

イネホールクroppサイレーヅを給与した乾乳牛の維持に要
する代謝エネルギー量のエネルギー出納および行動解析に
基づく推定

誌名	日本畜産學會報 = The Japanese journal of zootechnical science
ISSN	1346907X
卷/号	862
掲載ページ	p. 169-177
発行年月	2015年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



イネホールクroppサイレージを給与した乾乳牛の維持に要する代謝エネルギー量のエネルギー出納および行動解析に基づく推定

樋口浩二¹・田鎖直澄²・野中最子³・田島 清¹・都丸友久^{4a}・
大谷文博¹・小林洋介¹・石川哲也^{5b}・栗原光規⁶・永西 修¹

¹ (独)農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所, つくば市 305-0901

² (独)農業・食品産業技術総合研究機構 北海道農業研究センター, 札幌市豊平区 062-8555

³ (独)農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター, 合志市 861-1192

⁴ 群馬県畜産試験場, 前橋市 371-0103

⁵ (独)農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター, つくば市 305-8666

⁶ (独)農業生物資源研究所, つくば市 305-8602

(2014. 6. 30 受付, 2015. 1. 28 受理)

要 約 イネホールクroppサイレージを給与した乳牛の維持に要する代謝エネルギー要求量 (ME_m) を明らかにする目的で, ホルスタイン種非妊娠乾乳牛を用い, 37 例のエネルギー出納試験成績を収集した. ME_mの推定には, 代謝エネルギー摂取量に対する蓄積エネルギーの回帰式より求める従来の推定方法に加え, エネルギー出納試験の際の呼吸試験により咀嚼や起伏といった動物の行動に伴う熱発生量を測定し, 重回帰分析で ME_mを推定する方法を用いた. その結果, エネルギー出納成績から求められた ME_m 値 (kcal・kgBW^{-0.75}/day) は 121.6 となった. 一方, 行動に伴う熱発生量より重回帰分析で求めた ME_m 値も 121.6 であった. 咀嚼時間および佇立時間の変動幅を加味した ME_m 値は 118.6~125.8 の範囲にあった. 以上の結果より, イネホールクroppサイレージを給与した乾乳牛の ME_m は 121.6 程度と求められ, これは現行日本飼養標準で示されている乳牛の ME_m 値 (116.2) と近似した.

日本畜産学会報 86 (2), 169-177, 2015

維持に要する代謝エネルギー (ME_m) とは, 家畜が生産 (蓄積) でも異化でもない状態において消費される代謝エネルギーであり, 一般的には直接測定することができないエネルギー量である. 日本飼養標準・乳牛 (2006 年版) (農業・食品産業技術総合研究機構 2007) では, 泌乳牛の代謝エネルギー要求量を維持と産乳に分けて算出するようになっている. そのため, それぞれのエネルギー要求量についての正確な値が精密な飼料設計のために必要であるが, ME_mを推定した国内の試験研究は非常に少ない (橋爪ら 1964; 栗原ら 1990, 1991; 早坂ら 1995; 久米ら 2004). ME_mは給与飼料の影響を受けることが知られており, 特に粗飼料摂取割合の高い動物では, 採食・反すう行動に要するエネルギー (Osuji ら 1975; Susenbeth ら 1998, 2004; Higuchi ら 2003; Suzuki ら 2003, 2008) や消化管組織のエネルギー消費量 (Reynolds ら 1991) の増加によって, 維持に要する正味エネルギー (NE_m)

は増加する. また, 飼料の繊維含量の増加は, メタン発生量を増加させ (Yan ら 2000; Shibata と Terada 2010), 飼料の消化率を低下させて (Flatt ら 1969; Beaver ら 1988), 飼料の代謝率 (ME/GE; 総エネルギー摂取量に対する代謝エネルギー摂取量の割合) を低下させる. したがって, ME_mを測定することは給与飼料の利用性を診断する指標ともなり得る.

筆者らはイネホールクroppサイレージを給与した乾乳牛における栄養素の利用性, ルーメン発酵ならびに咀嚼時間などを明らかにした (樋口ら 2009). イネホールクroppサイレージは, 近年, 水田を活用した自給飼料生産技術の一つとして, 品種開発 (庭山ら 1988; 前田ら 2003; 坂井ら 2003; 上原ら 2003; 平林ら 2010; 松下ら 2012), 収穫調製体系 (浦川と吉村 2003a,b), 乳牛における可消化エネルギーおよび代謝エネルギーの推定 (松山ら 2005, 2006; 樋口ら 2009), 泌乳牛への給与試験 (細田ら

現所属: ^a群馬県利根沼田家畜保健衛生所, 沼田市 378-0031

^b (独)農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター (福島研究拠点), 福島市 960-2156

連絡者: 樋口浩二 (fax : 029-838-8606, e-mail : higuchik@affrc.go.jp)

2005; 山本ら 2005, 2008a,b; 高橋ら 2007; Miyaji ら 2012), 発酵 TMR の粗飼料源としての検討 (山本ら 2008a, b; Miyaji ら 2012) など数多くの取り組みがなされており, 益々の利用拡大が期待される. 既報 (樋口ら 2009) では, イネホールクroppサイレージの MEm を栗原ら (1991) によって示された方法, すなわち NEm を $80.2 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75} / \text{day}$ と仮定することにより推定し, 熟期および収穫調製方法の異なるイネホールクroppサイレージ相互の比較を主眼として検討を行った. しかし, イネホールクroppサイレージを給与した乳牛における MEm 値の総合的な解析は行っていないうえ, これまでにもそのような解析例は報告されていない. また, 久米ら (2004) は, 粗飼料を主体とした代謝率 0.5 程度の飼料を給与した場合, 日本飼養標準に示された値に対して MEm は増加することを報告している. 給与飼料のエネルギー含量や粗濃比および粗飼料の粒度が変わるとウシの横臥時間や採食・反すう時間にも影響することが報告されている (Nielsen ら 2000; Yang と Beauchemin 2007, 2009; Zebeli ら 2007). このような給与飼料の質的な影響を受けて, ウシの咀嚼行動に要するエネルギーや消化管組織のエネルギー消費量が変動するならば, 動物の安静時, 咀嚼および佇立時に要するエネルギーを測定することにより, MEm やその変動幅を算出し, 給与飼料の特性を明らかにすることも可能と考えられるが, これまでにイネホールクroppサイレージを給与した乳牛についてのそのような検討を行った例は見あたらない.

