

粉碎トウモロコシの給与が高泌乳牛の泌乳初期における 栄養生理と乳生産に及ぼす影響

生田健太郎*・福尾憲久*・廣崎里麻*・篠倉和己*・小嶋 睦*

要 約

泌乳初期の高泌乳牛に穀物から効率的にエネルギーを供給するため、デンプンの第一胃通過性を粉碎によって高めたトウモロコシの給与効果を検討した。試験区は、完全混合飼料に使用するトウモロコシを蒸気圧片のみとする区(F区)、蒸気圧片と粉碎を半量ずつとする区(H区)及び粉碎のみとする区(G区)の3区を設け、各区に乳牛4頭(初妊牛2頭、経産牛2頭)ずつを配置した。

- 1 分娩後の乾物摂取量、乳量に有意差はなかったが、体重減少量はH区(67kg) > F区(39kg) > G区(31kg)の順に多く、G区は分娩後4週目以降、回復傾向になったが、他の2区は9週目まで減少傾向が続いた。また、ボディ・コンディション・スコア減少度はF区(0.88) > H区(0.81) > G区(0.44)の順に多く、G区の減少は分娩後2週目で停止したが、他の2区は7~8週目まで減少傾向が続いた。
 - 2 ルーメン液性状では分娩後4週目のアンモニア態窒素濃度において、F区(6.1mg/dl)がH区とG区(10.5, 9.8mg/dl)に比べ有意に低値を示した。
 - 3 血液性状では、分娩後2週目の総コレステロールにおいてF区(167.8mg/dl)がH区とG区(125.5, 140.3mg/dl)に比べ有意に高値を示した。
 - 4 乳成分ではH区とG区の乳糖率(4.68%, 4.62%)がF区(4.59%)に比べ有意に高値を示した。
- 以上のことから、粉碎トウモロコシは蒸気圧片トウモロコシに比べ牛体へのエネルギー供給効率が高く、分娩後の体重とボディ・コンディション・スコアの低下軽減と早期回復に効果があると考えられた。

Effect of Ground Corn on Performance of High Yielding Dairy Cows in Early Lactation

Kentarou IKUTA, Norihisa FUKUO, Rima HIROSAKI, Kzumi SASAKURA and Mutumu KOKAMO

Summary

The effect of ground corn on performance of early lactating cows was examined. Six multiparous and 6 primiparous cows were assigned randomly to one of three diets; (F) containing steam-flaked corn only, (H) containing 50% steam-flaked corn : 50% ground corn, (G) containing ground corn only. The following results were obtained:

- (1) Dry matter intakes and milk yield were essentially the same for the three diets. But, reduction of body weight(BW) in postpartum of cows fed the diet H, F and G were 67, 39, 31 kg respectively. The decreasing BW of cows fed the diet G stopped at wk 4 after parturition, but F and H continued to decrease until wk 9. Reduction of body condition score(BCS) in postpartum of cows fed the diet F, H, and G were 0.88, 0.81, 0.44 respectively. The decreasing BCS of cows fed the diet G stopped at wk 2 after parturition, but F and H continued to decrease until wk 7 or 8.
- (2) In ruminal characteristics at wk 4 postpartum, cows fed the diet F had significantly lower ruminal ammonia-N than cows fed the diet H or G(6.1 vs. 10.5, 9.8 mg/dl).
- (3) In serum metabolites at wk 2 postpartum, cows fed the diet F had significantly higher total cholesterol than did cows fed the diet H or G(167.8 vs. 125.5, 140.3mg/dl).
- (4) In milk composition, cows fed the diet H or G had significantly higher lactose percentage than cows fed the diet F(4.68, 4.62 vs 4.59%).

These data suggest that the ground corn was a more efficient at caloric feed for lactating cows than steam-flaked corn.

キーワード：粉碎トウモロコシ、バイパスデンプン、高泌乳牛、泌乳初期

1998年8月31日受理

* 淡路農業技術センター

緒 言

高泌乳牛の泌乳初期では限られた乾物摂取量の中で如何にして増大する養分要求量を充足するかが、飼養管理上最大の課題となる。

炭水化物は乳牛用飼料において乾物中で65%以上を占める最大の養分である。とくに、穀類はデンプンを多量に含み、安価なエネルギー供給源として高泌乳牛の飼料には多く用いられている。

しかし、穀類の給与割合を高めようとすれば、必然的に飼料中の繊維割合が下がり、多量のデンプンが第一胃（以下ルーメンと呼ぶ）で急速に発酵すると、発酵酸の生成量がルーメンの緩衝能力を上回るため、ルーメン液のpHが低下する。このような状態が持続するとルーメンアシドーシスとなり、乾物摂取量や乳脂率の低下など様々な問題が発生する。

ルーメン内でのデンプン発酵率は穀類の種類や加工法によって変化する^{4,10,11,17}。穀類を粉碎した場合、粒子が小さくなったことでルーメン内での発酵速度も速くなるが、それ以上に通過速度が速くなり、ルーメン発酵を免れるデンプンが増えることも考えられる¹¹。このようにデンプンの一部を小腸で消化・吸収させれば、ルーメンアシドーシスを起こさずに、より多くの穀類を給与でき、エネルギー摂取量を増やせる可能性がある。

