

黄熟期に収穫したトウモロコシ破碎処理サイレージと 組み合わせる大豆粕の違いによる消化性および泌乳性

遠藤実央子・臼田裕*・相澤宏幸*・阿保洋一・尾岸潤二**

Effects of feeding corn silage kernel-processed at dent stage
along with different type of soy beans on digestibility and milk yield

Mioko ENDO, Yasuhiro USUDA*, Hiroyuki AIZAWA*, Yoichi ABO and Junji OGISHI**

要 約

トウモロコシサイレージ (CS) を高度に利用する調製方法として期待される破碎処理技術について、黄熟期に収穫調製した場合の乳牛への影響を調査した。併せてルーメン内消失速度の異なる大豆粕を用い、破碎CSとタンパク質飼料のルーメン内消化の調和を試み、ルーメン内の消失特性、消化性および泌乳性へ与える影響も検討した。

1. 切断長 15mm、破碎圧 5mm に調製した破碎CSと非加熱大豆粕を組み合わせると、ルーメン内の急激なVFAの産生とpHの低下が観察された。
2. 切断長 20mm、破碎圧 5mm に調製した破碎CSを同様に給与した場合、比較的ルーメン内環境は安定し、ルーメン微生物合成効率は高かった。
3. 上記1の破碎CSおよび大豆粕を用い、CS乾物比30% (原物22kg) の組成のTMRを泌乳牛へ給与したところ、特に悪影響は観察されなかった。また、上記2の破碎CSを用いた場合も同様であった。

以上より、黄熟期に収穫した破碎CSは、切断長15mmから20mm、破碎圧5mmとするとCS乾物比30%組成のTMRでの給与が可能であることが示された。一方、切断長によってルーメン内消化特性は変化するため、飼料設計中のCS組成割合により最適な破碎処理条件は異なる可能性が示された。

目 的

近年、CSを高度に利用する方法として、破碎処理技術が注目されている。収穫時の圧砕により栄養成分の利用率向上が見込まれ、濃厚飼料の代替利用、更にはCSの多給技術への応用が期待される。

しかし、破碎処理CSは、栄養成分の消化性および利用性が従来の未破碎サイレージと異なることが予想され、泌乳性に及ぼす影響もいくつか報告されているが (Balら 2000、谷川2009、木土場ら 2011)、十分に明らかでない。

本研究は、黄熟期のトウモロコシを破碎処理

した破碎CSについて未破碎CSとの泌乳性、ルーメン内消失特性および発酵特性、排泄状況を比較検討した。併せて、ルーメン内消失速度の異なる大豆粕を用いて炭水化物および窒素とのルーメン内消化の同調を図り、切断長の違いによる破碎CSの特性を明らかにすることを試みた。

試験方法

試験1：未破碎および破碎CSの泌乳性

当所で飼養している泌乳中後期ホルスタイン種9頭を供試し、3×3ラテン方格に3頭ず

*現青森県営農高等学校、**元青森県畜産試験場

つ配置した。試験期間は1期17日で、試験飼料を1日2回飽食給与し、水および鉱塩は自由摂取として1日2回搾乳した。

試験飼料は、黄熟後期に収穫調製したCSを用いた。収穫時に破碎調製し、調製条件は切断長19mm 破碎圧5mm (19pr区、pr;processed)、切断長7mm 破碎圧5mm (7pr区)、および切断長6mm 未破碎 (6up区、up;unprocessed) の計3種として (表1)、スタックサイロでサイレージ化した。これらのCS、非加熱大豆粕および配合飼料を乾物比80:12:8で混合し給与した。

調査項目は、CSの発酵品質、乳量、乳成分、血液生化学性状、ルーメン液性状および飼料摂取量とした。血液生化学性状は、朝飼料給与前、頸静脈から採血して血漿を分離し、一般性状を測定した。ルーメン液性状は、朝飼料給与前、ルーメン液を経口採取しpH、VFAおよびNH₃-Nを測定した。CSの発酵品質は株式会社雪印種苗に、乳成分は全国農業協同組合青森県本部にそれぞれ分析を依頼した。CSの品質の評価は「粗飼料の品質評価ガイドブック」に従って行った (蔡 2001)。統計処理は、分散分析し有意差が認められた場合 Tukey 法で多重比較した。

試験2：未破碎および破碎CSの消化性とタンパク質との組み合わせ

当所飼養のルーメンフィステルを装着したホルスタイン種乾乳牛3頭を供試し、試験飼料の消化性を調査した。

CSは、黄熟期に収穫および破碎調製し細断型ロールペーラでサイレージ化した。破碎調製条件は、切断長20mm 破碎圧5mm (20pr)、切断長15mm 破碎圧5mm (15pr)、および6upの3種

表1 CSの試験区分

区分	切断長	破碎圧	単位:mm		
			試験1	試験2	試験3
19pr	19	5	○		
7pr	7	5	○		
15pr	15	5		○	○
20pr	20	5		○	○
6up	6	なし	○	○	

類とした (表1)。併給飼料として大豆粕は、加工性の異なる大豆粕3種類を用いて後述の *in situ* ルーメン内消失率を調査し、消失率の高いものからH区 (非加熱)、M区 (加熱) およびL区 (加糖加熱) とした。これら3種のCSと3種の大豆粕を組み合わせ計9処理区とした。

調査項目は、各大豆粕および各CSの *in situ* ルーメン内消失率、アラントイン排泄量、排泄糞の粒度分布、ルーメン液性状の経時的変化とした。

In situ ルーメン内消失率の調査は Nocek (1998) の総説を参考に実施した。試験期間は1期14日で、CS20kg、大豆粕1kg、および牧乾草3kg (すべて現物重、乾物比63.5:9.5:27.0) を1日2回半量ずつ制限給与した。CSに大豆粕をトップドレスしてCSと牧乾草を分離給与し、水および鉱塩は自由摂取とした。