以上より本研究では, 乾乳牛に維持量程度のイネホール

クroppサイレージを給与してエネルギー代謝試験を実施し, 得られたエネルギー出納成績の回帰分析より MEm を推定した. さらに, エネルギー代謝試験において, 行動解析に基づいて安静時ならびに採食・反すうおよび佇立時の単位時間あたりのエネルギー消費量を測定し, 1 日の家畜の行動によって消費されるエネルギーを積算することによっても MEm を推定し, これらの値を検証した.

材料および方法

1. 動物実験

ホルスタイン種非妊娠乾乳牛 (のべ頭数 37 頭, 平均体重 $623 \pm 51 \text{ kg}$, 供試時年齢 5.0 ± 2.4 歳) を温度 20°C , 相対湿度 60% に保たれた環境調節室に収容した. 予備期 9 ~ 16 日間の後, 本試験として 5 日間, 開放型呼吸試験装置 (岩崎ら 1982) のチャンバー内に動物を収容し, チャンバー内の環境も温度 20°C , 相対湿度 60% に制御したうえで, 全糞尿採取ならびに呼吸試験によるエネルギー出納試験を実施した. エネルギー出納試験では, 表 1 にある 10 種類のイネホールクroppサイレージを供試し, それぞれの飼料について 3 ~ 4 頭のウシをクロスオーバー法あるいはラテン方格法に従って割り当て, 給与した. 呼吸試験では, 本試験期 5 日間の内 3 ~ 4 日間についてチャンバーの扉を閉め, 酸素消費量ならびに二酸化炭素およびメタン発生量を測定した. エネルギー出納の値は, 動物の熱発生量 (HP) を Brouwer (1965) の式に基づいて算出し, 測定した 3 ~ 4 日間の値を平均して 1 つの代表値とし, 37 例の値を得た. 37 のエネルギー代謝試験の

Table 1 Chemical composition of whole crop rice silages, soybean meal and urea

Items	Ripeness stage	Harvest and ensiling machine	Post ensiling process	DM, %	OM	CP	NDFom	NFC	EE	Energy,
					%DM					Mcal/kgDM
Kusahonami	Yellow	Combine	Chopped	39.4	85.4	4.8	52.9	25.2	2.5	3.93
Kusayutaka	Yellow	Combine	Chopped	40.4	82.3	5.0	46.1	29.0	2.3	3.75
Hamasari	Milk	Flail	Chopped	26.0	83.2	8.8	55.3	15.8	3.3	4.05
Hamasari	Dough	Flail	Chopped	23.6	83.1	8.8	52.6	18.4	3.3	4.05
Hamasari	Yellow ~ Full	Flail	None	36.2	84.8	7.2	45.4	29.8	2.4	3.99
Hamasari	Yellow	Flail	Chopped	29.1	83.9	8.3	44.0	28.6	3.0	4.01
Hamasari	Yellow	Combine	Chopped	27.5	81.4	5.6	50.7	22.5	2.6	3.82
Hoshiaoba	Yellow	Combine	Chopped	35.5	84.1	5.9	45.5	29.9	2.7	3.90
Momiroman	Yellow	Combine	None	32.3	86.8	8.0	49.9	25.9	3.0	4.15
Momiroman	Yellow	Chopped	None	31.4	85.9	8.2	49.6	25.2	3.0	4.10
Soybean meal				88.1	93.4	52.2	15.1	23.9	2.2	4.77
Urea				96.6	100.0	278.9	0.0	0.0	0.0	2.41

DM : dry matter

OM : organic matter

NDFom : neutral detergent fiber without ash

NFC : non fibrous carbohydrate

EE : ether extract

うち 17 試験については動物の活動に伴う HP の経時的な変化を測定した。すなわち、呼吸試験と同時にビデオカメラにより採食・反すう行動を 2～3 日間連続して観察、動物の佇立・横臥状態は開放型呼吸試験装置の光電センサー (E3N-D2; オムロン(株), 京都) で計測した。経時的な HP の測定では、尿への排泄窒素量によるエネルギー消費量の補正ができないため Brouwer (1965) の式は用いず、呼吸試験チャンバーの入排気の酸素濃度差に McLean の係数 (McLean 1972) を乗じて算出し、佇立、採食および反すうの有無とともに 1 分ごとの時系列データとして集計した。但し、行動に関するデータは 1 分ごとの活動時間 (単位: 分) として集計した。これらの、行動と HP が対応したのべ 46 例 (46 日分、各々について約 1,410 分間、のべ頭数 17 頭、実頭数 7 頭) のデータセットを収集した。イネホールクroppサイレージの給与量は代謝エネルギーで維持量 (農業・食品産業技術総合研究機構 2007) 程度とし、給与飼料の粗タンパク質含量を 12% 程度に調整するために大豆粕 (乾物あたり 7～9%) あるいは尿素 (乾物あたり 1～2%) を併給し、1 日 2 回 (10:00 と 16:00 あるいは 9:00 と 21:00) に分けて給与した。水は自由摂取とし、塩は供試飼料への混合あるいはミネラルブロック (鈹塩 E100TZ; 日本全業工業(株), 福島) として給与した。なお、この報告におけるすべての動物実験は、「独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所動物実験実施に関する要領」に基づいて実施した。