国内では飼料用穀類としてトウモロコシが最も多く利用されているが、乳牛用飼料の加工形態はほとんどが蒸気圧片で、粉碎での給与はほとんどない。これは、その飼料特性や乳牛での給与効果が十分解明されていないためであろう。

そこで、泌乳初期の高泌乳牛に効率よくエネルギーを供給するために、蒸気圧片トウモロコシと粉碎トウモロコシの給与割合を変えた完全混合飼料（以下TMRと呼ぶ）を給与し、栄養生理状態や乳生産性について比較検討を行った。

本研究にあたり、ルーメン液の分析に終始ご指導ご協力を頂いた中央農業技術センター 森 登 主任研究員並びに試験飼料の調達にご協力いただいた兵庫県酪農業協同組合連合会 岡 昭彦氏に深謝いたします。

材料及び方法

1 供試牛、試験区分及び実施期間

試験にはホルスタイン種雌牛12頭（初妊牛6頭、経産牛6頭）を供試した。

試験区は、TMRに混合するトウモロコシを蒸気圧片のみとする区（以下F区と呼ぶ）、蒸気圧片と粉碎を半量ずつとする区（以下H区と呼ぶ）及び粉碎のみとする

区（以下G区と呼ぶ）の3区を設定した。

各区に、産歴・泌乳能力（経産牛では前産次の成績、初妊牛では父母の遺伝能力）が偏らないよう供試牛を4頭（初妊牛2頭、経産牛2頭）ずつ割り当て、一要因実験法で飼養試験を実施した。

試験は1997年10月から1998年6月の間に実施した。各供試牛の供試期間は分娩予定日の8週間前から分娩後10週間とした。

2 供試飼料

供試飼料はすべてDHIA (NEW YORK, USA) の飼料分析センターに分析を依頼し、その成分値に基づいて飼料設計を行った。

飼料設計にはS PARTAN¹⁸⁾を使用し、想定した個体（42か月齢、2産、体重612kg、増体日量0.1kg、乳量45kg、分娩後日数60日、乳脂率3.5%、乳蛋白質率3.1%、コンディションスコア2.5）の養分要求量を充足するようにした。

飼料構成のうち、乾物比率で29.09%にあたる部分は試験区の設定に従い、蒸気圧片または粉碎トウモロコシを86%含有する配合飼料で置換した（Table 1）。供試したトウモロコシの密度と粒度を示した（Table 2）。粒度は4mm、2mm、1mmの篩で選別し、それぞれの篩上に残った原物重量比率で示した。

TMRの乾物率は加水によって60%に調節し、飼料計算上の乾物当たり養分含量はCP:17.9%、UIP:40.9%/CP、TDN:73.4%、NDF:30.6%、NFC:39.4%であった。

3 飼養管理状況

供試牛はパイプストール又は広さ3.3×4.4mの独房にて飼養し、朝は8時30分から給餌と搾乳を行い、夕方は16時に給餌し、17時30分から搾乳した。

4 調査内容、採材間隔及び測定方法

飼料摂取量と乳量の計測は毎日行った。体重とボディ・コンディション・スコア（以下BCSと呼ぶ）の計測は毎週行った。採血は分娩予定の2週間前と分娩後は2週目から2週間隔で10週目まで計6回行った。ルーメン液の採取は分娩後4週目と8週目に行った。乳成分の測定は分娩後2週目から2週間隔で10週目まで計5回行った。

体重とBCSの計測、採血、ルーメン液の採取は午後1時から行った。

(1) 飼料摂取状況

給与量と残飼量は毎回計量し、残飼の乾物率を定期的に測定した。これらの記録から乾物摂取量、乾物体重比、養分摂取量および日本飼養標準¹²⁾に対する養分充足率を算出した。

Table 1. Ingredient of experimental diets.

Ingredient	Diet		
	F	H	G
	(% of DM)		
Corn silage	11.12	11.12	11.12
Beet pulp	11.41	11.41	11.41
Alfalfa hay cube	10.84	10.84	10.84
Timothy hay	13.35	13.35	13.35
Cottonseed whole lint	3.79	3.79	3.79
Soybean meal	9.31	9.31	9.31
Extruded soybean	1.90	1.90	1.90
Corn gluten meal	2.55	2.55	2.55
Corn gluten feed	5.40	5.40	5.40
Flaked corn mix ¹⁾	29.09	14.55	
Ground corn mix ²⁾		14.55	29.09
Limestone	0.41	0.41	0.41
Ca/P	0.33	0.33	0.33
Salt	0.25	0.25	0.25
Vitamin	0.25	0.25	0.25

- 1) Consisted of 86% flaked corn, 4% hominy feed, 4% barley bran, 3% rapeseed meal, 2% molasses, 1% limestone as fed based.
- 2) Consisted of 86% ground corn, 4% hominy feed, 4% barley bran, 3% rapeseed meal, 2% molasses, 1% limestone as fed based.

Table 2. Densities and particle size distribution of processed corn.

Type of corn ¹⁾	Densities	Screen mesh size			
		4mm	2mm	1mm	Pan
	(g/L)	(% retained on screen)			
F	557	45.9	29.7	7.1	17.3
G	732	0.4	1.9	21.5	76.2

1) F=flaked corn mix, G=ground corn mix.

