

牧草のサイレージおよび乾草調製による窒素画分割合と第一胃内窒素分解率の変化がめん羊の窒素出納に及ぼす影響

松岡 栄・Huu Van Nguyen・石井 篤・河合正人*

帯広畜産大学 (080-8555 北海道帯広市稲田町西 2 線 11 番地)

Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro, Hokkaido 080-8555, Japan

受付日: 2007 年 1 月 17 日/受理日: 2007 年 12 月 6 日

Synopsis

Sakae Matsuoka, Huu Van Nguyen, Atsushi Ishii, Masahito Kawai (2008) Changes in Nitrogen Fractions and *In Vitro* Nitrogen Degradability of Forages during Silage and Hay Making and Their Effects on Nitrogen Utilization by Sheep. *Jpn J Grassl Sci* 54 : 24-30

Three experiments were carried out to examine the changes in nitrogen fractions and *in vitro* nitrogen degradability of forage resulting from silage and hay making and their effects on nitrogen utilization by sheep. Timothy, orchard-grass and alfalfa were used as test forages in experiment-1, -2 and -3, respectively. Forage nitrogen was partitioned into four fractions: F1, F2, F3 and F4 which is rapidly, intermediately, slowly, and not degraded in the rumen, respectively. In all the experiments, silage making led to an increase in F1, but a decrease in F2 and F3. F4 remained unchanged. Hay making decreased in F1, but increased in F3 and F4. *In vitro* nitrogen degradability increased with silage making, but declined with hay making. Sheep fed silage excreted more nitrogen in their urine, resulting in lower nitrogen retention than those fed material herbage. Adding glucose to the silage tended to increase nitrogen retention, with decreased nitrogen excretion in the urine. There was no significant difference in nitrogen retention between hay-fed and material herbage-fed sheep. In experiments 2 and 3, hay-fed sheep excreted more nitrogen in their feces than those fed material herbage, but it was offset by decreased nitrogen excretion in their urine.

Key words: Hay making, *In vitro* nitrogen degradability, Nitrogen fraction, Nitrogen utilization, Silage making.

緒 言

牧草はサイレージや乾草に調製される過程において、そのタンパク質の物理化学的性質は変化し、家畜による利用率に影響を与えることが知られている (Van Soest 1982, McDonald ら 1988)。これまで、タンパク質の物理化学的性質の変化は純タンパク質の非タンパク態窒素 (nonprotein nitro-

gen: NPN) への分解 (Brady 1960)、電気泳動法により分離したタンパク質の画分 (Makoni ら 1993)、アミノ酸組成 (Kemble 1956) などを指標に用いて検討されてきた。しかし、現在は、飼料タンパク質の評価は第一胃内分解特性を基に行うことが推奨されており (Agricultural Research Council 1980, National Research Council 1989)、サイレージ、乾草については、窒素の第一胃内分解率 (Ørskov 2000)、第一胃内分解性を反映しているとされている窒素画分割合 (Sniffen ら 1992) により評価が行われている。しかし、サイレージおよび乾草調製にともなう窒素の第一胃内分解率、窒素画分割合の変化と家畜による窒素利用率との関係を検討した報告は少ない (Van Soest・Mason 1991)。

そこで、本研究では同一原料草から調製したサイレージと乾草を供試し、それぞれの窒素画分割合、*in vitro* 窒素分解率、めん羊を用いた窒素出納成績の比較を行った。

材 料 と 方 法

1. サイレージおよび乾草の調製

本研究で用いた 3 種の牧草は本学畜産フィールド科学センターが飼料用に栽培しているものであり、サイレージ調製作業の一環として収穫したものを使用した。圃場の牧草は午前中に刈り取り、翌日に集草した。この間、反転処理はしなかった。その後、ハーベスターで (設定切断長 9.6 mm) 細切した (以降、原料草とよぶ)。3 種の各原料草を研究施設に運搬し、以下の 3 処理 (実験 1, 2 および 3) により供試粗飼料を調製した。

実験 1.

