破碎処理トウモロコシサイレージにおけるローラ間隔の違いが 乳牛の炭水化物およびタンパク質利用に及ぼす影響

谷川珠子¹・大坂郁夫²・川本 哲¹・原 悟志³

¹ 道総研畜産試験場, 北海道新得町 081-0038

² 道総研中央農業試験場, 北海道長沼町 069-1395

³ 道総研上川農業試験場天北支場, 北海道浜頓別町 098-5738

(2010. 5. 28 受付, 2010. 8. 31 受理)

要 約 破碎処理トウモロコシサイレージ (CS) におけるローラ間隔の違いが, 乳牛の養分利用に及ぼす影響を検討した. 黄熟期に設定切断長を 19 mm とし, ローラ間隔 5 mm (CPR) または 1 mm (FPR) で破碎処理をして収穫し, 飼料全体の粗タンパク質含量が 14% となるように, 各 CS に大豆粕を混合したものを供試した (CPR 区, FPR 区). これらをルーメンおよび十二指腸カニューレを装着したホルスタイン種乾乳牛 3 頭に給与した. CS の化学成分および乾物摂取量は区間に差がなかった. ルーメン内のデンプン消化率は FPR 区が高かったが ($P < 0.05$), 有機物および NDF 消化率は区間に差がなかった. ルーメン液の pH は FPR 区が低かった ($P < 0.05$). 可消化養分総量, ルーメン内の微生物体窒素合成効率および粗飼料価指数にはローラ間隔の影響がみられなかった. 以上より, 黄熟期に収穫した CS において, 設定切断長が 19 mm のとき, ローラ間隔を 5 mm から 1 mm にしても養分利用性の向上はみられず, ローラ間隔 5 mm で破碎処理の効果が十分に得られることが示された.

日本畜産学会報 81 (4), 421-429, 2010

トウモロコシは登熟に伴い, 収量および乾物含量が増加するだけではなく, 総体に占める子実割合が高まるため, デンプン含量が増加する. しかし, 登熟に伴い子実表面のデンプンがルーメン内微生物の消化を受けにくい角質状デンプンに変化するため (Philippeau と Michalet-Doreau 1997), トウモロコシサイレージ (CS) のルーメン内のデンプン消化率は低下する (Johnson ら 2002a). 谷川ら (2008) は, 乳熟期収穫に比べ黄熟期以降に収穫した CS では, ルーメン内におけるデンプンおよび中性デタージェント繊維 (NDF) 消化率が 20% 以上低く, ルーメン内可消化炭水化物量が減少するために微生物体窒素の合成効率が低い傾向にあることを報告し, 黄熟期以降ではルーメン内の養分消化率を高める必要があることを示した.

黄熟期以降の CS の養分消化率を高めるために, 飼料用トウモロコシの破碎処理技術が 1980 年代にヨーロッパで開発され, 北海道では 2000 年頃から利用され始めた. これまでのトウモロコシの収穫では, ハーベスタのフィードローラでトウモロコシを引き込み, カッターヘッドで細断し, 細断されたトウモロコシがブローアから吹きだされ, サイレージ調製される. 破碎処理とは, カッター

ヘッドとブローアの間に溝の付いた 2 本のローラからなる装置を取り付け, 回転するローラの間隙を通すことにより細断したトウモロコシをすり潰す行程のことである. 破碎処理によって, 子実の破壊によるデンプンの暴露, 茎葉部の損傷による脆弱化および表面積の増加が起こるため, ルーメン内の微生物発酵を受けやすくなり, 消化率が高まることが期待される. Andrae ら (2001) は, 設定切断長 19 mm のとき, ローラ間隔 1 mm で破碎処理すると, *in situ* 乾物, デンプンおよび NDF 消失率が未破碎の CS に比べて高まることを報告している. また, 谷川ら (2010) は, 設定切断長が 17 mm のとき, ローラ間隔 5 mm で破碎処理すると, ルーメン内の NDF 消化率は変化しないが, デンプン消化率が 30% 高まる傾向にあることを示した.

黄熟期に収穫した CS の破碎処理の有無が養分消化率や乳生産に及ぼす影響は多くの試験で検討されている (Bal ら 2000; Andrae ら 2001; Johnson ら 2002a). 破碎処理におけるローラ間隔の違いは子実および茎葉部の損傷の程度に影響し, それらはルーメン内発酵様相に影響すると考えられるが, ローラ間隔の違いが消化率やルーメン液性状などに及ぼす影響を検討した報告は少な

連絡者: 谷川珠子 (fax: 0156-64-5349, e-mail: tanigawa-tamako@hro.or.jp)

い (Cooke と Bernard 2005)。破碎処理条件の異なる CS のルーメン内発酵様相を明らかにすることは、黄熟期 CS に適した破碎処理条件を提示し、CS の栄養を効率的に利用するために必要である。

