジは、代謝ケージで飼育し、飲水とミネラル含有食塩ブロックは自由摂取とした。消化率は、各試験期間の本期1日から7日までの間、全糞採取を行い測定した。期間中の全糞を回収し、分析用のサンプルを採取した。採取した乾草と糞は、55℃の通風乾燥機で乾燥後、ウィリーミルで1mmに粉砕し、後述する化学分析に供した。

### 3) 採食反芻行動の観察・測定

採食および反芻時間は、各試験期間の2週目に測定した。各ヒツジの咀嚼行動は、3分間隔20秒間撮影のビデオで24時間観察記録した。咀嚼行動については、1日あたりの採食、反芻時間および総咀嚼時間（採食+反芻時間）を記録するとともに、さらにそれらを乾物、NDFおよびADF摂取量あたりに換算した値を求めた。

### 4) 消化管通過速度の測定

Co-EDTAを液相の、Dyで標識した飼料片を固相のマーカースとして用いた。乾草への標識方法はTeeter et al.(1984)の方法に準じて行った。すなわち、5gのDyCl<sub>3</sub>を2リットルの蒸留水に溶かし、各飼料200gを24時間浸漬した。24時間後、53μmのナイロンメッシュで濾過し、6回蒸留水で洗浄後、50℃で乾燥した。

Co-EDTA水溶液（1g/25ml）とDy標識飼料片のヒツジに対する投与および部分糞の採取方法は、前節と同様に行った。糞のサンプルは55℃、48時間乾燥し、1mmのスクリーンを用いてウィリーミルで粉碎し、分析試料とした。液相と固相の通過速度定数はCoとDyの糞中排泄濃度をGrovm and Williams（1973）の式に当てはめ、計算した。

### 5) 化学分析

採取した糞の処理方法は、本章の第1節に準じて行った。飼料のサンプルは、試験開始時に1回、消化試験本期中に2回採取し、糞と同様に処理し分析試料とした。一般成分組成は常法（堀井、1971）により、また、NDF、ADFおよびADLは、第1節と同様に測定した。セルロースは、ADF-ADLの差として算出

した。部分糞のサンプルは硝酸で湿式灰化した後、CoとDy濃度をICP-AES（機種：日本ジャーレルアッシュ製，ICPA757s）で分析した。

## 6) 統計処理

得られたデータは，SAS(1990)のGLMプロシジャーを用いて解析した。すなわち，摂取水準を要因として次のモデルを用いて解析した。

$$Y_i = \mu + L_i + e_i$$

$\mu$  : 総平均

$L_i$  : 摂取水準の効果

$e_i$  : 誤差

平均値の差の検定は，Scheffeの方法によって行った。また，TMRTとNDF消化率の関係について共分散分析を行った。

## 3. 結果

### 1) 供試飼料の化学組成と消化率

試験に供した乾草の成分組成をTable 22 に示した。CP含量は両草種ともほぼ同じ値であった。NDF含量は，チモシー乾草が約15%アルファルファよりも高かった。ADF含量は両草種ともほぼ同じ値であったのに対して，ADL含量はアルファルファがチモシーの約3倍の値であった。

成分消化率はTable 23 に示した。アルファルファハイキューブにおいては，摂取量の増加に伴ってCP，NDFおよびADFの消化率が低下した（CP， $p < 0.01$ ；NDF，ADF， $p < 0.05$ ）。

一方，チモシー乾草では，摂取量が増加するとCP消化率が低下する傾向が認められ，NDF消化率で，摂取量水準による有意差が認められた（ $p < 0.05$ ）ものの，ADF消化率には摂取量の相違による明らかな変動