出穂初期 (一番草) のチモシー (*Phleum pratense* L.) 主体の混播牧草を用いた。原料草約 1,200 kg をよく混合した後、4 等分した。一つ (300 kg) は直ちにポリ袋に小分けして詰め込み、冷凍庫 (-15°C) 内で保存した (以降、材料草とよぶ)。他の二つ (600 kg) は、120 l 容ポリ製容器に詰め込んで、室内、室温下で、サイレージ調製した。サイレージは 35 日後に開封し、全体をよく混合してから 2 等分した。一方は直ちに材料草と同様にして冷凍庫内で保存した。他方には、材料草の可溶性炭水化物 (WSC) 含量と同じ含量となるようにグルコースを乾物当たり 5% 添加した後、材料草と同様に冷凍庫

* 連絡著者 (corresponding author): kawaim@obihiro.ac.jp

内で保存した（以降、G添加サイレージとよぶ）。残りの一つ（300 kg）は、ポリ製シートの上で2日間天日乾燥して乾草を調製した。乾草は屋内で保存した。

実験2.

出穂初期（一番草）のオーチャードグラス (*Dactylis glomerata* L.) 主体の混播牧草を供試した。材料草の貯蔵、サイレージおよび乾草の調製、保存、サイレージへのグルコースの添加は実験1と同様に行った。ただし、グルコースの添加量は乾物当たり10%とした。

実験3.

開花初期（一番草）のアルファルファ (*Medicago sativa* L.) 主体の混播牧草を使用した。原料草約1,200 kgをよく混合した後、4等分した。一つは直ちに実験1と同様に冷凍庫内で保存し、一つは乾草を調製した。また、一つは予乾をせずにサイレージを調製し、他の一つは、ポリ製シートの上で約6時間予乾して（以降、予乾材料草とよぶ）、サイレージを調製した（以降、ヘイレージとよぶ）。サイレージ、ヘイレージおよび乾草の調製、保存は実験1と同様に行った。

なお、材料草、サイレージ、ヘイレージおよび乾草の化学

成分とサイレージとヘイレージの発酵品質は表1と表2にそれぞれ示した。

2. 窒素の分画

材料草、サイレージ、ヘイレージおよび乾草の窒素の分画は、Krishnamoorthy ら (1982), Kohn・Allen (1995) の方法を参考に行った。すなわちリン酸緩衝液、中性デタージェント溶液および酸性デタージェント溶液に不溶の窒素を測定し、それぞれをBSIN (buffer solution insoluble nitrogen), NDIN (neutral detergent insoluble nitrogen) およびADIN (acid detergent insoluble nitrogen) とした。これらの成分を基に全窒素 (全-N) をF1, F2, F3 および F4 の4つの画分に分画し、全-Nに対する割合 (%) で表示した。すなわち、各画分割合は、 $F1=100 \times (\text{全-N} - \text{BSIN}) / \text{全-N}$, $F2=100 \times (\text{BSIN} - \text{NDIN}) / \text{全-N}$, $F3=100 \times (\text{NDIN} - \text{ADIN}) / \text{全-N}$, $F4=100 \times \text{ADIN} / \text{全-N}$ として算出した。

3. 第一胃内窒素分解率の測定

材料草、サイレージおよび乾草のタンパク質の第一胃内分解率はCoblentz ら (1999), Mathis ら (2001) の *in vitro* 法により測定した。タンパク質分解酵素は市販のアクチナーゼ

Table 1. Chemical composition of forages.

	Material herbage	Silage	Silage+G	Hay	Wilted herbage ¹	Haylage
Experiment 1						
Dry matter (%)	24.4	26.3	26.7	86.8	—	—
Crude protein (% DM)	17.4	16.5	16.1	16.9	—	—
WSC (% DM)	6.8	1.3	6.3	6.9	—	—
Experiment 2						
Dry matter (%)	35.0	33.2	35.5	83.3	—	—
Crude protein (% DM)	13.8	14.0	12.8	13.4	—	—
WSC (% DM)	12.7	3.6	13.6	13.7	—	—
Experiment 3						
Dry matter (%)	21.9	20.1	—	85.0	54.1	52.7
Crude protein (% DM)	16.3	17.1	—	16.4	16.0	15.8
WSC (% DM)	7.4	1.3	—	6.0	5.1	1.7

Timothy, orchardgrass and alfalfa were used as test forages in experiment-1, -2 and -3, respectively.

¹Material herbage was wilted to make haylage.

G, glucose ; DM, dry matter ; WSC, water soluble carbohydrate.

Table 2. Fermentation quality of silages.

