

第11章

# 飼料価値の 評価

第1節 消化率

第2節 蛋白質・アミノ酸の評価法

第3節 エネルギーの評価法

第4節 飼養標準

広義の意味の飼料価値は、給与しようとする飼料の栄養価、嗜好性、採食性（自由摂取量）、取り扱いの難易、貯蔵性・保存性、経済性、さらに最終的には家畜による生産性などを総合的に評価したときの価値を表している。栄養価は高いが嗜好性が悪く自由摂取量が低い、安価であるが変敗しやすく保存性が悪いといった場合、その飼料をどのような割合でどういった飼料と組み合わせ、どのステージの乳牛に給与するのか、などによって飼料の価値は異なってくる。反芻家畜に対する粗飼料の飼料価値を評価する場合には、ルーメン内における飼料片の物理性が反芻誘発機能に影響を及ぼし、粒度の微細化、通過および消化に関連し、結果的には自由摂取量の制限要因となる。粗飼料を評価するうえで、その自由摂取量の把握は絶対不可欠であり、自由摂取量は養分摂取量と言い換えることができ、家畜体内での栄養素の利用効率や蓄積率よりも重要な評価項目といえる。

一方狭義の意味の飼料価値は、飼料の栄養価と同義で用いられる場合が多い。家畜は栄養分を飼料から摂取するが、維持、成長、増体、生産などに必要な養分要求量を把握して、それに見合った飼料を効率よく給与するためには、飼料から供給される栄養分の評価、すなわち栄養価の把握が必須となる。飼料中の栄養素含量は化学成分分析によって測定されるが、その値は家畜に利用され得る可能性を示すものであり、栄養素の利用を約束するものではない。飼料中栄養素の利用性や生産性は、家畜に摂取された後の消化、吸収、代謝によって決まるものであり、その評価が家畜の飼養管理にとって非常に重要である。

## 第1節 消化率

家畜が摂取した飼料は、そのすべてが消化吸收されて利用されるとはかぎらず、未消化のものは糞中に排泄される。そのため、飼料の栄養価を表示する場合には消化され得る成分量（可消化成分量）を把握する必要がある。飼料中の各成分が消化吸收される割合である消化率をまず測定しなければならない。ただし、ミネラルは吸収後消化管内への排出量が多いため消化率を求めても栄養価を適切に評価できないので、通常、消化率は飼料乾物中の粗灰分以外の成分について求める。

### 1. 消化率の算出

消化率は摂取した飼料の成分量から消化吸收されずに糞中に排泄された成分量を差し引いた量（可消化成分量）の、摂取量に対する割合として次式により算出される。

$$\text{消化率(\%)} = \frac{\text{摂取成分量} - \text{糞中排泄成分量}}{\text{摂取成分量}} \times 100$$

糞中に排泄される成分量には、摂取した飼料由来の不消化成分だけでなく、消化の過程で分泌される消化液や、消化管組織の剥離細胞、消化管内微生物など、内因性の代謝性糞産物が含まれている。したがって、代謝性糞産物を考慮していないこの消化率を“見かけの消化率”とよび、通常は消化率といえば見かけの消化率を指す。一方、内因性の代謝性糞産物量を差し引いて算出される消化率を“真の消化率”とよび、次式により算出される。代謝性糞産物の量は、一般に摂取した飼料の乾物量に比例するとされており、例えば代謝性糞窒素量は、反芻家畜の場合乾物摂取量 1 kg 当たり約 5.3g と見積もられている。

$$\text{真の消化率(\%)} = \frac{\text{摂取成分量} - (\text{糞中排泄成分量} - \text{代謝性糞産物量})}{\text{摂取成分量}} \times 100$$

消化率は飼料の栄養価を評価する指標の一つではあるが、その使用にはいくつか注意が必要である。上記の代謝性糞産物もその一つであるが、反芻家畜の場合、摂取された飼料の炭水化物の一部はルーメン内で微生物発酵を受け、メタンとしてあい気により経口的に失われるため、この損失は飼料の可消化炭水化物と可消化エネルギーの含量を過大に見積もる原因となる。また摂取された粗蛋白質の一部はルーメン内でアンモニアに分解され、その一部はルーメン壁より吸収されるが、さらにその一部はまったく利用されずに尿中に排泄され、これは蛋白質の過大評価につながる。すなわち消化率とは、あくまで糞中に排泄されなかった割合であり、メタンエネルギーや尿中窒素といった飼料成分の損失を考慮していないこと、「消化率 ≠ 利用率」であることを十分に理解したうえで使用しなければならない。

## 2. 消化率の測定法

消化率を求める試験のことを消化試験とよぶ。消化試験には、直接家畜を用いる方法と、家畜を用いず実験室での化学分析のみで行う方法、ルーメン内のみで測定する方法、あるいはルーメン内容液を用いて実験室で行う方法などがある。

### (1) 全糞採取法

糞の全量を採取する方法を全糞採取法とよび、消化試験期間中、家畜を糞尿分離可能な代謝ケージなどで飼養し、排泄された糞を尿と分離して一定期間採取する。毎日の飼料摂取量と排糞量を測定し、採取した飼料と糞は乾燥後に成分分析を行なって消化率を算出する。消化管内容物が完全に入れ替わって消化試験以前に採食していた飼料の影響をなくするため、また供試飼料や飼養環境に慣れさせるため、反芻家畜では 10～14 日間程度、予備飼育する必要がある。消化試験の全期間を通して供試飼料のみを給与して行う直接法と、濃厚飼料や栄養成分が偏った粗飼料などのように供試飼料のみを単独で給与できない場合、