は認められなかった。

## 2) 咀嚼時間

咀嚼行動に関する解析結果はTable 24に示した。両草種の乾物摂取量は、各摂取水準とも同様な値であるものの、NDFおよびADF含量の差異によって繊維摂取量に差が認められた。両草種とも1日あたりの採食時間および反芻時間は、乾物摂取量の増加に伴い、長くなった。チモシー乾草摂取時のヒツジでは、採食、反芻および総咀嚼時間は各水準間に0.1%水準で有意差が認められた。一方、アルファルファハイキューブ摂取時は、採食時間では、H区がL区およびM区より長く ( $p < 0.05$ )、反芻時間および総咀嚼時間では、L区がM、H区よりも有意に短かった ( $p < 0.01$ ) もの、M区とH区に差は認められなかった。

次に、乾物、NDFおよびADFの摂取量あたりの採食、反芻、総咀嚼時間をみると、チモシー乾草摂取時では、摂取量水準による差異は認められなかったが、アルファルファハイキューブでは、単位摂取量当たりの採食時間および反芻時間は摂取量が増加するにつれて、短くなる傾向にあった ( $p < 0.1$ )。また、総咀嚼時間については、チモシーおよびアルファルファのいずれにおいても摂取量レベルによる差は認められなかった。

## 3) 消化管通過速度

チモシーおよびアルファルファを摂取したヒツジの消化管通過速度の各パラメータをTable 25 に示した。いずれの乾草を摂取した場合も、液相および固相の $k_1$ および $k_2$ は、乾物摂取量が増加するにつれて大きくなり、TMRTは短くなった。チモシー乾草を摂取した場合の液相の $k_1$ は、L、M、H区の順に、2.3、3.4、4.1%/hrであり、アルファルファハイキューブ摂取時では、2.5、3.5、4.8%/hrであった。チモシー乾草摂取時は、固相の $k_1$ および $k_2$ は、L、M、H区

の順に,  $k_1$ : 1.8, 1.9, 2.8%/hr,  $k_2$ : 4.0, 4.8, 9.3%/hrであり, L, M区間に差は認められなかった。一方, アルファルファ摂取時の固相の $k_1$ は, 2.3, 3.3, 4.2%/hr,  $k_2$ は5.3, 8.3, 11.6%/hrであり, 各摂取水準間に有意差が認められた。チモシー乾草摂取時では, TMRTの固相と液相間の差は19.5-36.0時間であった。これに対して, アルファルファハイキューブを摂取した場合は, 7.5-11.2時間であった。平均滞留時間(TMRT)とNDF消化率の関係をFig. 4に示した。アルファルファハイキューブでは,  $y = 0.163x + 26.593$  ( $r = 0.811, p < 0.001$ ), チモシー乾草では,  $y = 0.0712x + 73.007$  ( $r = 0.875, p < 0.001$ )の直線回帰が認められ, これら2本の直線の回帰定数には, 有意な差が認められた( $p < 0.05$ )。

Table 22. Chemical composition of timothy and alfalfa hay used in the experiment.

	Timothy	Alfalfa
Chemical composition (% of dry matter) <sup>1)</sup>		
Crude protein (CP) <sup>2)</sup>	15.0	16.2
Neutral detergent fiber (NDF) <sup>3)</sup>	58.8	44.1
Acid detergent fiber (ADF)	35.6	38.5
Acid detergent lignin (ADL)	3.2	9.1

1) Mean values for triplicate determinations.

2) Nitrogen content $\times$ 6.25

3) Determined according to the method of Goering and Van Soest (1970), except that neutral detergent fiber was analyzed without sodium sulfite and decahydronaphthalene.

Table 23. Apparent digestibility<sup>1)</sup> in wethers fed timothy or alfalfa hay at three intake levels.

