



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	泌乳牛のコーンサイレージ主体飼養下におけるルーメン内分解性蛋白質含量の異なる濃厚飼料の給与が乳生産, 窒素およびエネルギー出納に及ぼす影響
Author(s)	中辻, 浩喜; Nakatsuji, Hiroki; 竹井, 悠 他
Citation	北海道大学大学院農学研究科邦文紀要, 24(3-4), 381-388
Issue Date	2002-11-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/5613
Type	departmental bulletin paper
File Information	24(3-4)_nakatsuji.pdf



泌乳牛のコーンサイレージ主体飼養下における ルーメン内分解性蛋白質含量の異なる濃厚飼料の給与が乳生産、 窒素およびエネルギー出納に及ぼす影響

中辻 浩喜・竹井 悠*・三谷 朋弘*・近藤 誠司*・大久保正彦*

(北海道大学 北方生物圏フィールド科学センター 耕地圏ステーション 生物生産研究農場

*北海道大学大学院 農学研究科 生物資源生産学専攻 家畜生産学講座 畜牧体系学分野)

Effect of supplementation of concentrates differed rumen degradable
protein content on milk production, nitrogen and energy balances in
lactating dairy cows offered high-corn silage diets

Hiroki NAKATSUJI, Yu TAKEI*, Tomohiro MITANI*, Seiji KONDO* and Masahiko OKUBO*

(Experimental Farm, Agro-Ecosystem Research Station, Field Science Center for
Northern Biosphere, Hokkaido University, Sapporo 060-0811, Japan

*Laboratory of Animal Production System, Research Group of Animal Production,
Division of Bioresources and Product Science, Graduate School of Agriculture,
Hokkaido University, Sapporo 060-8589, Japan)

I. 緒 言

コーンサイレージ (CS) は、牧草類と比較して粗蛋白質 (CP) 含量が低く、また、子実を含むことから、粗飼料でありながら非繊維性炭水化物 (NFC) 含量が高く、エネルギー飼料としての性質を併せ持つ¹⁾。したがって、泌乳牛の CS 主体飼養下においては、CP、中でもルーメン内分解性蛋白質 (RDP) 含量の高い併給飼料の給与が重要であり²⁾、これによりルーメン内の NFC と RDP の不均衡が改善され、ルーメン内微生物の活性が高まり、飼料成分消化率や乳生産および乳生産効率が改善されることが期待される。

RDP 含量の高い併給飼料として一般的に考えられるのは、穀類、農産製造粕類など、いわゆる濃厚飼料であり、これらを CS に併給した場合の乳生産に対する有効性を検討した報告^{3,4,5)}は、さまざまある。しかしながら、これまでの多くの報告は、濃厚飼料割合が比較的高い条件下での試験であり、CS 主体飼養下における濃厚飼料の併給効果について検討した報告は

少なく、さらに乳量、乳成分ばかりでなく窒素 (N) やエネルギー出納まで含めて報告された例はない。また、これまでの多くの報告^{3,4,5)}は日乳量 40 kg 以上の高乳量の牛を用いた試験であるが、CS のような粗飼料を多給する条件下での日乳量は、それらに比べ低いことが多いと想定され、その場合での濃厚飼料の併給に対する反応は高乳量時と異なる可能性がある。

そこで本試験では、CS 主体飼養下の日乳量 25 kg 程度の泌乳牛へ RDP 含量の異なる濃厚飼料を給与し、それらが乳生産、N およびエネルギー出納に及ぼす影響について検討した。

II. 材料と方法

供試飼料は、粗飼料源として北海道大学北方生物圏フィールド科学センター生物生産研究農場で黄熟期に収穫、調製したコーンサイレージと一番刈イネ科主体乾草、および濃厚飼料源として市販の乳牛用配合飼料、大豆粕 (SBM) とコーングルテンミール (CGM) を用いた (表 1)。CS を主体に給与飼料全体の粗濃比を 65 : 35 とし、市販の乳牛用配合飼料に RDP 含量の低

