

北大農場における牛乳生産のエネルギー利用効率

誌名	北海道大学農学部農場研究報告 = Research bulletin of the University Farm Hokkaido University
ISSN	03856445
著者	大久保, 正彦 前滝, 次郎 近藤, 誠司
巻/号	24号
掲載ページ	p. 69-75
発行年月	1985年3月

北大農場における牛乳生産のエネルギー利用効率

大久保正彦・前滝 次郎・近藤 誠司

関根純二郎・朝日田康司

(北海道大学農学部)

緒 言

酪農をとりまく昨今の情勢は、たんに牛乳生産の量的拡大ではなく、より効率的な生産を厳しく求めている。このことを飼養の側面からみれば、牛乳生産における飼料利用性、とくにエネルギー利用効率の問題であり、この点についての研究が改めて求められている。牛乳生産におけるエネルギー利用については、世界各国の飼養標準の基礎となる精密な出納試験は多く報告されているが、より生産現場に近い条件下で、多数の乳牛を対象にした長期的なデータの蓄積とその解析も必要になってきている。こうした観点から、1930年代に BRODY and PROCTER¹⁾は、牛乳生産におけるエネルギー利用効率を表わす実際的な指標としてエネルギー粗効率 Gross energetic efficiency, GEE (牛乳中エネルギー×100/摂取代謝エネルギー)を提唱したが、この指標にもとづいた検討はあまりなされていない。またエネルギー利用効率を表わすものではないが、GEEに代わる簡易な生産効率を表わす指標もいくつか提唱されている^{2,5,8,9,12)}。我国では、こうした指標を用いて牛乳生産について検討した例^{11,12)}は、きわめて少い。

本報告は、こうした背景の下に、北海道大学農場乳牛群の1970年度から77年度までの牛乳生産について、そのエネルギー利用効率を概括的に検討したものである。

材料及び方法

1. 対象データ

検討の対象としたデータは、1970年度から77年度までの8年間、北海道大学農場で牛乳生産に

供せられたホルスタイン種乳牛93頭、のべ187乳期、ガーンジー種および雑種乳牛8頭、のべ12乳期のもので、日常管理のなかで記録された泌乳記録、飼料給与記録および体格測定値である。乳量は搾乳時毎に測定し、乳脂率は毎月1回測定した。飼料摂取量は、毎月作成される給与表にもとづき推定した。体格測定は毎月1回行った。

2. 計算方法

(1) 乳脂補正乳 FCM

原則として毎月測定した乳脂率をもとに、次式により4%乳脂補正乳を算出した。

$FCM = 0.4M + 15F$ (M: 乳量, F: 乳脂量)⁴⁾

(2) 摂取代謝エネルギー ME

飼料摂取量と下記の各飼料 TDN 値をもとに TDN 摂取量を求め、TDN 1 kg 当り ME を 3616 kcal として摂取 ME を算出した。なお日常管理のなかで得られたデータであるので、個体毎の残食量、粗飼料の品質の違い等は考慮していない。

飼料 TDN 値

配合飼料	66～68%*
大麦	73.2**
エン麦	69.4**
フスマ	64.0**
ビートパルプ	67.2**
乾草	43.4***
牧草サイレージ	15.5***
コーンサイレージ	23.5***
青刈牧草	12.5***
GSP	61.8**

バレイショ 23.2**
アーモンド果肉 66.2****

* : 表示保証値

** : 日本標準飼料成分表¹⁴⁾

*** : 北大測定値

**** : MORRISON¹⁰⁾

この他、北大農場においては夏期間、放牧を行っているが、放牧地からの TDN 摂取量については、放牧期間を 5 月 16 日から 10 月 15 日まで(1 日 2 時間)とし、別途実施した放牧地からの採食量調査結果にもとづき、下記の値を用いた。なお放牧期間中は、分娩後 1 週間と泌乳末期 1 回搾乳期間を除いて、泌乳牛は全て放牧したものとみなした。