基礎飼料に一定量の供試飼料を混合給与して行う間接法がある。

$$\text{直接法による消化率(\%)} = \frac{\text{飼料摂取量} \times \text{成分含量} - \text{全糞量} \times \text{成分含量}}{\text{飼料摂取量} \times \text{成分含量}} \times 100$$

$$\text{間接法による消化率(\%)} = \frac{\text{混合飼料摂取成分量} - \text{基礎飼料摂取成分量} - (\text{全糞量中の成分量} - \text{基礎飼料由来の糞成分量})}{\text{混合飼料摂取成分量} - \text{基礎飼料摂取成分量}} \times 100$$

## (2) 指示物質（インデックス）法

家畜の消化管で消化されず、飼料と同じ速度で消化管を通過し、家畜に害を及ぼさない指示物質を均一に混合した飼料を給与して、糞の一部を採取する方法を指示物質法とよぶ。飼料中の指示物質および成分含量と、糞中の指示物質および成分含量から間接的に消化率を求める方法であり、代謝ケージなどの設備を用いず、糞を全量採取する労力も軽減できる。指示物質には通常飼料中に含まれていない外部マーカと飼料中の不消化成分とされている内部マーカがあり、外部マーカとしては酸化クロム、希土類元素、ポリエチレングリコール、内部マーカとしては酸不溶性灰分（AIA）、酸性デタージェントリグニン（ADL）、酸性デタージェント不溶性灰分（ADIA）などが用いられる。

$$\text{消化率(\%)} = \left( 1 - \frac{\text{飼料中指示物質含量}}{\text{糞中指示物質含量}} \times \frac{\text{糞中成分含量}}{\text{飼料中成分含量}} \right) \times 100$$

## (3) 人工消化試験法

家畜の糞を採取するのではなく、消化管の化学的消化過程を実験室で模倣し、市販の消化酵素やルーメン内容液で供試飼料を培養して、一定期間中の成分消失量から消化率を推定する方法を人工消化試験法と呼ぶ。人工消化試験法は、代謝ケージなどの大がかりな試験装置を必要とせず、短期間で多くの試料の消化率を測定できる利点がある。

### 1) 酵素法

市販の消化酵素製剤を用いて人工消化液を調製し、この液内で供試試料を培養して一定期間の成分消失量を測定する。脂肪、デンプン、セルロース、蛋白質といった飼料成分に対する、それぞれの特異的消化酵素であるリパーゼ、ジアスターゼ、セルラーゼ、ペプシンなどで供試試料中の各成分を分解させて消化率を求める。

### 2) 人工ルーメン法

*in vitro*法ともよばれ、ルーメンカニューレを装着した家畜からルーメン内容液を採取して人工唾液と混合し、嫌氣的条件下で供試試料を24～48時間培養して成分消失量を測定する。反芻家畜の消化管全体における消化率が、ルーメン内での消化率に近似しているという前提で、乾物およびセルロースやヘミセルロースといった繊維成分の消化率測定に用いられる。

### 3) ナイロンバッグ法

*in situ*法、*in sacco*法、あるいは*Dacron bag*法ともよばれ、細切や粉碎した供試試料をナイロンバッグに入れ、ルーメンフィステルからルーメン内に挿入して24～48時間培養後に取り出し、その間の成分消失量を測定する。ナイロンバッグ法による乾物、粗蛋白質、可溶無窒素物および繊維成分の消化率は消化管全体の消化率と高い相関関係にあるとされており、粗飼料の場合は乾物や有機物の消化の約65%がルーメン内で行われる。ただし、家畜間の変動が比較的大きいので、同じ家畜で反復をとるのではなく、複数の家畜を用いて消化率を測定するほうがよい。

## 3. 消化率に影響する要因

### (1) 家畜の種類

反芻家畜、単胃家畜と家禽とでは消化管の構造が異なることから、飼料成分の消化率は家畜種によって大きく異なる。粗蛋白質、粗脂肪、可溶無窒素物、粗繊維の消化率のうち家畜種間で消化率の差がとくに大きいのは可溶無窒素物と粗繊維の炭水化物であり、反芻家畜では粗繊維含量の多い飼料をよく消化することができるが、豚や鶏では反芻家畜より消化率が低く、こうした消化率の差が栄養価に大きく反映される(表11-1-1)。

炭水化物のなかではデンプンより繊維成分の消化率に家畜種間の差が大きく表れる。繊維成分の消化は、反芻家畜ではルーメンで、馬や兎など反芻家畜以外の草食家畜では盲結腸で、雑食性の豚でも盲結腸でおもに行われる。牧草中の繊維成分消化率を牛と馬で比較した場合、一般的には牛のほうが馬より高く、繊維成分の消化性が低いほど、その差は大きくなるとされている。また、同じ反芻家畜でも牛、山羊、羊で消化率は異なり、同一の

表11-1-1 牛、豚、鶏による消化率と栄養価の比較

家畜種	消化率				栄養価		
	粗蛋白質	粗脂肪	可溶無窒素物	粗繊維	TDN	DE	ME
	%				%DM	Mcal/kgDM	
シロクローバ(開花前)							
牛	74	59	82	64	71.8	3.17	2.71
豚	55	32	74	44	55.8	2.46	—
鶏	64	27	34	7	35.7	—	1.47
トウモロコシ							
牛	78	88	91	50	92.3	4.07	3.57
豚	80	84	93	45	93.7	4.13	—
鶏	85	94	88	0	90.1	—	3.78
大豆粕							
牛	92	84	94	74	86.8	3.83	3.34
豚	88	79	83	67	80.3	3.54	—
鶏	85	87	60	13	68.1	—	2.71

TDN: 可消化養分総量、DE: 可消化エネルギー、ME: 代謝エネルギー (日本標準飼料成分表 2001年版一部抜粋)

家畜種でも品種間では、とくに粗飼料の消化能力が異なることから消化率に差が表れる。さらに、同一の家畜種でも消化器官の発達によって幼畜と成畜では飼料の消化率が異なる。

