

摩砕処理がアルファルファ低水分ロールベールサイレージの 消化性およびエネルギー含量に及ぼす影響

野中 和久・久米 新一・大下 友子

I. 緒 言

フォーレージマットメーカー（以後、マットメーカーとする）は、刈り取り直後の牧草をローラーで摩砕圧縮してマット状にし、それを刈り株上で乾燥する圃場作業機であり、これまでに、圃場における牧草の乾燥速度向上効果に関する報告が発表されている（AJIBOLAら, 1980; KOEGELら, 1986; ÖZTEKIN and ÖZCAN, 1997; SAVOIEら, 1993; SHINNERSら, 1986）。

我が国においては、NISHIZAKIら（1997）が試作機を開発し、従来のテッダによる反転予乾と比較して牧草の乾燥速度が速く、低水分ロールベールサイレージ調製に効果的であるという報告を行った。また、筆者らが改良型試作機を供試して行った実験においても（野中ら, 2001）、同様の乾燥速度向上効果が認められた他、摩砕処理したアルファルファは、予乾時の葉部脱落が慣行のテッダによる反転予乾に比較して少なく、養分損失を抑制できることが示された。

他方、摩砕処理は牧草の茎部を圧搾することから消化性の向上効果も期待されており、種々の関連研究が行われている。HONGら（1988）は、摩砕処理は乾草のめん羊による乾物摂取量（DMI）と中性デタージェント繊維（NDF）消化率を向上させる報告を、またPETITら（1994）は摩砕処理によるアルファルファおよびチモシー乾草の消化率向上効果に関する報告を行った。しかしながら、筆者らが前報（野中ら, 2001）で行った牛への給与試験では、摩砕処理したロールベールサイレージは、無摩砕で調製したロールベールサイレージに比較して、消化率、可消化養分総量（TDN）含量、エネルギー消化率およびエネルギー代謝率に差はなく、消化性向上効果は認められなかった。この理由として、牛の採食性を低下させない目的で給与時に行った20mmの細切処理が摩砕による消化性向上効果を打ち消したものと考察した。

そこで本試験では、消化性に関する給与時の細切

の影響を可能な限り抑制し、摩砕の効果をより明確に判定できるよう、マットメーカーで調製したアルファルファロールベールサイレージを前報の10倍の長さの200mmで切断して牛に給与した場合の一般成分消化率・エネルギー消化率およびエネルギー代謝率に関する検討を行った。

II. 材料および方法

1. 供試材料

アルファルファ（*Medicago sativa* L. ; 品種マキワカバ）を1999年（3番草; 略称3rd-99）および2000年（1番草; 略称1st-00）に刈り取り、フォーレージマットメーカー（NISHIZAKIら, 1997）の改良型試作機で摩砕し予乾する区（Forage Matmaking-treatment; FM区）と、ウインドローインバータで刈り取り後の牧草列（ウインドロー）を反転し、攪拌せずに予乾する区（Windrow Inverting-treatment; WI区）を設けた。牧草の刈り取りはモーアコンディショナで行い、刈り取り高さはフォーレージマットメーカーで調製した牧草マットを刈り株上に敷設した際の株間の通気を考慮し（西崎ら, 1998）地面から14cmの高刈りとした。FM区は目標水分含量を約50%に設定し圃場で予乾した。また、WI区は刈り取り後5時間目に1回反転を行い、FM区と同時間圃場に放置して予乾した。予乾中の平均気温、日照時間（積算値）および日射量（積算値）は、3rd-99がそれぞれ21.0℃、10.2時間および27.3MJ/m²、1st-00が同18.9℃、6.5時間および23.1MJ/m²であった。予乾終了後、アルファルファはロールベラ（タカキタ社製パワーカットロールベラ；ベールサイズは直径1,450mm×幅1,150mm、細切なし）で梱包し、市販の黒色フィルム（幅0.5m、厚さ0.25μm）を用いたラッピングマシン（タカキタ社製WM1520A）で6層巻きのラッピング処理を行った。貯蔵は屋外で約3ヶ月間行い、開封後、設定切断長200mmでそれぞれ切断し試験用サイロ（200 l 容）に再埋蔵して試験飼料とした。