(2) ルーメン液性状

ルーメン液はルミナー（富士平）で300 ml以上採取し、直ちにpHメーター（堀場、F-8L）にてpHを測定した。アンモニア態窒素濃度は二重ガーゼで濾過した胃液を凍結保存し、水蒸気蒸留法にて測定した。

揮発性脂肪酸（以下VFAと呼ぶ）は、濾過胃液2.5 mlを24%メタリン酸0.5mlと混和し、18時間放置し、冷却遠心（3000 rpm, 30 min）によって得られた上清液を検体とした。検体は凍結保存し、ガスクロマトグラフ（SHIMAZU 14B）で測定した。

(3) 血液性状

採血は頸静脈よりプレイン真空採血管で行い、ヘマトクリット管に一部吸引後、冷却遠心にて血清を分離し、総蛋白質を屈折計で測定後、遊離脂肪酸以外の項目は当

Table 3. Methods of blood chemical analysis.

Item	Method	
Hematocrit	(Ht)	Centrifugation
Total protein	(TP)	Refractometric
Blood urea nitrogen	(BUN)	Auto analyser
Glucose	(Glu)	"
Total cholesterol	(Tcho)	"
Free fatty acid	(NEFA)	Absorbance

日中に血液自動分析装置（富士ドライケム、富士写真フイルム）で測定した。遊離脂肪酸は、後日、凍結保存血清を検体とし、測定用キット（NEFA C-テストワコー、和光純薬）を用いた吸光度法にて測定した (Table 3)。

(4) 産乳成績

乳量はミルクメーター（TRU-TEST）で計測した。

乳成分の分析は、兵庫県酪産淡路生乳検査所に依頼し、多成分赤外線分析装置（SYS-4000, Foss）にて行った。各成分率は朝夕の乳量比によって加重平均した。

(5) 体重及びBCS

体重は牛衡器（TRU-TEST）で計測し、BCSはEdomsonら²⁾の方法に基づいて評価した。

5 統計処理の方法

分散分析により平均値の差を検定し、有意差が認められた場合は、Bonferroniの方法¹⁵⁾で多重比較を行った。

6 バイパスデンプン量の試算

ルーメンでの発酵を免れ、小腸へ流出するトウモロコシのデンプン量をNRC¹⁰⁾のルーメンサブモデルに当てはめ推定した。試算は以下に示す公式に供試したトウモロコシの成分分析値、体重と乾物摂取量の平均値 (Table 4) を代入して行った。なお、体重は分娩時の実測値をBCSで補正した値を採用した。

NRC¹⁰⁾やCNCP S¹⁶⁾では一次反応の速度論に基づき、ルーメンバイパス率(RE)を下記のように定義している。

$$RE = K_p / (K_d + K_p)$$

K_p: 通過速度定数 (%/hr)

K_d: 消化（発酵）速度定数 (%/hr)

通過速度定数 (K_p) は、粗飼料と濃厚飼料とで計算式が異なり、以下のように求めた。

$$K_p[\text{forage}]$$

$$= 0.388 + (22.0 \times \text{DMI} / \text{SBW}^{0.75}) + (0.0002 \times \text{FORAGE} \%)^2$$

$$K_p[\text{concentration}]$$

$$= -0.424 + (1.45 \times K_p[\text{forage}])$$

DMI: 乾物摂取量 (kg/day)

Table 4. Data for the estimation amount of ruminally escaped starch of the corn.

	Diet ¹⁾		
	F	H	G
Processing method	Steam-flaked		Ground
Composition			
CP(%DM)	10.0		10.7
FAT(%DM)	4.5		4.7
ASH(%DM)	2.75		3.28
NDF(%DM)	8.8		8.9
NDFIP(%CP)	12.0		10.3
STACH(%NSC)	90		90
eNDF(%NDF)	48		0
BW(kg)	642	658	637
DMI(kg/day)			
4 wk	20.7	21.6	21.4
8 wk	22.6	22.7	23.7
Experimental period	21.1	20.7	22.1

1) F=flaked corn mix, H=50:50 mixture of F and G, and G=ground corn mix.

SBW: 標準体重 × 0.96(kg)

FORAGE%: 乾物中の粗飼料割合 (%)

さらに, Kpは有効 NDF(eNDF)の値を用い, 飼料粒子の大きさによって補正した。

$$Kp = Kp' \times Af$$

濃厚飼料の補正係数 (Af) は以下の式により求めた。

$$Af[\text{concentration}] = 100 / (eNDF + 90)$$

eNDF(%NDF)は蒸気圧片で48, 粉砕で0とされており,

$$Af[\text{flake}] = 100 / (48 + 90) = 0.725$$

$$Af[\text{ground}] = 100 / (0 + 90) = 1.111$$

消化(発酵)速度定数(Kd)は, 各飼料の蛋白質, 炭水化物についてそれぞれの成分分画毎に特定の値がある。

デンプンは炭水化物のB1分画に該当し, 蒸気圧片で25%/hr, 粉砕で35%/hrとされている。

ルーメンから流出するデンプン量(RECB1)は以下の式により求めた。

$$RECB1 = I \times CB1 \times (Kp / (Kd + Kp))$$

I: トウモロコシの摂取量

CB1: 炭水化物のB1分画(%DM)

トウモロコシのB1分画は以下の式により求める。

$$CB1 = NSC(\%DM) \times 0.9$$

NSC: 非構造化炭水化物(%DM)

$$NSC = 100 - ((NDF - NDFIP) + CP + FAT + ASH)$$

NDFIP: NDF結合蛋白(%DM),

CP: 粗蛋白質(%DM)