## (2) 飼料の影響

飼料の消化率は物理的性状や成分、摂取量などによって影響を受ける。穀類の粉碎や加熱圧ぺんといった加工処理は、一般的に牛による可溶無窒素物の消化率を高める。消化されやすい形のデンプンを $\alpha$ -デンプンとよぶが、穀類デンプンの加熱による $\alpha$ -化の程度によってもデンプン消化率は異なる。また、加熱によって褐変反応（メイラード反応）が起こると蛋白質の消化率は低下する。

飼料中のデンプン含量、蛋白質含量や脂肪含量は、ほかの飼料成分の消化率に影響を及ぼす場合がある。反芻家畜にデンプンのような容易に消化される炭水化物を多く給与するとルーメン内微生物の活動が活発化し、乳酸やVFA生成量が増加してルーメン内pHが低下するため、その後のルーメン発酵が阻害されて繊維成分消化率が低下する。また蛋白質含量が低い場合、その見かけの消化率が低くなるが、同時にルーメン内微生物の増殖が停滞し、繊維分解菌の活性低下によって繊維成分消化率が低下する場合もある。さらに、飼料中の脂肪含量が7%以上と高い場合、ルーメン内の繊維分解菌の活性が脂肪によって阻害され（第5章第3節参照）、繊維成分消化率が低下することも知られている。

同一の飼料を給与しても、摂取量が増加すると飼料の消化率が低下する場合があります。消化率に及ぼす摂取量の影響は、ほかの家畜より反芻家畜で顕著である。これは、飼料摂取量が増加するほど消化管内における飼料の通過速度が速くなり、消化管での微生物による分解時間や酵素消化の時間が短くなるためである。

## 第2節 蛋白質・アミノ酸の評価法

### 1. 蛋白質の評価法

#### (1) 粗蛋白質（CP）と可消化粗蛋白質（DCP）

粗蛋白質（Crude Protein：CP）はケルダール法によって飼料中の窒素含量を測定し、これに6.25を乗じて求める。これは、飼料中の窒素は蛋白質の形で存在し、かつ飼料蛋白質には約16%の窒素が含まれているためであり、16%の逆数（ $100/16=6.25$ ）を変換係数として用いる（第1章参照）。可消化粗蛋白質（Digestible crude protein：DCP）は、CP含量にCP消化率を乗じて算出する。

CPは飼料蛋白質の最も単純な評価法であるが、消化吸収される量を考慮していない。DCPは消化吸収量を示しているが、消化の過程で分泌される消化液や、消化管組織の剥

離細胞、消化管内微生物などに由来する代謝性糞中窒素の影響を受け、飼料中CP含量によって大きく変動する。CP、DCPともに窒素含量から算出することから、蛋白質以外の形で存在する窒素（非蛋白態窒素化合物）を含むため、蛋白質の過大評価となる場合がある。牧草やサイレージ、未熟な根菜類には、非蛋白態窒素化合物が多く含まれている。また実際の蛋白質中の窒素含量は、飼料によって異なっている。DCPの代わりに可消化純蛋白質（Digestible true protein : DTP）を用いることがあるが、反芻家畜では飼料中の非蛋白態窒素化合物がルーメン内で微生物体蛋白質に転換されて利用できるため、DTPを用いると実際は利用可能な蛋白質が過小評価される場合がある。

青刈り牧草やサイレージには可溶性蛋白質や分解速度の速い蛋白質が多く含まれているため、ルーメン内微生物によって分解され生成したアンモニアが過剰になってルーメン壁から吸収され、まったく利用されずに尿中に排泄される割合が50～70%にもなる場合がある。DCPはこうした尿中への排泄による損失を考慮しておらず、蛋白質の過大評価につながり、また既述のように飼料中CP含量の影響を大きく受けるため、蛋白質の評価方法としての意義が薄れ、DCPよりもCPを優先して利用されることが多い。

## (2) 生物価 (BV) と正味蛋白質利用率 (NPU)

生物価 (Biological value : BV) は吸収された窒素のうち、体内に蓄積された窒素の割合を示したものである。家畜体内の蛋白質は分解と合成を常に繰り返す動的な状態にあるが、摂取された蛋白質のアミノ酸組成が良質でない場合、分解されて尿中に排泄される。したがって、体内に蓄積された窒素量を測定することにより、蛋白質の評価ができると考えられ、提案された評価方法である。

摂取された蛋白質はアミノ酸に分解されて吸収されるが、すべての蛋白質が吸収されるわけではなく、吸収されなかった部分が糞中に排泄される。体内に蓄積された窒素は、吸収窒素から尿中に排泄された窒素を差し引いて求める。糞中窒素には消化液や消化管粘膜、消化管内微生物に由来する代謝性糞中窒素が含まれているが、尿中窒素にも体蛋白質の分解に由来する内因性の窒素が含まれている。代謝性糞中窒素と内因性尿中窒素は、蛋白質が含まれていない飼料を給与して窒素出納試験を行うことによって測定される。

$$\begin{aligned} \text{生物価}(\%) &= \frac{\text{蓄積窒素量}}{\text{吸収窒素量}} \times 100 \\ &= \frac{\text{摂取窒素} - (\text{糞中窒素} - \text{代謝性糞中窒素}) - (\text{尿中窒素} - \text{内因性尿中窒素})}{\text{摂取窒素} - (\text{糞中窒素} - \text{代謝性糞中窒素})} \times 100 \end{aligned}$$

生物価は体内に吸収された窒素の利用効率であるが、各種飼料の蛋白質を比較しようとするときには、摂取窒素の利用効率のほうが実用性は高い。摂取された窒素のうち、体内に蓄積された窒素の割合を正味蛋白質利用率 (Net protein utilization : NPU) とよび、吸