	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	Silage	Silage+G	Silage	Silage+G	Silage	Haylage
pH	4.33	4.36	4.15	4.14	4.35	4.51
Lactic acid (% DM)	6.3	6.1	5.8	5.2	11.5	6.2
Acetic acid (% DM)	1.4	1.3	0.7	0.6	1.8	1.1
Propionic acid (% DM)	nd	nd	nd	nd	0.1	0.1
Butyric acid (% DM)	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Ammonia-N (% total N)	6.6	6.6	4.2	4.1	10.9	5.8
V score	95	95	99	99	85	95

Timothy, orchardgrass and alfalfa were used as test forages in experiment-1, -2 and -3, respectively.

G, glucose ; DM, dry matter ; nd, not detected.

E (科研製薬株式会社, 東京) を使用し, 培養液の酵素活性は 6.6 単位/ml として, 4 時間培養した。

4. 窒素出納試験

材料草, サイレージ, ヘイレージおよび乾草の窒素の利用率をみるためにめん羊による窒素出納試験を実施した。試験は, チェビオット種の去勢雄めん羊 4 頭を用い, 全糞尿採取法により行った。試験期間は予備期 7 日間, 糞尿採取期 5 日間の 12 日間を 1 期として, 4 期にわたり, 4 つの飼料 (実験 1 と 2 では, 材料草, サイレージ, G 添加サイレージおよび乾草, 実験 3 では, 材料草, サイレージ, ヘイレージおよび乾草) を 4 頭のめん羊に 4×4 のラテン方格法にしたがい割り付けた。1 日の飼料給与量は乾物で体重の 2% とし, それを等量に分け, 午前 8 時と午後 5 時に給与した。水は自由飲水とし, 固形塩も常備した。

5. 分析方法

材料草とサイレージは, 冷凍庫で保存する前に, また乾草は, 1 週間貯蔵した後に, 全体を 3 等分してそれぞれから代表的な試料を採取した。採取した材料草とサイレージは, 凍結乾燥した後, 分析室内に 5 日間放置してから 1 mm のふるいを通る大きさに粉碎し, また乾草は同様に粉碎し, 分析に供した。

すべての試料の窒素含量はケルダール法 (倉田・林 1971) で測定した。材料草とサイレージの水分含量は凍結乾燥法, 乾草と糞の水分含量は加熱乾燥法 (135°C, 2 時間) により求めた。サイレージの pH はガラス電極 pH メーター (堀場製作所製, F-7AD, 京都), VFA はガスクロマトグラフィー (島津製作所製, GC-14A, 京都) を用いて測定し, 乳酸は Barker・Summerson の方法 (大山 1971), アンモニア-N は微量拡散法 (大山 1971) により求め, 品質判定は V スコアに

より行った (自給飼料品質評価研究会 1994)。材料草, サイレージ, ヘイレージおよび乾草の WSC はアンスロン法 (柘木 1971) により定量した。

6. 統計解析

全-N の窒素画分割合と *in vitro* 窒素分解率のデータは 1 元配置法 (n=3), 窒素出納のデータはラテン方格法 (4×4) により F 検定を行い, 有意差 (P<0.05) が認められた場合には Tukey の多重検定により処理間の有意差を検討した (吉田 1978)。

結 果

表 3 に材料草, サイレージ, ヘイレージおよび乾草の窒素画分割合を示した。すべての実験において, 材料草と比較して, サイレージの F1 画分割合は多く, F2 と F3 画分割合は少なかったが (P<0.05), F4 画分割合に有意な差はなかった (P>0.05)。乾草では F1 画分割合は材料草より少なく, F3 画分割合は多かった (P<0.05)。乾草の F4 画分割合は材料草に比べ, 実験 2 と 3 で多かった (P<0.05)。実験 3 において, 予乾材料草のすべての画分は乾草との間に有意な差はなかった (P>0.05)。ヘイレージ調製にともなう F1, F2 および F3 画分割合の変化はサイレージ調製にともなう変化と同様であったが, 変化の程度は小さかった。

表 4 に原料草, サイレージ, ヘイレージおよび乾草の *in vitro* 窒素分解率を示した。すべての実験において, サイレージの全-N 分解率は材料草と比べて高く, 乾草の分解率は低かった (P<0.05)。不溶性-N 分解率については, サイレージでは実験 2 と 3 で原料草と比べて低く, 乾草では実験 1 と 3 で低かった (P<0.05)。予乾材料草の全-N および不溶性-N 分解率 (実験 3) は乾草との間に有意な差はなく (P>0.05), 両

Table 3. Nitrogen fractions (% of total-N) of forages.