FAT: 粗脂肪(%DM), ASH: 粗灰分(%DM)

結果

1 飼料摂取状況

乾物摂取量はG区(22.1 kg/day) > F区(21.1 kg/day) > H区(20.7 kg/day)の順に多く, 乾物体重比, CPとTDN摂取量もこの順に多くなる傾向にあったが, 有意差はなかった(Table 5)。また, 日本飼養標準¹²⁾に対する養分充足率もG区が他の2区に比べ高い傾向にあったが, 有意差はなかった。CP充足率は3区とも85%以上であったが, TDN充足率は3区とも80%未満で蛋白質に比べエネルギーの不足が大きかった。

乾物摂取量の推移では, 3区とも分娩後6週目まで急激に増加し, それ以降22~24kg程度で横ばい状態になった(Fig. 1)。また, 分娩から4週目まではH区が他の2区よりやや低く推移したが, いずれの週次においても有意差はなかった。

Table 5. Dry matter intake, nutrient intakes and nutrient sufficiencies of lactating cows fed diets containing the differently processed corn.¹⁾

Item	Diet ²⁾		
	F	H	G
Number of cows	4	4	4
Dry matter intake (kg/day)	21.1 ± 2.0	20.7 ± 2.5	22.1 ± 3.0
DM per Body weight (%)	3.30 ± 0.19	3.17 ± 0.29	3.50 ± 0.52
CP intake (g/day)	3805 ± 363	3732 ± 444	3976 ± 543
TDN intake (kg/day)	16.0 ± 1.5	15.7 ± 1.9	16.7 ± 2.3
CP sufficiency ³⁾ (%)	86.0 ± 15.0	86.5 ± 14.9	92.8 ± 14.5
TDN sufficiency ³⁾ (%)	74.1 ± 12.4	73.9 ± 12.1	79.7 ± 12.9

1) Values are mean ± SD.

2) F=flaked corn mix, H=50:50 mixture of F and G, and G=ground corn mix.

3) Calculated from "Japanese Feeding Standard for Dairy Cattle (1994)" (12).

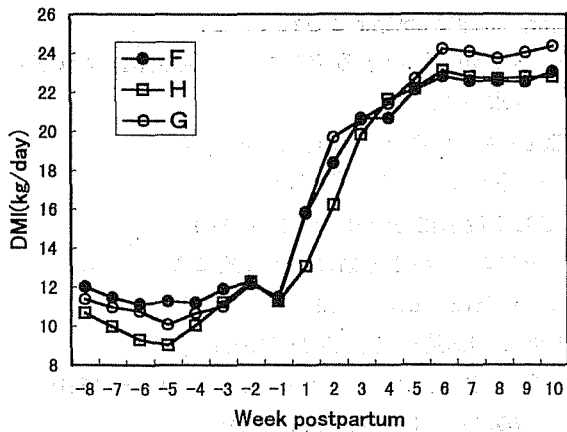


Fig. 1. The dry matter intake(DMI) during the 8wk before and 10 wk after parturition for dairy cows fed TMR containing the flaked corn(F), 50:50 mixture of flaked and ground corn(H), the ground corn(G) diets in the early lactation.

2 ルーメン液性状

分娩後4週目のアンモニア態窒素濃度はF区(6.1 mg/dl)がH区(10.5 mg/dl), G区(9.8 mg/dl)に比べ有意に低値を示した(Table 6)。また、このときのpHはG区が、総VFA濃度はF区が他の2区より高い傾向を示し、A:P比はF区が他の2区より低い傾向を示した。

分娩後8週目では全ての項目で有意差はなかった。F区のpHは4週目と比べて大差なかったが、H区とG区が低下したため、3区のうちで最も高くなった。アンモ

ニア態窒素濃度はG区が他の2区より高い傾向を示した。総VFA濃度はF区が他の2区より低い傾向を示したが、VFAモル比率に大差はなかった。

なお、各個体のpH、アンモニア態窒素濃度および総VFA濃度で正常範囲を逸脱する値は認められなかった。

3 血液性状

分娩後6週目のヘマトクリット(Ht)ではF区(32.8%)がG区(30.8%)に対して有意に高値を示した(Table 7)。

分娩後2,4,6,8週目の総コレステロール(Tcho)ではF区が他の2区の両方、または、いずれか一方に対して有意に高値を示した。

その他の検査項目では、いずれの週次においても有意差はなかった。

各個体の検査値では尿素態窒素(BUN)で18mg/dl以上、血糖(Glu)で70mg/dl以上の高値が、試験区を問わず、いずれの週次においても散見された。

4 産乳成績

乳量(供試期間中の総乳量、平均日乳量、最高乳量)は、F区が他の2区に比べ多い傾向を示したが、有意差はなかった(Table 8)。また、最高乳量にはF区、H区、G区の順に到達したが、分娩日から起算した日数にも有意差はなかった。

各試験区の平均日乳量は40kg程度となっているが、これは初産牛が2頭ずつ含まれているためである。したがって、個体記録の最大値は経産牛のもので、最小値は初産牛のものである。また、経産牛では最高乳量が60kg

Table 6. Ruminal fluid pH, ammonia N concentration, total VFA concentration, and molar percentages of individual VFA in the ruminal fluid of lactating cows fed diets containing the differently processed corn.¹⁾