期間	TDN 摂取量
5 月 16 日～6 月 30 日	3.4kg/頭・日
7 月 1 日～8 月 31 日	1.8
9 月 1 日～10 月 15 日	2.2

(3) 体格測定値

体格測定値としては体重、体高、胸囲を用い、各乳期の代表値として泌乳中期の値(原則として分娩後 4, 5, 6 ヶ月目の平均値)を用いた。

(4) エネルギー粗効率 GEE およびその他の簡易指標

GEE は FCM 1 kg を 750 kcal とし、次式で求めた。

$$\begin{aligned} \text{GEE} &= \frac{\text{牛乳中エネルギー}}{\text{摂取代謝エネルギー}} \times 100 \\ &= \frac{750 \times \text{FCM}(\text{kg})}{3616 \times \text{TDN 摂取量}(\text{kg})} \times 100 \end{aligned}$$

GEE に代わる簡易指標としては、乳量/体重 (M/W)⁹⁾、FCM/体重 (FCM/W)⁹⁾、FCM/体高 (FCM/H)⁸⁾、FCM/胸囲 (FCM/G)²⁾ および内藤ら¹²⁾ の提案した FCM/K とそれを改良した FCM/S を求めた。FCM/K および FCM/S は、体維持および乳生産のエネルギー要求量に対する牛乳中エネルギーの割合を表わしたもので、その算出方法は以下の通り(搾乳期間 305 日として)。

FCM/K

$$= \frac{\text{牛乳中エネルギー}}{\text{維持および産乳に要する可消化エネルギー}^*} \times 100$$

$$\begin{aligned} &= \frac{750 \times \text{FCM}(\text{kg})}{30.7 \times \text{体重}(\text{kg}) \times 305 + 1450 \times \text{FCM}(\text{kg})} \times 100 \\ &\doteq \frac{\text{FCM}}{2(6W + \text{FCM})} \times 100 \end{aligned}$$

FCM/S

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{牛乳中エネルギー}}{\text{維持および産乳に要する代謝エネルギー}^{**}} \times 100 \\ &= \frac{750 \times \text{FCM}(\text{kg})}{27.8 \times \text{体重}(\text{kg}) \times 305 + 1193 \times \text{FCM}(\text{kg})} \times 100 \\ &\doteq \frac{\text{FCM}}{1.6(7W + \text{FCM})} \times 100 \end{aligned}$$

* : 内藤ら¹²⁾ が NRC 標準にもとづき用いた要求量, 30.7 kcal/kg 体重は体重 540 kg 時の維持要求量

** : 日本飼養標準¹³⁾ から算出した要求量, TDN 1 kg 当り ME を 3616 kcal とし換算, 27.8 kcal/kg 体重は体重 500~700 kg の維持要求量の平均値

結果及び考察

1. 牛群全体の乳生産および GEE

1970 年度から 77 年度までの牛乳全体の産乳量および飼料消費量の概要を Table 1 に示した。平均搾乳頭数で 24~28 頭、年間産乳量 137~164 t、FCM 生産量 137~160 t で、群全体としての乳生産に年度進行にともなう明確な変化は認められなかったが、1975 年度以降乳脂率の向上にともない実乳量に対する FCM 割合の増加がみられた。また飼料消費量は、各年度の粗飼料生産状況を反映して、かなりの変動がみられた。

Table 2 には、1 日 1 頭当りの乳量、ME 摂取量および GEE を示した。乳量は 16.4~18.0、平均 17.0 kg、FCM は 15.6~17.8、平均 16.4 kg、ME 摂取量は 34.4~39.8、平均 37.2 Mcal、GEE は 30.7~37.1、平均 33.0 であった。FCM は 1974 年度まで相対的に低いレベルにあったが、75 年度以降増加が認められた。ME 摂取量は 1970~72、76、77 年度で相対的に高かったのに対し、1973~75 年度でやや低いレベルにあった。その結果、GEE としては 1970~72 年度で 31%前後と低く、73 年度以降は 33~37%と多少向上している。

Table 1. Outline of milk production and feed consumption.