表1 供試飼料の飼料成分

	DM	CP	RDP	NDF	NFC
	%DM				
CS ^{a)}	28.5	7.6	70 ¹⁾	44.4	37.5
乾草	86.2	11.2	75 ¹⁾	72.5	6.4
配合飼料	85.4	19.6	65 ²⁾	21.3	49.0
SBM ^{b)}	86.8	48.3	70 ¹⁾	12.7	30.1
CGM ^{c)}	84.6	65.7	35 ¹⁾	4.6	26.3

a) コーンサイレージ, b) 大豆粕, c) コーングルテンミール

1) 日本飼養標準 (1999) より引用

2) 原料割合より日本飼養標準 (1999) を用いて推定

いCGM, または, それに比べRDP含量の高いSBMを混合することにより, 給与飼料全体のRDP含量が異なる2処理の給与飼料モデル(SBM区およびCGM区)を設計した(表2)。

表3に給与飼料全体の成分組成を示した。CP含量は両区とも約15%とし, RDP含量はCGM区の8.5%に対してSBM区では10.2%と2%単位程度高く設定した。なお, 給与飼料全体のRDP含量は, CS, 乾草, SBMおよびCGMのRDP含量は日本飼養標準(1999年版)⁶⁾の値を

表2 給与飼料構成

	SBM区	CGM区
	%DM	
CS ^{a)}	58.5	56.7
乾草	6.5	8.3
配合飼料	23.5	27.6
SBM ^{b)}	11.5	—
CGM ^{c)}	—	7.4

a) コーンサイレージ, b) 大豆粕, c) コーングルテンミール

表3 給与飼料の化学組成, 飼料中NFC/CPおよびNFC/RDP

	SBM区	CGM区
	%DM	
CP	15.3	15.5
RDP	10.2	8.5
NDF	37.2	37.4
NFC	37.3	37.3
NFC/CP	2.4	2.4
NFC/RDP	3.7	4.4

用い, また, 配合飼料のRDP含量はその配合原料の種類から65%と推定し, 各飼料の給与割合を乗じて算出した。NFC/CPは両区とも2.4で, NFC/RDPはSBM区3.7およびCGM区4.4とSBM区で低くなった。

本学生物生産研究農場で飼養されているホルスタイン種泌乳牛4頭(平均産次: 3.0産, 平均分娩後日数: 196日, 平均体重: 650kg)を供試し, 各処理に2頭ずつ振り分けた。試験期間は2001年1月29日から3月9日までの40日間とし, 1期20日間(馴致期13日間, 本期7日間)2期からなる反転法により試験を実施した。飼料給与量は, 供試牛のTDN要求量⁶⁾の100%量とした。コーンサイレージとSBMまたはCGMは混合し, 1日1回10:30に給与した。配合飼料は, 1日量を8:30, 10:30および14:30の3回に分けて給与した。乾草は, 16:00に給与した。水およびミネラルブロックは自由摂取とした。

搾乳は1日2回, 8:30と16:00に行い, 乳量および飼料摂取量を本期7日間毎日測定した。乳成分は, 本期2と3日目の2日間連続して朝夕の搾乳時に牛乳のサンプリングを行い, 乳脂肪率, 乳蛋白質率および乳糖率を赤外線牛乳分析器(Milko-Scan S54, Foss Electric社製, デンマーク)で測定した。なお, 無脂固形分(SNF)率は, 牛乳の灰分を1.0%と仮定し, 乳蛋白質率と乳糖率の合計に1.0を加えて算出した。本期4~7日目の4日間, 全糞全尿採取法によりNおよびエネルギー出納を測定した。その手順およびデータ解析は中辻の報告⁷⁾に従った。