3種の大豆粕は粉碎した後サンプルバッグに封入し、ルーメンフィステルを介してルーメン内で一定時間培養した。培養時間は2、4、6、8、12、24および48時間で、培養後、水洗して通風乾燥し、乾物率を求めた。なお、試料をルーメン内で培養せず水洗のみを行って流出する乾物の割合を求め、培養0時間の値とした。得られた実測値は、Ørskovら (1979) が提唱した回帰式 $Y = a + b(1 - e^{-ct})$ に当てはめ、係数a、bおよびcをexcel2013のソルバー機能で算出した。回帰式のパラメータのうち、aは水洗して消失する水溶性の成分で溶解性画分を示し、bはaを除きルーメン内で緩慢に消失する分解性画分を示す。a+bは乾物消失量の上限値で $a + b \leq 100$ とし、cは消失速度を表す。なお、試験期間の給与飼料は、20pr区または6up区のCS、大豆粕はM区を用い、破碎および未破碎CS給与時における各大豆粕の消失率を調査した。

各CSの *in situ* ルーメン内消失率の調査は、大豆粕と同様に実施した。このとき、3種のCSは粉碎せずサンプルバッグに封入し、培養時間は2、4、8、12、24、48および72時間とした。

試験期間の給与飼料は 6pr 区および H 区を用いた。

アラントイン排泄量、排泄糞の粒度分布、ルーメン液性状の経時的变化の調査期間は 1 期 14 日で、CS20kg、大豆粕 1kg、および牧乾草 6kg（すべて現物重、乾物比 50.0 : 7.5 : 42.5）を 1 日 2 回半量ずつ制限給与、CS に大豆粕をトップドレスして CS と牧乾草を分離給与し、水および鉱塩は自由摂取とした。

アラントイン排泄量は、朝晩 2 回ずつ部分尿を採取してクレアチニンインデックス法により 1 日あたりの排泄量を推定した。すなわち、尿中のクレアチニンを指標として日排泄尿量を推定し、尿中のアラントイン日排泄量を求めた（田村ら 2007）。排泄糞は、朝晩 2 回ずつ部分糞を採取してそれぞれ 50g 秤量し、4.0、1.5 および 0.4mm の篩を用いて流水により篩別した。篩に残った残渣は通風乾燥し、総試料乾物重量に対する百分率を求め、粒度分布および子実割合を調査した。ルーメン液性状はルーメンフィステルを介して採材し、飼料給与時を 0 時間として、飼料給与から 0.5、1、2、4、6 時間後、および飼料給与直前に採取した試料を△0.5 時間後として pH、VFA、VFA のうち酢酸およびプロピオン酸比（A/P 比）、NH₃-N を測定した。

試験 3：切断長の異なる破碎 CS とタンパク質との組み合わせによる泌乳性

泌乳中後期ホルスタイン種 6 頭を 3 × 3 ラテン方格に 2 頭ずつ配置し、試験期間は 1 期 21 日とした。試験試料は、試験 2 で用いた 20pr、15pr の CS 2 種類、大豆粕は H 区、M 区および L 区の 3 種類を用いた。これら試験試料、牧草サイレージ（GS）および配合飼料を組み合わせ TMR を調製し、1 日 2 回飽食給与した。なお、15prCS を使用した場合の TMR の飼料構成は表 2 に、20prCS を使用した TMR は表 3 に示した。

調査項目は、乳量、乳成分、血液生化学性状、ルーメン液性状および飼料摂取量とした。その

他の事項は試験 1 と同様に実施した。

表 2 15prCS を使用した TMR 組成

区分	単位：乾物中%		
	H区	M区	L区
15prCS	30.9	30.1	30.6
GS	30.4	29.7	30.1
大豆粕 非加熱	7.4		
加熱		9.7	
加糖加熱			8.3
濃厚飼料	31.3	30.5	31.0
TDN	71.1	71.4	70.8
CP	17.5	17.5	17.5

表 3 20prCS を使用した TMR 組成

区分	単位：乾物中%		
	H区	M区	L区
20prCS	31.2	30.8	31.0
GS	31.6	31.2	31.4
大豆粕 非加熱	4.8		
加熱		5.8	
加糖加熱			5.2
濃厚飼料	32.5	32.1	32.3
TDN	70.9	70.9	70.6
CP	16.7	16.5	16.6

結 果

試験 1

CS の発酵品質について、19pr 区の VBN/TN が 6.09 とやや高く、7pr 区は 4.54、6up 区は 5.60 であった。V-SCORE は全処理区で 90 以上であり、サイレージ評点は「良」であった（表 4）。泌乳成績は、乳量、乳成分および血液生化学性状に有意差はみられなかった。ルーメン液性状

表 4 CS の発酵品質

	単位：新鮮物中%		
	19pr	7pr	6up
pH	3.87	3.72	3.89
乳酸	2.31	2.09	2.20
VBN/TN	6.09	4.54	5.60
酢酸	0.03	0.05	0.01
プロピオン酸 + 酪酸	0.60	0.48	0.35
V-score	93	96	96