Year		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977
Av. number of milking cow		24	26	28	27	27	24	26	28
Milk production	(t)	144.1	154.3	152.7	142.5	144.8	137.3	155.2	164.1
FCM production	(t)	137.4	143.7	143.4	136.6	141.0	136.5	153.4	160.0
Feed consumption									
Concentrate	(t)	31.5	30.6	33.0	30.7	35.6	31.0	39.8	42.2
Hay	(t)	30.3	44.3	42.1	20.6	36.2	25.6	34.2	24.1
Grass silage	(t)	44.6	71.4	55.8	107.1	55.1	36.8	39.4	82.3
Corn silage	(t)	129.0	115.1	134.0	111.9	121.2	95.5	127.8	131.6
Daily TDN intake per cow	(kg)	10.4	10.7	10.6	9.5	9.7	9.5	11.0	10.8

Table 2. Daily milk yield, metabolizable energy (ME) intake and gross energetic efficiency (GEE).

Year		1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	Av.
Milk yield	(kg/cow)	16.4	17.5	16.7	16.3	16.4	17.1	18.0	17.5	17.0
FCM yield	(kg/cow)	15.6	16.2	15.7	15.8	16.0	16.9	17.8	17.1	16.4
ME intake	(Mcal/cow)	37.6	38.7	38.4	34.4	35.2	34.4	39.8	38.9	37.2
GEE	(%)	31.2	31.5	30.7	34.2	34.1	37.1	33.4	33.0	33.0

Table 3. Body size, milk yield and TDN intake of cows in 305-day lactation.

Lactation number	Number of cows	Age at calving (mo.)	Body weight (kg)	Withers height (cm)	Chest girth (cm)	Milk yield (kg)	FCM yield (kg)	TDN intake (kg)
1st	39	32	559	136.3	189.6	4919.4	4747.7	3153.9
2nd	18	46	618	138.5	193.6	5997.0	5844.8	3402.4
3rd	13	61	634	138.9	198.1	6019.2	5840.0	3345.6
4th	8	76	653	136.7	200.8	5708.7	5526.4	3263.5
5th	6	92	659	137.8	201.5	5652.3	5368.7	3458.8
6th	5	105	650	136.4	200.9	5772.7	5287.1	3328.5
7th	2	125	703	137.7	206.4	6238.6	5966.3	3517.4
4-7th	21	—	659	137.1	201.5	5758.3	5466.3	4102.6
Total	91	—	604	137.1	194.3	5483.3	5286.6	3270.4

従来、GEEについての報告は少なく、BRODY and PROCTER¹⁾が28~34% (この値はTDN 1 kg 当り 4000 kcal で計算されており、本報告で用いたTDN 1 kg 当り 3616 kcal を用いると、31.0~37.6%になる)、内藤ら¹²⁾が24.6~27.8%の値を報告している。また全乳期を通してエネルギー摂取と乳生産を検討したØSTERGAARD¹⁵⁾やWIKTORSSON¹⁶⁾の試験成績からGEEを求めると、30~42%の値が得られた。内藤ら¹²⁾の対象牛は、305日FCMで3578~4519 kg とかなり生産レベルが低いため、GEEも低くなったと思われるが、それ以外はほぼ同じ範囲にあるといえよう。しかし、詳細にデータを検討すると、GEEは乳期、産次、栄養レベル、体重の増減などの影響をうけていると思われ、今後これらの点の検討が必要と思われる。

2. 305日搾乳牛のGEE、体格および簡易指標
牛群全体としてまとめた結果は、様々な搾乳期間のデータをふくんでおり、そのまま論議の対象とするのは必ずしも適当ではない。そこで搾乳期間が305日以上のホルスタイン種乳牛53頭、のべ

