

# 乳牛のタンパク栄養，英国の新飼養標準から

北大農学部 朝日田 康 司

いわゆる牛乳の計画生産時代を迎え，高能力乳牛およびその飼養技術に対する関心が世界的に高まってきた。

ヨーロッパ諸国でも，1乳期7,000kg台の泌乳能力の乳牛が今後の酪農を担うものとみている<sup>1)2)</sup>。このような高生産を行うためには，従来の粗飼料を主体とする給与体系では到底達成し得ないことが強調されている。

一方，反芻家畜におけるタンパク質代謝の研究が進展しており，1979年，飼料タンパク質の評価法として，DCPに代る方式が提案され論議された<sup>3)</sup>。1980年に公表された英国の新しい飼料標準<sup>4)</sup>もこの方式を採用するところとなっている。

わが国でも今後，飼料の配合設計に際し，タンパク補給飼料の内容について論議を呼ぶものと思われる。

本稿では，英国の新飼養標準に記載されているタンパク要求量について概説する。

## 1 飼料タンパク (CP) はRDPとUDPに分けられる

飼料中のN化合物(粗タンパク質)は，摂取された後，ルーメン内で発酵分解されたもののうち微生物の体タンパクに合成される部分と，ルーメン内で分解されない部分とに分かれる。両タンパク部分とも，小腸に流下して消化・吸収され，最終的に家畜に利用される。この両タンパクの量でもって飼料タンパクの栄養価を査定しようというのが，新しく提案された分式である。

ルーメン内で生成したアンモニアは，ルーメン内微生物の活動を高く保つために必要である。しかし過剰のアンモニアはそのまま吸収，排泄され無駄となる。DCP方式では，この無駄となった粗タンパク部分も，家畜に消化・吸収・利用されたときとみなしていることはいうまでもない。

表1は，英国の新飼養標準の搾乳牛のタンパク要求量を示したものである。表にみるように，タンパク要求量は，RDP (Rumen degradable protein, ルーメン内分解タンパク) とUDP (Undegraded protein, ルーメン内で分解を免れるタンパク) の合計 (CP) で与えられている。CPに対するRDPの比をdegradability (dgと略される)と呼んでいる。dg値が低く，ルーメン内微生物に必要なN源が不十分な場合には，繊維質飼料，粗飼料に対し濃厚飼料が高比率な飼料，粒度の細かい飼料のルーメン内消化がいちぢるしく減退する。さらに，これらの飼料の摂食量も減ることとなる。

表1 搾乳牛 (British Friesian, 体重600kg, 乳脂率3.68%牛乳生産) のタンパク要求量 (ARC, 1980)

体重変化	ME/GE (q)	タンパクの区分 <sup>1)</sup>	乳 量 (kg/日)					
			5	10	15	20	30	40
0	0.5	RDP	650	855	1,065	1,275	—	—
		UDP	—	25	145	265	—	—
	0.6	RDP	620	815	1,010	1,210	1,615	—
		UDP	—	65	190	320	565	—
	0.7	RDP	590	770	960	1,145	1,535	1,930
		UDP	—	95	235	370	630	885
-0.5 kg/日	0.5	RDP	505	710	915	1,125	—	—
		UDP	—	40	160	280	—	—
	0.6	RDP	480	670	865	1,065	1,465	1,880
		UDP	—	70	200	330	575	820
	0.7	RDP	455	640	825	1,010	1,390	1,785
		UDP	—	95	235	370	640	895
+0.5 kg/日	0.5	RDP	840	1,045	1,260	1,470	—	—
		UDP	—	20	135	250	—	—
	0.6	RDP	795	990	1,190	1,395	1,805	—
		UDP	—	65	190	315	555	—
	0.7	RDP	755	940	1,130	1,320	1,715	—
		UDP	—	105	240	370	630	—

RDP: Rumen-degradable protein  
UDP: Undegraded protein

単味の濃厚飼料をdg価で分類すると、表2のようになる。この表はin vivo で得られた既往の成績を参考にしてまとめたものである(RDPをin vitro で推測する方法については、OWENS<sup>5)</sup>の綜説がある)。