収窒素量 = 摂取窒素量 × 消化率の関係から、生物価に蛋白質の真の消化率を乗じて求められる。さらに、飼料の蛋白質含量に正味蛋白質利用率を乗じて得られる正味蛋白質 (Net protein value : NPV) を用いる場合もある。

$$\text{正味蛋白質利用率(\%)} = \text{生物価} \times \text{真の蛋白質消化率}$$

## 2. アミノ酸の評価法

### (1) ケミカルスコア (CS)

蛋白質は最終的にはアミノ酸の形で吸収されるが、蛋白質の価値は吸収されるアミノ酸のなかでも必須アミノ酸の組成に依存し、また、必須アミノ酸のうち最も不足するアミノ酸に左右されると考えられている (第4章第1節参照)。このアミノ酸を制限アミノ酸とよび、供試蛋白質中の制限アミノ酸含量と、食品のなかで最も高い生物価を示す全卵蛋白質中の同じアミノ酸含量の比をパーセント表示したものをケミカルスコア (Chemical score : CS) という。DCPやBV、NPUでは動物実験を行わなければ蛋白質の評価ができないのに対し、ケミカルスコアではアミノ酸の分析値のみから評価できるが、最も不足する第1制限アミノ酸のみを対象とするため過小評価となってしまう。

$$\text{ケミカルスコア(\%)} = \frac{\text{供試蛋白質中の制限アミノ酸含量}}{\text{全卵蛋白質中の当該アミノ酸含量}} \times 100$$

### (2) 必須アミノ酸指数 (EAAI)

飼料蛋白質の価値を第1制限アミノ酸のみで評価したケミカルスコアに対し、必須アミノ酸指数 (Essential amino acid index : EAAI) は、すべての必須アミノ酸含量と全卵蛋白質中の当該アミノ酸含量との比率から蛋白質を評価する。飼料中の必須アミノ酸含量と全卵蛋白質中の同じアミノ酸含量の比率の百分率を幾何平均で表したものであり、次式で求められる。nは必須アミノ酸の数を示す。また、供試蛋白質中のアミノ酸含量が全卵蛋白質中の同一アミノ酸含量より大きいときは比率を100、まったく含まれないときは比率を1として計算する。必須アミノ酸指数は一般的にケミカルスコアより高い値となり、生物価に近似していることが多い。

$$\text{必須アミノ酸指数} = \left[ \frac{\text{供試蛋白質中リジン含量} \times 100}{\text{全卵中リジン含量}} \times \frac{\text{供試蛋白質中メチオニン含量} \times 100}{\text{全卵中メチオニン含量}} \times \frac{\text{供試蛋白質中n番目のアミノ酸含量} \times 100}{\text{全卵中n番目のアミノ酸含量}} \times \dots \right]^{1/n}$$



## 第3節 エネルギーの評価法

### 1. エネルギーの区分

#### (1) 総エネルギー (GE)

飼料がもつ化学的エネルギーで、酸素の存在下で物質が完全燃焼したときの熱量を総エネルギー (Gross energy : GE) という。ボンブ熱量計 (カロリメーター) で測定される燃焼熱で、断熱した容器内で飼料を完全燃焼させ、発生した熱量が水温の上昇から算出される (1 カロリーは1 気圧下で1 gの水を14.5℃から1℃上昇させるために必要な熱量)。飼料エネルギー量の単位としては、従来からカロリーが用いられてきているが、近年はジュール (Joule : J) の使用が推奨されつつある (1cal=4.184J)。

表11-3-1に種々の物質のGE含量を示した。飼料中の炭水化物、蛋白質および脂肪の平均GE含量は乾物1 g当たり4.1、5.6および9.4kcalであり、蛋白質は炭水化物よりエネルギー価が高く、脂肪では炭水化物の約2.5倍である。多くの飼料では炭水化物含量が高いため、脂肪含量やミネラル含量に大きな差がないかぎり、あまり大きな差はない。

表11-3-1 種々の物質の総エネルギー含量

飼料成分	kcal/gDM	飼料	kcal/gDM
グルコース	3.73	トウモロコシ	4.42
デンプン	4.23	エンバク	4.68
セルロース	4.18	エンバク稈	4.42
カゼイン	5.86	アマニ粕	5.11
乳脂肪	9.20	イネ科乾草	4.52
植物油脂	9.32	発酵産物	
動物組織		乳酸	3.63
筋肉	5.64	酢酸	3.49
体脂肪	9.39	プロピオン酸	4.97
乳	5.95	酪酸	5.95

(McDonaldら 2002改変)

#### (2) 可消化エネルギー (DE)

摂取した飼料エネルギーのうち消化吸收される部分で、GEから糞中に排泄されるエネルギーを差し引いたものを可消化エネルギー (Digestible energy : DE) という。糞中のエネルギーには代謝性糞エネルギーが含まれるので、消化率と同様に“見かけ”と“真”の値が存在するが、通常はDEといえば見かけのDEを指す。糞中に排泄されるエネルギーは家畜種や飼料の種類によって異なるが、摂取エネルギーの損失区分としては、その割合がもっとも大きい (表11-3-2)。

#### (3) 代謝エネルギー (ME)

DEから尿中に排泄されるエネルギーと可燃性発酵ガスとして排出されるエネルギーを差し引いたものを、代謝エネルギー (Metabolizable energy : ME) という。各種飼料の代謝エネルギー含量について表11-3-2に示した。尿中エネルギーとして排泄される化合物は、主に蛋白質や核酸の代謝産物である尿素、尿酸、馬尿酸、クレアチニンおよびアラントインといった窒素化合物と有機酸で、その量は飼料蛋白質の量や質によって変動する。

単胃家畜では発酵ガスによるエネルギーはわずかであるため通常は無視されるが、反芻家畜ではルーメン内で発生するメタンガスとしてのエネルギー損失が6～11%と大きいため、その分のエネルギーを差し引かなければならない。鳥類では糞と尿が総排泄腔から混合物として排泄されるため、飼料エネルギーの評価にMEが使われている。

表11-3-2 飼料の代謝エネルギー含量 (Mcal/kgDM)