91乳期のデータについて、305日までのデータにそろえて検討した。

Table 3に産次毎の体格測定値、乳量、TDN 摂取量を、Table 4にGEEおよび簡易指標を示した。データ数が初産では39と比較的多いが、以下産次の進行とともに減少しており、産次の影響を検討するには充分ではないが、体重、体高、胸囲は初産で明らかに低く、なお発育段階にあることを示していた。2産以降では体格測定値に大きな変化は認められなかった。乳量でも同様な傾向があり、7産の2例をのぞくと、2産での乳量が最も多かった。全体の平均では実乳量5500 kg、FCM 5300 kg で、北海道における1975~77年度検定成績⁹⁾の平均にくらべ、やや低い成績であった。GEEでも初産31.4%と低く、2~4産では35%と高くなり、平均で33.4%と牛群全体よりわずかに高くなった。初産から4産までの乳生産におけるエネルギー利用を検討したWIKTORSSON¹⁶⁾の結果では、初産のGEEが必ずしも低くなっていないが、初産では摂取エネルギーがなお成長にまわされているものと思われ、

Table 4. Gross energetic efficiency (GEE) and various simple indices for milk production efficiency of cows in 305-day lactation.

Lactation number	GEE (%)	$\frac{M^1}{W}$	$\frac{FCM^2}{W}$	$\frac{FCM^3}{H}$	$\frac{FCM^4}{G}$	$\frac{FCM^5}{K}$	$\frac{FCM^6}{S}$
1st	31.4	8.8	8.5	34.8	25.0	29.2	34.2
2nd	35.6	9.7	9.4	42.2	30.2	30.5	35.8
3rd	35.9	9.6	9.3	42.1	29.5	30.2	35.5
4th	35.4	8.8	8.6	40.4	27.6	29.3	34.3
5th	32.2	8.6	8.2	39.0	26.7	28.8	33.6
6th	33.0	8.9	8.1	38.7	26.3	28.7	33.6
7th	33.5	8.8	8.4	43.2	28.9	28.9	33.8
4-7th	33.7	8.8	8.3	39.9	27.1	29.0	34.0
Total	33.4	9.1	8.8	38.5	27.2	29.6	34.6

1) Milk yield(kg) / Body weight(kg), 2) FCM(kg) / Body weight(kg),
3) FCM(kg) / Withers height(cm), 4) FCM(kg) / Chest girth(cm),
5) FCM(kcal) x 100 / Digestible energy requirement for maintenance and milk production(kcal), 6) FCM(kcal) x 100 / Metabolizable energy requirement for maintenance and milk production(kcal)

Table 5. Coefficients of correlation between milk yield and body size of cows in 305-day lactation.

Lactation number	Milk yield			FCM yield		
	W ¹⁾	H	G	W	H	G
1st	.380*	.260	.223	.466**	.380*	.305
2nd	.301	.280	.270	.505*	.454	.375
3rd	.190	.097	.195	.262	.244	.236
4-7th	.553**	.495*	.221	.564**	.491*	.096
Total	.578**	.405**	.439**	.592**	.481**	.414**

*, **: Significant at 5 or 1 % level

1) Abbreviated notation ; see Table 4.

Table 6. Coefficients of correlation between GEE and various indices of cows in 305-day lactation.

Lactation number	Milk	FCM	W ¹⁾	H	G	M/W	FCM/W	FCM/H	FCM/G	FCM/K	FCM/S
1st	.687**	.861**	.538**	.434**	.307	.398*	.645**	.828**	.832**	.653**	.654**
2nd	.822**	.859**	.242	.495*	.245	.595**	.822**	.830**	.861**	.826**	.826**
3rd	.673*	.675*	.261	.019	.191	.378	.404	.693**	.647*	.424	.430
4-7th	.401	.606**	.046	.158	-.433	.423	.641**	.630**	.699**	.670**	.816**
Total	.688**	.804**	.407**	.402**	.246*	.477**	.654**	.795**	.810**	.666**	.690**

*, **: Significant at 5 or 1 % level

1) Abbreviated notation ; see Table 4.

