牛用飼料の代謝エネルギー含量推定式の比較

栗原光規*・相井孝允・久米新一*・高橋繁男**

農林水産省九州農業試験場, 熊本県西合志町 861-11

* 農林水産省畜産試験場, 茨城県筑波農林研究団地 305

** 農林水産省草地試験場, 栃木県西那須野町 329-27

(1990. 12. 17 受付)

Key words : metabolizable energy, diets, cattle

牛用飼料中のエネルギー価の表示法としては、各国の実情により各種の単位が用いられている⁹⁾。わが国では、現在まで測定が容易であり、また研究蓄積の多い可消化養分総量 (TDN) が広く用いられてきた。一方、諸外国では、TDN よりも測定に特殊な施設を必要とするが、理論的であり、実際にもよく適合するとされる代謝エネルギー (ME) や正味エネルギー (NE) の利用が始まっている⁹⁾。また、この場合には、多くの飼料の ME や NE 含量は飼料中の化学成分含量や可消化成分含量などから推定されている。しかし、わが国における ME 含量推定式の検討は、わずかに寺田ら¹⁰⁾によるもののみであり、サイレージについては検討されていない。

そこで本報では、九州で利用されているいくつかの乾草とサイレージを用いて、乾乳牛で実際に測定した ME 含量と既往の推定式により算出した ME 含量とを比較し、推定式の適合性を検討した。

材料および方法

1. ME 含量の測定

ME 含量は、1 飼料当り 2~4 頭のホルスタイン種乾乳牛を供試したほぼ維持給与水準によるエネルギー出納試験成績から求めた。試験期間は、予備期 7 日間、本試験期 1~7 日間とし、本試験期のうち 4 日間について前報³⁾の方法に準じて呼吸試験を行なった。試験時の環境

条件は環境温度 18℃、相対湿度 60% とした。給与飼料は、1) ギニアグラス乾草、イタリアンライグラス乾草およびチモシー乾草の乾草 3 点、2) オオクサキビサイレージ、イタリアンライグラスサイレージおよびトウモロコシホールクロップサイレージ (黄熟期刈り取り) のサイレージ 3 点、合計 6 点である。なお、トウモロコシホールクロップサイレージ給与時には 1 頭あたり 150 g の大豆粕を追加 (以下、トウモロコシサイレージ) した。

2. 試料分析

乾草については、一般成分含量⁵⁾、酵素分析法¹⁾による細胞内容物質 (Organic Cellular Contents, OCC)、細胞壁物質の高消化性繊維 (Organic a fraction, Oa) および低消化性繊維 (Organic b fraction, Ob) 画分の含量ならびに熱量を風乾物試料を用いて測定し、さらに糖・デンプン・有機酸類を含む画分として可溶無窒素・無繊維画分 (Nitrogen・cell wall Free Extracts, NCWFEe) を寺田ら¹⁰⁾と同様の方法により算出した。サイレージについては、水分および粗蛋白質の含量は新鮮試料を用いてそれぞれトルエン法¹⁾およびケルダール法³⁾により分析し、その他の一般成分および酵素分析による化学成分含量の測定は乾草と同様に行なった。また、サイレージの熱量は新鮮試料を凍結乾燥した試料を用いて測定した。さらに、サイレージの乾物中の化学成分含量および熱量は、新鮮物中に換算した化学成分含量およ

A Comparative Evaluation of Some Equations for Predicting the Metabolizable Energy Contents of the Diets for Cattle: Mitsunori KURIHARA*, Takamitsu AII, Shinichi KUME* and Shigeo TAKAHASHI** (Kyushu National Agricultural Experiment Station, Nishigoshi-machi, Kumamoto-ken 861-11 *National Institute of Animal Industry, Tsukuba Norinkenkyudanchi, Ibaraki-ken 305 **National Grassland Research Institute, Nishinasuno-machi, Tochigi-ken 329-27)

既往の ME 含量推定式の比較

び熱量からトルエン法による水分含量を用いて算出した。

糞の粗蛋白質以外の一般成分含量は常法⁵⁾により、糞および尿の熱量および窒素含量は新鮮試料を用いて前報³⁾と同様の方法により測定した。

3. ME 含量推定式の比較

検討に用いた ME 含量推定式は、表 1 に示した 13 式であり、それぞれの式の説明変数に実測した化学成分含量または可消化成分含量を代入して、供試した飼料の ME 含量を推定した。その後、この推定値と窒素出納値によって補正した ME 含量の実測値とを比較検討した。