供試飼料および糞の一般成分分析は, AOAC法⁸⁾により, 中性デタージェント繊維(NDF)はGoering and Van Soestの方法⁹⁾で分析した。NFC含量は, NRC¹⁰⁾の以下の式を用いて算出した。

$$\text{NFC, \%} = 100 - (\text{NDF, \%} + \text{CP, \%} + \text{Fat, \%} + \text{Ash, \%})$$

Fat: 粗脂肪, Ash: 粗灰分

飼料, 糞および尿の総エネルギー(GE)含量は, ボンプカロリメーター(CA-4, 島津製作所製,

日本)を用いて測定した。尿中 N 含量は Kjeldahl 法⁸⁾により測定した。

ルーメン内微生物態蛋白質合成量を推定するために尿中アラントイン排泄量を測定した。尿サンプルは、N およびエネルギー出納測定時に採取し、Chen and Gomes¹¹⁾の方法によりアラントイン濃度を測定し、尿量を乗じてアラントイン排泄量を算出した。血液は、本期最終日の 8:00 に尾正中静脈より採取、血漿を分離 (3000 g×10 分, 4°C) 後、血中尿素 N (BUN) および遊離脂肪酸 (NEFA) 濃度を測定キット (尿素 NB-テストワコーおよび NEFA C-テストワコー, 和光純薬) を用いて測定した。

得られたデータは、反転法の解析手順により分散分析し、F-検定¹²⁾を行なった。P<0.05 を「有意差がある」とし、P<0.3 の場合「傾向がある」とした。

III. 結 果

乾物摂取量を図 1 に示した。両処理区とも試験期間を通じて残食はみられなかったことから、飼料乾物摂取量に差は認められず、各飼料の摂取割合および摂取飼料中成分含量は設定値 (表 2) と同様となった。

乳量、乳成分含量および生産量を表 4 に示した。乳量は両区に差はみられなかった。しかし、乳脂肪率が SBM 区で 4.41% と CGM 区の 4.64% に比べ低い傾向を示したため、FCM 量

では SBM 区 22.1 kg および CGM 区 24.6 kg と SBM 区で低い傾向にあった。乳脂肪量は、SBM 区で 0.92 kg と CGM 区の 1.04 kg に比べわずかに低い傾向にあった。乳蛋白質率は、SBM 区 3.22% および CGM 区 3.05% と SBM 区で高い傾向にあったが、乳蛋白質量は両区で差はみられなかった。

飼料成分消化率を表 5 に示した。CP 消化率は、SBM 区 70.7% および CGM 区 66.8% と SBM 区でかなり高い傾向を示した。NDF 消化率は、SBM 区 54.5% および CGM 区 51.7%、OM 消化率は、SBM 区 68.6% および CGM 区 66.6% とその差は有意ではなかったものの、いずれも SBM 区で高い数値を示した。

表 4 乳量、乳成分含量および生産量

	SBM 区	CGM 区	SEM	P
	— kg/日/頭 —			
乳量	20.8	22.5	0.8	0.44
FCM 量	22.1	24.6	1.1	0.27
	— % —			
乳脂肪率	4.41	4.64	0.1	0.29
乳蛋白質率	3.22	3.05	0.1	0.27
SNF 率	8.89	8.71	0.0	0.93
	— kg/日/頭 —			
乳脂肪量	0.92	1.04	0.0	0.23
乳蛋白質量	0.67	0.68	0.0	0.76
SNF 生産量	0.97	1.05	0.0	0.40