	Intake level <sup>2)</sup>			SEM <sup>3)</sup>	Significant effects
	Low	Medium	High		
Timothy hay					
OM	73.8 <sup>5)</sup>	72.7	71.4	0.5	NS
CP	70.7	69.1	66.7	0.6	p<0.1
NDF	80.1 <sup>A, 6)</sup>	78.2 <sup>AB</sup>	77.2 <sup>B</sup>	0.3	p<0.05
ADF	78.5	77.2	77.1	0.3	NS
Cellulose <sup>4)</sup>	87.1	86.5	84.8	0.3	p<0.1
Alfalfa hay cube					
OM	58.0	57.9	56.0	0.3	p<0.1
CP	71.4 <sup>B</sup>	72.1 <sup>A</sup>	70.5 <sup>C</sup>	0.1	p<0.01
NDF	38.4 <sup>a</sup>	36.2 <sup>ab</sup>	33.7 <sup>b</sup>	0.5	p<0.05
ADF	41.4 <sup>a</sup>	40.6 <sup>a</sup>	38.7 <sup>b</sup>	0.4	p<0.05
Cellulose	55.5	54.0	52.1	0.6	NS

1) Values are expressed as % of dry matter.

2) Dietary intake level: Low, 1.0% of body weight; Medium, 1.5% of body weight; High, 2.5% of body weight.

3) Standard error of the mean.

4) Cellulose= ADF-ADL.

5) Mean values based on four wethers.

6) Mean values with different superscript letters were significantly different (a, b, c, p<0.05; A, B, C, p<0.01).



Table 24. Daily intake and time spent chewing for wethers fed timothy or alfalfa hay at three intake levels.

	Timothy			Significant SEM <sup>2)</sup>	effects	Alfalfa			Significant SEM	effects
	Low	Medium	High <sup>1)</sup>			Low	Medium	High		
Daily intake (g/W <sup>0.75</sup> /day)										
DM	21.5 <sup>c</sup>	34.7 <sup>b</sup>	57.1 <sup>a</sup>	0.7	p<0.01	21.5 <sup>c</sup>	35.2 <sup>b</sup>	61.0 <sup>a</sup>	0.4	p<0.01
NDF	12.7 <sup>c</sup>	20.4 <sup>b</sup>	33.6 <sup>a</sup>	0.2	p<0.01	9.5 <sup>c</sup>	15.5 <sup>b</sup>	26.9 <sup>a</sup>	0.1	p<0.01
ADF	7.7 <sup>c</sup>	12.4 <sup>b</sup>	20.3 <sup>a</sup>	0.4	p<0.01	8.3 <sup>c</sup>	13.6 <sup>b</sup>	23.5 <sup>a</sup>	0.2	p<0.01
Chewing time (min/day)										
Eating	46 <sup>c</sup>	66 <sup>b</sup>	145 <sup>a</sup>	2.9	p<0.05	42 <sup>b</sup>	45 <sup>b</sup>	75 <sup>a</sup>	4.4	p<0.05
Ruminating	140 <sup>c</sup>	264 <sup>b</sup>	414 <sup>a</sup>	11.5	p<0.01	131 <sup>b</sup>	272 <sup>a</sup>	320 <sup>a</sup>	14.6	p<0.01
Total chewing	186 <sup>c</sup>	330 <sup>b</sup>	576 <sup>a</sup>	13.6	p<0.01	173 <sup>b</sup>	317 <sup>a</sup>	395 <sup>a</sup>	18.3	p<0.05
Unitary duration (min/gDM/W <sup>0.75</sup> )										
Eating										
DM	2.1	1.9	2.6	0.4	NS	1.9	1.3	1.2	0.1	p<0.1
NDF	3.6	3.2	4.3	0.6	NS	4.4	2.9	2.8	0.3	p<0.1
ADF	6.0	5.4	7.2	1.0	NS	5.0	3.3	3.2	0.3	p<0.1
Ruminating										
DM	6.5	7.6	7.3	0.1	NS	6.1	7.7	5.2	0.4	p<0.1
NDF	11.0	13.0	12.4	0.2	NS	13.8	17.5	11.9	0.8	p<0.1
ADF	18.2	21.4	20.4	0.3	NS	15.8	20.0	13.6	0.9	p<0.1
Total chewing										
DM	8.6	9.5	9.8	0.4	NS	8.0	9.0	6.5	0.5	NS
NDF	14.7	16.2	16.7	0.8	NS	18.2	20.4	14.7	1.0	NS
ADF	24.2	26.8	27.6	1.3	NS	20.8	23.4	16.8	1.2	NS

1) Dietary intake level: Low, 1.0% of body weight; Medium, 1.5% of body weight; High, 2.5% of body weight.