Item \ Diet ²⁾	4 week			8 week		
	F	H	G	F	H	G
Number of cows	4	4	4	4	4	4
pH	6.41 ± 0.20	6.41 ± 0.08	6.53 ± 0.09	6.43 ± 0.27	6.29 ± 0.07	6.35 ± 0.12
Ammonia N (mg/dl)	6.1 ^a ± 1.3	10.5 ^b ± 2.3	9.8 ^b ± 2.9	8.1 ± 1.5	7.7 ± 1.2	10.6 ± 3.7
Total volatile fatty acids (mmol/dl)	9.03 ± 1.91	8.56 ± 0.77	8.50 ± 1.47	8.02 ± 2.38	9.00 ± 0.66	9.49 ± 1.04
Individual volatile fatty acids (molar %)						
Acetic	59.1 ± 3.8	62.6 ± 2.8	62.0 ± 4.3	59.9 ± 1.6	61.7 ± 3.6	60.0 ± 3.3
Propionic	26.4 ± 4.9	22.5 ± 4.0	23.6 ± 4.0	26.3 ± 2.2	26.0 ± 4.3	27.3 ± 3.6
Butyric	11.8 ± 1.2	12.1 ± 1.8	11.5 ± 0.7	10.8 ± 1.2	9.9 ± 1.0	10.0 ± 0.7
Other acids	2.6 ± 0.3	2.8 ± 0.3	3.0 ± 0.6	3.0 ± 0.7	2.5 ± 0.3	2.7 ± 0.2
A:P	2.3 ± 0.6	2.9 ± 0.6	2.7 ± 0.7	2.3 ± 0.2	2.5 ± 0.6	2.2 ± 0.5

1) Values are mean ± SD.

2) F=flaked corn mix, H=50:50 mixture of F and G, and G=ground corn mix.

ab:p<0.05

Table 7. Serum metabolites of lactating cows fed diets containing the differently processed corn¹⁾.

Item	Diet ²⁾	Prepartum	Week of postpartum				
		-2 wk	2 wk	4 wk	6 wk	8 wk	10 wk
Ht (%)	F	34.0±0.8	33.0±2.3	33.3±2.2	32.8 ^a ±1.0	33.0±2.4	33.3±2.8
	H	34.3±1.3	32.0±1.8	32.3±1.0	31.5±1.3	32.0±1.8	32.3±1.3
	G	31.5±2.5	30.5±2.4	30.8±2.5	30.8 ^d ±1.0	31.8±1.0	32.5±2.4
TP (g/dl)	F	6.05±0.53	7.43±0.40	7.65±0.41	7.78±0.26	7.78±0.33	7.75±0.47
	H	6.45±0.39	7.18±0.50	7.70±0.58	7.63±0.63	7.85±0.42	8.03±0.35
	G	6.70±0.12	7.38±0.24	7.55±0.10	7.80±0.16	7.75±0.13	7.65±0.13
BUN (mg/dl)	F	8.6±1.8	14.4±4.6	13.4±3.5	16.7±1.3	17.4±2.0	18.0±1.0
	H	9.7±2.5	14.2±3.6	16.5±1.6	16.2±1.0	15.5±1.3	18.5±2.0
	G	8.6±3.1	13.6±3.6	15.5±2.8	18.0±2.3	16.0±1.9	18.8±3.4
Glu (mg/dl)	F	67.3±2.9	65.8±6.7	65.5±3.0	66.8±4.2	68.8±6.7	62.0±7.4
	H	72.3±7.6	66.3±6.7	67.5±3.7	68.8±5.7	66.5±4.2	63.0±10.1
	G	70.0±6.4	62.5±3.9	65.8±1.9	69.5±3.7	65.8±5.6	67.8±4.6
Tcho (mg/dl)	F	84.5±10.7	167.8 ^a ±16.7	227.8 ^a ±34.8	255.5 ^a ±44.5	264.8 ^a ±41.7	285.3±74.8
	H	80.3±8.5	125.5 ^b ±15.9	185.3±5.1	207.0 ^d ±14.9	225.5±17.3	245.0±25.8
	G	77.3±4.5	140.3 ^b ±8.2	179.3 ^d ±31.4	210.3±19.3	210.5 ^d ±24.0	221.3±16.9
NEFA (μEq/l)	F	138.3±66.2	334.0±74.5		150.0±63.7		
	H	108.0±26.4	422.8±257.4		173.5±72.8		
	G	210.0±111.1	308.8±127.5		132.3±50.7		

1) Values are mean±SD. (each group n=4)

2) F=flaked corn mix, H=50:50 mixture of F and G, and G=ground corn mix.

ab:p<0.01, cd:p<0.1

Table 8. Milk yields of dairy cows fed diets containing the differently processed corn.¹⁾

Item	Diet ²⁾		
	F	H	G
Number of cows	4	4	4
Total milk yield (kg)	2902 ± 615	2727 ± 740	2759 ± 528
Average milk yield (kg/day)	41.5±8.8	39.0±10.5	39.4±7.6
Individual data ³⁾ (kg/day)	53.5~32.6	53.8~30.9	46.9~28.9
Maximum milk yield (kg/day)	49.7±10.7	46.3±12.0	46.2±8.6
Days of max milk yield (day)	41.8±20.5	43.5±7.0	46.0±13.1

1) Values are mean±SD.