SEM: Standard Error of Means, P: Probability

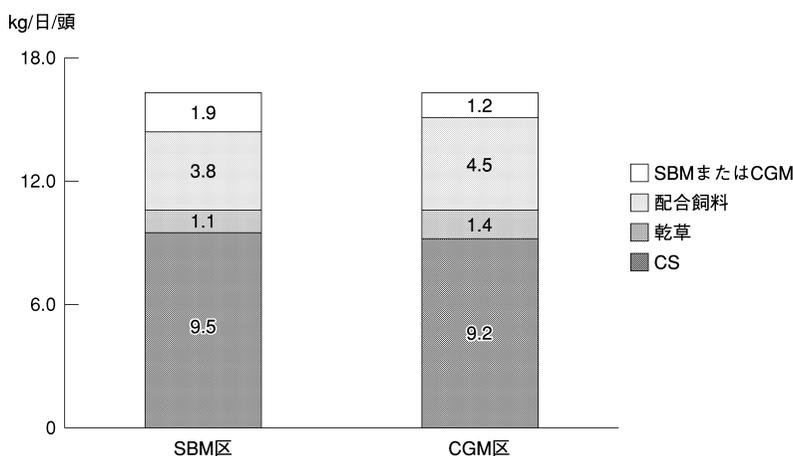


図 1 乾物摂取量

表5 飼料成分消化率

	SBM区	CGM区	SEM	P
	%			
OM	68.6	66.6	0.91	0.31
CP	70.7	66.8	1.23	0.12
NDF	54.5	51.7	1.33	0.38
NFC	77.7	76.5	0.71	0.39

SEM: Standard Error of Means, P: Probability

血液成分および尿中アラントイン量を表6に示した。BUN濃度は、SBM区13.8 mg/dlおよびCGM区13.5 mg/dlであり、両区に差はみられなかった。NEFA濃度は、SBM区195.1 μ Eq/lおよびCGM区217.7 μ Eq/lであり、その差は有意ではなかったものの、CGM区で高い数値を示した。尿中アラントイン量は、SBM区203.3 mmol/日およびCGM区189.0 mmol/日とその差は有意ではなかったものの、SBM区で高い数値を示した。

N出納についてその実量を表7に、またN摂取量に占める各N画分の割合を図2に示した。出納量についてみると、N摂取量は両区に差はなかった。糞中N量は、SBM区がCGM区に比べて低い傾向にあったことから、可消化N量はSBM区がやや高い傾向を示した。尿中N量はCGM区と比べSBM区で高い傾向にあった。乳中N量には両区で差はなく、体蓄積N量は、その差は有意ではなかったものの、CGM区に比べSBM区で高い数値を示した。N摂取量

表6 BUN濃度、血中NEFA濃度および尿中アラントイン量

	SBM区	CGM区	SEM	P
BUN, mg/dl	13.8	13.5	0.6	0.87
NEFA, μ Eq/l	195.1	217.7	24.9	0.70
尿中アラントイン, mmol/日/頭	203.3	189.0	14.4	0.67

SEM: Standard Error of Means, P: Probability

表7 N出納

	SBM区	CGM区	SEM	P
	g/日/頭			
N摂取量	400.8	400.1	7.5	0.97
可消化N量	283.0	267.1	6.4	0.30
糞中N量	117.8	132.9	5.9	0.26
尿中N量	131.2	122.8	3.8	0.23
乳中N量	101.6	103.7	3.5	0.80
体蓄積N量	50.3	40.6	8.0	0.46

SEM: Standard Error of Means, P: Probability

に占める割合でみると、糞中N割合は、SBM区がCGM区に比べて低い傾向にあったが、逆に尿中N割合はSBM区でやや高い傾向にあった。その結果、排泄(糞+尿)されたNの割合として考えると、その差は有意ではないもののSBM区でやや低い値を示し、可消化N摂取割合はSBM区で高い傾向にあった。N摂取量に占める乳中Nの割合は、SBM区25.3%およびCGM区25.9%と両区に差はみられな

