

飼料成分に基づく家畜への飼料給与

永西 修

(独)農業・食品産業技術総合研究機構
畜産草地研究所家畜生理栄養研究領域
(〒 305-0901 茨城県つくば市池の台2)

[はじめに]

家畜や家禽の発育を良好に保ち、畜産物を効率良く生産するためには、それに必要なエネルギー、タンパク質、ミネラルおよびビタミンなどの栄養素を適正に給与する必要がある。家畜や家禽が必要とする栄養要求量（養分要求量）は品種、雌雄、増体日量、乳量、産卵率、妊娠によって変動するため、成育ステージ、生産量、生産能力に見合った栄養量を給与する必要がある。これらの栄養要求量を示したものが日本飼養標準であり、乳牛、肉用牛、豚、家禽の畜種別に刊行されている。日本飼養標準のほか、各種の飼料について飼料成分、消化率および栄養価を記載した日本飼料成分表が刊行されている。日本飼料標準や日本飼料成分表はわが国の飼養形態、気象条件、飼料資源に基づき作成されたものであるため、これらを組み合わせて飼料設計を行うことでより合理的な飼育が可能となる。一方で、家畜の飼育現場では飼料の切り替え、摂取栄養素の不足、環境変化などの様々なストレスに直面しており、家畜の適応範囲を超えた飼料給与が行われた場合にルーメンアシドーシスや分娩前後でのエネルギー代謝障害などの生産病の発症が問題視されている。効率的かつ健康な家畜生産を行うためには、飼料給与に関する理解が必要である。そこで、本稿では飼料成分に基づく家畜への飼料給与として、乳牛を対象に日本飼養標準を用いた飼料設計および給与の概略を記載する。

[日本飼養標準・乳牛での栄養要求量の考え方]

畜産を取り巻く情勢の変化、家畜栄養学・生理学などの進展に応じて日本飼養標準は改訂が行われる。乳牛では1965年に初版が刊行されて以来、1974年、1987年、1994年、1999年に改訂が行われ、2006年の現行版 [1] に至っている。

乳牛が必要とする栄養要求量は維持、成長、妊娠（胎児の発育）、産乳に必要なそれぞれの要求量を合計したもので、エネルギー、タンパク質のほか、水分、無機物について1日当たりで示されている。また、日本飼養標準は平均的な能力を有する乳牛が標準的な飼養条件で飼育される場合を想定したものであるため、個体の能力や状況に応じて適正な管理を行う必要がある。

[エネルギー]

日本飼養標準乳牛 2006年版 [1] ではエネルギー単位として代謝エネルギー（Metabolizable Energy: ME）を使うことが推奨されているが、生産現場での汎用性を考慮し可消化エネルギー（Digestible Energy: DE）や可消化養分総量（TDN）も併記されている。飼料に含まれる総エネルギーから糞として排せつされるエネルギーを差し引いたものがDEで、さらに尿やメタンとして失われるエネルギーを差し引いたものがMEである。MEは家畜が真に利用できるエネルギーに近いことから、エネルギー要求量の単位として用いられている。成雌牛の維持、子牛の維持および成長、泌乳および分娩に要す

るエネルギー要求量の考え方を以下に示す。

- 1) 成雌牛の維持に要する ME 要求量は、国内の試験結果から代謝体重 ($BW^{0.75}$) 当たり 116.3 kcal としている。
- 2) 子牛の維持および成長に必要な ME 要求量は、哺育期子牛、離乳後～体重 120 kg、体重 120 kg 以上の 3 区分に分けて示されている。子牛の熱発生量は外気温に影響を受けるため、寒冷期では ME 要求量を 7～15% 程度増給する必要がある。
- 3) 牛乳 1 kg 生産に必要な ME 量は、乳脂率別に求めた牛乳のエネルギー含量から求める。
- 4) 分娩前 9 週から分娩までの妊娠末期では、胎子の発育に伴い栄養要求量が増加する。分娩前 9 週から分娩までに胎子に蓄積されるエネルギー量を 9 週間 (63 日) で割った平均値を求め、分娩前 9～4 週は平均値の 90%、3 週～分娩までは平均値の 120% を妊娠末期に加える要求量としている。なお、ホルスタイン種子牛の生時体重を 46 kg としているため、実際の生時体重による補正が必要である。