2) F=flaked corn mix, H=50:50 mixture of F and G, and G=ground corn mix.

3) Values are maximum~minimum

を越える個体が2頭、初産牛でも45kgを越える個体が2頭あった。

乳成分は、分娩後2週目より2週間隔で測定したが、各週次毎の比較では有意差はなかった (Table 9)。しかし、試験期間を通して全データの平均値を比較したところ、乳糖率ではF区(4.59%)がH区(4.68%)とG区(4.62%)に

比べ有意に低値を示した。

乳量の推移では、分娩後2~4週目にかけてF区が他の2区より高く推移したが、いずれの週次においても有意差はなかった (Fig. 2)。

5 体重及びBCSの推移

分娩時を基準(ゼロ点)とした体重の増減を示した

Table 9. Milk composition and corrected milk productions of dairy cows fed diets containing the differently processed corn.¹⁾

Item	Diet ²⁾		
	F	H	G
Milk composition (%)			
Fat	3.51±0.43	3.80±0.57	3.62±0.47
Protein	3.05±0.23	3.03±0.15	3.04±0.19
SNF ³⁾	8.63±0.23	8.72±0.18	8.66±0.24
Lactose	4.59 ^a ±0.09	4.68 ^b ±0.11	4.62 ^b ±0.14
FCM ⁴⁾ (kg/day)	39.2±6.8	39.0±12.2	37.9±5.5
SCM ⁵⁾ (kg/day)	39.0±6.4	38.6±11.5	37.7±5.3

- 1) Values are mean±SD. (each group n=4)
 - 2) F=flaked corn mix, H=50:50 mixture of F and G, and G=ground corn mix.
 - 3) SNF=Solids not fat
 - 4) FCM=Fat corrected milk yield
 - 5) SCM=Solids corrected milk yield
- ab:p<0.05

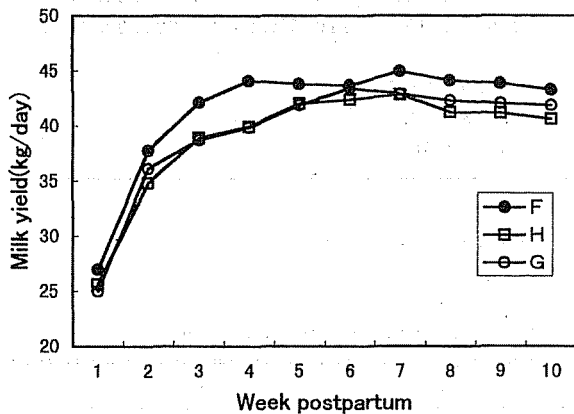


Fig. 2. The daily milk yield during the 10 wk after parturition for dairy cows fed TMR containing the flake corn(F), 50:50 mixture of flaked and ground corn(H), the ground corn(G) diets in the early lactation.

(Fig. 3). 分娩前は各区とも分娩時まで約 40 ~ 50 kg 程度増加した。分娩後における減少量は H 区 (67kg) > F 区 (39 kg) > G 区 (31 kg) の順に多く、G 区は分娩後 4 週目以降、回復傾向になったが、他の 2 区は 9 週目まで減少傾向が続いた。

分娩時を基準 (ゼロ点) とした BCS の増減を示した (Fig. 4)。分娩前は各区とも分娩時に対して ± 0.25 ポイント以内の範囲で推移した。分娩後における減少度は F 区 (0.88) > H 区 (0.81) > G 区 (0.44) の順で、G 区の減少は他の 2 区に比べ約半分であった。また、G 区では分娩後 2 週目で減少が停止したが、他の 2 区では F 区で 7 週

目、H 区で 8 週目まで減少傾向が続いた。

6 トウモロコシの推定バイパスデンプン量

分娩後 4 週目のバイパスデンプン量 (RECB1) は理論通り G 区 > H 区 > F 区 の順であったが、分娩後 8 週目と試験期間全体では H 区の平均体重が F 区より重かったことと、乾物摂取量が低かったことが計算結果に影響し、H

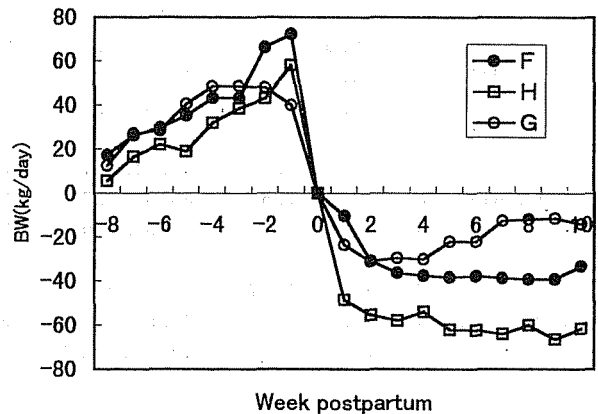


Fig. 3. The difference in body weight (BW) between at the parturition and the another week of postpartum for dairy cows fed TMR containing the flaked corn(F), 50:50 mixture of flaked and ground corn(H), the ground corn(G) diets in the early lactation.