Table 1. Evaluation of prediction equations for estimating the ME (Mcal/kg DM) content of the diets from chemical composition (% DM) or digestible nutrients (% DM)

Regretion equation	(estimated value)		r ¹⁾	Se ²⁾
	÷ (in vivo value)			
	Hay	Silage		
1. Regretion equations obtained by the proximate analysis methods				
①ME ³⁾ = 2.8681 + .0191 · CP + .0550 · EE - .0430 · CF - .0287 · ASH	77%	102% (94%) ⁸⁾	0.380	(0.624) 0.240 (0.234)
②ME ⁴⁾ = -4.706 + .0974 · CP + .2260 · EE + .0583 · CF + .0747 · NFE	108	133 (124)	0.686	(0.829) 0.189 (0.168)
2. Regretion equations obtained by the enzymatic analysis method				
③ME ⁴⁾ = -1.218 + .0593 · CP - .0063 · EE + .0494 · Oa + .0205 · Ob + .0498 · NCWFEe	98	107 (98)	0.686	(0.987**) 0.189 (0.048)
④ME ⁴⁾ = -1.312 + .0603 · CP + .0500 · Oa + .0215 · Ob + .0505 · NCWFEe	98	107 (98)	0.686	(0.988**) 0.189 (0.047)
⑤ME ⁴⁾ = -1.849 + .0557 · OCC + .0558 · Oa + .0330 · Ob	107	128 (123)	0.531	(0.823) 0.220 (0.170)
⑥ME ⁴⁾ = .853 + .0275 · (OCC + Oa)	101	124 (121)	0.533	(0.689) 0.220 (0.217)
3. Regretion equations from digestible nutrients				
⑦ME ³⁾ = .0363 · DCP + .0817 · DEE + .0306 · DCF + .0380 · DNFE	103	111 (106)	0.852*	(0.924*) 0.136 (0.115)
⑧ME ⁴⁾ = .0439 · DCP + .0927 · DEE + .0322 · DCF + .0374 · DNFE	107	114 (111)	0.856*	(0.911*) 0.134 (0.124)
⑨ME ⁵⁾ = .043 · DCP + .078(.033; for silage) · DEE + .029 · DCF + .037 · DNFE	101	105 (102)	0.920**	(0.953*) 0.102 (0.090)
⑩ME ⁶⁾ = .0432 · DCP + .0773 · DEE + .0359 · DCF + .0363 · DNFE	108	114 (113)	0.883*	(0.908*) 0.122 (0.125)
⑪ME ³⁾ = .81 · DE	99	100 (99)	0.982**	(0.987**) 0.049 (0.047)
⑫ME ⁴⁾ = -.330 + .958 · DE	99	99 (97)	0.982**	(0.987**) 0.049 (0.047)
⑬ME ⁷⁾ = -.45 + 1.01 · DE	99	99 (96)	0.982**	(0.988**) 0.049 (0.047)

1) r: Correlation coefficient between in vivo value and estimated value,

2) Se: Standard error of regression estimate, 3): MAFF (1984)⁴⁾, 4): TERADA *et al.* (1988)⁸⁾,

5): FORBES and THACKER (1943)²⁾, 6): NEHRING and HAENLEIN (1973)⁶⁾, 7): NRC (1988)⁷⁾,

8): A figure in parentheses is a value except corn silage.

CP: Crude protein, EE: Ether extract, CF: Crude fiber, NFE: Nitrogen free extract, Oa: Organic a fraction in organic cell wall, Ob: Organic b fraction in organic cell wall, NCWFEe: Nitrogen cell wall free extract by enzymatic analysis, OCC: Organic cellular contents, DCP: Digestible crude protein, DEE: Digestible ether extract, DCF: Digestible crude fiber, DNFE: Digestible nitrogen free extract, DE: Digestible energy, Level of significance: **, P<0.01, *, P<0.05

結 果

1. 給与飼料の化学成分含量および可消化成分含量

給与飼料の乾物中の化学成分含量の平均値とその範囲は、それぞれ粗蛋白質で 9.9, 7.2~12.4%, 粗脂肪で 2.4, 1.3~3.3%, 粗繊維で 30.5, 20.5~38.6%, 可溶無窒素物 (NFE) で 48.4, 41.6~65.0%, 粗灰分で 8.8, 4.1~11.9%, OCC で 32.0, 21.3~51.3%, Oa で 11.3, 4.4~17.7%, Ob で 47.9, 40.1~57.9%, NCWFEe で 19.7, 9.4~42.2% であった。また、乾物中の可消化成分含量は、可消化粗蛋白質で 5.1, 2.9~7.3%, 可消化粗脂肪で 1.3, 0.4~2.5%, 可消化粗繊維で 18.6, 8.7~25.9%, 可消化可溶無窒素物で 29.0, 17.5~43.1% であった。