[タンパク質]

飼料より摂取したタンパク質は第一胃内微生物によりペプチド、アミノ酸、アンモニアまで分解され、アンモニアなどは微生物体タンパク質の再合成に利用される。微生物体タンパク質は第四胃以降で消化・吸収され家畜のタンパク質源となることから、微生物体タンパク質の合成量を考慮したタンパク質給与体系を代謝タンパク質給与システムとよぶ。乳牛飼養標準でのタンパク質給与は粗タンパク質 (CP) ベースで行われているが、1999 年版では飼料タンパク質の第一胃内での分解率を一定の数値とした

分解性タンパク質 (Crude protein Degradable : CPd) の適正含量が示された。しかし、第一胃内での飼料タンパク質の分解率は、第一胃からの飼料の通過速度 (流出速度) によっても異なることから、2006 年版 [1] では飼料そのもののタンパク質の分解率に加えて、通過速度の違いを反映して相対的に分解率が変化する有効分解性タンパク質 (ECPD : Effective Crude Protein Degradable) への変更が行われている。成雌牛の維持、子牛の維持および成長、泌乳および分娩に要するタンパク質要求量の考え方を以下に示す。

- 1) 乳牛の維持状態でも体タンパク質の合成と分解は行われており、内因性尿窒素、脱落表皮タンパク質、代謝性ふん中空素としてタンパク質が失われる。維持の CP 要求量 (g/日) は国内での乾乳牛を用いた試験結果より $2.71 \times BW^{0.75}$ としている。
- 2) 子牛の維持・成長に必要な CP 要求量は、維持 (内因性尿窒素、脱落表皮タンパク質、代謝性ふん中空素) と子牛の成長に必要なタンパク質量の合計から求める。
- 3) 産乳 1 kg 当たりの CP 要求量は乳量 (kg/日) と乳脂率 (%) を用いた式から求める。
- 4) 妊娠末期に加える CP 要求量は、分娩 9 週から分娩までに胎子に蓄積されるタンパク質量を 9 週間 (63 日) で割った平均値を用いる。なお、胎子へのタンパク質蓄積量は品種 (ホルスタイン種、交雑種、黒毛和種) のほか、単胎や双胎によっても異なるためそれぞれの CP 要求量を求めるための式が示されている。

表 1 に飼料に含有させる ECPD の適正含量を示した。乳量、乾物摂取量および飼料の CP 含量と可消化養分含量 (TDN) から ECPD の

表 1 乳牛用飼料の有効分解性タンパク質の適正含量

乳量 (kg/日)	0	10	20	30	40	50
乾物摂取量 (kg/日)	8.9	12.9	17.0	21.1	25.2	29.2
粗タンパク質含量 (乾物%)	6.7	10.5	12.7	14.3	15.5	16.5
有効分解性タンパク質含量 (乾物中%)						
TDN 含量 (乾物%)	60	8.3	8.4	8.4	8.5	8.5
	65	9.0	9.1	9.1	9.1	9.1
	70	9.7	9.7	9.8	9.8	9.8
	75	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
	80	11.1	11.1	11.1	11.1	11.0

日本飼養標準乳牛 2006 年版より作成

適正含量を求め、飼料の ECPD 含量が適正值となるように、飼料原料を組み合わせて ECPD 含量を調整する。

[ビタミンおよびミネラル]

乳牛に必須の主要ミネラルは、カルシウム、リン、マグネシウム、カリウム、ナトリウム、塩素、イオウ、モリブデン、セレンなどで、微量ミネラルとして鉄、亜鉛、銅、マンガンなどがある。また、ビタミンは体内で合成されない、あるいは合成量が不足するため、ビタミン A、D は飼料より補給しなければならない。乳牛でのミネラルおよびビタミン要求量は維持、成長、妊娠、産乳などの生育・生産ステージで異なる。日本飼養標準乳牛 2006 年版[1]にはわが国および外国のデータを取りまとめたものが示されている。成雌牛の維持、子牛の維持および成長、泌乳および分娩に要するミネラル、ビタミン要求量の考え方を以下に示す。