動物	飼料	GE	エネルギー損失			ME
			糞	尿	メタン	
鶏	トウモロコシ	4.40	0.53 (12)	—	—	3.87 (88)
	小麦	4.33	0.67 (15)	—	—	3.66 (85)
	大麦	4.35	1.17 (27)	—	—	3.18 (73)
豚	トウモロコシ	4.52	0.38 ( 8)	0.10 ( 3)	—	4.04 (90)
	エンバク	4.64	1.31 (28)	0.14 ( 3)	—	3.18 (69)
	大麦	4.18	0.67 (16)	0.12 ( 3)	—	3.39 (81)
	ヤシ油粕	4.54	1.53 (34)	0.62 (14)	—	2.39 (52)
羊	大麦	4.42	0.72 (16)	0.14 ( 3)	0.48 (11)	3.08 (70)
	人工乾燥ライグラス(未熟)	4.66	0.81 (17)	0.36 ( 8)	0.38 ( 8)	3.11 (67)
	人工乾燥ライグラス(成熟)	4.54	1.70 (37)	0.14 ( 3)	0.33 ( 7)	2.37 (53)
	イネ科乾草(未熟)	4.30	1.29 (30)	0.22 ( 5)	0.36 ( 8)	2.43 (57)
	イネ科乾草(成熟)	4.28	1.82 (42)	0.12 ( 3)	0.33 ( 8)	2.01 (47)
	イネ科牧草サイレージ	4.54	1.20 (26)	0.22 ( 5)	0.36 ( 8)	2.76 (61)
牛	トウモロコシ	4.52	0.67 (15)	0.19 ( 4)	0.31 ( 7)	3.35 (74)
	大麦	4.37	0.98 (22)	0.19 ( 4)	0.26 ( 6)	2.94 (68)
	フスマ	4.54	1.43 (32)	0.24 ( 5)	0.33 ( 7)	2.54 (56)
	アルファルファ乾草	4.37	1.96 (45)	0.24 ( 5)	0.31 ( 7)	1.86 (43)

( ) 内の数値は摂取エネルギー (GE) に対する割合 (%) (McDonalds 2002改変)

#### (4) 正味エネルギー (NE)

MEから飼料摂取などに伴う熱量増加 (Heat increment : HI) を差し引いたものを、正味エネルギー (Net energy : NE) という。このエネルギー価は、生命維持の基礎的な仕事に用いられ、最終的に熱となるエネルギー (基礎代謝) と、成長に伴い蓄積された体成分や乳などの生産物をもつエネルギーを合わせたものであり、家畜が維持、成長、生産のために真に利用できるエネルギーである。熱量増加とは、飼料の咀嚼、消化液の分泌、消化吸収および代謝、消化管の運動、呼吸、排泄などに消費される熱量で、反芻家畜ではさらにルーメン内における飼料の発酵熱が加わり、動物が飼料摂取後、一時的に増加した熱発生量のことである。蛋白質摂取時の熱量増加は、尿素の合成や排泄のため炭水化物や脂肪摂取時よりも大きい。

飼料のエネルギーは、図11-3-1に示したように、維持と生産のためにMEが使われる。維持の代謝エネルギー (ME<sub>m</sub>) は維持の正味エネルギーと熱量増加、生産の代謝エネルギー (ME<sub>p</sub>) は生産の正味エネルギーと熱量増加にそれぞれ分けられる。熱量増加はエネルギー利用の目的によって異なるため、飼料の正味エネルギー価も維持 (NE<sub>m</sub> :

maintenance)、生産 (NEp : production)、さらに増体 (NEg : gain)、泌乳 (NEl : lactation) などの値でそれぞれ示される。

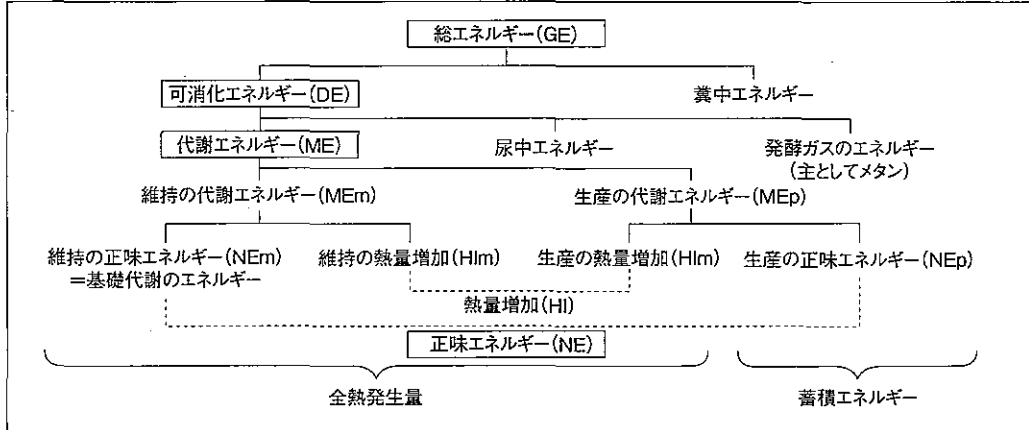


図11-3-1 エネルギーの区分

## 2. エネルギーの評価法

### (1) 可消化養分総量 (TDN)

飼料の一般成分 (粗蛋白質、粗脂肪、粗繊維、可溶無窒素物) 含量とそれぞれの成分の消化率から可消化4成分含量を求め、その総量によって栄養価を評価したものを可消化養分総量 (Total digestible nutrients : TDN) といい、次式によって算出する。この評価方法は、総エネルギーのうち最も損失の多い糞中への損失分を差し引いたもので、飼料成分量とその消化率が測定できれば容易にTDNを求めることができる。

$$TDN = \text{可消化粗蛋白質} + \text{可消化粗脂肪} \times 2.25 + \text{可消化粗繊維} + \text{可消化可溶無窒素物}$$