表2 各種飼料タンパクのルーメン内における分解割合(dg)(ARC, 1980)

dg	粗飼料	穀類	タンパク質飼料
0.71~0.90	乾草(イネ科, マメ科) 草サイレージ(イネ科) 人工乾草(イネ科, 細切) (スウェーデンカブ)*	大麦, (小麦)	カゼイン, 小麦グルテン, 落花生カス, ヒマワリカス 大豆カス(非加熱) ナタネカス 酵母
0.51~0.70	生草(イネ科, マメ科) 人工乾草(イネ科, 粉碎, ベレット) " (マメ科, 細切) (トウモロコシサイレージ)* (草サイレージ, クローバ)*	トウモロコシ	大豆カス(加熱) ルービンカス ヤシカス 魚粉(白) (綿実カス)* (ヒマワリ種実)*
0.31~0.50	人工乾草(マメ科, 粉碎, ベレット)	マイロ	ツェイン カゼイン(ホルマリン処理) 魚粉(ニシン, ペルー産イワシ) (肉粉)*
<0.31	草サイレージ(ホルマリン処理) 人工乾草(イガマメ, 細切)		(魚粉, ペルー産)*

\* カッコ内はナイロンバッグ法で測定

## 2 タンパク要求量と給与量の決定

表1に示されているタンパク要求量は、①ルーメン内で合成された微生物タンパクの量で十分であれば、RDPのみ、②微生物タンパク量だけでは、家畜のタンパク要求量に不足を生じる場合は、不足分をUDPで供給することになる。

以上は、次の式で求められる(根拠は後述)。ただし、ここではタンパク(P)の代りにNで行う。

$$RDNの必要量(g/日) = 125ME \dots\dots\dots(1)$$

MEは代謝エネルギー(MJ/日)

$$RDNから動物の組織に供給されるN量(N supplied to the tissues by microbial synthesis from RDN, TMN, g/日) = 0.53ME \dots\dots\dots(2)$$

全N必要量(total tissue N, TN) > TMNの場合にはUDNが必要となり、

$$UDN必要量(g/日) = 1.91TN - 1.00ME \dots\dots(3)$$

以下、これらの式を順を追って詳細にみることにする。

(1)式について、

ルーメン内微生物が自らを維持しかつ増殖(微生物タンパクを合成)するには、エネルギーの供給が

なければならない。

このエネルギー源は、微生物がルーメン内で有機物を発酵分解して揮発性脂肪酸、メタン、二酸化炭素を生ずるときに得られる自由エネルギー

である。従って、その自由エネルギー量は、ルーメン内での有機物の見かけの可消化物を尺度とすることができる。既往の成績から、各種飼料の見かけの消化率は、反芻家畜では平均65%と見積られる。また、見かけの可消化有機物(D<sub>o</sub>) 1kg

は19.0MJ DEであり、このうち18%はメタンや尿中に失われることもわかっている。さらに、D<sub>o</sub> 1kgから生産される微生物Nの量は、既往の成績から平均30gと推定されている。今のところ、RDNの微生物Nへの見かけの転換効率(100%とみられている(尿素などのNPNの効率は80%))。したがって、RDN必要量を給与MEから求めると、

$$RDN必要量(g/日) = ME \times \frac{1}{0.82 \times 19.0} \times 0.65 \times 30 = 1.252ME \approx 1.25ME$$

(2)式について、

(1)式で求めたRDN量が供給するTMN量は、次の要素で定まる。すなわち、RDN中のアミノ酸の割合、微生物タンパクのアミノ酸が小腸で吸収される割合(見かけの)、吸収されたアミノ酸の利用効率である。これらの平均値は、既往の成績から、それぞれ0.8, 0.7, 0.75と推定される。したがって、

$$\begin{aligned} \text{TMN}(\text{g}/\text{日}) &= \text{RDN}(\text{g}/\text{日}) \times 0.8 \times 0.7 \times 0.75 \\ &= \text{RDN} \times 4.2 \\ &= (1.25 \text{ ME}) \times 0.42 \\ &= 0.526 \approx 0.53 \text{ ME} \end{aligned}$$