表5 試験1における泌乳性試験

区分	単位	19pr区		7pr区		6up区	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD
乳量	kg/日	23.9 ± 1.15		24.5 ± 1.85		23.5 ± 1.06	
乳脂肪	%	4.30 ± 0.70		4.20 ± 0.80		4.30 ± 0.70	
乳タンパク質	%	3.60 ± 0.30		3.50 ± 0.30		3.60 ± 0.30	
乳糖	%	4.40 ± 0.20		4.40 ± 0.20		4.50 ± 0.20	
FCM	kg/日	24.6 ± 1.90		25.0 ± 2.40		24.3 ± 1.90	
P/F		0.80 ± 0.10		0.90 ± 0.10		0.90 ± 0.10	
Glu	mg/dL	77.8 ± 5.70		81.1 ± 4.07		75.7 ± 5.52	
T-Cho	mg/dL	121 ± 21.2		135 ± 25.2		122 ± 19.4	
BUN	mg/dL	12.6 ± 3.78		10.3 ± 4.06		11.1 ± 3.51	
HCT	%	33.8 ± 2.78		33.6 ± 1.71		31.0 ± 9.69	
NH3-N	mg/dl	95.8 ± 11.5 ab		84.9 ± 9.88 b		98.7 ± 13.9 a	
pH		6.60 ± 0.26		6.59 ± 0.20		6.61 ± 0.15	
総VFA濃度	mM	9.82 ± 1.30		9.17 ± 1.10		8.44 ± 2.50	
A/P		2.60 ± 0.40		2.70 ± 0.60		2.90 ± 0.40	
酢酸	%	57.1 ± 2.50 B		57.7 ± 3.40 b		60.9 ± 1.90 Aa	
プロピオン酸	%	22.3 ± 3.00		22.3 ± 4.20		21.2 ± 2.60	
酪酸	%	15.9 ± 1.80 A		14.3 ± 1.10 AB		13.4 ± 1.10 B	

異符号間に有意差あり。小文字:p<0.05、大文字:p<0.01

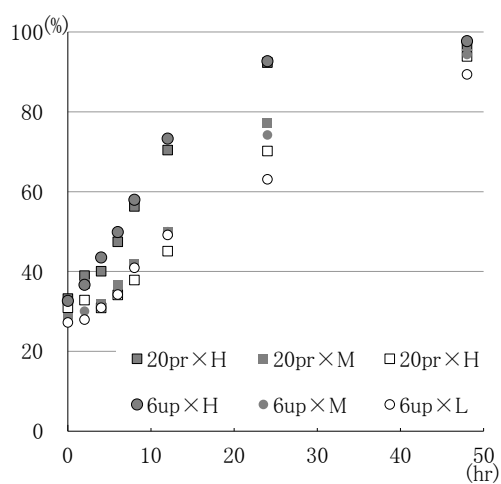


図1-1 各大豆粕の *in situ*ルーメン内消失率

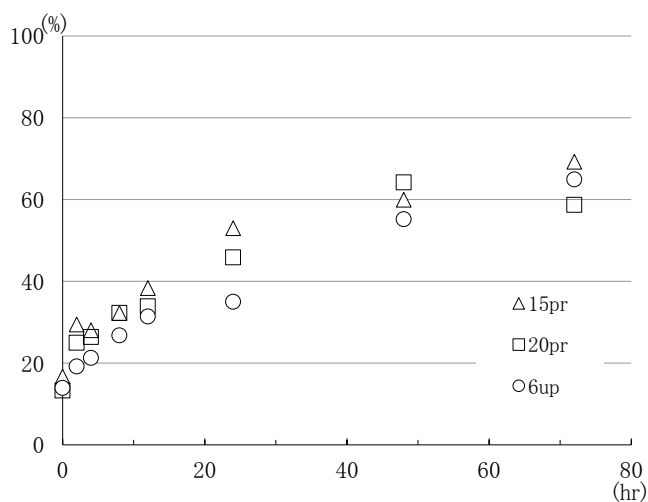


図2-1 各GSの *in situ*ルーメン内消失率

表6 各大豆粕の推定消失パラメータ

		H区	M区	L区
20pr	a	28.4	24.9	23.8
	b	71.6	75.1	76.2
	c	0.067	0.041	0.036
6up	a	28.0	22.4	23.1
	b	72.0	77.6	76.9
	c	0.074	0.041	0.034

表7 各GSの推定消失パラメータ

	15pr区	20pr区	6up区
a	20.5	16.9	16.5
b	50.2	46.7	72.2
c	0.039	0.046	0.015

は、酢酸モル比、酪酸モル比、NH₃-N に有意差がみられた。酢酸モル比は 6up 区が最も高く、6up 区と他区との間に有意差がみられた。酪酸モル比は 19pr 区が最も高く、6up 区との間に有意差がみられた。NH₃-N は 7pr 区が低く、6up 区との間に有意差がみられた (表 5)。

試験 2

はじめに、各大豆粕の *in situ* ルーメン内乾物消失率を調査した (図 1-1 および表 6)。実測値を推定式にあてはめ係数を算出した結果、20pr 区給与下または 6up 区給与下であっても溶解性画分 a、分解性画分 b、消失速度 c ともにほぼ同じ数値であった。溶解性画分 a に相当する 0 時間後の数値はすべての区で推定値より実測値のほうが高かった。消失速度 c は非加熱、加熱、加糖加熱処理大豆粕の順に高く、破碎または未破碎 CS に関わらず順序に変化はなかったため、消失速度 c の高い順に H 区 (非加熱)、M 区 (加熱) および L 区 (加糖加熱) とし以降の試験に供した。

各 CS の *in situ* ルーメン内乾物消失率は、培養後 24 時間後で消失率の差が大きく、実測値は 15pr 区、20pr 区、6up 区の順に 53.0、45.9、35.0% であった。培養 48 時間後に差は縮小し、各区 55~65% となって、72 時間後には 60~70% となった (図 2-1)。溶解性画分 a は 15pr 区、20pr 区、6up 区の順に高く、分解性画

分 b は 6up 区、15pr 区、20pr 区の順に高く、消失速度 c は 20pr 区、15pr 区、6pr 区の順に高かった (表 7)。溶解性画分 a と培養 0 時間後の実測値を比較すると、実測値のほうが低かった。

アラントイン日排泄量を多重比較した結果、6up 区が 3 種の大豆粕すべて高い水準で、15pr 区は低い水準、20pr 区は大豆粕の種類ごとに差があり、20pr×H 区、M 区、L 区の順であった (表 8)。