TDNの算出には人における生理的燃焼価を用いており、脂肪は炭水化物の2.25倍のエネルギーをもつとして脂肪の項に係数を乗ずる。蛋白質のもつエネルギーも炭水化物より大きい、ここでは尿中への排泄エネルギーを考慮して係数を1とし、炭水化物と同等としている。TDNは、飼料の可消化成分のエネルギーに基礎をおいており、尿、メタン、熱量増加としての損失を考慮していないので、一般的にこれらのエネルギー損失が濃厚飼料より大きい粗飼料において、その栄養価を過大評価することになる。

TDNは、飼料の栄養価を表す単位として、わが国では最も広く用いられており、飼料の化学成分分析値から推定する数式も公表されている。牧草および飼料作物共通の式として、Weiss (1992) による飼料成分の理論的真的可消化量を積み上げて維持量摂取時のTDNを算出する式がある。

$$\text{TDN} = \text{tdNFC} + \text{tdCP} + (\text{tdFA} \times 2.25) + \text{tdNDF} - 7$$

$$\text{tdNFC} = 0.98 \times [100 - \{(\text{NDF} - \text{NDICP}) + \text{CP} + \text{EE} + \text{Ash}\}]$$

$$\text{tdCP} = \text{CP} \times \exp(-1.2 \times \text{ADICP} / \text{CP})$$

$$\text{tdFA} = 0.94 \times (\text{EE} - 1) \times 2.8$$

$$\text{tdNDF} = 0.75 \times \{(\text{NDF} - \text{NDICP}) - \text{ADL}\} \times [1 - \{\text{ADL} / (\text{NDF} - \text{NDICP})\}^{0.667}]$$

これらの式はNFCと粗脂肪（EE）の利用性は一定であり、NDFおよびCPの利用性は、それぞれ酸性デタージェントリグニン（ADL）、中性デタージェント不溶性蛋白質（NDICP）および酸性デタージェント不溶性蛋白質（ADICP）の割合によって決定されるという考えに基づいている。これらの関係は、ほぼすべての飼料に共通するため、アメリカのNRC飼養標準（2001）では全面的にこの数式が採用され、飼料成分表に記載されているTDNの大部分は、この式を用いて算出された値である。

わが国でも、単一草種に限定したTDNの推定式が提案されている。ADFを用いるものと酵素法分画を用いるものがあるが、分析項目が少なくすむ利点がある。ただし、いずれの式においても草種間で栄養価を比較することには推奨できず、単播牧草のスクリーニングには有効であるといえる。

- 1) イタリアンライグラス(津留崎ら 1990):  $\text{TDN} = 0.49 \times (\text{OCC} + \text{Oa}) + 36.82$

- 2) オーチャードグラス(越野ら 1991):  $\text{TDN} = 99.2 - 1.24 \times \text{ADF}$

- 3) チモシー(越野ら 1991):  $\text{TDN} = 111.9 - 1.42 \times \text{ADF}$

- 4) アルファルファ(篠田 1992):  $\text{TDN} = 76.6 - 0.514 \times \text{ADF}$

- 5) トウモロコシサイレージ(名久井 1996):  $\text{TDN} = 89.89 - 0.752 \times \text{ADF}$

## (2) デンプン価 (SV)

ドイツのKellnerが提唱した飼料のエネルギー価を示す単位で、デンプンを基準として牛の体脂肪生産量に対する飼料エネルギーの効果を表したものをデンプン価（Starch value: SV）という。すなわち飼料1kgがもつエネルギーがデンプン何kgに相当するかを表したものであり、成牛に維持レベル以上の飼料を給与した場合の可消化デンプン1kgが体脂肪0.248kgを生産する関係から、飼料の可消化量1kgによって蓄積した体脂肪量（kg）を0.248で除して算出する。

## (3) 栄養比（率）(NR)

給与飼料のエネルギー含量と蛋白質含量とのバランスを重視することから生まれた栄養単位の一つで、エネルギー源となるTDNのうち、DCP以外のもののDCPに対する比として表したものを栄養比（率）(Nutritive ratio: NR)という。栄養比が4以下であれば「狭い」、8以上なら「広い」という。放牧草やサイレージなど、易分解性蛋白質の多い飼料では、栄養比が狭いとルーメン内における微生物体蛋白質の合成が十分行われず、飼料利

用性の低下にもつながる。

$$\text{栄養比} = \frac{\text{可消化養分総量} - \text{可消化粗蛋白質}}{\text{可消化粗蛋白質}}$$

#### (4) 飼料効率と飼料要求率

飼料摂取量と、生産量や増体量との関係を単純に表す評価方法として、飼料効率 (Feed efficiency) と飼料要求率 (Feed conversion rate) がある。飼料効率とは、家畜が摂取した飼料量に対する生産量や増体量の割合を表す。この値が大きいほど、飼料の栄養価は高いことになる。飼料効率の逆数が飼料要求率であり、生産量や増体量に対する飼料摂取量の割合、すなわち生産や増体に必要な飼料量を比率として表したものであり、この値が小さいほど飼料の栄養価は高いことになる。飼料要求率は肉畜生産の指標としてよく用いられるが、乳牛ではあまり用いられない。

$$\text{飼料効率} = \text{生産量 (増体量)} / \text{飼料摂取量}$$

$$\text{飼料要求率} = \text{飼料摂取量} / \text{生産量 (増体量)}$$

## 第4節 飼養標準

### 1. 飼養標準の役割

家畜が健康を保ちつつ正常な発育や繁殖をし、生産を効率よく行うためには、成長段階や成長速度、繁殖の状態、生産物の質や量などに応じて、エネルギー、蛋白質、ミネラルおよびビタミンを過不足なく摂取する必要がある。飼養標準は家畜の維持、成長、妊娠、泌乳、肥育などの生理・生産活動に必要な養分要求量を提示したものであり、さらに、その養分要求量を飼料から家畜に供給する際に配慮すべき事項も示されている。