2. 化学分析

熱量の分析は、飼料および糞については通風乾燥後粉碎し、尿については助燃剤を兼ねたポリエチレンフィルム容器内で凍結乾燥し (伊藤と田野 1977)、燃研式熱量計 (CA-4PJ; 島津製作所, 京都) で測定した。尿窒素は新鮮材料を用いてケルダール法で測定した。

3. MEm の推定

エネルギー出納成績による回帰分析では、37 例のエネルギー出納成績について代謝体重あたりの ME 摂取量 (MEI) と蓄積エネルギー (RE) の関係を次のモデル式により検討した。

$$RE = \alpha \times MEI + \beta \quad (1)$$

現行の日本飼養標準・乳牛 (農業・食品産業技術総合研究機構 2007) における MEm の基礎となる橋爪ら (1964) のデータについても (1) 式に基づく回帰分析を行い、本研究データの回帰式との相違について共分散分析を行った。

行動解析による MEm の推定では、46 例のデータセットそれぞれについて、呼吸試験により得られた毎分の HP を目的変数とし、佇立時間、採食時間および反すう時間を説明変数とする重回帰分析を次の式 (2) のモデルに従って行い、それぞれの説明変数の係数すなわち各々の行動に要するエネルギーを求めた。

$$HP \text{ (kcal/min)} = \alpha \times \text{佇立時間}_{(\text{min})} + \beta \times \text{採食時間}_{(\text{min})} + \gamma \times \text{反すう時間}_{(\text{min})} + \delta \quad (2)$$

佇立、採食ならびに反すう行動に要する消費エネルギーを推定するにあたり、回帰分析により得られた 46 例のデータセットの各係数のうち有意なものを採用した。

回帰分析には SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) の REG プロシジャ、共分散分析には GLM プロシジャを用いて各々の解析を行った。

結 果

動物実験結果の概要を表 2 に示した。表にある通り、エネルギー出納としては平衡状態の成績であった。

本研究の 37 例のエネルギー出納試験成績ならびに橋爪ら (1964) のデータをプロットすると図 1 の通りとなった。これらのデータについて (1) 式のモデルによる回帰分析をそれぞれ行った結果、本研究データの回帰式 ($RE = 0.763$

Table 2 Overall results from energy balance experiments and behavior analysis ($n = 37$)

	Mean	SD	min	max
Body weight, kg/day	623	51	546	829
Dry matter intake, kg/day	8.31	0.73	6.53	9.56
Gross energy intake (GE), kcal · kgBW ^{-0.75} /day	263.8	28.4	216.1	309.7
Fecal energy, kcal · kgBW ^{-0.75} /day	111.5	15.3	89.3	141.8
Urinary energy, kcal · kgBW ^{-0.75} /day	9.3	2.1	5.9	14.1
Methane energy, kcal · kgBW ^{-0.75} /day	20.4	2.0	15.3	26.1
Heat production, kcal · kgBW ^{-0.75} /day	121.9	8.4	96.3	137.8
Retention energy, kcal · kgBW ^{-0.75} /day	0.7	14.1	-29.2	25.3
Metabolizable energy intake (ME), kcal · kgBW ^{-0.75} /day	122.6	15.7	93.9	156.7
ME/GE	0.464	0.031	0.400	0.530
Time spent for standing, min/day	577	109	371	837
Time spent for eating, min/day	158	76	74	332
Time spent for rumination, min/day	476	60	349	587
Time spent for chewing (eating + rumination), min/day	634	107	426	888

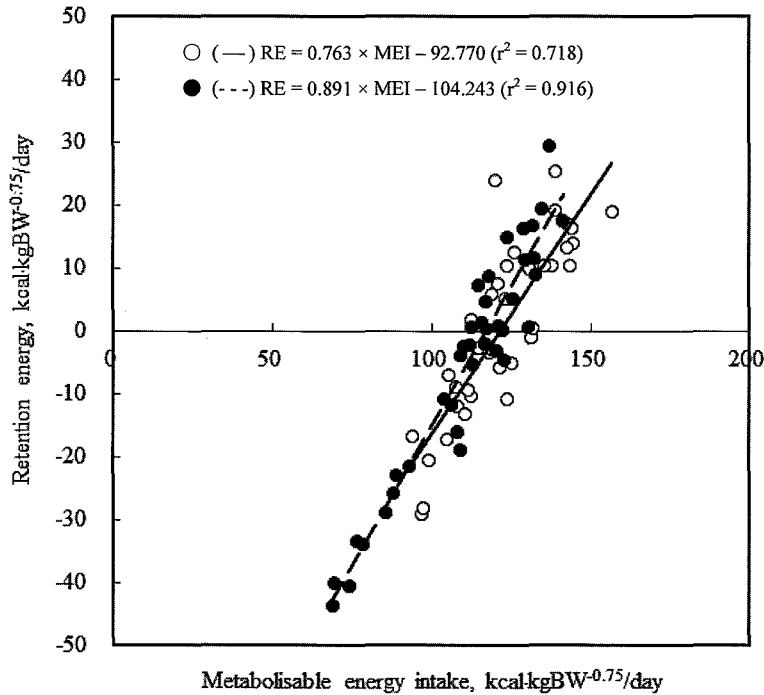


Figure 1 Relationship between metabolizable energy intake (MEI) and retention energy (RE). Each symbol represents an individual cow with present study (○, $n = 37$) and literature data (●, $n = 39$, Hashizume *et al.* 1964).