そこで本研究では、破碎処理した CS を効率的に利用した乳生産を図ることを目指し、黄熟期の破碎処理 CS におけるローラ間隔の違いが乾乳牛の養分利用に及ぼす影響を検討した。

材料および方法

1. 供試飼料、供試動物および飼養管理

ルーメンおよび十二指腸カニューレを装着したホルスタイン種乾乳牛 3 頭 (試験開始時の平均体重 682 ± 71 kg) を供試した。

トウモロコシの品種は 39B29 (早生の早) を用い、北海道立総合研究機構畜産試験場内の圃場で栽培した。供試 CS は 2003/10/21 (黄熟中期) に、自走式ハーベスタで設定切断長を 19 mm として、ローラ間隔 5 mm (Coarse processed corn silage ; CPR) または 1 mm (Fine processed corn silage ; FPR) で収穫し、それぞれ畜産試験場内の 210 t 規模のタワーサイロでサイレージ調製した。サイロは調製後 78 日経過した後開封し、CS を供試した。

それぞれの CS に飼料全体の粗タンパク質 (CP) 含量が 14% となるように大豆粕 (大豆油かす ; 丹波屋、北海道) を混合し、残食量が原物で給与量の 10% となるように飽食給与した。CPR および FPR を給与した区をそれぞれ CPR 区および FPR 区とした。CS と大豆粕の乾物混合比は CPR 区が 85 : 15, FPR 区が 84 : 16 であった。飼料は 1 日 1 回 10 : 30 に給与した。ミネラル剤 (バイミル ; 日本全薬工業、福島) 200 g をトップドレス給与し、水は自由摂取とした。

試験期間は予備期 9 日間、本期 5 日間とし、CPR 区、FPR 区の順で試験を行った。養分消化率は酸化クロムを指標として推定した。酸化クロム含量が 10% (乾物比) となるように酸化クロム、フスマおよび米ヌカを乾物重量比 10 : 30 : 60 で混合して、成型したペレットを作成し、予備期 9 日間および本期 3 日目までの 9 : 00 および 21 : 00 にペレット 50 g をルーメンカニューレから投与した。

供試動物へのカニューレの装着および飼養管理については、畜産試験場動物実験規約に基づいて行った。

2. 試料採取および分析方法

飼料摂取量は、本期 1~5 日目に給与量から残食量を差引くことにより求め、5 日間の平均値を統計分析に用いた。本期 1~3 日目の 9 : 00 に給与 CS のサンプルを、9 : 00 および 21 : 00 に糞サンプル約 500 g を直腸から採取し、60℃ で CS は 48 時間、糞は 72 時間通風乾燥した。通風乾燥した CS サンプルの一部および個体ごとの糞サ

ンプルをそれぞれ 3 日分混合して 1 mm のスクリーンをつけたウィレー型粉碎機 (Heavy-Duty Cutting ; Retsch Inc., Haan, Germany) で粉碎した。通風乾燥した CS サンプル約 200 g を、目開き 9.50, 4.75, 3.35 および 1.18 mm の篩および受け皿をつけた電磁式篩振とう器 (AS 200 Analytical Sieve Shakers ; Retsch Inc., Haan, Germany) を用いて篩別し、CS の平均切断長を Mertens と Ferreira (2004) に準じて計算した。通風乾燥した CS サンプル 100 g 中の子実を、全粒、1/2 以上の子実片、1/2 以下の子実片に分けて重量を測定し、総子実に占めるそれぞれの割合を求めた。給与した大豆粕のサンプルは、本期 1 日目の 9 : 00 に採取し、通風乾燥せずに粉碎した。十二指腸内容物は本期開始から 3 日間、1 日ごとに 1 時間ずつ採取時間をずらして 3 時間間隔で十二指腸カニューレから約 500 mL 採取し、個体ごとに 3 日分を混合した。十二指腸内容物の一部をアンモニア態窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$) 濃度測定のため、-28℃ で凍結保存し、残りは凍結乾燥した後、粉碎した。給与飼料、糞および十二指腸内容物の乾物、粗灰分、CP、粗脂肪および NDF 含量は常法 (自給粗飼料品質評価研究会 2001) に準じて分析した。デンプンは Total starch assay kit (Megazyme, Co., Wicklow, Ireland) を用いて測定した。糞および十二指腸内容物のクロム含量はリン酸カリ試薬法 (武政 1992) を用いて測定した。

本期 4 日目の 8 : 00 から 5 日目の 8 : 00 までの 24 時間の供試牛の行動をビデオで撮影し、行動型を採食、反芻、立位および横臥の 4 区分に分けて、1 分間隔で記録し、採食時間、反芻時間およびそれらを合計した総咀嚼時間を算出した。