(3)式について、

$$\begin{aligned} \text{UDN}(\text{g}/\text{日}) &= (\text{TN} - \text{TMN}) / (\text{小腸でのアミノ酸の見かけの吸収率}) \times (\text{吸収アミノ酸の利用効率}) \\ &\text{であるから、分母に(2)式で用いた値を用いると、} \\ \text{UDN}(\text{g}/\text{日}) &= (\text{TN} - 0.526 \text{ ME}) / (0.7 \times 0.75) \\ &= 1.91 \text{ TN} - 1.00 \text{ ME} \end{aligned}$$

以上から、全N要求量は、UDN要求量がゼロでないとするば、

$$\begin{aligned} 1.25 \text{ ME} + 1.91 \text{ TN} - 1.00 \text{ ME} \\ = 0.25 \text{ ME} + 1.91 \text{ TN} \end{aligned}$$

となる。

(1), (2), (3)式はNで計算したが、これをタンパク質に換算すると、

$$\text{RDP要求量}(\text{g}/\text{日}) = 7.8 \text{ ME} \quad (4)$$

$$\text{TMP}(\text{g}/\text{日}) = 3.3 \text{ ME} \quad (5)$$

$$\text{UDP要求量}(\text{g}/\text{日}) = 1.91(6.25 \text{ TN}) - 6.25 \text{ ME} \quad (6)$$

$$\text{CP要求量}(\text{g}/\text{日}) = \text{RDP} + \text{UDP} \quad (7)$$

$$\text{dg} = \text{RDP} / \text{CP} \quad (8)$$

ここで、体重600kg、乳脂率3.68%牛乳を1日当り30kg生産する乳牛のタンパク要求量を求めてみよう。

$$\text{(前提) 給与飼料のME含量}(\text{MJ}/\text{kgDM}) \quad 11.0$$

(この飼料は  $\text{g} = \text{ME}/\text{GE} = 0.6$  に相当)

$$\text{ME要求量}(\text{MJ}/\text{日}) \quad 207$$

したがって、

$$\text{乾物摂取量}(\text{kg}/\text{日}) = 207 / 11 \quad 18.82$$

$$\text{D}_0 \text{ 摂取量} = \text{ME} / (19.0 \times 0.82) \quad 13.29$$

RDN要求量

$$\text{ルーメンにおけるD}_0 \text{ (kg}/\text{日}) = 13.29 \times 0.65 \quad 8.65$$

$$\text{微生物N産生}(\text{g}/\text{日}, \text{RDN}) = 8.64 \times 30 \quad 259$$

TMN

$$\text{菌体のアミノ酸N}(\text{g}/\text{日}, \text{TMN}) = 259 \times 0.80 \quad 207$$

$$\text{小腸での吸収アミノ酸N}(\text{g}/\text{日}) = 207 \times 0.70 \quad 145$$

$$\text{蓄積N}(\text{g}/\text{日}, \text{TMN}) = 145 \times 0.75 \quad 109$$

TN要求量(ARC標準で、別に示されている)

$$\text{牛乳中N}(\text{g}/\text{日}) = 4.8 \text{ g} \times 30 \quad 144$$

$$\text{内因性尿中N}(\text{g}/\text{日}) \quad 10$$

$$\text{被毛とフケのN} \quad 2$$

計 156

$$\text{TMNで賄えないTN} = 156 - 109 \quad 47$$

UDN要求量

$$\text{見かけの吸収アミノ酸N要求量}(\text{g}/\text{日}) = 47 / 0.75 \quad 63$$

$$\text{UDN要求量}(\text{g}/\text{日}) = 63 / 0.70 \quad 90$$

全N要求量(g/日) = RDN要求量 + UDN要求量

$$= 259 + 90 \quad 349$$

$$\text{飼料タンパク含量}(\text{g}/\text{kgDM}) = (349 \times 6.25) / 18.82 \quad 116$$

以上をタンパク質に換算すると、

$$\text{(4)式から, RDP要求量}(\text{g}/\text{日}) \quad 1,615$$

$$\text{(6)式から, UDP要求量}(\text{g}/\text{日}) \quad 569$$

$$\text{(7)式から, CP要求量}(\text{g}/\text{日}) \quad 2,184$$

$$\text{(8)式から, この飼料の dg 価} \quad 0.74$$

となり、表1の数値とはほぼ合致する。

次に、手持ちの飼料が、乾草、サイレージ、圧べん大麦、トウモロコシ、大豆カスであるとして、要求量を満たすための飼料の給与量を求めてみよう。

手持ち飼料の組成は次の通りである。

	DM (g/kg)	ME (MJ/kgDM)	RDP (g/kgDM)	UDP (g/kgDM)	dg
乾草	850	8.4	68	17	0.80
草サイレージ	200	10.2	136	34	0.80
大麦	860	13.7	86	22	0.80
トウモロコシ	900	15.0	66	44	0.60
大豆カス	900	12.3	302	201	0.60