Table 3 Summary of coefficients calculated by multiple regression analysis

	n	Mean	SD	min	max
Coefficients for					
Standing time	43	0.862	0.338	0.193	1.623
Eating time	46	1.706	0.569	0.683	2.868
Rumination time	34	0.444	0.131	0.216	0.674
Intercept	46	9.849	0.774	7.869	11.181

× MEI-92.770) について RE = 0 としたときの MEI すなわち MEm は 121.6 kcal·kgBW^{-0.75}/day と求められた。図 1 の本研究データおよび橋爪ら (1964) によって得られたデータの差異を検討するために共分散分析を行った結果、両者の回帰式の傾きと切片いずれの値についても有意な差はなかった。

(2) 式のモデルによる回帰分析を個々のデータセットに適用した結果、得られた重回帰式群の重相関係数は 0.30 ~ 0.67 と比較的高いものであった。そのうち、有意な係数として得られたものを集計すると表 3 の通りであり、これらの値を体重および代謝体重あたりに換算したものを表 4 に示した。表 4 の値より、供試牛の活動に要するエネルギーをまとめると次の式 (3) の通りとなった。

$$\begin{aligned} \text{HP (cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min)} &= 6.91 \times \text{佇立時間}_{(\text{min})} \\ &+ 13.68 \times \text{採食時間}_{(\text{min})} + 3.56 \times \text{反すう時間}_{(\text{min})} \\ &+ 78.97 \end{aligned} \quad (3)$$

すなわち、代謝体重あたり基本的に消費されるエネル

ギー、これを安静時のエネルギーとすると約 79 cal/分であり、佇立、採食ならびに反すうの際に増加するエネルギー消費量はそれぞれおよそ 7, 14 および 4 cal/分であった。これらのエネルギー消費量単位に各行動の平均 1 日所要時間 (表 2) を乗することにより求めた総エネルギー消費量は 121.6 kcal·kgBW^{-0.75}/day となり (表 4, 5)、エネルギー出納成績より求めた MEm と一致した。次に、咀嚼時間が最小 (426 分) あるいは最大 (888 分) の場合の HP を求めるとそれぞれ 120.0 および 124.0 kcal·kgBW^{-0.75}/day であり、咀嚼時間に加えて佇立時間を最小 (371 分) あるいは最大 (837 分) にした場合の HP は 118.6 および 125.8 kcal·kgBW^{-0.75}/day であった (表 5)。

考 察

本研究では MEm を推定するにあたり、エネルギー出納成績をもとに回帰分析を行う従来の方法と、行動解析に

Table 4 Energy cost of resting, standing, eating and rumination behavior in cows given whole crop rice silages

	cal · kgBW ⁻¹ /min	cal · kgBW ^{-0.75} /min	kcal · kgBW ^{-0.75} /day
Heat production during resting	15.80	78.97	113.7
Increase in heat production during,			
Standing	1.38	6.91	4.0
Eating	2.74	13.68	2.2
Rumination	0.71	3.56	1.7

Table 5 Estimation of daily energy expenditure including the effects of time spent for chewing and standing

	Average	Minimum chewing time	Maximum chewing time	Minimum chewing and standing time	Maximum chewing and standing time
Time spent, min/day					
Standing	577	577	577	371	837
Eating	158	77	312	77	312
Rumination	476	349	576	349	576
Energy expended, kcal · kgBW ^{-0.75} /day					
Resting	113.7	113.7	113.7	113.7	113.7
Standing	4.0	4.0	4.0	2.6	5.8
Eating	2.2	1.1	4.3	1.1	4.3
Rumination	1.7	1.2	2.1	1.2	2.1
Total	121.6	120.0	124.0	118.6	125.8

より動物の咀嚼時間ならびに佇立時間とそれらに伴う熱発生量を積算する新しい試みにより、イネホークロップサイレージを給与した乾乳牛のMEMを推定し比較検討した。MEMは現行飼養標準において乳牛のエネルギー要求量を算出するための基礎値となっており、またMEMを明らかにすることは給与飼料の栄養価評価の一環という側面も有することから、これらの検討は有意義であると考えられる。

MEMの測定については種々の考え方および手法がある。MEMは、(4)式のように示される。

$$MEM = NEM \div km \quad (4)$$

(NEM:維持に要する正味エネルギー, km:維持への効率)

ここで動物が起立および歩行などの活動が可能な状態であれば $NEM = FHP + AHP$ (FHP:絶食時のエネルギー消費量, AHP:活動に要するエネルギー消費量, $km = 0.35 \times qm + 0.503$, qm:代謝率) (ARC 1980) と示され、またスタンションなどに繋留されている状態であれば $NEM = FHP + UE$ (UE:絶食時尿のエネルギー) (ARC 1980) と示される。したがって、(4)式に従ってMEMを求めるためには絶食時のエネルギー消費量を測定する必要がある。しかし、絶食時のエネルギー消費量の測定には、絶食までに給与されていた飼料が影響すること、絶食時代謝を実現することの難しさや生理的意味合いの不明確さなども指摘されている(AgnewとYan 2000)。従って、飼料給与と条件において呼吸試験によるエネルギー出納試験を実施し、その成績を様々なモデル式に当てはめて回

帰分析することによりMEMを推定する方法が今日多く用いられている。イギリスやアメリカでは乳牛のMEMを泌乳期のエネルギー出納試験より回帰分析で求めており、内外で報告された値を集約した結果、MEMは $136 \pm 18 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ (AgnewとYan 2000)、あるいは $81 \sim 153 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ (Kebreabら 2003) と報告されている。一方、日本の飼養標準(農業・食品産業技術総合研究機構 2007)では乾乳牛のMEMを用いており、これは泌乳牛におけるMEMの増分を、乳生産への要求量に含めて表現しているためである。