飼養標準は飼料資源を有効かつ経済的に利用し、生産能力の向上を図り、合理的に家畜を飼養するための基礎となるものであり、家畜栄養学や飼料学といった学問上の知識、家畜の管理に関わる知識や技術に加え、畜産をとりまくさまざまな情勢を考慮して体系化されている。したがって、飼養管理技術の進歩や養分要求量に関する学問上の新しい知見、育種改良に伴う生産能力の向上、飼養形態の変化や環境問題、飼料をとりまく諸情勢の変化などに伴って、家畜飼養現場の実情にそくした修正や改正が行われ、常に発展していくべきものである。家畜の飼養標準は、畜産農家が合理的な家畜飼養を行うための飼料給与の目安となることはもちろん、普及・行政指導機関が飼料給与規準を作成する際の参考資料、農家における飼料の生産、作付計画や購入計画を立案する際の基礎資料、飼料メーカーが配合飼料を製造するための基礎資料、学校教育における教本といった、さまざまな役

割をもっている。

## 2. わが国の乳牛飼養標準

飼養標準は19世紀半ばからヨーロッパ諸国の多くの研究者や研究期間により作成されてきており、アメリカの国家研究会議が策定するNRC飼養標準やイギリスの農業研究会議が策定するARC飼養標準が有名である。わが国は畜産の歴史が浅く、家畜栄養学や飼料学に関する研究も諸外国に比べて遅れていたため、戦前はケネルの飼養標準、戦後はモリソンの飼養標準、さらにNRC飼養標準など、海外で制定された飼養標準を利用してきた。しかし、乳牛を含めて日本における家畜の飼養条件は必ずしも海外と同一ではなく、わが国独自の飼養標準を制定する必要性から、乳牛については1957年から6年間にわたる農林水産省農林水産技術会議によるプロジェクト研究として行なった「乳牛の飼養標準設定に関する研究」の成果に基づき、初版である「わが国の乳牛飼養標準」が1963年に設定された。

その後、わが国の酪農経営をとりまく諸情勢は大きく変貌し、より実状に合ったものにするを目的に、農林水産技術会議事務局に飼養標準研究会が設置され、乳牛飼養標準改訂のための乳牛部会による検討の結果、第一次の改訂版「日本飼養標準・乳牛（1974年版）」が作成された。さらに第二次（1987年版）、第三次（1994年版）、第四次（1999年版）の改訂が行われ、2001年度から独立行政法人農業技術研究機構（現在の農業・食品産業技術総合研究機構）に設置された家畜飼養標準検討会による第五次改訂版「日本飼養標準・乳牛（2006年版）」が最新版として作成されている。

第五次改訂の基本指針としては、

- 1) 第四次の改訂以後に国内の乳牛を用いて行われた試験研究成果を中心として、育成期、移行期、泌乳期についてエネルギー要求量の見直しを行う。とくに、泌乳牛については自給飼料の利用増進を前提として検討を行う。
- 2) 第1胃における分解性を考慮した蛋白質の要求量について内外の文献を参考に検討し、より精密な評価体系を解説の項で提案する。
- 3) 環境への負荷軽減を考慮し、窒素およびミネラル排泄量の低減、メタン産生の抑制について解説の項の充実を図る。
- 4) 養分要求量計算ソフトと最小限の飼料成分表を参考資料として添付し、より利用しやすい形を目指す。

ことがあげられている。さらに乳牛の発育曲線や、泌乳期、乾乳期および暑熱時の乾物摂取量推定式の見直し、移行期の飼養管理および放牧に関する解説の充実なども図られて

おり、わが国の飼料構成や環境条件などの地域性を考慮し、わが国の実状に合わせた家畜の養分要求量や飼養管理法などを示したものが日本飼養標準である。

### 3. 飼養標準の活用事例

日本飼養標準には養分要求量の算定根拠および方法を明確にするため、また近年のコンピュータを利用した飼養管理にも対応するため、CP、エネルギー、カルシウム、リン、ビタミンAおよびD要求量の算定に用いられた数式が示されている。表11-4-1および表11-4-2にそれぞれ、CPおよびME要求量の算出式をまとめて示した。なお、DEおよびTDNの要求量については、DEのMEへの変換係数を0.82、TDN 1 kgは4.41McalのDEに相当するとして、以下の式を用いて算出することとなる。

表11-4-1 乳牛におけるCP要求量(g/日)の算出式

乳牛	維持	成長、妊娠あるいは産乳
雌牛の育成時		
哺乳期子牛(～体重66kg)	$(FN \times 6.25 + UN \times 6.25 + SP + 10 \times DG \times RPC) \div 0.75$ (ただし、FN=12.5×DMI/6.25, UN=2.75×W <sup>0.5</sup> /6.25, SP=0.2×W <sup>0.6</sup> , RPC=23.5505×W <sup>-0.0645</sup> )	
離乳～体重120kg未満	$(FN \times 6.25 + UN \times 6.25 + SP + 10 \times DG \times RPC) \div 0.63$ (ただし、FN=30×DMI/6.25, UN=2.75×W <sup>0.5</sup> /6.25, SP=0.2×W <sup>0.6</sup> , RPC=23.5505×W <sup>-0.0645</sup> )	
体重120kg以上	$(FN \times 6.25 + UN \times 6.25 + SP + 10 \times DG \times RPC) \div 0.51$ (ただし、FN=30×DMI/6.25, UN=2.75×W <sup>0.5</sup> /6.25, SP=0.2×W <sup>0.6</sup> , RPC=23.5505×W <sup>-0.0645</sup> )	
成雌牛		
妊娠牛(ホルスタイン種)		
分娩前9～4週	$(2.71 \times W^{0.75} \div 0.60 + (PP \times \text{生時体重} \div 46 \div 63 \div 0.33 \div 0.7 \times 0.9)$ (ただし、PP=PP <sub>(280)}</sub> - PP <sub>(280-63)}</sub> , また、PP <sub>(t)}</sub> =0.345×t <sup>2</sup> -69.2×t+2818)	
分娩前3週～分娩	$(2.71 \times W^{0.75} \div 0.60 + (PP \times \text{生時体重} \div 46 \div 63 \div 0.33 \div 0.7 \times 1.2)$ (ただし、PP=PP <sub>(280)}</sub> - PP <sub>(280-63)}</sub> , また、PP <sub>(t)}</sub> =0.345×t <sup>2</sup> -69.2×t+2818)	
泌乳牛	$2.71 \times W^{0.75} \div 0.60 + ((26.6 + 5.3 \times \text{FAT}) \times \text{MILK}) \div 0.65$	