2. 乾乳牛による呼吸試験

サイレージの消化率, TDN含量, 可消化エネルギー (DE) 含量および代謝エネルギー (ME) 含量をホールボディチャンバー (野中ら, 2002) で求めた。試験はFM区, WI区とも乾乳牛2頭 (3rd-99は体重561および635kg, 1st-00は体重631kgおよび686kg) による反転法で, それぞれ予備期1週間, 本期1週間 (うちホールボディチャンバーに4日間収容) の全糞尿採取法で行った。給与飼料はサイレージのみとし, 両区とも日本飼養標準 (農林水産省農林水産技術会議, 1999) のTDN維持量の110%量を1日2回, 午前9時と午後5時に等分給与した。なお, 給与量設定に用いたTDN含量は飼料の酸性デタージェント繊維 (ADF) および粗蛋白質 (CP) 含量より推定した値 (自給飼料品質評価研究会, 1994) を用いた。水およびミネラル (鉱塩ブロック) は自由摂取とした。飼料, 糞および尿は毎日1回採取し, それぞれ一定量ずつを混合してサンプルとした。

3. 化学分析

サンプルは60°Cで48時間通風乾燥した後, 1mm篩を通して粉碎後, 飼料成分分析に供した。水分含量は135°C 2時間乾燥法 (自給飼料品質評価研究会, 1994) で定量し, 新鮮物中の含有率で示した。また, CP含量はケルダール法で, 粗脂肪 (EE), ADFおよびNDF含量は常法 (自給飼料品質評価研究会, 1994) でそれぞれ定量し, 乾物中の含有率で示した。サイレージの発酵品質は, 動物栄養試験法 (石橋, 2001) に従って抽出液を調整後, 乳酸含量は高速液体クロマトグラフィーで, 揮発性脂肪酸 (VFA) 含量はガスクロマトグラフィーで, また揮発性塩基態窒素 (VBN) 含量は水蒸気蒸留法 (自給飼料品質評価研究会, 1994) で測定した。呼吸試験に供試した飼料ならびに得られた糞, 尿のエネルギー含量はボンブカロリーメータ (島津製作所CA-4PJ) で測定し, 乾物1kg当たりのMJで表示した。統計処理は全てSASのGLM Procedure (SAS出版局, 1990) を用いて行った。

III. 結果および考察

1. 圃場における乾燥速度

刈り取り直後およびロールベール梱包時のアルファルファの水分含量をFig. 1に示した。両処理区の圃場における予乾時間を同等にした場合, 予乾終了時の水分含量はFM区がWI区より3rd-99で12.4%,

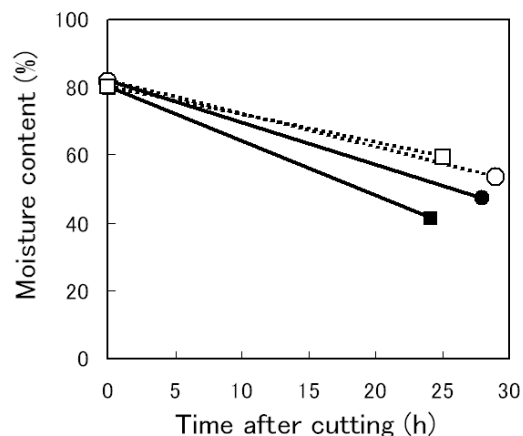


Fig.1. Moisture content of herbage.

- 3rd cut alfalfa in 1999, conditioned with forage mat-maker
- 3rd cut alfalfa in 1999, conditioned with windrow inverter.
- 1st cut alfalfa in 2000, conditioned with forage mat-maker
- 1st cut alfalfa in 2000, conditioned with windrow inverter.