本研究で得られたMEMの値 $121.6 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ を他の報告と比較すると、泌乳牛で得られている $140 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ (早坂ら 1995) や $136 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ (AgnewとYan 2000) と比べて当然低い。乾乳牛では、栗原ら(1991)が環境温度 18°C において得た $127 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ ならびに飼養標準で採用されている $116 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ (橋爪ら 1964) などがあり、本研究結果と同程度であった。また、乾乳牛では $142 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ (久米ら 2004) という値が報告されているが、久米ら(2004)が考察しているようにこの値は乾乳牛のMEMとしてはやや高い値と考えられている。これらのことから、本研究で得られたMEMの値は乾乳牛としては妥当な値であると考えられた。

MEMが代謝率の影響を受けるのは(4)式の通りである。飼料の代謝率が低くなるとMEMは大きくなるが、飼料の代謝率を低下させる主な要因は繊維含量である。本研究

で用いたイネホールクroppサイレージにおいても、個々の飼料の中性デタージェント繊維含量と代謝率との間には負の相関関係 ($r = 0.57$) が認められている (樋口ら 2009)。飼料の繊維含量が高くなると消化率ひいては代謝率が低下する上、ME 摂取量を補うために乾物摂取量は増加し、これが採食活動や消化管活動を増加させることにより MEm は大きくなる。本研究に用いられたイネホールクroppサイレージの代謝率は 0.46 (0.40 ~ 0.53) であり、既報 (松山ら 2005, 2006) でも 0.46 (0.45 ~ 0.52) 程度と報告されているため、代謝率という観点からは本研究で得られた MEm はイネホールクroppサイレージを給与した乾乳牛の代表的な値になると考えられた。

Agnew と Yan (2000) によると、MEm に影響する大きな要因として動物の体構成、飼料の繊維含量および放牧時に顕著な歩行や採食といった動物の活動とされている。この中で飼料の繊維含量が高くなると飼料の代謝率が低下し、これが MEm を増加させるのは先に述べた通りであるが、摂取飼料の繊維含量と密接な関係にある飼料の粗濃比や粗飼料の粒度が動物の行動に影響することが報告されていることから (Zebeli ら 2007; Yang と Beauchemin 2007, 2009; Merten 1997)、飼料摂取に伴う動物の活動量をエネルギーとして定量することにより、MEm の解析が可能と考えられる。動物の活動に要するエネルギーを測定する方法としては、動物に活動を負荷し、この時に測定した熱発生量から安静時の熱発生量を減じ、各々の活動に要するエネルギーを求める方法や (Lachica ら 1997; Susenbeth ら 2004)、これに重回帰分析 (Susenbeth ら 2004) を加える方法などがあるが、本研究ではできるだけ動物の自発的な行動に基づいて解析することと、かつ全日にわたるデータを活用できるよう重回帰分析単独による方法を採用した。また、本研究で用いた動物は試験環境によく馴致し、異常な行動は示さなかった。また、幸いなことに本稿で採用したエネルギー代謝のデータセットはエネルギー出納として平衡状態の成績であったことから、いわゆる維持状態における動物の活動に要するエネルギー消費量を定量することが出来た。

乳牛の咀嚼活動や佇立に要する時間を調べてみると、イネホールクroppサイレージを主体とした飼料を摂取し、なおかつ繋留されたウシの佇立時間に関する報告は見あたらないが、一般に泌乳牛の佇立時間は AFRC (1993) では 14 時間と想定され、フリーストールでは 12.6 時間 (早坂ら 2000)、タイストール繋留では 10 時間 (Munksgaard と Simonsen 1996) といった値が報告されている。本研究のスタンション繋留における 9.6 時間の佇立時間はタイストール繋留と近似した。佇立時に増加するエネルギー消費量は、ARC (1980) では $8 \text{ cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min}$ 程度と示されており、本研究で得られた値と同水準であった。Susenbeth ら (2004) の報告では、横臥時の消費量が

$90 \text{ cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min}$ で本研究と近似したのに対し、佇立時では $13 \text{ cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min}$ 程度増加すると示されており、本報告の起立時の値よりも 1.9 倍程度大きい値であった。また、イネホールクroppサイレージを主体とした飼料を摂取している乳牛の採食および反すう時間は、それぞれ 111 ~ 202, 352 ~ 531 min/day 程度、粗飼料価指数 (RVI) としては 84 (min/kg 乾物) 程度と報告されている (松山ら 2005, 2006)。本研究における採食時間、反すう時間および RVI はそれぞれ 74 ~ 332 min/day, 349 ~ 587 min/day, 76 程度と概算され (樋口ら 2009)、採食時間を除き松山らの報告と同程度と考えられた。採食時間が延長した理由として、松山ら (2005, 2006) はすべての飼料を 2 cm 程度に細断したものを給与したのに対し、本研究では平均切断長が 12.0 ~ 12.8 cm (石井と竹中 2002) とされるフレール型収穫機で調製した飼料や、茎葉割合の高い乳熟期の飼料を給与した場合に他の飼料と比べて採食時間の延長が認められたためと考えられた。