2) Standard error of the mean.

3) Mean values with different superscript letters were significantly different (a, b, c, p<0.05; A, B, C, p<0.01).

Table 25. Fractional passage rates<sup>1)</sup>, transit time and total mean retention time of digesta in wethers fed timothy or alfalfa hay at three different intake levels.

	Intake level <sup>2)</sup>			SEM <sup>3)</sup>	Significant effects
	Low	Medium	High		
<b>Timothy</b>					
Co-EDTA (as a liquid phase marker)					
k <sub>1</sub> (%/hr)	2.3 <sup>c, 4)</sup>	3.4 <sup>b</sup>	4.1 <sup>a</sup>	0.2	p<0.05
k <sub>2</sub> (%/hr)	6.5 <sup>B</sup>	11.0 <sup>B</sup>	21.3 <sup>A</sup>	1.1	p<0.01
TT (hr)	13.7	14.5	9.2	0.9	NS
TMRT (hr)	76.1 <sup>a</sup>	53.6 <sup>b</sup>	38.6 <sup>b</sup>	3.3	p<0.05
Dy-labeled hay (as a particulate phase marker)					
k <sub>1</sub> (%/hr)	1.8 <sup>B</sup>	1.9 <sup>B</sup>	2.8 <sup>A</sup>	0.1	p<0.01
k <sub>2</sub> (%/hr)	4.0 <sup>B</sup>	4.8 <sup>B</sup>	9.3 <sup>A</sup>	0.5	p<0.01
TT (hr)	17.9 <sup>a</sup>	15.9 <sup>a</sup>	11.2 <sup>b</sup>	0.6	p<0.05
TMRT (hr)	100.1 <sup>A</sup>	89.6 <sup>A</sup>	58.1 <sup>B</sup>	2.1	p<0.01
<b>Alfalfa</b>					
Co-EDTA (as a liquid phase marker)					
k <sub>1</sub> (%/hr)	2.5 <sup>c</sup>	3.5 <sup>b</sup>	4.8 <sup>a</sup>	0.2	p<0.05
k <sub>2</sub> (%/hr)	7.0 <sup>b</sup>	10.0 <sup>b</sup>	14.2 <sup>a</sup>	0.5	p<0.05
TT (hr)	11.5	10.9	9.0	0.5	NS
TMRT (hr)	67.5 <sup>a</sup>	49.6 <sup>b</sup>	37.1 <sup>c</sup>	1.9	p<0.05
Dy-labeled hay (as a particulate phase marker)					
k <sub>1</sub> (%/hr)	2.3 <sup>B</sup>	3.3 <sup>B</sup>	4.2 <sup>A</sup>	0.1	p<0.01
k <sub>2</sub> (%/hr)	5.3 <sup>c</sup>	8.3 <sup>b</sup>	11.6 <sup>a</sup>	0.4	p<0.05
TT (hr)	15.4 <sup>a</sup>	14.0 <sup>a</sup>	11.8 <sup>b</sup>	0.3	p<0.05
TMRT (hr)	78.7 <sup>a</sup>	57.1 <sup>b</sup>	44.7 <sup>c</sup>	1.8	p<0.05

1) k<sub>1</sub>, ruminal passage rate; k<sub>2</sub>, post-ruminal passage rate; TT, transit time; TMRT, total mean retention time in the alimentary tract calculated from the equation of Grovum and Williams (1973).

2) Dietary intake level: Low, 1.0% of body weight; Medium, 1.5% of body weight; High, 2.5% of body weight.

3) Standard error of the mean.

4) Mean values with different superscript letters were significantly different (a, b, c, p<0.05; A, B, C, p<0.01).