1st-00で16.3%低く, 圃場での乾燥速度はFM区が速かった。前報 (野中ら, 2001) では, テッダによるアルファルファの頻繁な攪拌予乾はフォーレイジマットメーカーによる摩砕予乾に比較して, 乾燥速度は同等あるいはそれ以上の速さであるものの, 葉部脱落が多く, 刈り残した下繁雑草の一部を混入させるため, アルファルファの栄養価を低下させることが明らかとなった。そこで本試験では, FM区の比較対照として, 刈り取ったままのウィンドローを攪拌せずに1回反転した後, 放置して予乾するウィンドローインバータ処理 (WI区) を採用した。しかしながら, この処理は牧草を圃場に拡散しないためウィンドロー内部の水分蒸散量が少なく, これが乾燥速度を低下させた要因と考えられた。以上, 前報および本試験の結果から判断すると, 刈り取り後のアルファルファを圃場で予乾する場合, 乾燥速度は速い順に, テッダによる攪拌予乾 \geq マットメーカーによる摩砕予乾 $>$ ウィンドローインバータによる反転予乾となることが推察された。

2. サイレージの飼料成分および発酵品質

刈り取り直後の生草およびサイレージの葉部割合ならびにサイレージの雑草混入率をTable 1に示した。葉部割合は, 両番草で生草およびサイレージとも処理区間差は認められず, 両処理区とも調製中の葉部脱落は極めて低いことが確認された。サイレージへの雑草混入率は, 3rd-99ではWI区が17%でFM区の10%に比較して高い値を示したものの, 1st-00

Table 1. Leaf ratio and weed ratio of alfalfa fresh forage and silage.

Item ¹⁾	Leaf ratio ²⁾		Weed ratio ³⁾
	Fresh forage	Silage	Silage
3rd-99 ⁴⁾	FM	51.9	10.0 ^{b5)}
	WI	50.7	16.7 ^a
1st-00	FM	47.3	25.0
	WI	47.9	21.5

¹⁾ FM: Conditioned with forage mat-maker, WI: Conditioned with windrow inverter.

²⁾ Leaf ratio=leaf/(leaf+ stem)% of alfalfa (DM basis).

³⁾ Weed ratio=weed/(weed+ alfalfa)% (DM basis).

⁴⁾ 3rd-99: 3rd cut alfalfa in 1999, 1st-00: 1st cut alfalfa in 2000.

^{5)a,b:} Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

では処理区間差は認められず、約2割の雑草混入率であった。前述のように、テッダによる予乾作業はアルファルファの葉部脱落を増加させ、刈り残した下繁雑草の一部を引き抜いて混入させる。そこで本試験ではFM区の対照としてWI区を設けたが、WI区の葉部脱落の程度はFM区と同様に低く、また、雑草混入率の処理区間差も前報（テッダの雑草混入率はマットメカのそれに比較して乾物当たり28.8%高かった）に比較して小さい値であった。これらを元にアルファルファ予乾作業機による葉部ロスあるいは雑草混入程度を相対的に比較すると、マットメカによる摩砕予乾が最も少なく、次いでウィンドローインバータによる反転予乾、テッダによる攪拌予乾の順となることから、アルファルファの予乾作業機としてマットメカが最も適しているものと考えられた。

サイレージの飼料成分組成をTable 2に示した。

Table 2. Chemical composition of alfalfa silage.

Item ¹⁾	DM (%)	OM	CP	EE	ADF	NDF	
				DM%			
3rd-99 ²⁾	FM	56.7 ^{a3)}	90.0	19.6	4.7 ^b	37.0	47.1 ^a
	WI	44.3 ^b	89.7	20.8	5.2 ^a	35.7	43.4 ^b
1st-00	FM	55.4 ^a	90.7 ^a	13.6 ^b	3.2 ^a	34.4	47.4 ^a
	WI	39.1 ^b	90.1 ^b	15.7 ^a	2.9 ^b	34.0	44.9 ^b

¹⁾ FM: Conditioned with forage mat-maker, WI: Conditioned with windrow inverter.

²⁾ 3rd-99: 3rd cut alfalfa in 1999, 1st-00: 1st cut alfalfa in 2000.