排泄糞の粒度分布および排泄糞中の子実割合を図 3 に示した。粒度の大きい篩 (4mm および 1.5mm) の残渣の割合は 6up 区が最も高く、15pr 区および 20pr 区間でほとんど差はなかった。子実の割合も 6up 区が最も高く、15pr 区および 20pr 区で低い水準にあった。子実割合が最も低かったのは 20pr×H 区であった。

ルーメン液性状の経時的変化を図 4、5、6 および 7 に示した。VFA 濃度は、全区において飼料給与前である Δ0.5 時間が最も低く、飼料給与後 2~4 時間後にピークとなった。最大値は 15pr×H 区の給与後 2 時間の 130.5mM であったが、その後急激に低下し 6 時間後には 98.5mM となった。最低値は 20pr×H 区の Δ0.5 時間後の 76.0mM であった (図 4)。

表 8 アラントイン日排泄量

		単位: $\mu\text{mol/L}$	
区分		平均	SD
15pr	H区	119.9 ± 60.7	d
	M区	176.5 ± 49.7	abcd
	L区	171.3 ± 38.4	bcd
20pr	H区	240.3 ± 75.8	ab
	M区	164.4 ± 44.8	cd
	L区	135.6 ± 58.7	d
6up	H区	245.6 ± 36.9	a
	M区	215.4 ± 27.9	abc
	L区	228.3 ± 40.7	ab

異符号間に有意差あり。p<0.05

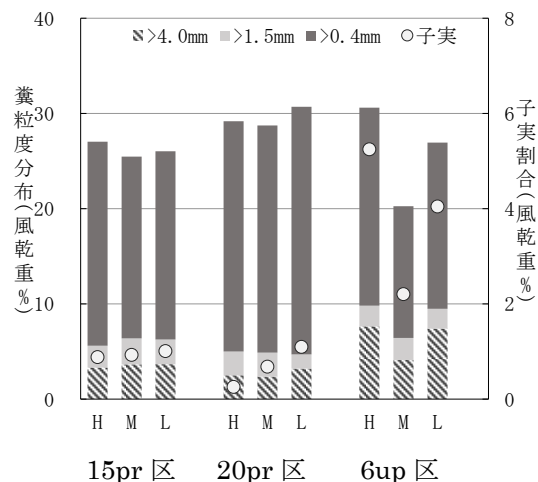
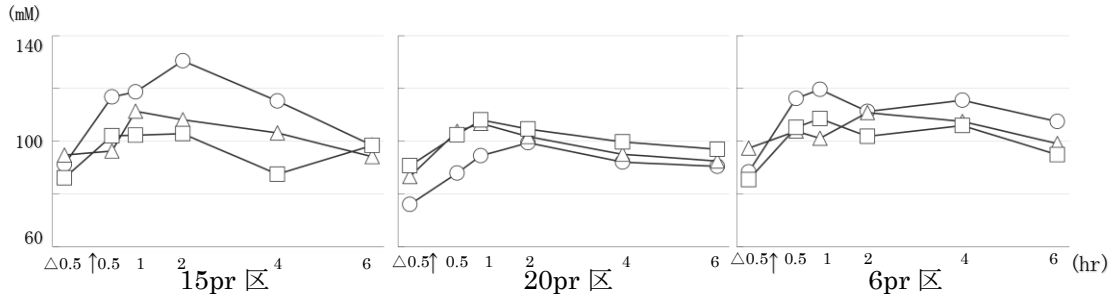