本期 5 日目の 10 : 00 から翌日の 10 : 00 まで 3 時間おきにルーメンカニューレからルーメン液約 500 mL を採取し、採取後すぐに pH メーター (PH82 ; 横河電機、東京) により、pH を測定した後、一部を $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度および揮発性脂肪酸 (VFA) 濃度の測定まで -28℃ で凍結保存した。十二指腸内容物およびルーメン液の $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度はインドフェノール法 (日本分析化学会北海道支部 1981) に準じて測定した。ルーメン液の VFA 濃度はガスクロマトグラフ (GC-17A ; 島津製作所、京都) を用いて測定した。ルーメン液の一部を 4 重ガーゼで濾し、個体ごとに混合して、Smith と McAllan (1974) の方法に準じてルーメン液中の微生物体を分離した。微生物体中のプリン体濃度の測定は Zinn と Owens (1986) の方法に準じて行った。

3. 各種指標の計算および統計処理

十二指腸内容物流量および糞量は、1 日の酸化クロム投与量を十二指腸内容物および糞の酸化クロム濃度で除して算出し、消化管部位別のみかけの養分消化率を下記の式を用いて算出した。

*ルーメン内消化率 = (摂取した養分量 - 十二指腸へ

移行した養分量)/摂取した養分量×100

*総消化管消化率 = (摂取した養分量－糞中へ排泄された養分量)/摂取した養分量×100

給与飼料のTDNは、NRC乳牛飼養標準(NRC 2001)に従い、飼料中の非繊維性炭水化物(NFC)、CP、粗脂肪およびNDF含量に、それぞれの総消化管消化率を乗じることにより算出した。

*TDN = 可消化NFC + 可消化CP + 可消化粗脂肪 × 2.25 + 可消化NDF

十二指腸へ移行した総窒素に占める微生物体由来の窒素割合は、ZinnとOwens(1986)の方法に準じて、微生物体のプリン体濃度を十二指腸内容物のプリン体濃度で除して求めた。十二指腸への微生物体窒素および飼料由来の窒素移行量は下記の式を用いて算出した。

*微生物体由来窒素移行量 = 十二指腸への窒素移行量 × 微生物体窒素割合

*飼料由来窒素移行量 = 十二指腸への窒素移行量－(微生物体窒素移行量 + NH₃-N移行量)

処理間の有意差の検定は対のあるt検定を用い、有意水準は $P < 0.05$ とした。

結果および考察

1. 給与飼料の化学成分、CSの平均切断長および子実の破碎状態

CPR, FPR, 大豆粕および給与飼料の化学成分、CSの

平均切断長および子実の破碎状態を表1に示す。CSの乾物率はCPRに比べ、FPRでやや低かったが、その他の化学成分に差はなく、大豆粕を混合した飼料全体でも化学成分に差はなかった。本試験と同様に、乾物率26～40%のトウモロコシにおいて、破碎処理の有無およびローラ間隔はCSの化学成分に影響しないことが示されている(Andraeら2001; Johnsonら2002b; CookeとBernard 2005; 谷川ら2010)。

CPRおよびFPRの平均切断長は、それぞれ4.10 mm, 3.26 mmとなった。HaraとTanigawa(2010)は、完熟期のCSにおいて、設定切断長を19 mmとし、ローラ間隔5 mmまたは1 mmで破碎処理したときの平均切断長は、それぞれ4.35 または 3.57 mmであることを報告しており、本試験の結果はそれらと同程度の値であった。総子実に占める全粒の子実割合はCPRが15%であるが、FPRは0%であり、1/2以下に破碎された子実割合が85%と高く、ローラ間隔を狭くすると子実がより細かく破碎されることが示された。

2. 養分摂取量

乾物および養分摂取量を表2に示す。乾物摂取量は区間に差がなく、給与飼料の化学成分は区間に差がなかったため、いずれの養分摂取量も区間に差がなかった。設定切断長が17～19 mmのとき、未破碎のCSに比べて、ローラ間隔1 mmまたは5 mmで破碎処理すると乾物摂取量が有意に高まるが(Andraeら2001; 谷川ら2010)。

Table 1 Nutrient composition of experimental corn silage (CS), soybean meal and diets and physical characteristics of CS

		CS ¹		Soybean meal	Diet ²	
		CPR	FPR		CPR	FPR
Nutrient composition						
Dry matter	(%)	34.9	31.7	90.3	38.4	35.4
Organic matter	(% DM)	96.5	96.1	93.3	96.0	95.6
Crude protein	(% DM)	8.3	7.9	49.0	14.2	14.5
NDF	(% DM)	48.5	47.0	12.0	43.1	41.4
Starch	(% DM)	25.0	25.0	0.8	21.4	21.1
NFC	(% DM)	37.8	39.8	30.7	36.9	38.3
Physical characteristics						
Mean particle length	(mm)	4.10	3.26	—	—	—
Intact whole kernel	(% of total visible kernels)	15	0	—	—	—
> 1/2 of a kernel	(% of total visible kernels)	29	15	—	—	—
≤ 1/2 of a kernel	(% of total visible kernels)	56	85	—	—	—

NDF, Neutral detergent fiber ; NFC, Non fibrous carbohydrates

— ; Not determined

¹CPR, Corase processed CS (19mm theoretical length of cut (TLC) with 5mm roll clearance) and FPR, Fine processed CS (19mm TLC with 1mm roll clearance).