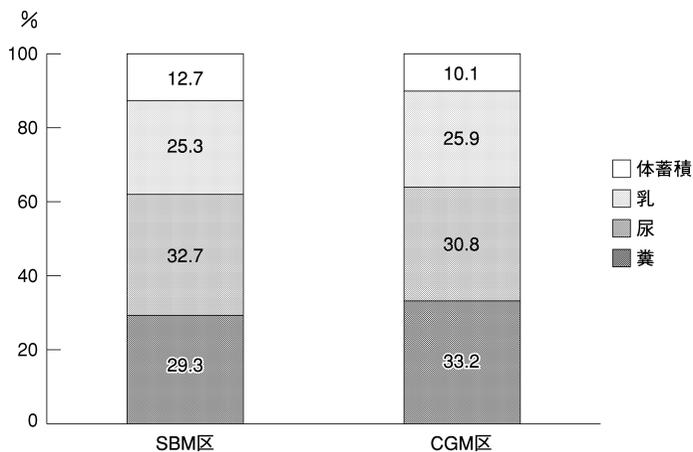


図2 N出納 (N摂取量に占める割合)

かった。いっぽう、体蓄積 N の割合は、SBM 区 12.7% および CGM 区 10.1% であり、その差は有意ではなかったものの、SBM 区が高い数値を示した。

エネルギー出納を表 8 に示した。GE 摂取量は両区で差はなく、糞中および尿中エネルギー量にも両区に差は認められなかった。そのため、可消化エネルギー (DE) および代謝エネルギー (ME) 摂取量は、それぞれ両区に差はなかった。また、GE 摂取量に占める糞および尿エネルギーとしての排泄割合は、いずれも両区で差は認められなかった。エネルギー代謝率 (ME/GE) は、SBM 区 55.9% および CGM 区 54.7% と SBM 区がやや高い値を示したが、その差は有意ではなかった。乳生産のエネルギー粗効率 (GEE) は、SBM 区 39.8% および CGM 区 43.9% であり、その差は有意ではなかったものの SBM 区でかなり低い数値を示した。

IV. 考 察

CGM の給与により乾物摂取量が低下したとの報告⁴⁾があるが、本試験程度の給与割合 (表 2) でコーンサイレージに混合して給与した場合、摂取量に影響を与えなかった。また、SBM と CGM を比較した他の報告によると、本試験と同様に、乳量、乳成分含量および生産量に有意な差はみられなかった報告^{3,5)}がある一方、

Polan ら⁴⁾は、CGM 給与により FCM 量および乳脂肪率が増加し、SBM 給与では乳蛋白質率および生産量が増加したと報告している。また、Keery and Amos¹³⁾も CGM 給与で乳脂率が増加したと報告している。本試験においても SBM 区で乳蛋白質率がやや高く、CGM 区で乳脂率がやや高くなったがその差は小さかった。このように処理の効果が小さかったのは、処理間での NFC/RDP の差が 0.7 程度 (表 3) とこれまでの報告^{4,13)}に比べ小さかったためと考えられる。

また、SBM 区の飼料成分消化率は、有意差ではないものの、CGM 区比べ様に高い値を示し、特に NDF および CP 消化率の差が大きかった (表 5)。また、尿中アラントイン量も、両区の差は有意ではなかったものの、SBM 区で高い数値を示した (表 6)。これは、RDP 含量の高い濃厚飼料を給与した SBM 区において、NFC と RDP の不均衡が改善されることによりルーメン内微生物の活性が高まり、その結果、下部消化管への微生物体蛋白質流出量が増え、尿中アラントイン量が増加したと解釈される。そして、このようなルーメン内微生物の活性の亢進が飼料成分消化率の改善に寄与したと考えられる。