図 3 糞中残渣の粒度分布及び子実割合



注 図中矢印は朝の給餌を示す。○：H区、△：M区、□：L区。

給餌前 ($\Delta 0.5$)、給餌後 0.5、1.0、2.0、4.0 及び 6.0 時間後にルーメン液を採材した。

図4 ルーメン液中 VFA 濃度

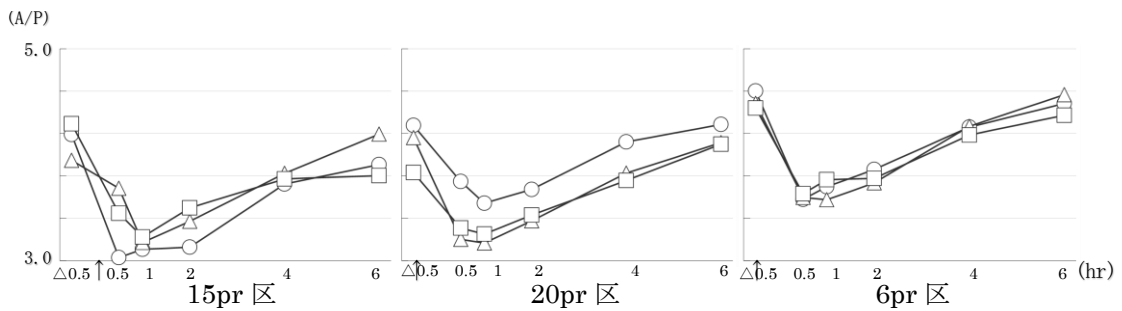


図5 ルーメン液中 A/P 比

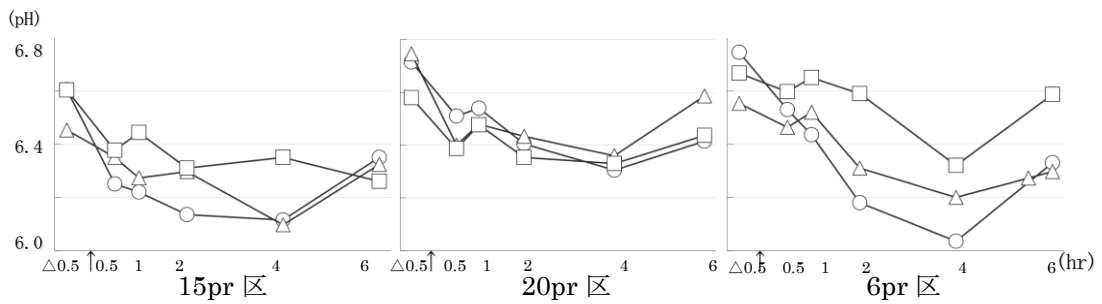


図6 ルーメン液 pH

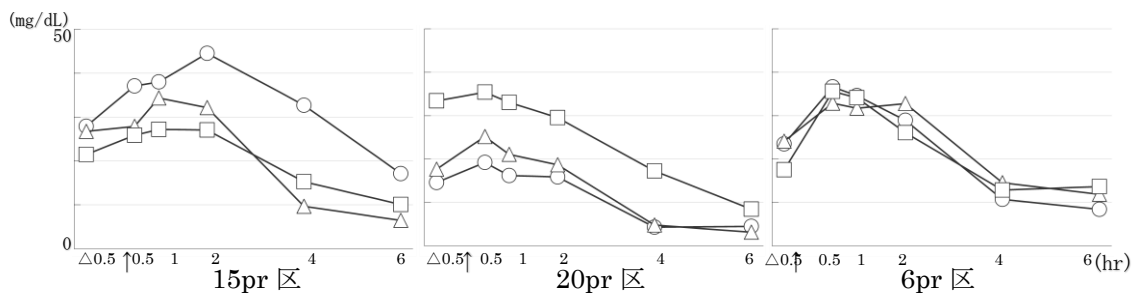


図7 ルーメン液中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度

A/P 比は、15pr 区は 3.0~4.3、20pr 区は 3.1~4.3、6up 区は 3.5~4.6 の間で変化した。最も変動幅が大きかったのは 15pr×H 区で△0.5 時間は 4.19 であったのが、飼料給与後 0.5 時間後には 3.03 に低下した (図 5)。

pH は、全区△0.5 時間が最も高く、その後低下して飼料給与後 2~4 時間後に最も低い水準となった。15pr 区は、飼料給与前の数値は 6.4~6.5 程度で、飼料給与後 2 時間後には 6.1~6.4 程度に低下し、低い水準で推移していた。特に、15pr×H 区では飼料給与後 30 分後に 6.2 前後へ低下した。20pr 区は比較的高い値で推移し、飼料給与前は 6.6~6.8 程度、給与後 2 時間後以降は 6.4 前後で推移した。6up 区は、飼料給与前は 6.6~6.8 であったが、H、M および L 区間でばらつきが大きく、特に 6up×H 区で数値の変動が大きかった。また、6up 区は pH の最低値のピークがやや遅く、4 時間後となっていた (図 6)。

NH₃-N 濃度は、15pr 区は、△0.5 時間後は 20~30 μg/dL で、1~2 時間後にピークとなった。ピーク値は 20pr×H 区が最も高く、43.7 μg/dL であった。20pr 区は、△0.5 時間後に 10~40 μg/dL の範囲で、20pr×L 区が 33.4 μg/dL と最も高かった。20pr×H 区および 20pr×M 区は変動幅が小さく、0.5 時間後にピークとなった後緩やかに低下した。6up 区は、△0.5 時間後に 10~30 μg/dL で、0.5 時間後に 30~40 μg/dL に上昇し、その後低下した (図 7)。

試験 3

15prCS と試験 2 の 3 種の大豆粕を組み合わせ、泌乳性試験を実施したところ、乳量、乳成分、血液生化学性状、およびルーメン液性状に有意差はみられなかった (表 9)。また、20prCS と 3 種の大豆粕を組み合わせた泌乳性試験においても、乳量、乳成分およびルーメン液性状に有意差はみられなかった (表 10)。

考 察

未破碎サイレージは、子実の消化性を向上させるため切断長 6~8mm で調製する 경우가多く、物理的有効繊維 (peNDF) は低いとされる。peNDF は Mertens (1997) により提唱された概念で、咀嚼行動の刺激やルーメン内 pH の維持に影響する NDF の物理的特性の指標をいう (NRC 乳牛飼養標準 2001)。CS 利用を制限する要因の一つとして、第 4 胃変異やルーメンアシドーシスの発生が挙げられるが、切断長を長くして調製することで peNDF が高まり、物理的繊維含量の維持と、破碎処理による栄養成分の利用性の向上を両立でき、より多くの CS を給与できる可能性がある。

試験 1 では、未破碎 (6up 区)、破碎 (7pr 区)、切断長を長くし破碎したもの (19pr 区) の 3 種の CS を用意し、CS の発酵品質および泌乳性を調査した。その結果、特に 19pr 区の発酵品質について VBN/TN およびプロピオン酸+酪酸の数値がやや高かった。これら CS はスタックサイロで調製したため、調製時の踏圧が不足し乾物圧縮密度が低かったことが原因と考えられる。圧縮密度が低い場合、好氣的環境によって乳酸発酵が進行せず pH は高く維持され、タンパク質の分解が進んで VBN が高くなることが知られる (木部ら 1981)。pH が高い状態ではクロストリジウム属菌の活動が優位となり酪酸が生成することも知られる (野ら 1989)。切断長の長い 19pr 区では圧縮密度がやや低くなり、他区と比較して発酵不良が生じたと考えられた。なお、これ以降の試験 2 および試験 3 では、細断型ロールベアラでサイレージ調製して乾物圧縮密度を高め、試験試料とした。

試験 1 による泌乳性試験を行ったところ、6up 区および 7pr 区間でルーメン液性状に差がみられ、7pr 区において酢酸モル比は低く NH₃-N 濃度は低かった (表 5)。濃厚飼料多給下では