^{3)a,b:} Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

DM含量は、両番草ともFM区の乾燥速度が速かったためFM区が高い値を示した。CP含量は3rd-99で処理区間差が認められなかったものの、両番草ともFM区が低い傾向を示した。繊維成分について、ADF含量は処理区間差が認められなかったが、NDF含量はWI区が約3%低い値を示した。本試験では、葉部割合や雑草混入率に顕著な処理区間差は認められなかったにもかかわらず、WI区のNDF含量が低下した。この理由として、WI区は相対的に水分含量が高かったため、微弱ではあるがサイレージ発酵が進み、基質としてNDF中のヘミセルロースが消費されたものと考え、サイレージ発酵の程度を調査した。その結果（Table 3）、

供試した全サイレージはpHが4.65以上と総じて高く、VBN/TN比は6.45%以下で、有機酸の生成も抑制され、発酵は微弱であることが認められた。また、乳酸および酢酸含量は1st-00でWI区が高い値を示したものの、3rd-99では有機酸含量に処理区間差はなく、FM区に比較してWI区の発酵が促進されたとは言いがたい結果となった。そのため、WI区のNDF含量が減少した理由については、別途検討が必要であり、今後、低水分サイレージの微弱な発酵や貯蔵に伴う構造的炭水化物の分解程度を精査する必要があるものと考えられた。

3. サイレージの消化率およびエネルギー含量

サイレージの消化率およびTDN含量をTable 4に示した。3rd-99はEE消化率がWI区で9.2%高かったが、他の成分消化率は処理区間差がなく、TDN含量もFM区60.1%、WI区63.7%と同等であった。1st-00は各成分とも消化率に有意な処理区間差が認められず、TDN含量は両区で62.3%と等しい値であった。呼吸試験結果をTable 5に示した。サイレージの総エネルギー（GE）含量は17.8-18.0MJ/kgで処理区間差は認められなかった。DEおよびME含量にも処理区間差はなく、GEの消化率は62.1-63.8%でTDN含量（60.1-63.7%）と近似していた。また、GEの代謝率は番草・処理区にかかわらず約50%であった。

Table 3. Fermentation characteristics of alfalfa silage.

Item ¹⁾	3rd-99 ²⁾		1st-00	
	FM ³⁾	WI	FM	WI
pH	5.15	4.65	5.10	4.70
VBN/TN (%)	5.45	6.45	2.70 ^{b4)}	4.65 ^a
Lactic acid (%)	1.08	1.54	0.55 ^b	1.08 ^a
Acetic acid (%)	1.04	0.82	0.32 ^b	0.94 ^a
Propionic acid (%)	0.01	0.01	0.02	0.00
Butyric acid (%)	0.02	0.00	0.00	0.00

¹⁾ VBN/TN: Volatile basic nitrogen/Total nitrogen.

²⁾ 3rd-99: 3rd cut alfalfa in 1999, 1st-00: 1st cut alfalfa in 2000.

³⁾ FM: Conditioned with forage mat-maker, WI: Conditioned with windrow inverter.

⁴⁾ a, b: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

Table 4. Apparent digestibility and total digestible nutrients content of alfalfa silage.

Item ¹⁾		DM	OM	CP	EE	ADF	NDF	TDN
		%				(DM%)		
3rd-99 ²⁾	FM	62.4	63.5	66.4	52.0 ^{b3)}	55.5	56.3	60.1
	WI	65.0	66.6	70.2	61.2 ^a	57.0	57.8	63.7
1st-00	FM	65.1	66.5	69.9	57.5	54.3	58.0	62.3
	WI	64.6	66.4	68.1	60.5	55.6	57.7	62.3

¹⁾ FM: Conditioned with forage mat-maker, WI: Conditioned with windrow inverter.

²⁾ 3rd-99: 3rd cut alfalfa in 1999, 1st-00: 1st cut alfalfa in 2000.

³⁾ a, b: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

Table 5. Energy content of alfalfa silage.

	3rd-99 ¹⁾		1st-00	
	FM ²⁾	WI	FM	WI
Body weight (kg)	601	595	661	656
Water intake (kg/d)	7.4	7.4	8.3	8.7
Water intake (kg/d)	32.1	28.4	28.5	24.7
Energy content (dry basis)				
Gross energy (MJ/kg)	17.9	18.0	17.8	18.0
Digestible energy (MJ/kg)	11.1	11.4	11.3	11.4
Metabolizable energy (MJ/kg)	8.9	9.0	8.9	8.9
Apparent digestibility of GE (%)	62.0	63.1	63.8	63.6
Metabolizability of GE (%)	49.7	50.0	49.8	49.6

¹⁾ 3rd-99: 3rd cut alfalfa in 1999, 1st-00: 1st cut alfalfa in 2000.