ウシの咀嚼活動に要するエネルギーを報告した文献は極めて限られるが、呼吸試験による熱発生量測定では、古くは採食時で $7 \text{ cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min}$ 程度 (Osuji ら 1975)、比較的近年の Susenbeth ら (1998) がまとめた報告では、採食に $30 \text{ cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min}$ 、反すうに $9 \text{ cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min}$ 程度と示され、本報告よりも高水準であった。ヒツジを用いて、頭部のエネルギー消費量の変化を直接測定した場合では、採食に $6 \sim 12 \text{ cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min}$ 、反すうに $2 \sim 6 \text{ cal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{min}$ 程度と示され (Higuchi ら 2003; Suzuki ら 2008)、本報告の値と同水準であった。これらの数値の差異には測定法や飼料の質に伴う咀嚼の強度なども影響すると考えられるが、それらの要因を十分に説明できる情報は見あたらない。

以上、エネルギー出納および行動解析という 2 つの方法により、イネホールクroppサイレージを給与した乾乳牛の MEm について検討したが、その値はいずれの方法でも $122 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ 程度の値が得られた。MEm の値を検討するにあたり海外の報告などと比べると解析データ数の少なさは否めないが、2 つの解析方法で検討することにより、より精度の高い結果が得られたと考える。また実際の乾乳牛への給与量として日本飼養標準 (農業・食品産業技術総合研究機構 2007) では、給与される飼料の代謝率を勘案して、MEm $116.3 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ より 1 割増給した $128 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ 程度を給与することを勧めている。本研究によって求められた、代謝率 0.46 程度のイネホールクroppサイレージを給与した乾乳牛の MEm は、咀嚼および佇立時間を考慮しても $119 \sim 126 \text{ kcal} \cdot \text{kgBW}^{-0.75}/\text{day}$ の範囲にあるため、現行日本飼養標準に適合すると考えられた。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり、畜産草地研究所畜産研究支援センター業務第1科の諸氏には飼料の調製、保存、動物実験に関して多大なる支援を賜った。試料の成分分析では葦澤恵美子さん、島田知子さんにご尽力いただいた。皆様のご協力に深く感謝いたします。

文 献

Agnew RE, Yan T. 2000. Impact of recent research on energy feeding systems for dairy cattle. *Livestock Production Science* **66**, 197-215.

Agricultural and Food Research Council (AFRC). 1993. *Energy and Protein Requirements of Ruminants*. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK.

Agricultural Research Council (ARC). 1980. *The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock*. CAB INTERNATIONAL, Wallingford, UK.

Beever DE, Cammell SB, Thomas C, Spooner MC, Haines MJ, Gale DL. 1988. The effect of date of cut and barley substitution on gain and on the efficiency of utilization of grass silage by growing cattle. 2. Nutrient supply and energy partition. *British Journal of Nutrition* **60**, 307-319.

Brouwer E. 1965. Report of sub-committee on constants and factors, In: Blaxter KL (ed.), *Energy Metabolism, Proceedings of the 3rd Symposium of European Association for Animal Production*, vol. 11, pp. 441-443. Academic Press London, New York.

Flatt WP, Moe PW, Munson AW, Cooper T. 1969. Energy utilization by high producing dairy cows. 2. Summary of energy balance experiments with lactating Holstein cows. In: Blaxter KL, Kielanowski J, Thorbek G (eds), *Energy Metabolism of Farm Animals*, vol. 12, pp. 235-251. European Association for Animal Production Publication, Warsaw.

橋爪徳三, 森本 宏, 増淵敏彦, 安部道夫, 堀井 聡, 浜田龍夫, 田中孝之介, 高橋正也, 海塩義男, 安保庄一郎. 1964. 乳牛の飼養標準に関する研究. II. 乳牛の維持養分要求量に関する研究. 畜産試験場特別報告 **2**, 7-77.

早坂貴代史, 加茂幹男, 河本秀憲. 2000. フリーストール飼養の泌乳牛の行動に及ぼすストール床材と個体属性の影響. 日本畜産学会報 **71**, 270-278.

早坂貴代史, 田鎖直澄, 山岸規昭. 1995. ホルスタイン種泌乳牛のエネルギー代謝. 日本畜産学会報 **66**, 374-382.

Higuchi K, Nishida T, Enishi O, Agung P, Ueda K, Terada F. 2003. Continuous monitoring of oxygen consumption in sheep head and estimation of energy expenditure from oxygen consumption. *Bulletin of National Institute of Livestock and Grassland Sciences* **4**, 7-14.

樋口浩二, 田鎖直澄, 野中最子, 田島 清, 數元悠介, 都丸友久, 大谷文博, 小林洋介, 石川哲也, 栗原光規, 永西 修. 2009. 熟期, 品種および切断長の異なるイネホールクロープサイレージを給与したウシの栄養素の利用性, 第一胃内発酵および咀嚼時間. 畜産草地研究所研究報告 **9**, 1-14.

平林秀介, 根本 博, 安東郁男, 加藤 浩, 太田久稔, 佐藤宏之, 竹内善信, 石井卓朗, 前田英郎, 井邊時雄, 出田 収, 平山

正賢, 岡本正弘, 西村 実, 八木忠之, 梶 亮太. 2010. 飼料用水稲品種「モミロマン」の育成. 作物研究所研究報告 **11**, 31-47.

細田謙次, 西田武弘, 石田元彦, 松山裕城, 吉田宣夫. 2005. 飼料イネ「ホシアオバ」ロールバールサイレージ給与泌乳牛の採食量, 消化率および乳生産. 日本草地学会誌 **51**, 48-54.

石井耕太, 竹中秀行. 2002. イネホールクロープサイレージ用フレール式ロールベアラの作業性能. 北海道立農業試験場集報 **83**, 43-46.

伊藤 稔, 田野良衛. 1977. 助燃剤をかねた容器としてポリエチレンフィルムを用いた未乾燥糞および尿の熱量分析法の検討. 畜産試験場研究報告 **32**, 31-43.