表9 試験3における15prCSを用いた泌乳性試験

区分	単位	H区		M区		L区	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD
乳量	kg/日	30.0 ± 4.86		30.1 ± 5.32		30.8 ± 4.84	
乳脂肪	%	4.51 ± 1.21		4.07 ± 0.31		3.71 ± 0.47	
乳タンパク質	%	3.08 ± 0.74		3.02 ± 0.58		3.03 ± 0.60	
乳糖	%	4.04 ± 0.80		3.97 ± 0.72		4.03 ± 0.86	
FCM	kg/日	29.5 ± 4.18		28.4 ± 5.00		28.0 ± 5.72	
P/F		0.80 ± 0.21		0.83 ± 0.08		0.89 ± 0.13	
Glu	mg/dL	71.0 ± 3.74		69.7 ± 5.01		69.8 ± 5.23	
T-Cho	mg/dL	162 ± 11.4		163 ± 17.3		165 ± 16.1	
BUN	mg/dL	14.8 ± 2.86		15.0 ± 2.68		14.5 ± 2.43	
HCT	%	32.3 ± 2.66		32.2 ± 1.53		32.4 ± 1.60	
NH3-N	mg/dl	13.5 ± 2.25		12.1 ± 1.89		11.7 ± 2.89	
pH		7.10 ± 0.25		6.96 ± 0.27		6.88 ± 0.18	
総VFA濃度	mM	63.0 ± 14.4		59.3 ± 16.9		56.7 ± 10.3	
A/P		3.46 ± 0.46		3.48 ± 0.60		3.41 ± 0.57	
酢酸	%	66.1 ± 2.51		66.2 ± 2.50		67.2 ± 0.94	
プロピオン酸	%	19.6 ± 2.39		19.7 ± 3.11		20.2 ± 3.05	
酪酸	%	13.6 ± 1.54		13.4 ± 1.85		12.3 ± 2.00	

すべてNS

表10 試験3における20prCSを用いた泌乳性試験

区分	単位	H区		M区		L区	
		平均	SD	平均	SD	平均	SD
乳量	kg/日	29.6 ± 4.73		30.0 ± 6.40		29.8 ± 5.36	
乳脂肪	%	4.32 ± 0.41		4.11 ± 0.77		4.36 ± 0.73	
乳タンパク質	%	3.38 ± 0.14		3.38 ± 0.09		3.39 ± 0.13	
乳糖	%	4.45 ± 0.17		4.47 ± 0.16		4.48 ± 0.13	
FCM	kg/日	31.0 ± 5.47		29.9 ± 5.19		31.0 ± 5.39	
P/F		0.79 ± 0.09		0.85 ± 0.18		0.80 ± 0.18	
Glu	mg/dL	77.3 ± 5.32		76.0 ± 3.03		77.7 ± 6.31	
T-Cho	mg/dL	165 ± 17.3		165 ± 18.4		168 ± 19.2	
BUN	mg/dL	14.3 ± 1.97		15.0 ± 1.79		14.0 ± 1.26	
HCT	%	31.9 ± 1.87		32.1 ± 1.62		32.3 ± 1.14	
NH3-N	mg/dl	10.6 ± 3.63		13.8 ± 5.09		10.6 ± 2.99	
pH		7.43 ± 0.35		7.32 ± 0.41		7.27 ± 0.38	
総VFA濃度	mM	44.5 ± 17.3		53.3 ± 11.8		51.3 ± 10.5	
A/P		3.46 ± 0.67		3.36 ± 0.82		3.59 ± 0.48	
酢酸	%	66.8 ± 2.90		66.2 ± 2.85		67.4 ± 1.18	
プロピオン酸	%	19.9 ± 3.70		20.6 ± 4.68		19.0 ± 2.40	
酪酸	%	13.2 ± 1.76		13.1 ± 2.33		13.5 ± 1.55	

すべてNS

プロピオン酸合成が促進され、プロピオン酸および酪酸比が上昇し酢酸モル比が低下する (NRC 乳牛飼養標準 2001) ことが知られている。破砕処理をしたことにより露出した子実デンプンがルーメン内で微生物合成に利用され、これに伴って菌体合成のタンパク質源としてNH₃-Nがより多く消費されたと考えられる。

そこで、CSの切断長の違いによる影響を更に詳しく調査するため、試験2を実施した。試験2では比較的切断長の長い2種類の破砕CSを用意し、未破砕CSと併せて合計3種の消化性を比較した。まず各CSの*in situ*ルーメン内消失性を調査し、Ørskovら(1979)の回帰式にあてはめ、消失パターンの推定を試みた(図

2-1 および表 7)。また、各 CS 給与時のルーメン内液性状の経時的変化を調査するため、pH、VFA 濃度、NH₃-N 濃度を測定した (図 4、5、6 および 7)。同時に、ルーメン内の微生物合成量を調査するため、尿中のアラントイン日排泄量を測定して比較した (表 8)。全消化管通過後の物理的性状を調査するため、排泄糞中の粒度分布および子実割合を求めた (図 3)。

これらの結果から各 CS の特性の要約を試みると、まず 6upCS は、*in situ* 消失速度が低値であったこと、排泄糞中で粒度の大きい残渣の割合が高かったこと、ルーメン内経時的変化において pH のピーク時間が遅かったこと、総 VFA の濃度のピークが長時間持続したこと、およびアラントイン日排泄量が高かったことが示された。このため 6upCS は、ルーメン内消化速度は速くなく、また、反芻および咀嚼による物理的消化を受けにくい、ルーメン内に長時間滞留した結果、高い水準でルーメン微生物の消化を受けたことが考えられる。しかし、15prCS および 20prCS と比較して A/P 比が高かったことはデンプン成分のルーメン内消化率が高くなかったことを示唆し、また糞中に排泄された子実の割合が高かったことから小腸以降も含めた全消化管での消化率の水準も高くないことが示された。