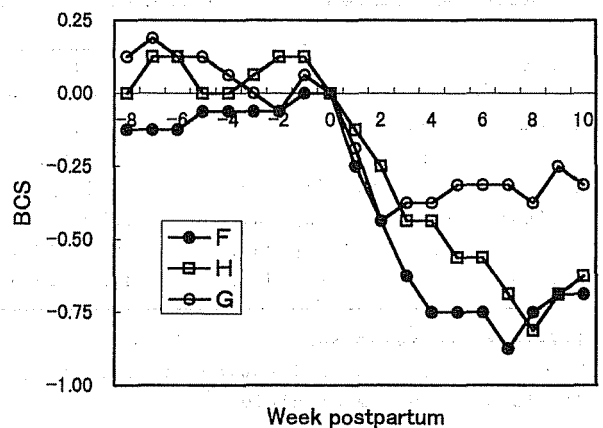


Fig. 4. The difference in BCS between at the parturition and another week of postpartum for dairy cows fed TMR containing the flaked corn(F), 50:50 mixture of flaked and ground corn(H), the ground corn(G) diets in the early lactation.

Table 10. The amount of estimated ruminally escaped starch of the corn.

	Diet ¹⁾		
	F	H	G
Intake of the corn(g/day)			
4 wk	6023.7	6285.6	6227.4
8 wk	6576.6	6605.7	6896.7
Total period	6140.1	6023.7	6431.1
RECB ²⁾ (g/day)			
4 wk	671.8	706.2	744.4
8 wk	785.8	771.6	891.9
Total period	695.2	654.5	788.1

1) F=flaked corn mix, H=50:50 mixture of F and G, and G=ground corn mix.

2) Amount of ruminally escaped starch in the corn.

区が最も少なくなった (Table 10).

F区とG区におけるバイパスデンプン量の差は、乾物摂取量が増加途中の分娩後4週目で72.6g/day、乾物摂取量がほぼ上限に達した分娩後8週目で106.1g/day、試験期間全体では92.9g/dayであった。

考 察

本試験では乾物摂取量と乳量に試験区間の有意差がなかったことから、乳生産面における養分出納には差がなかったと考えられる。

一方、分娩後における体重とBCSの推移では、粉碎トウモロコシのみを給与したG区が他の2区に比べ、減少が軽度で早期に回復傾向になっている。したがって、維持・増体面では粉碎は蒸気圧片に比べ効率がよいと考えられる。デンプンのエネルギー効率について既報^{5,6,11,13)}では、小腸からブドウ糖として吸収され代謝されるデンプンを、ルーメンでプロピオン酸に発酵し肝臓で糖新生を受けるデンプンと比較した場合、前者の方がエネルギー的に効率がよいとしている。

本試験の調査項目では、小腸におけるデンプンの消化・吸収・利用量について直接考察できない。しかし、総コレステロール(以下Tchoと呼ぶ)と乳糖率でみられた有意差は、バイパスデンプン量や小腸からのブドウ糖吸収量の差が間接的に影響したものと考えられる。すなわち、小腸からのブドウ糖吸収量が増加すると反芻家畜では脂肪酸やアミノ酸からの糖新生が抑制される⁹⁾。したがって、バイパスデンプン量の多いH・G区では小腸からのブドウ糖吸収量が増加したため、脂質代謝の増大に

伴って上昇するTcho¹⁴⁾がF区より有意に低く、乳腺においてブドウ糖から合成される乳糖の割合(乳糖率)が高くなったものと考えられる。

小腸へのバイパスデンプン量は、ルーメンにおける発酵速度と通過速度によって決まり^{9,16)}、それらは穀類の加工法によって変化する。トウモロコシの加工法とルーメン発酵率の関係を検討した過去の報告^{6,8,10,17)}では、蒸気圧片や粉碎は全粒や荒割りに比べ、ルーメン発酵率を向上させるという一致した見解が得られている。それでは、蒸気圧片と粉碎ではどちらの方がより多くのデンプンがルーメンで発酵され、どのくらいのデンプンが小腸へバイパスするのであろうか。試算に用いた理論式の消化(発酵)速度定数(Kd)をみると粉碎のルーメン発酵速度は蒸気圧片よりも速い。しかし、粒子の大きさによる補正係数(Af)を乗じた通過速度定数(Kp)も蒸気圧片より速いことから、乾物摂取量の上昇により通過速度が発酵速度を上回る場合には、蒸気圧片よりも粉碎のバイパスデンプン量が多くなると考えられる。Allen¹⁾も粉碎以外の形態ではルーメンの残留時間が大きく減少することはないであろうとしている。

飼料成分、体重及び乾物摂取量の実測値に基づいて試算したバイパスデンプン量も分娩後4週目ではF<H<G区の順に多くなった。このため、H区やG区ではルーメン内で発酵するデンプン量が相対的に少なくなった結果、F区に比べ、pHが高く、総VFA濃度が低い傾向を示したと考えられる。したがって、H区やG区では、F区に比べてルーメン内の発酵エネルギーが少い分、体蛋白質合成に微生物が利用するアンモニア量も少なかったため、分娩後4週目のルーメンアンモニア態窒素濃度が有意に高くなったと考えられる。

デンプンの消化場所をルーメンから小腸へ移すことでルーメンアシドーシスを起こさずに穀類からのエネルギー摂取量を増やせる利点がある¹⁾。しかし、本試験ではルーメンpHに有意な差は認められず、いずれの試験区も下限値とされる6.0を下回ることにはなかった。これは、TMRで給与したことにより繊維成分とのバランスが常時とれていたことに加え、トウモロコシの給与割合が乾物で30%未満と極端に多くはなかったためと考えられる。