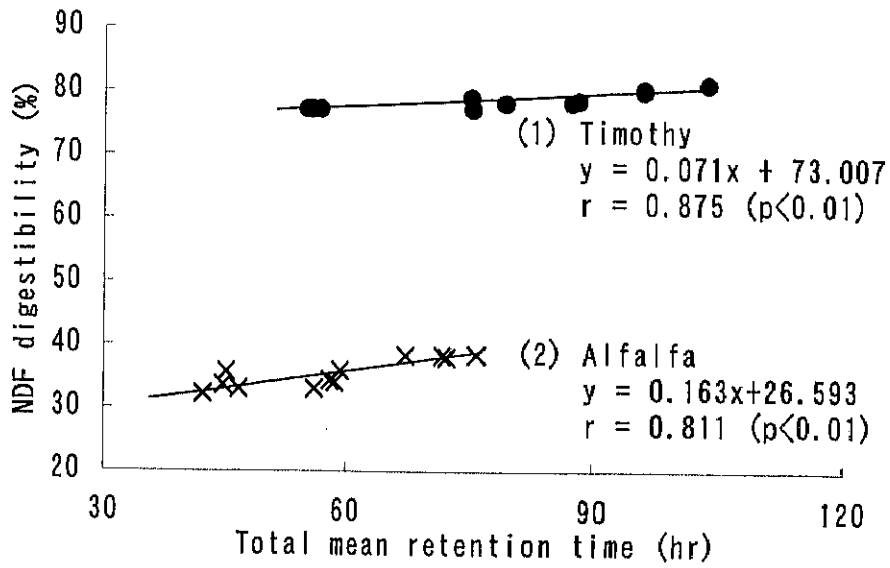


Fig. 4. The relationship between total mean retention time (TMRT) and NDF digestibility.

## 4. 考察

### 1) 消化率に対する飼料摂取水準の影響

本試験においては、飼料の摂取水準を体重の1%、1.5%および2.5%に設定した。これは、低品質な飼料を摂取したヒツジ(大下ら, 1992)や乾乳期の乳牛(Spain, 2000)では、乾物摂取量が体重の1%前後であることや、泌乳牛における粗飼料摂取量の上限が、体重の2.5%前後であることを考慮したためである。このため、摂取水準の変動としては狭い範囲であったものの、今までの知見(Huhtanen and Kukkonen, 1995; Shaver et al., 1988; Tyrell and Moe, 1974)と同様に、本試験でも乾物摂取量が増加するにつれて、ヒツジにおいても成分消化率の低下が認められた。しかしながら、アルファルファハイキューブ摂取時には、NDF、ADFおよびCP消化率に摂取水準による有意差が認められ、OM消化率でも低下する傾向が認められたのに対して、チモシー乾草摂取時には、ADFおよびOM消化率においては摂取水準による有意差は認められず、アルファルファハイキューブとチモシー乾草では成分消化率に対する摂取水準の影響は同一でないことが示唆された。

### 2) 採食反芻時間

本試験において、チモシー乾草を摂取した場合は、各摂取水準間で採食あるいは反芻時間のいずれにおいても有意差が認められたのに対して、アルファルファハイキューブを摂取した場合は、採食時間ではH区とL, M区との間に、反芻および総咀嚼時間においてはL区とM, H区との間にそれぞれ有意な差が認められた。これは咀嚼行動がアルファルファハイキューブとチモシー乾草では異なることを示している。