したがって、次のように配合給与すればよい。

	DM(kg)	ME(MJ)	RDP(g)	UDP(g)	dg
乾草	7.5	63	510	128	
草サイレージ	3.2	33	435	109	
大麦	3.2	44	275	70	
トウモロコシ	4.1	62	271	180	
大豆カス	0.41	5	124	82	
	18.41	207	1,615	569	0.74

配合に際しては、一般にまず、大豆カスのようなタンパク質補給飼料を除いた基礎飼料の給与量をきめる。ついで、UDP要求量を満たすためのタンパク質補給飼料の量をきめるようにする。配合を決定した飼料がME要求量に合致しなかったり、採食可能量を超える場合には、基礎飼料の配合割合を変え、タンパク質補給飼料を再調整する。

乳量が30kgの乳牛では、極端に低いdg価の単味飼料を配合しない限り、RDPが過剰になることはな

いから、尿素を使用することは考えられない。すなわち、例にみたような全飼料のdg価を0.74にするためには、トウモロコシや大豆カスのようなdg価の低い飼料を用いることが肝要である。図1にみるように、dg価の高い単味飼料を用いて、全飼料のdg価が0.8となるような場合には、30kgの乳を生産する牛のUDP要求量を満たすには、CP 150g/kgDMのようにCP含量を高めた飼料を給与しなければならないことになる。すなわち、dg価の高いほど、CP含量を高くしなければならないのである。

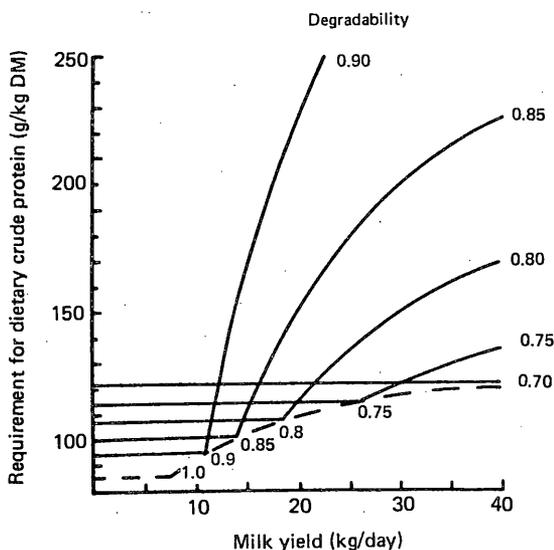


図1  $q = 0.6 \equiv 11 \text{ MJ ME/kg DM}$ の飼料を与えられている牛(体重600kg)の飼料タンパク含量、牛乳生産、dg価の関係(ARC, 1980)

RDPのみが不足する場合にのみ、尿素のようなNDNを用いるようにする。尿素の微生物体Nへの転換効率は約80%であり、尿素1g中のNは0.46gであるから、用いる尿素的量(g/日)は、RDPの不足量/( $0.46 \times 6.25 \times 0.8$ )とする。

MAJDOUBらは、低溶解性(低dgに相当)の濃厚飼料給与の乳牛は高溶解性給与乳牛より産乳量が高く、溶解性タンパク摂取量と乳タンパク生産との間に有意な負の相関を認めている。同氏は、飼料タンパクの溶解性を考慮することにより、飼料タンパクの所要給与量を削減でき、生産費の引下げが可能といっている。また、天然単味飼料を配合する際は、