²Diet was a mixture of CS and soybean meal at different proportions on DM basis ; 85 : 15 (CPR) and 84 : 16 (FPR).

ローラ間隔 2 mm と 8 mm では乾物摂取量に差はないことが報告されている (Cooke と Bernard 2005)。未破碎の CS 給与時に比べて、破碎処理 CS における乾物摂取量の増加は、CS の発酵品質の向上 (Dhiman ら 2000) および飼料片粒度が低下しルーメンからの通過速度が高まるためと考えられている (Weigand ら 1993)。FPR は CPR に比べて平均切断長は低下したものの (表 1)、乾物摂取量へ影響するほどではなかったと考えられた。

3. 消化管部位別の消化率および TDN

ルーメン内および総消化管におけるみかけの消化率および給与飼料の TDN を表 3 に示す。有機物消化率はルーメン内および総消化管ともに区間に差がなく、総消化管における CP 消化率も区間に差がなかった。破碎処理は総消化管における有機物および CP 消化率に影響しないことが示されており (Bal ら 2000 ; Johnson ら 2002c ; Cooke と Bernard 2005)、本試験の結果もこれらの報告

Table 2 Effects of roll clearance of mechanically processed corn silage (CS) on nutrient intake of cows

		Treatment ¹		Significant difference
		CPR	FPR	
Dry matter	(kg/day)	13.9 ± 0.9	13.7 ± 0.5	$P \geq 0.10$
Organic matter	(kg/day)	13.3 ± 0.9	13.1 ± 0.5	$P \geq 0.10$
Crude protein	(kg/day)	2.0 ± 0.1	2.0 ± 0.1	$P \geq 0.10$
NDF	(kg/day)	6.0 ± 0.4	5.7 ± 0.2	$P \geq 0.10$
Starch	(kg/day)	3.0 ± 0.2	2.9 ± 0.1	$P \geq 0.10$
NFC	(kg/day)	5.1 ± 0.3	5.2 ± 0.2	$P \geq 0.10$

NDF, Neutral detergent fiber ; NFC, Non fibrous carbohydrates

Mean ± standard deviation

¹ CPR, Corase processed CS (19 mm theoretical length of cut (TLC) with 5 mm roll clearance) and FPR, Fine processed CS (19 mm TLC with 1 mm roll clearance).

Table 3 Effects of roll clearance of mechanically processed corn silage (CS) on apparent ruminal digestibility, total tract digestibility and total digestible nutrients (TDN) of diets

Item		Treatment ¹		Significant difference ²
		CPR	FPR	
Ruminal digestibility				
Organic matter	(%)	50.6 ± 7.8	50.1 ± 3.4	<i>P</i> ≥ 0.10
NDF	(%)	52.4 ± 10.3	42.5 ± 7.9	<i>P</i> ≥ 0.10
Starch	(%)	85.6 ± 6.6	94.8 ± 3.5	*
NFC	(%)	61.3 ± 8.0	72.8 ± 5.6	*
Total tract digestibility				
Organic matter	(%)	77.7 ± 1.6	77.8 ± 2.4	<i>P</i> ≥ 0.10
Crude protein	(%)	81.7 ± 1.1	79.8 ± 2.2	<i>P</i> ≥ 0.10
NDF	(%)	65.7 ± 3.4	63.3 ± 4.1	<i>P</i> ≥ 0.10
Starch	(%)	99.0 ± 0.8	99.9 ± 0.1	*
NFC	(%)	89.3 ± 1.0	91.9 ± 1.0	**
TDN	(% DM)	71.6 ± 1.5	71.3 ± 2.4	<i>P</i> ≥ 0.10

NDF, Neutral detergent fiber ; NFC, Non fibrous carbohydrates

Mean ± standard deviation

¹ CPR, Corase processed CS (19 mm theoretical length of cut (TLC) with 5 mm roll clearance) and FPR, Fine processed CS (19 mm TLC with 1 mm roll clearance).

² * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$

と一致した。

NDF 消化率はルーメン内および総消化管ともに区間に差がなかった。設定切断長 12.7 mm または 17 mm のとき、未破碎の CS に比べ、ローラ間隔 1 mm または 5 mm で破碎処理をしても、ルーメン内における NDF 消化率は変化しないことが示されている (Johnson ら 2002a ; 谷川ら 2010)。さらに、設定切断長が 12.7~19.5 mm のとき、未破碎の CS に比べ、ローラ間隔 1~8 mm で破碎処理することにより、総消化管における NDF 消化率は高まるが (Johnson ら 2002a ; Cooke と Bernard 2005 ; 谷川ら 2010)、ローラ間隔 2 mm と 8 mm で NDF 消化率に差はないことが報告されている (Cooke と Bernard 2005)。本試験でも、ローラ間隔 1 mm と 5 mm で総消化管における NDF 消化率に差はみられなかった。黄熟期収穫の CS では、ローラ間隔の違いはルーメン内および総消化管における NDF 消化率に影響しないと考えられた。

CPR 区のルーメン内におけるデンプンの消化率は 85.6 % であった。谷川ら (2010) は、黄熟期の CS において、未破碎 CS のルーメン内デンプン消化率は 54 % だが、ローラ間隔 5 mm で破碎処理すると 86 % に高まることを示しており、本試験の CPR 区の値もそれと近似した値であった。ルーメン内のデンプンおよび NFC 消化率は CPR 区に比べ、FPR 区で高く ($P < 0.05$)、ローラ間隔を 5 mm から 1 mm と狭くすることにより、デンプンを含む子実が細かく破碎され (表 1)、ルーメン内において微生物発酵を受けやすくなったと考えられた。総消化管におけるデンプンおよび NFC 消化率も FPR 区が高いが ($P < 0.05$)、区間の差は小さく、両区ともデンプン消化率は約 100 %、NFC 消化率は約 90 % と高い値であった。下部消化管におけるデンプンの消化率は CS の破碎

処理条件に関わらず 85~93 % と高いため (Owens ら 1986 ; Johnson ら 2002a)、CPR 区のルーメン内デンプン消化率は FPR 区より約 10 % 低かったが、十二指腸へ移行したデンプンは下部消化管で消化吸收されたことにより、総消化管におけるデンプン消化率は区間の差が小さくなったと考えられた。

給与飼料の TDN 含量は CPR 区 71.6 %、FPR 区 71.3 % で区間に差はなかった。大豆粕の TDN 含量を乾物中 89.6 % (農業技術研究機構 2001) とし、各区の CS と大豆粕の混合比から CS の TDN を試算すると、CPR は 68.3 %、FPR は 67.7 % となった。Cooke と Bernard (2005) は、ローラ間隔 1~2 mm で破碎処理の効果が得られ、間隔が 8 mm ではすり潰し効果が十分に得られないため養分消化率は向上しないことを示したが、本試験の結果から、黄熟期収穫のトウモロコシではローラ間隔 5 mm でも 1 mm で破碎処理したときと同程度の養分消化率および TDN が得られることが示唆された。

4. 十二指腸への窒素移行量および微生物体窒素合成

ルーメン内における飼料由来の CP 消化率、十二指腸への窒素移行量および微生物体窒素合成量を表 4 に示す。CP 摂取量は区間に差がなく (表 2)、ルーメン内の飼料由来の CP 消化率および CP 可消化量にもローラ間隔の影響はみられなかった。CPR 区に比べ、FPR 区で十二指腸への総窒素移行量は高い傾向にあるものの ($P < 0.10$)、微生物体窒素および飼料由来窒素の移行量、十二指腸へ移行した総窒素に占める微生物体窒素の割合およびルーメン内可消化有機物量に対する微生物体窒素合成量 (微生物体窒素合成効率) は、いずれも区間に差がなかった。本試験と同様に、Johnson ら (2002c) も破碎処理は微生物体窒素合成量および合成効率に影響しないこと

Table 4 Effects of roll clearance of mechanically processed corn silage (CS) on ruminal digestibility of dietary crude protein (CP), flow of nitrogen (N) fractions to the duodenum and microbial N efficiency of cows

Item	Treatment ¹		Significant difference ²
	CPR	FPR	
Dietary CP digestibility in the rumen (%)	79 ± 11	69 ± 9	$P \geq 0.10$
Dietary CP digested in the rumen (kg/day)	1.6 ± 0.2	1.4 ± 0.2	$P \geq 0.10$
Flow to duodenum			
Total N (g/day)	244 ± 3	264 ± 18	†
NH ₃ -N (g/day)	7 ± 0	7 ± 2	$P \geq 0.10$
Microbial N (g/day)	170 ± 33	160 ± 27	$P \geq 0.10$
Dietary N (g/day)	67 ± 33	98 ± 30	$P \geq 0.10$
Microbial N ratio (%)	69.7 ± 13.5	60.5 ± 9.8	$P \geq 0.10$
Microbial N efficiency (g/kg OMDR ³)	19.2 ± 3.0	19.0 ± 3.2	$P \geq 0.10$

Mean ± standard deviation

¹ CPR, Corase processed CS (19 mm theoretical length of cut (TLC) with 5 mm roll clearance) and FPR, Fine processed CS (19 mm TLC with 1 mm roll clearance).