- 1) 成雌牛の維持のカルシウムおよびリン要求量
カルシウム (g/日) = $0.0154 \times \text{体重(kg)} \div 0.38$ 、
リン (g/日) = $0.0143 \times \text{体重(kg)} \div 0.5$ 、なお、乳牛での吸収効率をカルシウム 0.38、リン 0.5 としている。
- 2) 子牛および育成牛のカルシウムおよびリン要求量
体重別 (90 kg まで、90 から 250 kg 以下、250 から 400 kg 未満) に、維持と増体日量の合計求める。
- 3) 産乳のためのカルシウムおよびリン要求量
4% 脂肪補正乳量 (FCM = 乳量 (kg) \times (0.15 \times 乳脂肪 (%)) + 0.4) を用いて、カルシウム (g/日) = $(1.20 \times \text{FCM}) \div 0.38$ 、リン (g/日) = $(0.90 \times \text{FCM}) \div 0.5$ を求める。なお、乳牛での吸収効率をカルシウム 0.38、リン 0.5 としている。
- 4) 妊娠末期のカルシウムおよびリンの要求量は、カルシウム (g/日) = $0.0078 \times 1.23 \times \text{体重(kg)} \div 0.38$ 、リン (g/日) = $0.0047 \times 1.23 \times \text{体重(kg)} \div 0.5$ で、分娩 9 から 4 週は上記の要求量の 90%、3 週から分娩までは 120% が要求量である。同様に、乳牛での吸収効率をカルシウム 0.38、リン 0.5 としている。
- 5) 成雌牛の維持のビタミン A、D 要求量
わが国の飼養試験結果に基づき、ビタミン

A (1000 IU) = $0.0424 \times \text{体重(kg)}$ 、ビタミン D (1000 IU) = $0.006 \times \text{体重(kg)}$ の要求量の算定式が示されている。

- 6) 子牛および育成牛のビタミン A、D 要求量
体重を変数としてビタミン A (1000 IU) = $0.078 \times \text{体重(kg)}$ 、ビタミン D (1000 IU) = $0.006 \times \text{体重(kg)}$ の要求量の算定式が示されている。
- 7) 産乳のためのビタミン A、D 要求量
ビタミン A は乳量、ビタミン D は体重を変数とした要求量の算定式が示されている。
- 8) 妊娠末期のビタミン A、D 要求量は、胎子の品種や胎子数に関係なく、体重を変数とした算定式が示されている。

その他の主要ミネラルおよび微量ミネラル要求量が示されているほか、微量ミネラルでは中毒発生限界が記載されている。

[繊維]

飼料の繊維はセルロース、ヘミセルロース、リグニンなどから構成され、炭水化物源としての供給のほか、第一胃内発酵に重要な役割を果たしている。糖やデンプンなどの非繊維性炭水化物を多量に摂取すると、第一胃内で急速な発酵が進みアシドーシスの発症やエンドトキシンの産生などが生じる。飼料の繊維は採食や反すう時での咀嚼行動を促進する効果を有しており、咀嚼により唾液の分泌が促進される結果、それに含まれる重炭酸塩が第一胃内溶液の pH の安定の役割を果たしている。一方で、飼料の繊維含量は採食量に影響することが知られているため、最大給与量を考慮する必要がある。日本飼養標準乳牛 2006 年版 [1] では、飼料の中性デタージェント繊維 (NDF) 含量を 35% にすることを推奨している。また、NRC 乳牛飼養標準 2001 年版 (National Research Council) [2] では飼料の NDF 含量を 25% とした場合に、粗飼料由来の NDF 含量は 19% にすることが推奨されている。粗飼料以外の飼料の物理的効果に関して、日本飼養標準乳牛 2006 年版 [1] では同じ NDF 含量でもエコフィードの物理的効果は粗飼料の 1/3~1/2 であると記載されている。また、NRC [2] では粗飼料以外の飼料の物理的効果を粗飼料の 1/2 と考え、粗飼料由来の NDF 含量を 19% から 1 ポイント下げる場合に飼料全体の NDF 含量を 2 ポ