低溶解性タンパク含量のものの方が乳生産効率が高いようであるとしている。

### 3 全飼料中CP含量

図1は、乳牛の場合であるが、発育中の牛に対する飼料中CP含量も、dg価によって異ってくる。この関係をみたのが図2である。

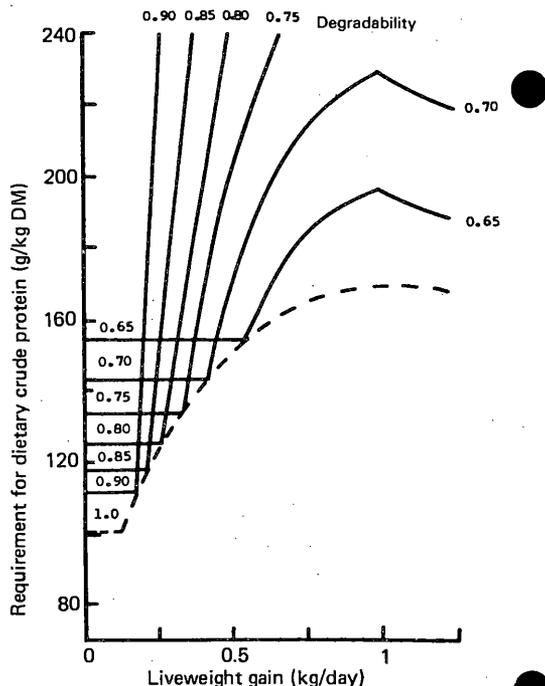


図2  $q = 0.7 \equiv 13 \text{ MJ ME/kg DM}$ の飼料を与えられている雄子牛(体重100kg)の飼料タンパク含量、増体量、dg価の関係(ARC, 1980)

例えば、日増体0.75kgを達成するには、dg 0.61の飼料ではCP 16.5%で十分である。しかし、dg 0.70の飼料では、UDP要求量を供給するためには21.5%のCPが必要となってくる。

表3に、飼料中CP含量の例を挙げておく。ちなみに、表にみるように発育中の牛では、体重300kg以上になると、UDP要求量がゼロとなり、RDPのみで十分な発育成績を納めることができる。

表3  $q=0.60 \equiv 11MJ ME/kg$ の飼料給与時のタンパク要求量(ARC, 1980)

	体 重 (kg)	乾物摂取量 (kg)	RDP (g)	UDP (g)	CP (g) (g/kgDM)	
維 持	100	1.5	125	0	156	} 107
	200	2.4	201	0	251	
	300	3.1	264	0	332	
	400	3.8	324	0	405	
増 体 (1kg/日)	100	3.2	271	141	412	125
	200	4.7	401	40	501	} 107
	300	6.1	519	0	649	
	400	7.3	628	0	785	
牛乳生産 (脂肪率3.68%)	600					
	維持	5.6	428	0	535	} 107
	維持+牛乳10kg	9.5	813	63	1,016	
維持+牛乳30kg	18.8	1,616	565	2,181	116	

おわりに

家畜のタンパク栄養は、エネルギー栄養と無縁ではない。表1, 3, 図1, 2ともに飼料のエネルギー含量が規定されている。エネルギー栄養に関する研究の進展もいちぢるしいものがあり、新標準の中にもくわしく綜説されている。

本稿は、飼料タンパクの新しい評価法を中心に概説したが、これに関連した多くの原著論文にはほとんど触れなかった。また、引用した表や図も、いわば抜すいである。詳細な表や図が新標準に多数示されていることをつけ加えておく。

## 文 献

- 1) BROSTER, W. H. & ALDERMAN, G. (1977) Livst. Prod. Sci., 4: 263-275.
- 2) BROSTER, W. H. (1979) In: Feeding Strategy for the High Yielding Dairy Cow (ed. W. H. BROSTER & H. SWAN), pp 411~425. Granada Publ. (EAAP Publ. no. 25)
- 3) Proc. 2nd Int. Symp. on Protein Metabolism and Nutrition, held at Flevohof, the Netherlands, 1977.
- 4) Agricultural Research Council (1980) The Nutrient Requirements of Ruminant Livestock. C. A. B.
- 5) OWENS, F. N. (1978) Feedstuffs, 50(28):23.
- 6) MAJDOUB, A., LANE, G. T. & AITCHISON, T. E. (1978) J. Dairy Sci., 61:59-65.