本試験における草種間の比較は直接できないものの、H区においてチモシー

摂取時のヒツジの採食・反芻時間はアルファルファヘイキューブ摂取時の約1.5倍と長かった。この原因としては、摂取飼料の粒子サイズの違いおよび草種間差の2つが考えられる。採食反芻時の咀嚼行動は、反芻家畜によって摂取された飼料の物理的消化に主要な役割を果たしており、飼料の切断長(粒度)を短くすると、反芻家畜の採食反芻時間が減少することはよく知られている(Lee and Pearce, 1984; Sudweeks et al., 1981)。Beauchemin et al.(1997)は、キューブ化の過程で、粗飼料の粒子サイズが減少し、咀嚼を必要とする有効繊維含量が低下することを報告している。これに対し、Sudweeks et al.(1981)は、アルファルファの乾物摂取量1kgあたりの咀嚼時間が、イネ科乾草よりも短いことを報告している。また、久馬ら(1993)は、同一切断長であるアルファルファ(n=24)とソルガム(n=16)を摂取したヒツジの採食反芻時間と乾物、NDFおよびADF摂取量との関係を調べた結果、反芻時間(y: 分/日)はADF摂取量(x: g/W<sup>0.75</sup>/day)と間に高い相関があり、その傾きは草種によって有意に異なると報告している(アルファルファ:  $y=24x-90$ ,  $r=0.785$ ,  $p<0.01$ ; ソルガム:  $y=44x-100$ ,  $r=0.877$ ,  $p<0.01$ )。

以上のことから、本試験のH区でアルファルファヘイキューブの1日あたりの咀嚼時間あるいは乾物摂取量あたりの咀嚼時間がチモシー乾草に比べ短かった原因としては、摂取飼料の粒度の差異のみならず、草種固有の物理化学性の違いが影響したと考えられる。

Ueda et al.(1997)は、アルファルファを自由摂取したヒツジにおける採食時の咀嚼による微細化効率はオーチャードグラスを摂取した場合に比べて大きいことを報告している。本試験において、乾物摂取量あたりのアルファルファの採食時間および総咀嚼時間がチモシー乾草よりも短かったことは、アルファルファがチモシーよりも採食時の咀嚼による微細化が容易であることと関係しているのかもしれない。一方、Beaucamin and Iwaasa(1993)は、アルファル

ファとオーチャードグラスをウシに維持量を給与した場合、採食反芻時間に草種間で差がないことを報告しており、本試験のL、M区においても採食・反芻時間は飼料間で同様な数値が得られた。また、本試験におけるチモシー乾草では摂取水準による単位摂取量当たりの咀嚼時間に有意な差が認められなかったのに対し、アルファルファハイキューブ摂取時では、単位摂取量当たりの採食および反芻時間にH区が他区より短い傾向が認められたことは、摂取水準による単位摂取量当たりの咀嚼時間の変動は飼料によって異なる可能性を示すものといえる。

### 3) 飼料摂取量と消化管通過速度との関係

本試験では、飼料摂取量が高くなるにつれて、液相の反芻胃通過速度は大きくなった。この成績は、ヒツジおよびウシにおける既往の報告と一致している (Colluci et al., 1990; Grovum and Williams, 1977)。反芻胃からの固形物の流出速度は反芻胃内容液の通過速度に影響し、摂取飼料が反芻胃を流出する場合、ある一定の比重および粒度に達した部分が胃液に混和した状態で通過すると考えられており、液相と固相の移動は一定の相互関係を有しているとするのが定説である (Sutherland, 1988)。本試験では、アルファルファ摂取時のTMRTの固相と液相間の差は7.5-11.2時間であった。これに対して、チモシー乾草を摂取した場合の差は19.5-36.0時間であった。この結果は、粗飼料粒子の反芻胃における滞留時間が給与飼料の種類によって大きく異なることを示している。摂取飼料の反芻胃から下部消化管への通過に大きく影響する要因としては、粒子サイズ (Dixon and Milligan, 1985; Poppi et al., 1980) および粒子の比重 (desBordes and Welch, 1984) の2つがあげられる。飼料粒子サイズの減少は、主に採食、反芻時の咀嚼によると考えられることから、消化管通過速度と採食反芻時間には密接な関係があることが予想される。本試験において、チモシー