岩崎和雄, 針生程吉, 田野良衛, 寺田文典, 伊藤 稔, 亀岡暁一. 1982. 畜産試験場に新設した家畜代謝実験装置について—とくに呼吸試験装置の機能を中心として—. 畜産試験場研究報告 **39**, 41-73.

Kebreab E, France J, Agnew RE, Yan T, Dhanoa MS, Dijkstra J, Beever DE, Reynolds CK. 2003. Alternatives to linear analysis of energy balance data from lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science* **86**, 2904-2913.

久米新一, 野中和久, 大下友子, 山口直己. 2004. 自給粗飼料給与時における乾乳牛の維持に要する代謝エネルギー要求量の推定. 日本畜産学会報 **75**, 31-35.

栗原光規, 久米新一, 柴田正貴, 高橋繁男, 相井孝允. 1990. 乾草維持給与時における乾乳牛のエネルギー代謝に及ぼす環境温度の影響. 日本畜産学会報 **61**, 315-321.

栗原光規, 久米新一, 高橋繁男, 相井孝允. 1991. 維持給与水準における乾乳牛のエネルギー代謝に及ぼす給与粗飼料と環境温度の影響. 日本畜産学会報 **62**, 375-382.

Lachica M, Aquilera JF, Prieto LC. 1997. Energy expenditure related to the act of eating in Granadina goats given diets of different physical form. *British Journal of Nutrition* **77**, 417-426.

前田英郎, 春原嘉弘, 飯田修一, 松下 景, 根本 博, 石井卓朗, 吉田泰二, 中川宣興, 坂井 真, 星野孝文, 岡本正弘, 篠田治躬. 2003. 飼料用水稲新品種「ホシアオバ」の育成. 近畿中国四国農業研究センター研究報告 **2**, 83-98.

松下 景, 飯田修一, 出田 収, 春原嘉弘, 前田英郎, 田村泰章. 2012. 茎葉多収で消化性に優れた高糖分含量の飼料用水稲品種「たちすすか」の育成. 近畿中国四国農業研究センター研究報告 **11**, 1-13.

松山裕城, 塩谷 繁, 石田元彦, 西田武弘, 細田謙次, 額爾敦巴雅爾, 安藤 貞, Islam MR, 吉田宣夫. 2005. 飼料イネサイレージ「はまさり」, 「夢十色」および「北陸184号」の飼料特性. 日本草地学会誌 **51**, 289-295.

松山裕城, 塩谷 繁, 西田武弘, 細田謙次, 額爾敦巴雅爾, 吉田宣夫, 石田元彦. 2006. 飼料イネサイレージ専用品種「クサユタカ」, 「はまさり」および「クサホナミ」の栄養価. 日本草地学会誌 **51**, 385-389.

McLean JA. 1972. On the calculation of heat production from open-circuit calorimetric measurements. *British Journal of Nutrition* **27**, 597-600.

Mertens DR. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science* **80**, 1463-1481.

Miyaji M, Matsuyama H, Hosoda K, Nonaka K. 2012. Effect of replacing corn with brown rice grain in a total mixed ration silage on milk production, ruminal fermentation and nitrogen balance in lactating dairy