² † $P < 0.10$

³ OMDR : Organic matter truly digested in the rumen.

を報告している。微生物体窒素の合成量はルーメン内の炭水化物とタンパク質の分解速度および分解量が同期化することによって増加することが示されており (Herrera-Salsana ら 1990), FPR 区はルーメン内のデンプンおよび NFC 消化率は高かったが (表 3), CP 消化率は区間に差がなかったため, 微生物体窒素合成量および合成効率も区間に差がなかったと考えられた。

5. ルーメン pH, アンモニア態窒素濃度および VFA 濃度

飼料給与 20.5 時間後までのルーメン液の pH, $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度および VFA 濃度の推移を図 1 に示す。ルーメン液の pH は飼料給与前から FPR 区が低く ($P < 0.05$), 飼料給与 8.5 時間後以降も FPR 区が低く推移した ($P < 0.05$)。破碎処理によってルーメン内のデンプン消化率

Figure 1 Effects of roll clearance of mechanically processed corn silage (CS) on ruminal pH, concentrations of ammonia-nitrogen and total volatile fatty acids (VFA), and molar proportions of individual VFA in cows fed diets containing CPR (◆) or FPR (◇). CPR, Coarse processed CS (19 mm theoretical length of cut (TLC) with 5 mm roll clearance) and FPR, Fine processed CS (19 mm TLC with 1 mm roll clearance). Vertical bar represents standard deviation.

*, **: significantly different from CPR (* $P < 0.05$, ** $P < 0.01$).

が高まると、ルーメン液の pH は低く推移することが示されており (Johnson ら 2002a ; Johnson ら 2002c), FPR 区は CPR 区に比べ、ルーメン内のデンプン消化率が高かったため (表 3), ルーメン液の pH が低くなったと考えられた。

ルーメン液の $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は、飼料給与 8.5 時間後までは区間に差がなかったが、その後は CPR 区に比べ FPR 区で高い傾向にあり、飼料給与 14.5 時間後以降は FPR 区が有意に高かった ($P < 0.05$)。ルーメン液中の $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度は、ルーメン内のエネルギーとタンパク質の分解量および分解速度によって変化する (Huntington 1997 ; Sannes ら 2002)。ルーメン内の CP 可消化量は区間に差がなかったが、FPR 区は飼料給与 2.5~14.5 時間後にルーメン pH が 6.0 前後と低かったことから、微生物体合成が制限され、ルーメン微生物への $\text{NH}_3\text{-N}$ の取り込みが少なかったと考えられた。さらに、FPR 区は飼料給与直後にルーメン液の pH が急激に低下していることから、ルーメン内のデンプン消化速度が高く、飼料給与後の時間経過とともにルーメン内微生物に対するエネルギー供給量が窒素供給量に対して不足し、窒素が過剰となった可能性がある。これらの要因により、FPR 区は CPR 区に比べて飼料給与 8.5 時間以降に $\text{NH}_3\text{-N}$ 濃度が高まったと考えられた。

総 VFA 濃度、VFA 中の酢酸およびプロピオン酸割合は、すべての時間において区間に有意な差はなかった。本試験と同様に、破碎処理の有無 (Bal ら 2000 ; Johnson ら 2002c) およびローラ間隔の違い (Hara と Tanigawa 2010) は、ルーメン液の総 VFA 濃度、VFA 中の酢酸およびプロピオン酸割合に影響しないことが示されている。酢酸およびプロピオン酸割合は区間に差がなかったが、FPR 区は酪酸割合が高く推移する傾向にあった。ローラ間隔が狭いときにはデンプン主体の子実がより細くなり、ルーメン細菌に利用されやすい形態となっていると考えられ、デンプン消化にかかわるルーメン細菌のう

ち、酪酸生成菌の割合が高かった可能性がある。

6. 咀嚼行動

咀嚼時間、採食速度および粗飼料価指数 (RVI) を表 5 に示す。採食時間、採食速度および RVI は区間に差がなく、反芻時間および総咀嚼時間は CPR 区に比べ FPR 区で約 60 分短い、有意な差ではなかった (表 5)。設定切断長 9.5~19.0 mm の CS において、設定切断長の違いおよび破碎処理の有無は、CS の平均切断長および粒度分布に影響するが、咀嚼時間には影響しないことが報告されている (Bal ら 2000 ; Schwab ら 2002 ; Ebling と Kung 2004)。De Boever ら (1993) は、設定切断長を 4 mm から 8 mm にすると反芻時間は増加するが、8 mm 以上にしても反芻時間はそれ以上増加しないことを示した。本試験の設定切断長は 19 mm と長く、ローラ間隔を 5 mm から 1 mm と狭くすることにより、平均切断長は低下したものの (表 1)、咀嚼時間への影響は小さかったと考えられた。