乾草を摂取したヒツジのH区の固相の $k_1$ がアルファルファハイキューブ摂取時のH区のそれより遅く、かつ咀嚼時間が長かったことは、飼料の消化管通過が採食反芻時の咀嚼行動と密接に関係していることを示すものであり、チモシー乾草はアルファルファハイキューブよりも微細化に要する時間が長いことを反映しているといえる。本試験においてチモシー乾草の微細化に要する時間が長かった理由としては、乾草とハイキューブといった飼料の粒子サイズの違いのみならず、マメ科牧草とイネ科牧草との繊維構造の草種間差 (Wilson and Mertens, 1995; Rode and Satter, 1988) が考えられる。さらに、同様な摂取水準において、チモシー乾草摂取時の固相のTMRTがアルファルファハイキューブ摂取時よりも長かったことは、反芻胃と同様、下部消化管においてもチモシー乾草がより長く滞留したことを示している。

以上のとおり、本節における試験成績は、飼料の摂取水準、消化管通過速度および消化率の間に一定の関係があることを示している。Van Soest (1994b) は、摂取量の増加による消化率の低下は、固相の消化管通過が速くなるためとしているが、本節の結果はこの考えを支持するものである。しかしながら、本試験では、飼料摂取量が消化管通過速度に及ぼす影響の程度は、アルファルファハイキューブとチモシー乾草では異なることが明らかとなった。さらに、平均滞留時間とNDF消化率との間には、いずれの飼料にも高い相関が認められたが、その傾きはアルファルファハイキューブの方がチモシー乾草に比べ有意に大きかったことは、消化率と滞留時間の関係も飼料の種類によって異なることを示している。

## 第5節 小括

反芻家畜消化管における粗飼料の通過に關与する要因の解析と消化管通過速度と採食反芻時間を指標とした飼料の微細化との關係解明を目的に、1) 乾草の生育時期、2) 窒素源添加の有無、3) 飼料の物理的形態（切断長）、4) 摂取水準の各要因を取り上げ、CoおよびDyをそれぞれ液相および固相のマーカールとして摂取飼料の動態解析を行った。得られた成績は以下のとおりである。

1) 生育に伴う纖維構造の変化による消化管通過速度の差異を明らかにする目的で、出穂前、出穂期および結実期に収穫したチモシー乾草の消化管通過速度を測定し、併せて微細化の主要因と考えられている採食反芻行動との關係を検討した。その結果、摂取量が同一であっても、リグニン化が進むにつれ、固相の反芻胃通過速度は遅くなり、逆に採食反芻時間が長くなることが明らかとなり、粗飼料の反芻胃通過には、微細化の難易度が密接に關与することが示唆された。

2) 低タンパク粗飼料に対する窒素源の添加が消化管通過速度に及ぼす影響を解明するため、出穂期および結実期のチモシー乾草に大豆粕を添加し、窒素源の添加の有無が消化管通過速度に及ぼす影響を検討した。その結果、大豆粕の添加は、低タンパク粗飼料摂取時の採食反芻時間を短縮するものの、チモシー乾草の反芻胃通過速度や滞留時間に影響しないことが示された。

3) 飼料の物理的形態（切断長）が消化管通過速度に及ぼす影響を明らかにするため、トウモロコシおよびソルガムを供試飼料として、サイレーヅ調製における切断長の差異(9mmと20mm)がヒツジの消化管通過速度に及ぼす影響



を検討した。その結果、トウモロコシとソルガムでは、サイレージの切断長が採食量や消化管通過速度に及ぼす影響は異なり、ソルガムサイレージでは、切断長が長くなると採食反芻時間が有意に長くなり、固相の反芻胃通過速度が遅くなることが明らかとなった。一方、トウモロコシサイレージでは、本試験で設定した切断長の範囲内では採食・反芻時間および消化管通過速度には変化が見られなかった。

4) 乾物摂取量が採食反芻時間、消化管通過速度および消化率に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、チモシー乾草とアルファルファヘイキューブを用い、摂取水準を3段階に設定し飼養試験を行った。その結果、摂取水準の消化管通過速度および採食反芻時間に対する効果は飼料によって異なり、摂取量の増加による平均滞留時間の減少に伴うNDF消化率の低下は、アルファルファヘイキューブがチモシー乾草に比べてより大きいことが明らかとなった。