Fraction	Material herbage	Silage	Silage+G	Hay	Wilted herbage	Haylage	SE
Experiment 1							
F1	37.2 ^b	55.4 ^a	57.4 ^a	28.8 ^c	—	—	1.19
F2	32.2 ^a	26.8 ^b	25.8 ^b	30.8 ^{a,b}	—	—	1.21
F3	25.6 ^b	12.3 ^c	11.6 ^c	34.6 ^a	—	—	0.80
F4	5.1	5.5	5.2	5.9	—	—	0.34
Experiment 2							
F1	37.0 ^b	62.8 ^a	61.1 ^a	31.1 ^c	—	—	0.69
F2	43.5 ^a	26.4 ^b	27.7 ^b	45.2 ^a	—	—	0.57
F3	13.6 ^b	4.8 ^c	5.6 ^c	16.3 ^a	—	—	0.22
F4	6.0 ^b	6.1 ^b	5.7 ^b	7.4 ^a	—	—	0.26
Experiment 3							
F1	32.5 ^{b,c}	58.7 ^a	—	27.3 ^d	28.2 ^{c,d}	35.0 ^b	1.20
F2	51.5 ^a	32.5 ^c	—	43.3 ^b	44.3 ^b	41.6 ^b	1.19
F3	7.7 ^c	1.0 ^d	—	17.8 ^a	16.2 ^a	12.3 ^b	0.46
F4	8.3 ^b	7.8 ^b	—	11.5 ^a	11.3 ^a	11.0 ^a	0.27

Timothy, orchardgrass and alfalfa were used as test forages in experiment-1, -2 and -3, respectively.

^{a,b,c,d}: Means within the same line with different superscripts are significantly different (P<0.05).

F1, Total-N-BSIN; F2, BSIN-NDIN; F3, NDIN-ADIN; F4, ADIN (BSIN, buffer solution insoluble nitrogen; NDIN, neutral detergent insoluble nitrogen; ADIN, acid detergent insoluble nitrogen); G, glucose; SE, standard error.

分解率ともにヘイレージ調製により上昇した ($P < 0.05$)。

材料草, サイレージ, ヘイレージおよび乾草をめん羊に給与したときの窒素出納試験の結果を表5に示した。窒素摂取量では, 飼料間に有意差がみられたが ($P < 0.05$), その差は小さかった。すべての実験で, サイレージ給与時の糞中への窒素排泄割合は材料草給与時との間に有意な差はなかったが ($P > 0.05$), 尿中への窒素排泄割合は多く, 窒素蓄積率は低かった ($P < 0.05$)。サイレーズヘグルコースを添加すると (実験1と2), 尿中への窒素排泄割合を減少させ, 窒素蓄積率を上昇させる傾向がみられた。乾草給与時についてみると, 実験1では, 糞中および尿中への窒素排泄割合, 窒素蓄積率は原料草給与時との間に有意な差はなかった ($P > 0.05$)。実

験2と3では, 糞中への窒素排泄割合が原料草給与時より増加したが ($P < 0.05$), 尿中への排泄がほぼそれに相当する割合で減少したため, 窒素蓄積率には有意な差はなかった ($P > 0.05$)。ヘイレージ給与時 (実験3) の糞中への窒素排泄割合は原料草給与時より多く, 窒素蓄積率は低下した ($P < 0.05$)。その値はサイレーズ給与時と乾草給与時のほぼ中間にあった。

考 察

1. 窒素画分

本研究では試料中窒素を第一胃内分解性を反映するとされている4つの画分に分画した。すなわち, F1はNPNと可溶

Table 4. *In vitro* nitrogen degradability (%) of forages.

	Material herbage	Silage	Silage+G	Hay	Wilted herbage	Haylage	SE
Experiment 1							
Total-N	65.5 ^b	73.1 ^a	73.6 ^a	52.4 ^c	—	—	1.05
Insoluble-N	45.0 ^a	39.5 ^{a,b}	38.0 ^b	33.1 ^b	—	—	1.49
Experiment 2							
Total-N	61.1 ^b	72.6 ^a	71.7 ^a	56.8 ^c	—	—	0.84
Insoluble-N	38.2 ^a	26.3 ^b	27.3 ^b	37.4 ^a	—	—	1.22
Experiment 3							
Total-N	62.9 ^b	71.6 ^a	—	49.2 ^d	48.1 ^d	58.1 ^c	0.84
Insoluble-N	45.1 ^a	31.1 ^c	—	30.1 ^c	27.7 ^c	35.5 ^b	0.79

Timothy, orchardgrass and alfalfa were used as test forages in experiment-1, -2 and -3, respectively.
^{a,b,c,d}: Means within the same line with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).
 G, glucose; N, nitrogen; SE, standard error.