- cows. *Animal Science Journal* **83**, 585-593.
- Munksgaard L, Simonsen HB. 1996. Behavioral and pituitary adrenal-axis responses of dairy cows to social isolation and deprivation of lying down. *Journal of Animal Science* **74**, 769-778.
- Nielsen BL, Veerkamp RF, Lawrence AB. 2000. Effects of genotype, feed type and lactational stage on the time budget of dairy cows. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A, Animal Science* **50**, 272-278.
- 庭山 孝, 鈴木計司, 戸倉一泰, 矢ヶ崎健治, 森田久也, 塩原比佐雄, 長谷川英世, 田村真美, 峯岸直子. 1988. 水稻新品種「くさなみ」「はまさり」の育成. 埼玉県農業試験場研究報告 **43**, 1-18.
- 農業・食品産業技術総合研究機構. 2007. 日本飼養標準乳牛(2006年版). 中央畜産会, 東京.
- Osuji PO, Gordon JG, Webster AJF. 1975. Energy exchanges associated with eating and rumination in sheep given grass diets of different physical forms. *British Journal of Nutrition* **34**, 59-71.
- Reynolds CK, Tyrrell HF, Reynolds PL. 1991. Effects of diet forage-to-concentrate ratio and intake on energy metabolism in growing beef heifers: whole body energy and nitrogen balance and visceral heat production. *Journal of Nutrition* **121**, 994-1003.
- 坂井 真, 井辺時雄, 根本 博, 堀末 登, 中川宣興, 佐藤宏之, 平澤秀雄, 高舘正男, 田村和彦, 安東郁男, 石井卓朗, 飯田修一, 前田英郎, 青木法明, 出田 収, 平林秀介, 太田久稔. 2003. 飼料用水稻新品種「クサホナミ」の育成. 作物研究所研究報告 **4**, 1-15.
- Shibata M, Terada F. 2010. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Animal Science Journal* **81**, 2-10.
- Susenbeth A, Dickel T, Sudekum KH, Drochner W, Steingab H. 2004. Energy requirements of cattle for standing and for ingestion, estimated by a ruminal emptying technique. *Journal of Animal Science* **82**, 129-136.
- Susenbeth A, Mayer R, Koehler B, Neumann O. 1998. Energy requirement for eating in cattle. *Journal of Animal Science* **76**, 2701-2705.
- Suzuki T, Takusari N, Higuchi K, Kurihara M, Terada F. 2008. Energy expenditure for chewing in sheep fed timothy or sudangrass hay at the same intake level. *Animal Science Journal* **79**, 590-596.
- Suzuki T, Takusari N, Terada F, Kurihara M. 2003. Energy expenditure for chewing during eating and rumination in sheep fed ad libitum Timothy hay or Sudangrass hay. In: Souffrant WB, Metges CC (eds), *Progress in research on energy and protein metabolism*, EAAP publication No. 109, pp. 557-560. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- 高橋 強, 前原麻奈美, 張 延利, 本林 隆, 石井泰博, 神田修平, 板橋久雄. 2007. 稲発酵粗飼料の給与が乳牛の乳生産, ルーメン発酵, 血液性状および採食行動に及ぼす影響. 日本畜産学会報 **78**, 45-55.
- 上原泰樹, 小林 陽, 古賀嘉昭, 大田久稔, 清水博之, 三浦清之, 福井清美, 大槻 寛, 小牧有三, 笹原英樹, 堀内久満, 奥野眞敏, 藤田米一, 後藤明俊. 2003. 水稻新品種「クサユタカ」の育成. 中央農業研究センター研究報告 **2**, 83-105.
- 浦川修司, 吉村雄志. 2003a. 飼料イネ用カッテングロールペーラの開発. 日本草地学会誌 **49**, 43-48.
- 浦川修司, 吉村雄志. 2003b. 飼料イネ用自走式ベールラッパの開発. 日本草地学会誌 **49**, 248-253.
- 山本泰也, 乾 清人, 浦川修司, 平岡啓司, 後藤正和. 2008a. イネホールクroppサイレージ主体混合飼料中の粗飼料由来NDF含量の違いが泌乳牛の子実消化性および乳生産に及ぼす影響. 日本草地学会誌 **54**, 217-222.
- 山本泰也, 水谷将也, 乾 清人, 浦川修司, 平岡啓司, 後藤正和. 2005. 乳牛におけるイネホールクroppサイレージを用いた混合飼料の飼料特性. 日本草地学会誌 **51**, 40-47.
- 山本泰也, 水谷将也, 乾 清人, 浦川修司, 平岡啓司, 後藤正和. 2008b. 混合飼料におけるイネホールクroppサイレージの未消化子実排泄に及ぼす併給粗飼料の影響. 日本草地学会誌 **54**, 12-18.
- Yan T, Agnew RE, Gordon FJ, Porter MG. 2000. The prediction of methane energy output in dairy and beef cattle offered grass silage-based diets. *Livestock Production Science* **64**, 253-263.
- Yang WZ, Beauchemin KA. 2007. Altering physically effective fiber intake through forage proportion and particle length: Chewing and ruminal pH. *Journal of Dairy Science* **90**, 2826-2838.
- Yang WZ, Beauchemin KA. 2009. Increasing physically effective fiber content of dairy cow diets through forage proportion versus forage chop length: Chewing and ruminal pH. *Journal of Dairy Science* **92**, 1603-1615.
- Zebeli Q, Tafaj M, Weber I, Dijkstra J, Steingass, H, Drochner W. 2007. Effects of varying dietary forage particle size in two concentrate levels on chewing activity, ruminal mat characteristics, and passage in dairy cows. *Journal of Dairy Science* **90**, 1929-1942.

Estimation of metabolizable energy requirement for maintenance by both energy balance trials and integration of energy costs for activity in dry cows fed whole crop rice silages

Kouji HIGUCHI¹, Naosumi TAKUSARI², Itoko NONAKA³, Kiyoshi TAJIMA¹, Tomohisa TOMARU⁴, Fumihiro OHTANI¹, Yosuke KOBAYASHI¹, Tetsuya ISHIKAWA⁵, Mitsunori KURIHARA⁶ and Osamu ENISHI¹

¹ NARO Institute of Livestock and Grassland Sciences, Tsukuba 305-0901, Japan

² NARO Hokkaido Agricultural Research Center, Toyohira, Sapporo 062-8555, Japan

³ NARO Kyusyu Okinawa Agricultural Research Center, Koshi 861-1192, Japan

⁴ Gunma Prefectural Livestock Experiment Station, Maebashi 371-0103, Japan

⁵ NARO Agricultural Research Center, Tsukuba 305-8666, Japan

⁶ National Institute of Agrobiological Sciences, Tsukuba 305-8602, Japan

Corresponding : Kouji HIGUCHI (fax : +81 (0) 29-838-8606, e-mail : higuchik@affrc.go.jp)

To estimate the metabolizable energy requirement for maintenance (ME_m) of dry cows given diets mainly containing whole crop rice silage, regression analysis were carried out by two methods. The first analysis was carried out using data from a series of 37 complete energy balance trials with indirect calorimetry. The ME_m was calculated as metabolizable energy intake at zero energy retention according to regression equation. The other method was based on the integration of heat production (HP) associated with animals' activities during indirect calorimetry. Eating, ruminating and standing activities of animals were monitored, and then energy expenditures for resting, eating, ruminating and standing were calculated by multiple regression analysis. The ME_m value was calculated as heat production for animals' activities consuming a zero balanced-energy. The ME_m calculated from data of the balance trial was 121.6 kcal · kgBW^{-0.75}/day, whereas ME_m predicted from estimates of HP measurements was also 121.6 kcal · kgBW^{-0.75}/day. Considering both the chewing time and the standing time, the ME_m ranged from 118.6–125.8 kcal · kgBW^{-0.75}/day. It is concluded that the ME_m of cows given a whole crop rice silage is 121.6 kcal · kgBW^{-0.75}/day, and this value is well approximated with ME_m value (116.2 kcal · kgBW^{-0.75}/day) shown by Japan Feeding Standard for Dairy Cattle.

Nihon Chikusan Gakkaiho 86 (2), 169-177, 2015

Key words : dairy cattle, energy metabolism, maintenance energy requirement.