2. 給与飼料の栄養価

給与飼料の乾物中の栄養価の平均値とその範囲は、それぞれ TDN 含量で 55.6, 42.8~63.0%, DE 含量で 2.25 (9.41), 1.82~2.71 Mcal/kg (7.61~11.34 MJ/kg), 窒素補正した ME 含量で 1.83 (7.66), 1.51~2.22 Mcal/kg (6.32~9.29 MJ/kg) であった。

3. 既往の ME 含量推定式の比較

粗飼料の ME 含量実測値に対する既往の推定式より求めた推定値の割合 (%) 並びに推定値と実測値との相関係数および回帰推定の標準誤差 (Se) を表 1 に示した。

粗飼料の ME 含量を一般成分含量を説明変数とする推定式 ①, ② により推定した場合、その推定値は推定式により大きく異なるとともに、乾草と比較してサイレーズの推定値は過大評価される傾向にあった。また、推定値と実測値との相関係数は低く、Se も 0.2 Mcal/kgDM 前後と ME 含量の平均値に対する割合は 10% 以上であった。さらに、この傾向は、推定値と実測値との差が特に大きかったトウモロコシサイレーズの値を除いても変わらなかった。

一般成分の CF, NFE の代りに酵素分析法による Oa, Ob および NCWFEe を用いた推定式 ③, ④ では、推定式 ①, ② と比較して推定値と実測値との差は減少したが、相関係数, Se とともにあまり改善されなかった。しかし、トウモロコシサイレーズの値を除いた場合には、乾草と同様にサイレーズの推定値も実測値とほぼ一致し、相関係数は 0.98 と高くなり、Se も 0.05 Mcal/kgDM と平均値の 3% に減少した。一方、酵素分析法の結果のみを用いた推定式 ⑤, ⑥ では、推定式 ③, ④ と比較してサイレーズでは推定値が実測値より大きな値を示し、この傾向はトウモロコシサイレーズを除いても同様であ

った。

一般成分の可消化成分含量を用いた推定式 ⑦~⑩ では、一般成分で推定した場合と比較して、推定式による差が減少し、推定値と実測値との相関係数および Se とともに改善された。乾草とサイレーズ間に認められた実測値に対する推定値の割合の差は低下したが、推定値 ⑨ 以外では依然としてサイレーズの値が大きく推定される傾向にあった。DE 含量を用いた推定式 ⑪~⑬ では、推定値と実測値はよく一致し、相関係数は 0.98 と高くなり、Se は 0.05 Mcal/kgDM と平均値の 3% に減少した。また、乾草とサイレーズとの間に推定精度の差は認められず、トウモロコシサイレーズの推定値も実測値とよく一致した。

考 察

飼料の ME 含量を化学成分含量を用いて推定した場合に、トウモロコシサイレーズ以外の粗飼料では炭水化物である NFE および粗繊維を酵素分析により Oa, Ob および NCWFEe の画分に細分することにより、寺田ら⁸⁾の報告と同様に ME の推定精度は高くなった。このことから、飼料の化学成分含量からその ME 含量を推定する場合には、酵素法により繊維成分の消化性を考慮することの重要性が確認された。

DE 含量を用いた推定式以外では、乾草と比較してサイレーズの場合に推定値が実測値より大きくなる傾向にあった。この原因は明らかではないが、サイレーズの有機酸がどの画分として定量されたかに関係していると思われる。本報におけるサイレーズの分析方法および乾物中成分含量の求め方では、サイレーズの有機酸は粗脂肪と NFE, OCC または NCWFEe の一部として定量される。FORBES and THACKER²⁾ は、可消化の一般成分含量を用いた推定式で ME 含量を推定した場合に、乾燥した飼料と比較してサイレーズを含む混合飼料の推定値は実測値より大きく推定されるとしている。また、その理由として、サイレーズではメタンに合成されるであろう炭素数の少ない有機酸が粗脂肪として定量されていることを指摘し、推定式の粗脂肪の係数をサイレーズの場合には小さくすることを推奨している²⁾。本報の成績でも、FORBES and THACKER²⁾ の推定式 ⑨ では推定値と実測値の差が縮小しており、同様の理由が考えられた。また、本報の方法では有機酸は NFE または OCC としても定量されており、各推定式のこれらの係数もサイレーズに適用する場合には高すぎる可能性が示唆された。しかし、サイレーズの有機酸を粗脂肪と NCWFEe として定量した推定式 ③, ④ では、トウモロコシサイレ