Table 5. Nitrogen balance in sheep fed the experimental forages.

	Material herbage	Silage	Silage+G	Hay	Haylage	SE
Experiment 1						
N intake (g/day)	25.0 ^{a,b}	25.6 ^a	25.0 ^{a,b}	24.9 ^b	—	0.13
Fecal N (% N intake)	27.7	26.9	27.9	26.6	—	0.34
Urinary N (% N intake)	47.2 ^b	53.3 ^a	49.0 ^b	48.8 ^b	—	0.80
Digested N (% N intake)	72.3	73.1	72.1	73.4	—	0.34
Retained N (% N intake)	25.1 ^a	19.9 ^b	23.1 ^{a,b}	24.6 ^{a,b}	—	1.04
Experiment 2						
N intake (g/day)	20.1 ^a	19.5 ^{a,b}	18.5 ^b	19.4 ^{a,b}	—	0.21
Fecal N (% N intake)	29.6 ^b	29.8 ^b	32.4 ^a	32.4 ^a	—	0.49
Urinary N (% N intake)	50.6 ^b	56.5 ^a	52.5 ^{a,b}	47.1 ^b	—	1.09
Digested N (% N intake)	70.4 ^a	70.2 ^a	67.6 ^b	67.6 ^b	—	0.49
Retained N (% N intake)	19.9 ^a	13.7 ^b	15.1 ^{a,b}	20.5 ^a	—	1.17
Experiment 3						
N intake (g/day)	23.8 ^{a,b}	24.5 ^a	—	23.9 ^{a,b}	23.2 ^b	0.24
Fecal N (% N intake)	26.0 ^c	25.0 ^c	—	28.5 ^b	32.0 ^a	0.33
Urinary N (% N intake)	59.0 ^b	68.0 ^a	—	57.3 ^b	57.0 ^b	0.55
Digested N (% N intake)	74.0 ^a	75.0 ^a	—	71.5 ^b	68.0 ^c	0.33
Retained N (% N intake)	15.0 ^a	7.0 ^c	—	14.2 ^a	11.0 ^b	0.54

Timothy, orchardgrass and alfalfa were used as test forages in experiment-1, -2 and -3, respectively.
^{a,b,c}: Means within the same line with different superscripts are significantly different ($P < 0.05$).
 G, glucose; N, nitrogen; SE, standard error.

性タンパク質-N とから成り、第一胃内で速やかに分解される(速分解性)画分である。一方、F4 は結合性タンパク質からなり、第一胃内で分解されず(非分解性)、下部消化管でも消化されない画分である。また、F2 と F3 は不溶性タンパク質-N から成り、前者は第一胃内で中程度の速さで分解され(中分解性)、その一部は分解を逃れて下部消化管へ移行し、後者は第一胃内でゆっくりと分解され(遅分解性)、そのかなりの部分は分解を逃れる画分である(Sniffen ら 1992)。これらの画分の第一胃内分解速度は、それぞれ 3-16%/時、0.06-0.55%/時と見積もられている(National Research Council 2001)。

一般に、牧草中のタンパク質-N (全-N-NPN) の割合は全-N の 85-90% を占めている(National Research Council 2001)。また、Kohn・Allen (1995) は刈り取り直後の可溶性タンパク質-N は粗タンパク質(CP) の約 8% (凍結乾燥した 3 草種の平均値) を占めると報告している。これらの数値から、牧草の刈り取り直後の F1 画分の割合を推計してみると 18-23% となり、これと比較すると、本研究に用いた材料草の F1 画分の割合は 32.5 (実験 3)-37.2% (実験 1) とかなり高かった(表 3)。本研究では、牧草の刈り取りから分析用試料として処理するまで約 18-24 時間経過していたことから、この間に植物体が持つタンパク質分解酵素によりタンパク質の分解が進んだ(McDonald ら 1991) のと思われる。