イント高める必要があるとしている。近年、飼料製造の効率化、飼料コストの低減、飼料自給率の向上などの観点からエコフィードの飼料利用が注目され、TMR センターの建設が進んでいる。同じ NDF 含量の飼料であっても切断長や加工形態により物理的効果は異なるため、期待する咀嚼行動を生じない可能性がある。そのため、ここに記載した飼料の NDF 含量の推奨値は最適含量ではなく目安として考え、飼料原料の物理的特性に応じて NDF 含量を調整する必要がある。飼料の物理的効果の指標として乳脂率を用いた Roughage Value Index (RVI: 分/乾物摂取 1 kg) が考案され、乳脂率を 3.5% にするためには RVI が 31 (分/乾物摂取 1 kg) 必要であるとの報告がある [4]。そのほかの繊維の物理的指標としては、第一胃内に滞留する一定以上の大きさの飼料片 (1.18 mm) が反すうを刺激するとの考えに基づき、1.18 mm の篩の上の割合に NDF 含量を乗じた peNDF がある [3]。peNDF 1.18 mm 以上は一般的な TMR で乳脂率との間に強い相関があるほか、図 1 に示したようにルーメン pH は peNDF 8 mm 以上 (8 mm 以上のふるいに残る割合) で相関は高いとの報告がある [5]。濃厚飼料に替わりエコフィードなどの高消化性繊維を多く含む飼料 (Non Fiber Carbohydrate) の給与がルーメンの恒常性維持や飼料自給率向上の面で注目されている。しかし、発酵 TMR 原料として利用拡大が期待されているエコフィード、飼料用米、稲ホールクロップサイレージおよび麦類ホールクロップサイレージなどでの物理的効果の面からの検討は十分ではなく、今後、わが国独自の有効繊維の評価手法とその給与基準の策定が求められる。

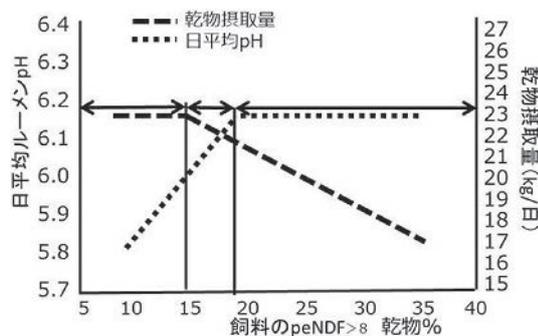


図 1 peNDF とルーメン pH、乾物摂取量の関係
Zebeli et al. (2012) より作成

【まとめ】

本稿では、乳牛の飼養管理について日本飼養標準乳牛 2006 年版 [1] を中心に、飼料成分に基づく飼養管理について紹介した。飼料価格の高騰・高止まりが続く中、家畜への飼料の効率的給与はますます重要な課題で、飼養標準の果たす役割は拡大している。乳牛では育種改良により高能力化が進んできたが、その中で生体調節機能を超えた不適切な飼養管理や飼養環境の悪化などで代謝障害や繁殖障害などの生産病が問題となっている。特に、濃厚飼料多給に伴う潜在性アシドーシスは日常的な飼養管理の中で潜在的に広がっていると考えられており、症状が深刻化した場合に経済的被害は甚大となる。そのため、家畜の飼養管理においては、栄養要求量を充足させるだけでなく、飼料栄養素の消化管内での代謝や生体機能への影響を考慮したより高度な飼養管理技術の開発が必要となっている。そのためには、開発した技術を農家に使ってもらえるよう、コスト面や生産性への寄与のほか、普遍性や説得性を高めるためのメカニズムの解明など、より実証的な研究が必要である。

【引用文献】

1. (独)農業・食品産業技術総合研究機構編. 日本飼養標準・乳牛. 2006 年版 (2007) 中央畜産会. 東京.
2. National Research Council (NRC) 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th Revised Edition. National Academy of Sciences. Washington DC.
3. Mertens, D. R. 1997. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. J. Dairy Sci. 80: 1463-1481.
4. Sudweeks, E. M. Ely, L. O. Mertens, D. R. Sick, L. R. 1981. Assessing minimum amounts and form of roughages in ruminant diets: Roughage value index system. J. Anim. Sci. 53: 1406-1411.
5. Zebeli, Q. Aschenbach, J. R., Tafaj, M. Boguhn, J. Ametaj, B. N. Drochner, W. 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. J. Dairy Sci., 95: 1041-1056.

Feeding for livestock based on the feed ingredients

Osamu Enishi

NARO Institute of Livestock and Grassland Science
Animal Physiology and Nutrition Research Division
(2 Ikenodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-0901 Japan)