一方で、15prCS は、*in situ* 消失速度は比較的速く、溶解性画分が高く、A/P 比が急激に低下し、VFA 濃度のピーク水準が高かった。これらのことから、破碎処理を受けた 15prCS は栄養成分が溶出されやすく、ルーメン内で速やかに反応が開始されたと考えられる。しかし、VFA の急激な増加とともに pH の低下も観察された。特に 15pr×H 区は、試料給与 0.5 時間後に pH6.28 に低下し、給与 2 時間後には pH6.18 を示した。ルーメン微生物の繊維分解菌は低 pH に耐性が低く、pH6.0 前後で生育が阻害されることが知られている (Russell ら 1980、浅沼ら 2004)。15prCS の試験結果における低 pH の持続、アラントイン排泄量が低い水準であった

ことは、低 pH 環境下で繊維分解菌の活動が低下し、正常なルーメン内消化が阻害されたことを示唆している。

20prCS は、*in situ* 溶解性画分は 6up と同程度、消失速度は 15pr 区よりやや高かった。また、排泄糞中で粒度の大きい残渣の割合が小さかったことは、切断長を長くしたことで反芻を刺激する効果が得られた可能性がある。溶解性画分が小さいことでルーメン内での分解反応が緩やかに開始され、加えて、長い切断長によって反芻が刺激されたことから、VFA 濃度、pH および NH₃-N 濃度の推移は比較的振幅が小さくなったと考えられる。なかでも 20pr×H 区は、アラントイン排泄量に高い数値がみられたことからルーメン内の微生物合成効率が高かったことが伺える。

したがって、黄熟期に収穫した破碎処理 CS を多給する場合の調製条件は、切断長 20mm、破碎圧 5mm に設定するのが望ましいと考えられる。破碎処理によりルーメン内消失率が高まったこと、切断長を長くしたことで peNDF が高まりルーメン内環境が安定的に維持されたことの結果により、高い水準で微生物合成が行われる効果が期待される。

更に、試験 2 および試験 3 では 3 種の大豆粕 H 区、M 区、L 区をタンパク質飼料とし、各 CS とを組み合わせるルーメン内デンプン成分の分解速度とタンパク質との分解速度の調和を試みた。

試験 2 において、これら大豆粕 3 種を用い、破碎および未破碎 CS 給与下で各大豆粕の消失様式の違いを調査した (図 1-1 および表 6)。Nocek (1988) の総論によれば、*in situ* 消失率はルーメン液 pH や微生物叢と深く関係するため、供試牛に給与する飼料内容は重要な因子とされる。破碎処理の有無により飼料タンパク質の分解効率も影響を受け、大豆粕の消失様式に差が生じると予測し試験を行った。得られた実測値を比較すると、培養 2 時間後は H 区、M 区、

L区すべてで20prCS給与下での値がわずかに高かった(図1-1)が、推定パラメータは20prおよび6upCS給与下でほぼ同じ値であった。実測値と推定値の差は培養0から4時間後までの差が大きく、この時間帯の推定式へのあてはまりは悪かった。図4のルーメン内VFA濃度推移の結果からは、培養初期の0から4時間の時間帯にルーメン内微生物活動が活性化していることが伺え、図7からは各大豆粕区間でNH₃-N濃度の推移に差が見られており、この時間帯の消失様式に影響が生じている可能性は推測される。今回の結果では2種類のCS給与下での推定値に差はなかった(表6)が、培養初期の消失様式を更に詳しく調査し、推定精度を高める必要があるかもしれない。

ルーメン微生物体合成量を調査した結果、試験2の9処理間でアラントイン日排泄量の水準が最も低かったのは15pr×H区および20pr×L区で、平均値の水準が最も高かった20pr×H区および6up区の半分程度の水準であった(表8)。

まず15pr×H区についてNH₃-N濃度(図7)に注目すると、給与2時間後にピークとなり、今回調査したうちで最も高い数値を示した。消失速度の遅い大豆粕である15pr×L区の濃度のピークは給与1時間後であり、これよりもピーク時間が遅かった。15pr×H区のNH₃-Nの推移は図3の15pr×H区のVFA濃度の推移と極めて類似している。これらから、デンプンとタンパク質の分解速度は当初は調和し、ルーメン内消化活動が活性化してタンパク質の分解が高水準で行われ、NH₃-N濃度が高くなったと考えられる。しかし、急激な発酵がルーメン内環境を悪化させ、その後のルーメン内消化活動を低下させたと解釈できる。

20pr×L区のNH₃-N濃度についても高い水準でのルーメン内推移が観察された。VFA濃度は比較的lowであったこと、アラントイン日排泄量が低値であったことと併せると、消失速度の速い20prCSと消失速度の遅い大豆粕が調和せず、

ルーメン内消化が全般的に低調のまま推移し、NH₃-Nが十分に利用されずルーメン内に滞留したと考えられる。

破碎処理した区でアラントイン排泄量が高かったのは20pr×H区であった。この区のNH₃-N濃度は、全9処理間中で最も低い水準で推移した。pHの変動は小さく、VFA濃度が安定的に推移し、かつ比較的A/P比が高く酢酸の産生割合が高かったことから、ルーメン内環境の変動が安定的であった、またはデンプン成分の分解とタンパク質との分解速度が調和していた、あるいはその両方により高い効率でルーメン内消化が行われたことが伺える。

このように試験2における給与条件下では、破碎処理条件によって最適な大豆粕は異なっていた。すなわち、20prCSでは消化速度の速いH区であり、15prCSではM区あるいはL区が適しているように見える。そこで試験3において各破碎CSと3種類の大豆粕を組み合わせたTMRを調製して泌乳牛へ給与し、各大豆粕の影響を調査したが、有意差は検出されなかった(表9および表10)。