牧草タンパク質はサイレージ調製(牧草の刈り取りからサイロの開封まで)により分解され、その分解割合はサイレージの発酵品質の低下にともない大きくなるが、発酵品質が良好なものでも 50-60% に達すると見積もられている(McDonald ら 1991)。本研究では材料草の刈り取り直後のタンパク質-N の割合を測定していないので、文献値(National Research Council 2001) の 85-90% の値を用いて、本研究でのサイレージ調製によるタンパク質-N の分解割合を試算すると、85% を用いたときの分解割合 $(100 \times \{85 - (F2 + F3 + F4)\} / 85$ より算出) は 52% (3 実験の平均値) となり、90% を用いたときは 54% で、いずれも McDonald ら (1991) の見積もりの範囲内にあった。この試算では、Brady (1960), Fairbairn ら (1988) の牧草の可溶性タンパク質-N はサイレージ調製中にほとんど分解されるという報告をもとにサイレージの F1 画分には可溶性タンパク質-N は含まれていないとして、サイレージ中に残ったタンパク質-N の割合は F2, F3 および F4 画分の総計とした。本研究のサイレージの発酵品質は V スコアで評価すると 85 点(実験 3)-99 点(実験 2) であり、すべて良好なものであった(表 2)。

サイレージ調製にともなう各画分の変化についてみると、すべての実験において F2 と F3 画分割合が減少し、F1 画分割合は増加した ($P < 0.05$)。これは、植物体中およびサイレージ発酵に関与した微生物のタンパク質分解酵素により不溶性タンパク質-N からなる F2 と F3 画分が分解され、その分解産物である NPN が F1 画分に移行したことによるのであろう。F4 画分割合については、すべての実験においてサイレージ発酵にともなう有意な変化はみられなかった ($P > 0.05$)。

一方、乾草調製によりすべての実験において F1 画分割合は減少し、F3 画分割合は増加した ($P < 0.05$)。これは、乾草調製中に材料草中の可溶性純タンパク質-N が太陽の熱と紫外線により変性を起こして不溶化したため、NDIN 含量が増加した(Van Soest 1982) ことによるものと思われる。また、同様な現象は不溶性タンパク質においても起きることが知られており(Van Soest 1982)、実験 3 で F2 画分割合が減少した原因として考えられる。Van Soest (1982) は、乾草調製中にタンパク質の変性の他に、メイラード反応が起こり、この生産物は ADIN 中に内包されると指摘している。本研究では、実験 2 と実験 3 において乾草調製により F4 画分割合が増加した ($P < 0.05$)。

2. *In vitro* 窒素分解率

In vitro 全-N 分解率は、すべての実験においてサイレージ調製により上昇し、乾草調製により低下した ($P < 0.05$)。これは、前者では不溶性タンパク質の分解産物である NPN の増加にともない速分解性の F1 画分割合が増加したこと、後者では F1 画分を構成する溶解性タンパク質が変成にともない減少したことによるものであろう。また、サイレージと乾草の比較ではサイレージのほうが高かった。これらの結果は従来の報告と一致した(McDonald ら 1991)。

一方、*in vitro* 不溶性-N 分解率はサイレージおよび乾草調製により有意な低下 ($P < 0.05$)、または低下の傾向がみられた。この低下の原因を窒素画分割合(表 3) の点からみると、サイレージ調製では中分解性の F2 画分割合の減少、乾草調製では遅分解性の F3 画分および非分解性の F4 画分の割合の増加によるものと推察された。

3. めん羊による窒素利用率

一般に、牧草をサイレージに調製するとそのタンパク質の利用率は低下することが知られている。このおもな原因として、サイレージ調製中のタンパク質分解にともなう NPN の増加と WSC の減少が指摘されている(McDonald・Edwards 1976)。本研究のめん羊による窒素出納試験において、すべての実験で、サイレージ給与時の窒素蓄積率は材料草給与時より低かった ($P < 0.05$)。この低下の直接の原因は尿中への窒素排泄割合の増加にあった。このことは、サイレージ調製により速分解性の F1 画分が増加し(表 3)、これにともなう摂取窒素の第一胃内分解率の上昇(表 4) が第一胃内のアンモニアの過剰生成をもたらしたことに起因するものと思われる。一方、WSC の減少は、第一胃内微生物が利用可能なエネルギーの供給不足、さらに、第一胃内微生物がアンモニア-N を取り込んでアミノ酸を合成するときの炭素骨格の供給不足をもたらすと考えられている。本研究に用いたサイレージの WSC 含量は材料草に比較してすべて著しく少なかった(表 1)。一般に、サイレージ中の窒素の第一胃内での微生物タンパク質への変換効率を向上させる目的では澱粉は不適當で、WSC のほうがより効果的であるとされている(McDonald ら 1991)。これは、サイレージ調製により増加する NPN は速分解性であることから、最も分解されやすい炭水化物の区分に分類される WSC (Sniffen ら 1992) が、第一胃内微生物への窒素とエネルギーの供給の同調化により適し