いっぽう、N 出納 (表 7 および図 2) をみると、SBM 区で可消化 N 量がやや高い傾向に

表 8 エネルギー出納

	SBM 区	CGM 区	SEM	P
	— MJ/日/頭 —			
GE 摂取量	276.7	280.3	5.3	0.81
DE 摂取量	187.1	185.3	3.9	0.86
ME 摂取量	154.7	153.2	3.6	0.87
糞エネルギー量	89.6	95.0	3.2	0.49
尿エネルギー量	10.6	10.3	0.3	0.43
乳エネルギー量	61.5	67.2	2.7	0.42
	— % —			
糞エネルギー量/GE 摂取量	32.3	33.9	0.9	0.39
尿エネルギー量/GE 摂取量	3.8	3.7	0.1	0.56
エネルギー代謝率 (ME/GE)	55.9	54.7	0.0	0.45
乳生産のエネルギー粗効率 (GEE ^{a)})	39.8	43.9	0.0	0.30

a) Gross energetic efficiency (GEE) = 乳エネルギー量 / ME 摂取量 × 100

SEM: Standard Error of Means, P: Probability

あったもの、N摂取量に占める乳中N割合は両区で差はなく、体蓄積N割合では、両区の差は有意ではなかったもののSBM区が高い数値を示した。すなわち、CP消化率が改善され、体内に吸収されたNは増加したが、それが必ずしも乳生産へは利用されなかったと考えられる。大谷ら¹⁴⁾は、グラスサイレージに易発酵性の炭水化物を給与することでNの体内への吸収量が増加し、尿への排泄は減少したと報告しており、この結果はルーメン内微生物の増加によると考察している。さらに、本試験と同様に、Nの乳への分配割合は変わらず体蓄積割合が増加したことを報告しているが、これは供試した牛が日乳量25 kg程度と本試験とほぼ同様であり、この程度の乳量レベルでは乳生産に必要な蛋白質要求量を十分満たしていたためであると考察している。すなわち、本試験においても、飼料中NFC/RDPの差が両区間で小さかったことに加えて、大谷ら¹⁴⁾と同様に、供試牛の日乳量が25 kg程度であったことにより、余剰なNは体内に蓄積されたと思われる。乳量の高い泌乳初期牛を用いた場合には反応が異なる可能性もあり、今後検討する必要がある。

エネルギー出納(表8)については、GE摂取量に占める糞および尿エネルギーとしての排泄割合に対する飼料中NFC/RDPの違いの影響は小さく、ME/GEは両区ほぼ同様であった。しかし、SBM区で必ずしも乳中エネルギー量が増加しなかったため、GEEは、有意差ではないものの、CGM区に比べかなり低い値となった。これも窒素出納での考察と同様な要因によるものであろう。

以上まとめると、CS主体飼養下の日乳量25 kg程度の泌乳牛に対してRDP含量の高い濃厚飼料を給与し、飼料全体のNFC/RDPを4.4から3.7に低下させた場合、飼料成分消化率がやや改善される傾向が示唆されたものの、乳量、乳成分に差はみられなかった。また、乳生産のNおよびエネルギー利用効率は低く、逆に摂取Nの体蓄積への分配割合が高くなる傾向がみられた。これは、NFC/RDPの範囲が小さかったことに加えて、本試験の供試牛は、乳生産に必要なNおよびエネルギー要求量を十分満た

していたためと考えられた。すなわち、日乳量が25 kg程度の場合にNFC/RDPを変化させ、微生物活性を高めるようなルーメン内環境を整えても、必ずしも乳生産にまで反映されない可能性が示唆された。今後は、乳量が高く、要求量の高い泌乳初期牛を用いて、最適なNFC/RDPの検討も含め、同様な実験を行なうとともに、ルーメン内性状もあわせて検討する予定である。