²⁾ FM: Conditioned with forage mat-maker, WI: Conditioned with windrow inverter.

³⁾ a, b: Mean values with different superscript letters were significantly different (P<0.05).

アルファルファの摩砕処理が消化性に及ぼす影響について、HONGら(1988)はアルファルファ乾草をめん羊に給与した結果、NDF消化率は摩砕区が高いことを示した。またPETITら(1994)は、摩砕処理によりDMとADFの分解可能な画分が相対的に増えるため消化率が向上することを報告した。しかしながら、細切したサイレージでは消化性に関して摩砕の効果は得られないことが報告されている(CHARMLEYら, 1997; FROSTら, 1995; MERTENS and KOEGEL, 1992)。牧草は摩砕処理により茎部が縦方向に割れ、内部が露出する。一方、細切処理を行うと、茎部は横方向に切断され、内部が露出する。どちらの処理においても、茎の内部が露出し、表面積が増加するため、第一胃内微生物の付着可能面積は無処理の牧草と比較して増加する結果、消化性が向上するものと考えられる。CHARMLEYら(1997)は、これら処理を同時に行った場合、細切処理が摩砕による消化性および消化管通過速度の増加効果を打ち消すであろうと推察したが、筆者らは逆に消化性の向上効果はさらに高まるものと考え、前報において、給与前のアルファルファサイレージをそれぞれ20mmで細切し、細切処理単独の区と細切+摩砕処理区の比較を行った。その結果、摩砕処理による顕著な消化性向上効果は認められず、GEの消化率および代謝率に処理区間差はなく、細切に摩砕を加えた処理の効果は認められなかった。そこで本試験では、摩砕による消化性向上効果をより明確に判定できるよう給与前に200mmに切断したアルファルファを用いて比較試験を行った。しかしながらその結果は20mmで細切した場合と同様で、牛の消化性には処理区間差が認められなかった。このことから、本試験で供試したマットメーカーによる摩砕処理は、消化性に影響を及ぼす程の物理的効果を発揮しないことが示された。

以上、本試験の結果から、刈り取り直後のアルファルファをフォーレージマットメーカーで摩砕処理し圃場で予乾した場合、無摩砕のアルファルファと比較して、乾燥速度が向上し予乾時間を短縮できること、また、調製中の葉部脱落や雑草混入に起因する栄養損失を低減できることが示された。しかしながら、これをサイレージに調製し牛に給与した場合、摩砕による消化性の向上効果は期待できないことが示唆された。

IV. 謝 辞

本試験を遂行するに当たり、北海道農業研究センター総合研究部農業機械研究室の方々にはフォーレージマットメーカーの利用に際して格別の便宜を図っていただいた。また、同企画調整部業務第1科および第3科の職員諸氏にはサイレージ調製や家畜試験で多大の御尽力をいただいた。ここに深甚の謝意を表す。

V. 摘 要

フォーレージマットメーカーによる摩砕処理が、アルファルファの圃場での乾燥速度ならびにサイレージの消化性・エネルギー含量に及ぼす影響を検討した。材料はアルファルファの1999年3番草(3rd-99)および2000年1番草(1st-00)で、これらを摩砕し予乾する区(FM区)と摩砕せずにウィンドローインバータで予乾する区(WI)区を設けた。結果は以下の通りである。

1. 圃場での予乾時間を両処理区で同等にした場合、予乾終了時の水分含量はFM区がWI区より低く、圃場での乾燥速度はFM区が速かった。
2. アルファルファの葉部割合は、両番草で生草およびサイレージとも処理区間差は認められず、調製中の葉部脱落は低かった。サイレージへの雑草混入率は、3rd-99ではWI区がFM区に比較して高い値を示したものの、1st-00では処理区間差は認められず、約2割の雑草混入率であった。
3. サイレージの飼料成分には大きな処理区間差が認められず、発酵は微弱であった。
4. サイレージの消化率には処理区間差が認められず、TDN含量も両処理区で同等であった。また、呼吸試験を行った結果、エネルギー消化率および代謝率にも処理区間差は認められなかった。