7. 結論

黄熟期のトウモロコシにおいて設定切断長を 19 mm とし、ローラ間隔を 5 mm または 1 mm で破碎処理したとき、CS の成分および乾物摂取量に差はなく、総消化管における養分消化率は区間の差が小さく、CS の TDN 含量も処理間に差はなかった。ローラ間隔 1 mm で破碎処理することにより、ルーメン内デンプンおよび NFC 消化率は高まったが、ルーメン液の pH は低下し、ルーメン内の微生物体窒素合成効率および窒素合成量にはローラ間隔の影響はなかった。黄熟期のトウモロコシでは、設定切断長 19 mm のとき、ローラ間隔 1 mm で破碎処理をしても総消化管内の養分消化率のさらなる向上はみられず、ローラ間隔 5 mm で十分に破碎処理の効果が得られることが示された。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、家畜飼養管理および研究

Table 5 Effects of roll clearance of mechanically processed corn silage (CS) on chewing activities of cows

		Treatment ¹				Significant difference
		CPR		FPR		
Eating time	(min/day)	207	± 13	203	± 41	$P \geq 0.10$
Ruminating time	(min/day)	588	± 8	524	± 58	$P \geq 0.10$
Total chewing time	(min/day)	795	± 21	727	± 73	$P \geq 0.10$
Intake rate	(gDM/min)	67.4	± 8.8	70.3	± 18.8	$P \geq 0.10$
RVI ²	(min/kg DM)	57.4	± 5.1	53.2	± 5.1	$P \geq 0.10$

Mean ± standard deviation

¹ CPR, Corase processed CS (19mm theoretical length of cut (TLC) with 5 mm roll clearance) and FPR, Fine processed CS (19mm TLC with 1 mm roll clearance).

² RVI : Roughage value index = Total chewing time (min)/DM intake (kg)

の補助をしていただいた北海道立総合研究機構畜産試験場家畜衛生グループの皆様には感謝の意を表します。

なお、本試験は「飼料自給率向上のための飼料用とうもろこし高度利用技術の確立」(平成 15～17 年度重点領域特別研究(課題番号 18050))の成果の一部を取りまとめたものである。