謝 辞

本研究の試験遂行にあたり、北海道大学北方生物圏フィールド科学センター耕地圏ステーション生物生産研究農場 元技官 岩倉 隆氏、技官 新海秀史氏、同 高橋太郎氏、同 八巻憲和氏には、試験牛の一般管理、飼料調製などのご協力をいただいた。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- 1) 内田 仙二 編：サイレージ科学の進歩，デーリィ・ジャパン社，東京，1999.
- 2) Phipps, R.H. and D.G. Cramp: The supplementation of maize silage for an autumn-calving dairy herd, *Anim. Prod.*, **23**: 191-196, 1976.
- 3) Cozzi, G.C. and E. Polan: Corn gluten meal or dried brewers grains as partial replacement for soybean meal in the diet of Holstein cows, *J. Dairy Sci.*, **77**: 825-834, 1994.
- 4) Polan, C.E., K.A. Cummins, C.J. Sniffen, T.V. Muscato, J.L. Vicini, B.A. Crooker, J.H. Clark, D.G. Johnson, D.E. Otterby, B. Guillaume, L.D. Muller, G.A. Varga, R.A. Murray and S.B. Peirce-sandner: Responses of dairy cows to supplemental rumen-protected forms of methionine and lysine, *J. Dairy Sci.*, **74**: 2997-3013, 1991.
- 5) Robinson, P.H., R.E McQueen and P.L. Burgess: Influence of rumen undegradable protein levels on feed intake and milk

- production of dairy cows, *J. Dairy Sci.*, **74**: 1623-1631, 1991.
- 6) 農林水産省農林水産技術会議事務局編, 日本飼養標準・乳牛(1999年版), 中央畜産会, 東京, 1999.
 - 7) 中辻浩喜: 泌乳牛の粗飼料多給飼養下における飼料エネルギーの利用効率に関する研究, 北大農場研究報告, **31**: 75-128, 1999.
 - 8) Association of Official Analytical Chemists: Official methods of analysis, 11th ed., A.O.A.C., Washington, D.C., 1970.
 - 9) Goering, J.K. and P.J. van Soest: Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures, and some applications), *Agric. Handbook No. 379*, ARSUSDA, Washington, D.C., 1970.
 - 10) National Research Council: Nutrient Requirement of Dairy Cattle, 7th rev. ed. 2001, National Academy Press, Washington, D.C., 2001.
 - 11) Chen, X.B. and M.J. Gomes: Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives - an overview of technical details, International Feed Resources Unit, Rowett Research Institute, Occasional publication, 1992.
 - 12) 吉田 実: 畜産を中心とする実験計画法 第8版, 養賢堂, 東京, 1998.
 - 13) Keery, C.M. and H.E. Amos: Effects of source and level of undegraded intake protein on nutrient use and performance of early lactation cows, *J. Dairy Sci.*, **76**: 499-513, 1993.
 - 14) 大谷文博, 田鎖直澄, 上野孝志: 飼料への易発酵性炭水化物の添加が乳牛の糞尿窒素排泄量に及ぼす影響, 日本畜産学会報, **72**: j 239-j 246, 2001.

(受付: 2002.7.24 受理: 2002.10.15)

Summary

The objective of this study was to determine the effect of rumen degradable protein (RDP) supplementation of concentrate on milk production, nitrogen and energy balances of lactating dairy cows fed corn silage (CS) containing high non-fibrous carbohydrate (NFC). Cows were offered high-CS diets (65% of roughages in the diets). The diets consist of CS, hay and concentrates differed RDP content: high RDP diet including soybean meal (SBM) and low RDP diet including corn gluten meal (CGM).

DM intake did not differ between SBM and CGM. A ratio of NFC/RDP in SBM (3.7) was slightly lower than in CGM (4.4). There were no differences in the milk yield and the composition between SBM and CGM. Digestibilities of OM, CP and NDF in SBM tended to be higher than in CGM, although

the differences were not significant. Microbial activity in the rumen of SBM might be higher because a urinary excretion of allantoin tended to be higher in SBM than CGM. A ratio of Milk N output/N intake did not differ between SBM and CGM, while a ratio of body retained N/N intake tended to be higher in SBM than CGM. A gross energetic efficiency (GEE: Milk energy output/ME intake) in SBM was lower than in CGM, although metabolizability of energy (ME/GE) in SBM tended to be higher than CGM.

It was suggested that the ratio of NFC/RDP (3.7) in the high-CS diet would influence on the dairy performances of high-producer, while it did not affect on the performance of the present cows producing about 25kg milk/d/cow.