体重の増加に要するエネルギーの補正をしなければ、当然 GEE が低くなるものと思われる。

乳量：体格比で示した簡易指標のうち、FCM/H, FCM/G では初産で低い傾向が認められたが、M/W, FCM/W では 2, 3 産で高かったのをのぞいて初産でとくに低いとはいえず、体重相応の乳生産であった。Table 5 に実乳量および FCM と体重、体高、胸囲との相関を示したが、全体としては、いずれも有意な相関が得られた。しかし産次毎にみると、初産で体重と乳量との間に比較的高い相関が得られたが、それ以外の相関は低かった。このことから、初産では体重が大きい程乳量も増加するといえるが、2 産以降では明確ではない。ただし、前述したように対象データが産次の進行にともない減少しており、この点の制約を考

慮しなければならない。

FCM/K および FCM/S では、産次による差は認められなかった。これらの指標は、理論的な体維持および乳生産に対するエネルギー要求量と実際に生産された FCM の比を示したものであり、個体間のエネルギー利用率の差異を検討するには、簡易な指標として用い得るが、産次、乳期や飼養条件の影響等の検討には適切な指標とはいえない。GEE と FCM/S を比較すると、初産では GEE が 3 % 程度低くなっているが、2 産以降はよく一致した。FCM/S では体維持と産乳に要する ME を考慮し、増体のための要求量をふくんでいないため、初産ではやはりこの影響がみられたものと思われる。

Table 6 に GEE と乳量、体格測定値および他

の簡易指標との関連を示した。全産次を通じて GEE と高い相関を示したのは、FCM, FCM/H, FCM/G であった。GEE と FCM の高い相関から、一般に高能力牛ほど乳生産のエネルギー利用効率が高いことが示唆されるが、なお多くのデータをもとにした検討が必要であろう。また改良のための個体選抜への利用という点からみれば、FCM と測定と比較的容易な体格測定値との比からエネルギー利用効率を推定するという点で、FCM/H, FCM/G がすぐれていると思われる。

本報告では、GEE に対する飼料の構成および品質、飼養レベル、実際の採食量、乳期、季節等の影響を厳密に検討するには至らず、概括的な検討にとどまったが、牛乳生産におけるエネルギー利用効率をより詳細に研究するには、今後これらの検討が不可欠であろう。また、その際、体重の増減を考慮に入れることも重要である。

摘 要

1. 北海道大学農場において 1970 年度から 77 年度までの 8 年間に、乳生産に供せられたホルスタイン種乳牛 93 頭、187 乳期およびガーンジー種および雑種乳牛 8 頭、12 乳期を対象に、牛乳生産におけるエネルギー利用効率をエネルギー粗効率 GEE を指標にして検討した。また GEE に代わる簡易指標の有用性についても検討した。

2. 各年度毎の牛群全体の乳量、FCM、代謝エネルギー摂取量および GEE を求めたところ、1 日 1 頭当り乳量 16.3~18.0 kg, FCM 15.6~17.8 kg, 代謝エネルギー摂取量 34.4~39.8 Mcal で、GEE は 30.7~37.1% であった。

3. 305 日搾乳牛について産次毎の乳量、体格、GEE および簡易指標を求めたところ、初産ではいづれも低く、2~4 産で高い値を示した。GEE と簡易指標の関連では、FCM, FCM/体高および FCM/胸囲との間に高い正の相関を示した。乳量と体重、体高との間には、初産で正の相関が認められたが、2 産以降は相関が認められなかった。

引 用 文 献

1. BRODY, S., and PROCTER, R. C. : Energetic efficien-

cy of milk production and the influence of body weight thereon. *Univ. Mo. Agr. Exp. Sta. Res. Bull.*, 222, 1935

2. DICKINSON, F. N., MCDANIEL, B. T., and MCDOWELL, R. E. : Comparative efficiency of feed utilization during first lactation of Ayrshire, Brown Swiss, and Holstein cows. *J. Dairy Sci.*, 52 : 489-497. 1969