ていると考えられているからである (McDonald ら 1991, National Research Council 2001)。本研究では、サイレージ調製により消失した WSC に相当する量のグルコースをサイレージに添加して給与した。その結果、サイレージ単独給与時に比べ、摂取窒素の尿中への排泄割合は実験 1 で 4.3 ポイント、実験 2 で 4.0 ポイント減少し、窒素蓄積率が上昇する傾向がみられた。

本研究では、サイレージ調製によるタンパク質の利用率の低下の原因として、上記 2 つの他に、F3 画分割合の減少が示唆された。F3 画分は遅分解性で、そのかなりの部分が分解されずに下部消化管に移行する。通常、F4 画分を除く非分解性タンパク質の利用率は分解性タンパク質より高く見積もられており (Agricultural Research Council 1980)、これの減少は全体の利用率の低下に繋がる。本研究に用いたすべてのサイレージの F3 画分割合は材料草に比較して大きく減少していた (表 3)。

自然乾燥により調製される乾草においては、牧草タンパク質の分解および WSC の消失の程度は調製時の乾燥速度、換言すれば気象条件によって大きく異なる。好天に恵まれて 2-3 日で調製された乾草では、その程度はサイレージに比較してかなり小さい。また、太陽の熱と紫外線によるタンパク質変性にもなう第一胃内分解性の低下も指摘されている (Van Soest 1982)。これらのことにより牧草タンパク質の利用率は乾草調製により低下しないとする報告が多い (McDonald・Edwards 1976)。本研究でも、すべての実験において窒素蓄積率は乾草給与時と原料草給与時との間に有意な差はなかった ($P > 0.05$)。しかし、このとき、実験 2 と 3 では、糞中への窒素排泄割合が原料草給与時より増加したが ($P < 0.05$)、尿中への排泄がほぼそれに相当する割合で減少していた。糞中への窒素排泄割合は CP のみかけの消化率と表裏の関係にあるが、McDonald ら (1988) は、乾燥処理は CP のみかけの消化率を低下させることがあり、このとき CP は第一胃での分解を免れ、小腸での消化・吸収される割合が多くなると指摘している。

実験 3 において、サイレージ給与時の糞中への窒素排泄割合は乾草給与時より多かった ($P < 0.05$)。Gordon ら (1961)、Sutton・Vetter (1971) も同様な結果を報告している。Gordon ら (1961) はこの原因として低水分サイレージで起こりやすい高温発酵によるタンパク質の熱変性をあげている。

以上、本研究では、サイレージおよび乾草調製による速分解性-N 画分割合の増減が *in vitro* 窒素分解率に最も強く影響を与え、その分解率はサイレージで上昇し、乾草で低下した。めん羊による窒素出納では、材料草給与時に比較して、サイレージ給与時に尿中への排泄割合の増加による蓄積率の低下がみられた。乾草給与時では蓄積率に差はなかったが、2 草種では、糞中への排泄割合の増加が尿中への排泄割合の減少により相殺されていた。

引用文献

Agricultural Research Council (1980) Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. Commonwealth Agricultural Bureau,