VI. 引用文献

- 1) AJIBOLA, O., KOEGEL, R. and BRUHN, H. D. (1980) : Radiant energy and its relation to forage drying. Transactions of the ASAE., 23, 1297-1300.
- 2) CHARMLEY, E., SAVOIE, P. and McQUEEN, R. E. (1997) : Influence of maceration at cutting on lactic acid bacteria populations, silage

- fermentation and voluntary intake and digestibility of precision-chopped lucerne silage. *Grass and Forage Science*, 52, 110-121.
- 3) FROST, J. P., POOTS, R., KNIGHT, A., GORDON, F. J. and LONG, F. N. J. (1995) : Effect of forage matting on rate of grass drying, rate of silage fermentation, silage intake and digestibility of silage by sheep. *Grass and Forage Science*, 50, 21-30.
- 4) HONG, B. J., BRODERICK, G. A., KOEGEL, R. G., SHINNERS, K. J. and STRAUB, R. J. : (1988) Effect of shredding alfalfa on cellulolytic activity, digestibility, rate of passage and milk production. *J. Dairy Sci.*, 71, 1546-1555.
- 5) 石橋晃監修(2001):新編動物栄養試験法, P. 443. 養賢堂, 東京.
- 6) KOEGEL, R. G., SHINNERS, K. J., FRONCZAK, F. J. and STRAUB, R. J. (1986) : Prototype for production of fast-drying forage mats. ASAE Paper No. 86-1530. ASAE. St. Joseph, MI.
- 7) MERTENS, D. R. and KOEGEL, R. G. (1992) : Altered ruminal fermentation in lactating cows fed rations containing macerated alfalfa. *J. Dairy Sci. Suppl.*, 75, P265.
- 8) NISHIZAKI, K., SHIBATA, Y., YOKOCHI, Y. and NAKAYAMA, Y. (1997) : Development of forage mat maker. ASAE Paper No. 97-1099. ASAE. St. Joseph, MI.
- 9) 西崎邦夫, 柴田洋一, 横地泰宏(1998) : フォーレンジマットメーカーの開発. *農業機械学会誌*. 60, 129-131.
- 10) 野中和久, 久米新一, 大下友子(2001) : 摩砕処理が低水分サイレージの *in sacco* 分解率ならびに消化性に及ぼす影響. *日草誌*. 47, 405-411.
- 11) 野中和久, 田鎖直澄, 久米新一, 大下友子 (2002) : 代謝実験棟寒冷環境代謝実験室. 北海道農研研究資料. 61, 1-12.
- 12) ÖZTEKIN, S. and ÖZCAN, M. T. (1997): Application of the maceration technique for drying forage in turkey. *J. agric. Engng Res.*, 66, 79-84.
- 13) PETIT, H. V., SAVOIE, P., TREMBLAY, D., SANTOS, G. T. D. and BUTLER, G.(1994): Intake, digestibility and ruminal degradability of shredded hay. *J. Dairy Sci.*, 77, 3043-3050.
- 14) SAVOIE, P., BINET, M., CHOINIERE, G., TREMBLAY, D., AMYOT, A. and THERIAULT, R. (1993): Development and evaluation of a large-scale forage mat maker. *Transactions of the ASAE.* , 36, 285-291.
- 15) SHINNERS, K. J., KOEGEL, R. G. and STRAUB, R. J. (1986): Drying rates of macerated alfalfa mats. ASAE Paper No. 86-1033. ASAE. St. Joseph, MI.
- 16) 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, P. 1-193. 日本草地協会, 東京.
- 17) 農林水産省農林水産技術会議事務局編(1999) : 日本飼養標準 乳牛 1999年版, P. 1-189. 中央畜産会, 東京.
- 18) SAS出版局(1990) : SAS/STATユーザーズガイドRelease6.03ed. , P. 569-666. SAS 出版局, 東京.