3. FLATT, W. P., MOE, P. W., MUNSON, A. W., and COOPER, T. : Energy utilization by high producing dairy cows II. Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows. *Proc. 4th Symp. Energy Metab. EAAP Publ.* 12 : 235-249. 1969

4. GAINES, W. L. : The energy basis of measuring milk yield in dairy cows. *Univ. Illinois Agr. Expt. Sta. Bull.*, 308. 1928

5. GAINES, W. L. : Live weight and milk-energy yield in Czechoslovak cows. *J. Dairy Sci.*, 23 : 71-75. 1940

6. 北海道乳牛検定協会 : 個体 305 日間成績. 1978

7. KROHN, C. C., and ANDERSEN, P. E. : Different energy and protein levels for dairy cows in the early weeks of lactation. *Livest. Prod. Sci.*, 7 : 555-568, 1980

8. MASON, I. L., ROBERTSON, A., and GJELSTAD, B. : The genetic connection between body size, milk production and efficiency in dairy cattle. *J. Dairy Res.*, 24 : 135-143. 1957

9. 栢田精一 : 乳牛の体型と能力の関係(1). 畜研, 6 : 377-380. 1952

10. MORRISON, B. F. : Feed and feeding, The Morrison Publishing Co., New York, 1971

11. 内藤元男・高橋弘晏・畠山章一・武田裕・一條幹夫 : 小岩井農場ホルスタイン種牛群における体重、FCM と飼料粗効率指数との関係. 日畜会報, 45 : 539-542. 1974

12. 内藤元男・高橋弘晏・三浦高義・加納康彦・小山徳義・加藤次男・岡野福夫・小池幸良 : 東大牧場ホルスタイン種牛群のエネルギー粗効率と簡易指数について. 日畜会報, 45 : 249-261. 1974

13. 農林省農林水産技術会議事務局 : 日本飼養標準乳牛, 中央畜産会, 東京, 1974

14. 農林省農林水産技術会議事務局 : 日本標準飼料成分表, 中央畜産会, 東京, 1975

15. ØSTERGAARD, V. : Strategies for concentrate feeding to attain optimum feeding level in high yielding cows. Rep. 482. Natl. Inst. Anim. Sci., Copenhagen. 1979

16. WIKTORSSON, Y. : Feeding strategy for the high yielding dairy cow (Broster, W. H., and Swan, H., eds.), 148-170, Granada Publishing, London, 1979

Efficiency of Utilization of Energy for Milk Production on Agricultural Experimental Farm, Hokkaido University

Masahiko OKUBO, Jiro MAETAKI, Seiji KONDO,
Junjiro SEKINE and Yasushi ASAHIDA
(Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan)

Summary

1. Efficiency of utilization of energy for milk production was evaluated using gross energetic efficiency (GEE) as an index. Several possible indices were also evaluated as an alternative of GEE. The data analyzed was related to 187 lactations from 93 Holstein cows and 12 lactations from 8 Guernsey and Guernsey-cross cows kept on the experimental farm in the period of 8 years from 1970 to 1977.
2. In each year, calculations were made on actual (AM) and fat corrected milk (FCM) yields, intake of metabolizable energy (ME) and GEE on milking herd. These measures ranged 16.3-18.0kg/cow/day for AM yield, 15.6-17.8kg/cow/day for FCM yield, 34.4-39.8Mcal/cow/day for the intake of ME and 30.7-37.1% for GEE.
3. Using data related to 91 lactations with the length of 305 days, GEE, some measures of body size and simple indices were calculated at every number of parities. Results showed low values in AM yield, measures of body size and GEE for cows in first lactation, but high for multiparous cows. Analyses on relationships among the indices revealed that GEE positively correlated with FCM, FCM/withers height, FCM/heart girth. In the relations between AM yield and measures of body size, only two such measures as body weight and withers height at first lactation had a significant positive correlation with AM yield and the rest showed no significant correlation.