乾物摂取量に有意な差がなかったのも、上記のようにいずれの試験区においてもルーメン内が安定した状態であったためと考えられる。一方、Yuら¹⁶⁾は、蒸気圧片に比べ粉碎の乾物摂取量が有意に低かったとしている。この相違はYuら¹⁶⁾の試験では乾物摂取量の多い泌乳中期牛を供試したことと、本試験に比べて蒸気圧片の密度

が低く、粉碎の粒度が大きかったこと等が影響したものと考えられる。また、Yuら¹⁶⁾は乳量については蒸気圧片が粉碎より多かったとしている。本試験でもF区が多い傾向を示したが、乾物摂取量に差がないため、乳量にも有意差は出なかったと考えられる。

ルーメンをバイパスしたデンプンのかかなりの部分が下部消化管において消化される³⁾。小腸におけるデンプンの消化率は、Huntington⁵⁾によると45～80%の範囲にあり、55%程度と考えるのが妥当であろうとしている。一方、CNCP S¹⁶⁾では、蒸気圧片で92～97%、粉碎で80～90%としている。しかし、ルーメンでのデンプン発酵を減少させることによる発酵ロスが多ければ、その効率は相殺されるかもしれない。それは、小腸でのデンプンの消化とブドウ糖の吸収効率には限界があるため、小腸に流入するデンプン量が増えるに従って、流入量に対する小腸でのデンプン消化率は減少する^{5,11)}からである。

以上、泌乳初期の高泌乳牛にデンプンのバイパス率を高めた粉碎トウモロコシを給与することで、牛体へのエネルギー供給効率が高まり、体重とBCSの低下軽減と早期回復に効果が認められた。しかし、蒸気圧片との最適な使用割合については明らかにできなかったため、今後、この点についてはルーメン内の発酵効率と小腸での消化率を総合的に考慮しながら、乾物摂取量やエネルギー要求レベルに応じた適正なデンプンバイパス率を検討していきたい。

引用文献

- (1) Allen, M. S. (1998), 大場真人・関口英雄 訳：乳牛の炭水化物の栄養マネジメント(デーリイジャパン)50-52
- (2) Edmonson, A.D., I.J. Lean, L.D. Weaver, T. Farver and G. Webster (1989) : A body condition scoring chart for holstein dairy cows : J. Dairy Sci. 72, 68-78
- (3) Herrera-Saldana, R.E., R. Gomez-Alarcon, M. Torabi, and J.T. Huber (1990) : Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis : J. Dairy Sci. 73, 142-148
- (4) Herrera-Saldana, R. E., J. T. Huber, and M. H. Poore (1990) : Dry matter, crude protein, and starch degradability of five cereal grains : J. Dairy Sci. 73, 2386-2393
- (5) Huntington G. B. (1997) : Starch utilization by ruminants : From basics to the bunk : J. Anim. Sci. 75, 852-876
- (6) Knowlton, K.F., M.S. Allen, and P.S. Erickson (1996) : Lasalocod and particle size of corn grain for dairy cows in early lactation.
 1. Effect on performance, serum metabolites, and nutrient digestibility : J. Dairy Sci. 79, 557-564
- (7) Knowlton, K.F., M.S. Allen, and P.S. Erickson (1996) : Lasalocod and particle size of corn grain for dairy cows in early lactation.
 2. Effect on ruminal measurements and feeding behavior : J. Dairy Sci. 79, 565-574
- (8) Lykos, T. and G.A. Varga (1995) : Effect of processing method on degradation characteristics of protein and carbohydrate sources in situ : J. Dairy Sci. 78, 1789-1801
- (9) National Research Council (1996) : Nutrient Requirements of Beef Cattle. 7th rev. ed. (Natl. Acad. Press, Washington, DC.)
- (10) Nocek, J. E. (1987) : Characterization of in situ dry matter and nitrogen digestion of various corn grain forms : J. Dairy Sci. 70, 2291-2301
- (11) Nocek, J.E., S. Tamminga (1991) : Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition : J. Dairy Sci. 74, 3598-3629
- (12) 農林水産省農林水産技術会議事務局 (1994) : 日本飼養標準乳牛 (中央畜産会) 81-89
- (13) Owens, F.N., R.A. Zinn, and Y.K. Kim (1986) : Limits to starch digestion in the ruminant small intestine : J. Anim. Sci. 63, 1634-1648
- (14) 左向敏紀 (1992) : 脂質代謝からみた代謝プロファイルテスト (1) : 家畜診療 345, 33-41
- (15) S P S S (1993) : SPSS Base System 統計編, Release 6. x (エス・ピー・エス・エス株式会社) 8章 8-6
- (16) 田中 博・八木満寿夫・相井孝允 (訳) (1996) : 牛飼料評価のための正味炭水化物・蛋白質システム (J A 全農畜産生産部) 33-44
- (17) Yu, P., J. T. Huber, F.A.P. Santos, T.M. Simas, and C.B. Theurer (1998) : Effect of ground, steamflaked, and steam-rolled corn grains on performance of lactating cows : J. Dairy Sci. 81, 777-783
- (18) VandeHaar, M., H. Bucholtz, R. Beverly, R. Emery, M. Allen, C. Sniffen, and R. Black (1992) : Spartan Dairy Ration Evaluator/Balancer Version 2.01 (Michigan State University)