試験3でのTMR組成は、乾物摂取量23kg/日程度の場合、破碎CSを原物22kg前後摂取する設計としている。この組成において15pr×H区の乳成分および血液性状に特に異常な数値はみられず、成績は他区と差がなかった。乳成分のP/F比が1.0を越えると亜急性ルーメンアシドーシスの可能性が高い(Enemark 2008)が、この区の値は0.8前後であった。また、ルーメンアシドーシスの状態ではルーメン内浸透圧が上昇し(Owens 1998) HCTが異常値を示す場合があるが、HCTは正常値の範囲となっていた。このため、破碎CS原物22kg/日(TMR中乾物比30%)程度のTMRでは、切断長15mm、破碎圧5mmの調製条件でも特に大きな問題なく泌乳牛に給与できると考えられる。

一方、20prCSを用いた泌乳性試験においても20pr×H区は他区の大豆粕との間に有意差が観察されなかった。表10によるとP/F比が

0.8を下回っており、濃厚飼料に対し20prCSを含めた粗飼料の割合が高く、タンパク質飼料による差は表れにくかったのかもしれない。今回の試験では乳量約30kg/日の牛を用いたが、これより高泌乳の牛を用いた場合、各栄養成分の要求量も高くなるため区間の差が生じる可能性もある。

破碎CSを切断長14.5mmと19mmに調製し泌乳性および消化性を比較した研究はBalら(2000)が行っている。破碎CSを乾物比33%組成のTMRとして給与したところ、切断長19mm区の乳脂肪率、体重あたりNDF摂取率およびADF消化率が高かったと報告している。試験2の結果からも20prCSはルーメン内環境を維持する効果が高く、ルーメンアシドーシスを比較的起こしにくいことが明らかであり、15prCSの泌乳性試験結果と併せて考えると20prCSを用いたTMRは、更に破碎CSの割合を高めてより多くのCSを給与できる可能性がある。

破碎CSの多給に関する研究は谷川が報告している。黄熟期に収穫して切断長19mmに調製した破碎CSを乳量9,000kg能力の泌乳牛に給与した結果から、乳生産性を維持するためには飼料中乾物比71%が上限であると推察していた(谷川2009)。また木土場ら(2011)は、切断長16mmの破碎CSの場合、TMR中乾物比55%までは乳生産および飼料効率に差がなかったと報告している。このように破碎CSの調製条件によってTMR中組成比の上限も異なっており、調製条件と最適な飼料中組成比とに関連性があることが伺える。切断長15mmおよび19mmのそれぞれの特性を考慮し、地域のCS作付面積および供給量によって破碎条件を選択する必要があるかもしれない。

*In situ*試験結果(図2-1および表7)より、各CSのルーメン内消失速度は異なることから、各CSのルーメン通過速度は異なる傾向を示すことが予想され、乾物摂取量の上限も異なる可能性がある。また、破碎CSの小腸以降の消化特性と全消化管における消化特性を調

査し、飼料特性を詳細に調査する必要もある。

以上、本試験の結果より、黄熟期に収穫したトウモロコシを破碎処理した場合、切断長の違いによってルーメン内消失率、ルーメン液性状に変化があることが明らかとなった。切断長15mm、破碎圧5mmの調製条件はルーメン内環境を安定化する機能は高くないがルーメン内消失率は高く、TMR中乾物比30%程度では特に大きな問題なく給与できることを確認した。また、それ以上に給与割合を増やす場合は、ルーメン内環境の安定性から、切断長20mm、破碎圧5mmの調製条件が最適と推察された。それぞれの切断長のもつ飼料特性を考慮し、飼料中組成比、または調製条件の選択が必要と考えられる。

引用文献

- 浅沼成人、日野常男(2004)新ルーメンの世界(小野寺良次監修、板橋久雄編)、社団法人農山漁村文化協会：454-473
- Bal, M. A. Shaver, R. D. Jirovec, A. G. Shinnars, K. J. Coors, J. G. (2000) Crop processing and chop length of corn silage: effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83: 1264-1273
- 蔡義民(2009)粗飼料の品質評価ガイドブック(自給飼料利用研究会編)、社団法人日本草地畜産種子協会：74-78
- Enemark, J. M. D. (2008) The monitoring, prevention and treatment of sub-acute ruminal acidosis (SARA): A review. *Vet. J.* 176: 32-43
- 木部久衛、野田恵利子、唐沢豊(1981)切断長の違いがサイレージ発酵に及ぼす影響、日畜会報第52巻12号：882-888
- 木土場結香、齋藤浩和(2011)TMRにおける破碎処理トウモロコシサイレージ給与割合が産乳性に与える影響、東北農業第64号：81-82

- Mertens, D. R. (1997) Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80 : 1963-1981
- National Research Council (2001) Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev ed, national academy press (北海道立畜産試験場訳 (2002)、NRC 乳牛飼養標準 2001 年第 7 版、デーリィ・ジャパン社) : 34-42、179-207
- Nocek, J. E. (1988) In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility : A review. *J. Dairy Sci.* 71 : 2051-2069
- 野英二、吉田則人 (1989) 最新サイレージ 調製と給与の決め手 (吉田則人、高野信雄監修)、デーリィマン社 : 25-32
- Ørskov, E. R. McDonald, I. (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
- Owens, F. N. Secrist, D. S. Hill, W. J. Gill, D. R. (1998) Acidosis in cattle : A review. *J. Anim. Sci.* 76 : 275-286
- Russell, J. B. Dombrowski, D. E. (1980) Effect of pH on efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Appl. Environ. Microbiol.* 39 : 604-610
- 田村哲生、井上和典、篠原晃、古賀照章 (2007) 泌乳牛の日中の部分尿による総窒素及びアラントインの排泄量の推定、日畜会報第 78 巻 3 号 : 311-316
- 谷川珠子 (2009) トウモロコシの効率的な利用による家畜生産性の向上と経済性、北海道草地研究会報第 43 号 : 21-23