文 献

- Anrae JG, Hunt CW, Pritchard GT, Kennington LR, Harrison JH, Kezar W, Mahanna W. 2001. Effect of hybrid, maturity, and mechanical processing of corn silage on intake and digestibility by beef cattle. *Journal of Animal Science* **79**, 2268–2275.
- Bal MA, Shaver RD, Jirovec AG, Shinnors KJ, Coors JG. 2000. Crop processing and chop length of corn silage : Effects on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* **83**, 1264–1273.
- Cooke KM, Bernard JK. 2005. Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **88**, 310–316.
- De Boever JL, De Brabander DL, De Smet AM, Vanacker JM, Boucque CV. 1993. Evaluation of physical structure. 2. Maize silage. *Journal of Dairy Science* **76**, 1624–1634.
- Dhiman TR, Bal MA, Wu Z, Moreira VR, Shaver RD, Satter LD, Shinnors KJ, Walgenbach RP. 2000. Influence of mechanical processing on utilization of corn silage by lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **83**, 2521–2528.
- Ebling TL, Kung, Jr. L. 2004. A comparison of processed conventional corn silage to unprocessed and processed brown midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* **87**, 2519–2527.
- Hara S, Tanigawa T. 2010. Effects of length of cut and mechanical processing on utilization of corn silage harvested at the black line stage of maturity by lactating dairy cows. *Animal Science Journal* **81**, 187–193.
- Herrera-Saldana R, Gomez-Alarcon R, Torabi M, and Huber JT. 1990. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. *Journal of Dairy Science* **73**, 142–148.
- Huntington GB. 1997. Starch utilization by ruminants : From basics to the bunk. *Journal of Animal Science* **75**, 852–867.
- 自給粗飼料品質評価研究会編. 2001. 改訂粗飼料の品質評価ガイドブック. pp. 5–40. 社団法人日本草地畜産種子協会, 東京.
- Johnson LM, Harrison JH, Davidson D, Robutti JL, Swift M, Mahanna WC, Shinnors K. 2002b. Corn silage management I : Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on chemical and physical characteristics. *Journal of Dairy Science* **85**, 833–853.
- Johnson LM, Harrison JH, Davidson D, Swift M, Mahanna WC, Shinnors K. 2002a. Corn silage management II : Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on digestion and energy content. *Journal of Dairy Science* **85**, 2913–2927.
- Johnson LM, Harrison JH, Davidson D, Swift M, Mahanna WC, Shinnors K. 2002c. Corn silage management III : Effects of hybrid, maturity, and mechanical processing on nitrogen metabolism and ruminal fermentation. *Journal of Dairy Science* **85**, 2928–2947.
- Mertens DR, Ferreira G. 2004. Measuring particle size, fragmentation index, and effective fiber in corn silages. *Research summary* 43–48. U.S. Dairy Forage Research Center. Madison, WI. ; [cited 26 April 2010]. Available from URL : http://www.ars.usda.gov/sp2UserFiles/Place/36553000/research_summaries/RS2004.pdf
- National Research Council (NRC). 2001. *Nutrients requirements of dairy cattle*. 7th. revised edn. update 2001. pp. 13–14. National Academy Press, Washington DC.
- 日本分析化学会北海道支部. 1981. 水の分析 (第 3 版). pp. 210, 358. 化学同人, 北海道.
- 農業技術研究機構編. 2001. 日本標準飼料成分表 (2001 年度版). pp. 40–46. (独)農業技術研究機構, 東京.
- Owens FN, Zinn RA, Kim YK. 1986. Limits to starch digestion in the ruminant small intestine. *Journal of Animal Science* **63**, 1634–1648.
- Philippeau C, Michalet-Doreau B. 1997. Influence of genotype and stage of maturity of maize on rate of ruminal starch degradation. *Animal Feed Science and Technology* **98**, 25–35.
- Sannes RA, Messman MA, Vagnoni DB. 2002. Form of rumen-degradable carbohydrate and nitrogen on microbial protein synthesis and protein efficiency of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **85**, 900–908.
- Schwab EC, Shaver RD, Shinnors KJ, Lauer JG, Coors JG. 2002. Processing and chop length effects in brown-midrib corn silage on intake, digestion, and milk production by dairy cows. *Journal of Dairy Science* **85**, 613–623.
- Smith RH, McAllan AB. 1974. Some factors influencing the chemical composition of mixed rumen bacteria. *British Journal of Nutrition* **31**, 27–34.
- 武政正明. 1992. リン酸カリ試薬による酸化クロム定量法の改良. 畜産試験場報告 **52**, 7–13.
- 谷川珠子, 大坂郁夫, 川本 哲, 原 悟志. 2008. 熟期の異なるとうもろこしサイレージの給与が乳牛の炭水化物およびタンパク質利用性に及ぼす影響. 日本畜産学会報 **79**, 29–35.
- 谷川珠子, 大坂郁夫, 川本 哲, 原 悟志. 2010. トウモロコシサイレージにおける破砕処理が乳牛の炭水化物およびタンパク質利用性に及ぼす影響. 日本畜産学会報 **81**, 11–19.
- Weigand E, Meyer U, Guth N. 1993. Intake, chewing activity and carbohydrate digestibility by lactating dairy cows fed maize silage with a different physical structure. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **69**, 120–132.
- Zinn RA, Owens FN. 1986. A rapid procedure for purine measurement and its use for estimating net ruminal protein synthesis. *Canadian Journal of Animal Science* **66**, 157–166.

Effects of roll clearance of mechanically processed corn silage on carbohydrate and protein utilization in dairy cows

Tamako TANIGAWA¹, Ikuo OOSAKA², Satoshi KAWAMOTO¹ and Satoshi HARA³

¹ Hokkaido Research Organization, Animal Research Center, Shintoku, Hokkaido 081-0038, Japan

² Hokkaido Research Organization, Central Agricultural Experiment Station,
Naganuma, Hokkaido 069-1395, Japan

³ Hokkaido Research Organization, Kamikawa Agricultural Experiment Station Tenpoku Sub Station,
Hamatonbetu, Hokkaido 098-5738, Japan

Corresponding : Tamako TANIGAWA (fax : +81 (0) 156-64-5349, e-mail : tanigawa-tamako@hro.or.jp)

The object of this study was to evaluate the effects of roll clearance of mechanically processed corn silage (CS) on carbohydrate and protein utilization in cows. CS was prepared by harvesting field corn at yellow ripe stage of maturity at 19 mm theoretical length of cut (TLC) with processing at a 5 mm (Coarse processed CS ; CPR) or 1 mm (Fine processed CS ; FPR) roll clearance. CS was given to three ruminally and duodenally cannulated dry cows with soybean meal to equalize crude protein supply. Roll clearance of mechanical processing did not affect chemical composition of CS and nutrient intake of cows. Ruminal digestibility of starch increased ($P < 0.05$) in FPR, though that of neutral detergent fiber was similar among treatments. Total tract digestibility and content of total digestible nutrients of CS were not affected by roll clearance. Ruminal pH was significantly lower ($P < 0.05$) when FPR was fed. Microbial nitrogen ratio of flow of nitrogen fraction to the duodenum, microbial nitrogen efficiency and roughage value index were not affected by roll clearance. The results suggest that the recommended roll clearance of mechanically processed CS at the yellow ripe stage should be 5 mm with a TLC of 19 mm.

Nihon Chikusan Gakkaiho 81 (4), 421-429, 2010

Key words : corn silage, dairy cow, digestibility, mechanical processing, roll clearance.