既往の ME 含量推定式の比較

ージ以外のサイレーズの ME 含量はほぼ正確に推定された。

トウモロコシサイレーズの ME 含量推定値は、推定式③、④においても実測値より大きかったが、その一因としてはトウモロコシサイレーズに含まれる未粉碎子実のデンプンの消化性が考えられる。デンプンの消化率は、一般には100%に近いが、子実の充実したトウモロコシサイレーズのデンプン消化率は乳牛で83%程度とされている¹⁾。また、トウモロコシ子実のデンプン消化率は、綿羊では粉碎粒度にかかわらずほぼ100%であるのに対して、乳牛では粉碎粒度が粗になるほど低下することが報告されている²⁾。一方、推定式③、④は、デンプン消化率がほぼ100%と考えられる粗飼料や配合飼料等を山羊に給与して導き出された式である。したがって、トウモロコシサイレーズを乳牛に給与した場合の ME 含量を推定式③、④を用いて求めた場合でも、デンプン消化率が過大に評価されている可能性があり、それがトウモロコシサイレーズの ME 含量推定値が実測値より大きかった一因と推察された。このことから、トウモロコシサイレーズなどの未粉碎穀実を含む飼料を乳牛に給与した場合の ME 含量をその化学成分含量から推定する場合には、デンプンの消化性を考慮する必要があると示唆された。

今回の検討および既往の成績から、維持給与水準における乾草および未粉碎穀実を含まないサイレーズの ME 含量をその化学成分含量から推定する場合には、酵素法を用いて繊維成分の消化性を考慮することにより推定値と実測値がほぼ一致することが確認された。また、牛用飼料の ME 含量をその可消化成分含量から推定する場合には、DE 含量を用いることにより、未粉碎穀実を含むサイレーズもその他の飼料と同様に推定値と実測値がほぼ一致するものと考えられた。さらに、これらの推定式を用いれば九州地域で生産される粗飼料の ME 含量の推定も可能であると思われたが、例数が必ずしも十分でないで、今後さらにデータの蓄積を行ない、ME 含量推定式の比較検討を継続する必要がある。

終りに臨み、本稿をまとめるにあたって種々の御教示を頂いた畜産試験場、柴田正貴博士および寺田文典博士に、また御校閲を賜った当場八木満壽雄畜産部長、家畜管理を担当された乳牛舎勤務の各技官に深謝の意を表します。

文 献

- 1) 阿部 亮, 炭水化物成分を中心とした飼料分析とその飼料栄養評価法への応用. 畜試研資, 1988-2: 1-16. 1988.
- 2) FORBES, E.B. and E.J. THACKER, Determinations of metabolizable energy of feeding stuffs for cattle. J. Anim. Sci., 2: 226-230. 1943.
- 3) 栗原光規・久米新一・柴田正貴・高橋繁男・相井孝允, 乾草維持量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. 日畜会報, 61: 315-321. 1990.
- 4) MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food), Energy allowances and feeding systems for ruminants. 68-74. Her Majesty's Stationery Office. London. 1984.
- 5) 森本 宏監修, 動物栄養試験法. 280-396. 養賢堂. 東京. 1971.
- 6) NEHRING, K. and G.F.W. HAENLEIN, Feed evaluation and ration calculation based on net energy_{rat}. J. Anim. Sci., 36: 949-964. 1973.
- 7) NRC (National Research Council), United States-Canadian tables of feed composition. 3-4. National Academy Press. Washington, D.C. 1982.
- 8) 寺田文典・芦沢駿治・田野良衛・岩崎和雄・阿部亮, 化学成分組成あるいは可消化成分含量による牛用飼料の代謝エネルギー含量の推定式について. 日畜会報, 59: 490-495. 1988.
- 9) VAN DER HONING, Y and G. ALDERMAN, III. Feed evaluation and nutritional requirements 2. Ruminants in Livestock feed resources and feed evaluation in Europe. (DE BOER, F. and H. BICKEL, eds.) 217-278. EAAP Publ. No. 37. Elsevier. Amsterdam. 1988.