- Slough, p121-166
- Brady CJ (1960) Redistribution of nitrogen in grass and leguminous fodder plants during wilting and ensilage. *J Sci Food Agric* 11 : 276-284
- Coblentz WK, Abdelgadir IEO, Cochran RC, Fritz JO, Fick WH, Olson KC, Turner JE (1999) Degradability of forage proteins by *in situ* and *in vitro* enzymatic methods. *J Dairy Sci* 82 : 343-354
- Fairbairn R, Alli I, Baker BE (1988) Proteolysis associated with the ensiling of chopped alfalfa. *J Dairy Sci* 71 : 152-158
- Gordon CH, Derbyshire JC, Wiseman HG, Kane EA, Melin CG (1961) Preservation and feeding value of alfalfa stored as hay, haylage and direct-cut silage. *J Dairy Sci* 44 : 1299-1311
- 自給飼料品質評価研究会 (編) (1994) 粗飼料の品質評価ガイドブック, 日本草地協会, 東京, p79-87
- Kemble AR (1956) Studies on the nitrogen metabolism of the ensilage process. *J Sci Food Agric* 7 : 125-130
- Kohn RA, Allen MS (1995) Prediction of protein degradation of forages from solubility fractions. *J Dairy Sci* 78 : 1774-1788
- Krishnamoorthy U, Muscato TV, Sniffen CJ, Van Soest PJ (1982) Nitrogen fractions in selected feedstuffs. *J Dairy Sci* 65 : 217-225
- 倉田陽平・林弥太郎 (1971) ケルダール法. 動物栄養試験法 (森本宏監修), 養賢堂, 東京, p286-292
- Makoni NF, Shelford JA, Nakai S, Fisher LJ, Majak W (1993) Characterization of protein fractions in fresh, wilted, and ensiled alfalfa. *J Dairy Sci* 76 : 1934-1944
- 榎木茂彦 (1971) 材料 (牧草) 中の可溶性炭水化物の定量. 動物栄養試験法 (森本宏監修), 養賢堂, 東京, p422-424
- Mathis CP, Cochran RC, Vanzant ES, Abdelgadir IEO, Heldt JS, Olson KC, Johnson DE, Caton J, Faulkner D, Horn G, Paisley S, Mass R, Moore K, Halgerson J (2001) A collaborative study comparing an *in situ* protocol with single time-point enzyme assays for estimating ruminal protein degradability of different forages. *Anim Feed Sci Tech* 93 : 31-42
- McDonald P, Edwards RA (1976) The influence of conservation methods on digestion and utilization of forages by ruminants. *Proc Nutr Soc* 35 : 201-211
- McDonald P, Edwards RA, Greenhalgh JFD (1988) *Animal Nutrition*. 4th ed. Longman Scientific & Technical, New York, p 404-415, 416-429
- McDonald P, Henderson AR, Heron SJE (1991) *The Biochemistry of Silage*. 2nd ed. Chalcombe Publications, Marlow, UK, p48-80, 250-305
- National Research Council (1989) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 6th rev, ed. National Academy Press, Washington DC, p1-157
- National Research Council (2001) *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev, ed. National Academy Press, Washington DC, p43-104
- 大山嘉信 (1971) 微量拡散法, 乳酸の定量. 動物栄養試験法 (森本宏監修), 養賢堂, 東京, p320-322, 413-416
- Ørskov ER (2000) The *in situ* technique for the estimation of forage degradability in ruminants. In : *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition* (Eds Givens DI, Owen E, Axford RFE, Omed HM) CABI Publishing, New York, p175-188
- Sniffen CJ, O'Connor JD, Van Soest PJ, Fox DG, Russell JB (1992) A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets : II Carbohydrate and protein Availability. *J Anim Sci*

70 : 3562-3577

Sutton AL, Vetter RL (1971) Nitrogen studies with lambs fed alfalfa (*Medicago sativa*) as hay, low-moisture and High-moisture silages. *J Anim Sci* 32 : 1256-1261

Van Soest PJ (1982) *Nutritional Ecology of the Ruminant*. Cornell University Press, New York, p230-248

Van Soest PJ, Mason VC (1991) The influence of the Maillard reaction upon the nutritive value of fibrous feeds. *Anim Feed Sci Tech* 32 : 45-53

吉田 実 (1978) 畜産を中心とする実験計画法. 養賢堂, 東京, p69-87, 101-116

要 旨

松岡 栄・Huu Van Nguyen・石井 篤・河合正人 (2008) 牧草のサイレージおよび乾草調製による窒素画分割合と第一胃内窒素分解率の変化がめん羊の窒素出納に及ぼす影響. *日草誌* 54 : 24-30

チモシー, オーチャードグラス, アルファルファについて, サイレージおよび乾草調製にともなう窒素画分割合と *in vitro* 窒素分解率の変化を調べ, それがめん羊による窒素出納に及ぼす影響を検討した。牧草の窒素は第一胃内分解性の違いを基に速, 中, 遅および非分解性-N の 4 つの画分に分画した。この中でサイレージおよび乾草調製による速分解性-N 画分割合の増減が *in vitro* 窒素分解率に最も強く影響を与え, その分解率はサイレージで上昇し, 乾草で低下した。窒素出納では, 材料草給与時に比較して, サイレージ給与時には尿中への排泄割合が増加し, 蓄積率は低下した。サイレージへのグルコース添加は蓄積率の上昇をもたらした。乾草給与時には, 蓄積率は材料草給与時との間に差はなかったが, 2 草種において, 糞中への排泄割合が増加し, その分尿中への排泄割合が減少していた。

キーワード: 乾草調製, サイレージ調製, 第一胃内窒素分解率, 窒素画分, 窒素利用率.