CP: 粗蛋白質、W: 体重 (kg)、FN: 代謝性糞中窒素 (g/日)、UN: 内因性尿中窒素 (g/日)、SP: 脱落表皮蛋白質 (g/日) DG: 日増体量 (kg/日)、RPC: 増体中の蛋白質含量 (%), DMI: 乾物摂取量 (kg/日)、FAT: 乳脂率 (%), MILK: 乳量 (kg/日) (日本飼養標準・乳牛2006年版)

表11-4-2 乳牛におけるME要求量 (Mcal/日) の算出式

乳牛	維持	成長	妊娠あるいは産乳
雌牛の育成時			
哺乳期子牛(～体重66kg)	$0.1183 \times W^{0.75} + 0.1205 \times DG \times W^{0.75}$		
離乳～体重120kg未満	$0.1183 \times W^{0.75} + 0.1293 \times DG \times W^{0.75}$		
体重120kg以上	$0.1163 \times W^{0.75} + 0.1355 \times DG \times W^{0.75}$		
成雌牛			
妊娠牛(ホルスタイン種)			
分娩前9～4週	$0.1163 \times W^{0.75} + (E_{(280)} - E_{(217)}) \div 63 \div 0.14 \times 0.9$		
分娩前3週～分娩	$0.1163 \times W^{0.75} + (E_{(280)} - E_{(217)}) \div 63 \div 0.14 \times 1.2$ (ただし、E <sub>(t)}</sub> =(0.00159×t <sup>2</sup> -0.0352×t-35.4)÷46×生時体重)		
泌乳牛	$0.1163 \times W^{0.75} + (0.0913 \times \text{FAT} + 0.3678) \div 0.62$		

ME: 代謝エネルギー、W: 体重 (kg)、DG: 日増体量 (kg/日)、E<sub>(t)</sub>: 妊娠t日目の胎子のエネルギー蓄積量 (Mcal)、FAT: 乳脂率 (%) (日本飼養標準・乳牛 2006年版)

$$DE\text{要求量} = ME\text{要求量} \div 0.82$$

$$TDN\text{要求量} = DE\text{要求量} \div 4.41$$

これらの数式を市販の計算ソフトに入力しておけば、養分要求量の算出を容易に行うことが可能である。さらに、日本飼養標準には養分要求量の算定式を用いて算出した値がすでに一覧表として提示されており、養分要求量の目安を把握したい場合には、これらの表を用いるほうが簡単である。

ここでは、「日本飼養標準・乳牛」(2006年版)に示されている、成雌牛の維持(表11-4-3)および産乳(表11-4-4)に要する養分量の表を用い、体重600kg、乳量35kg、乳脂率3.5

表11-4-3 非妊娠雌牛の維持に要する1日当たりの養分量

体重	乾物量	粗蛋白質	可消化粗蛋白質	可消化養分総量	可消化エネルギー	代謝エネルギー	カルシウム	リン	ビタミンA	ビタミンD	
BW (kg)	DMI (kg)	CP (g)	DCP (g)	TDN (kg)	DE (Mcal)	ME (Mcal)	Ca (g)	P (g)	VA (1000IU)	VD (1001IU)	
350	5.95	365	219	2.60	11.48	9.41	39.38	14	10	14.8	2.1
400	6.80	404	242	2.88	12.69	10.40	43.52	16	11	17.0	2.4
450	7.65	441	265	3.14	13.86	11.36	47.54	18	13	19.1	2.7
500	8.50	478	287	3.40	15.00	12.30	51.45	20	14	21.2	3.0
550	9.35	513	308	3.65	16.11	13.21	55.26	22	16	23.3	3.3
600	10.20	548	329	3.90	17.19	14.10	58.99	24	17	25.4	3.6
650	11.05	581	349	4.14	18.26	14.97	62.64	26	19	27.6	3.9
700	11.90	615	369	4.38	19.30	15.83	66.22	28	20	29.7	4.2
750	12.75	647	388	4.61	20.33	16.67	67.94	30	21	31.8	4.5
800	13.60	679	408	4.84	21.33	17.49	73.20	32	23	33.9	4.8

注1) 産次による維持に要する養分量の補正(泌乳牛のみを対象とする)。初産分娩までは、成雌牛の維持に要する養分量の代わりに、育成に要する養分量を適用する。初産分娩から2産分娩までの維持要求量は、増体を考慮し成雌牛の維持の要求量の130%、また、2産分娩から3産分娩までは115%の値を適用する。ただし、ビタミンAおよびDについてはこの補正を行わない。  
 注2) ここでいう維持のエネルギー要求量は泌乳牛用の飼料を想定して算出してあり、乾乳牛(妊娠末期のものを除く)に対して用いる場合は、給与飼料の代謝率の違いによる代謝エネルギーの利用効率の低下を考慮して、エネルギーについてのみここで示した要求量の110%の値を用いる。乾物量は体重の1.7%摂取するものとして算出した。(日本飼養標準・乳牛 2006年版)

表11-4-4 牛乳1kg当たりの産乳に要する養分量

乳脂率	粗蛋白質	可消化粗蛋白質	可消化養分総量	可消化エネルギー	代謝エネルギー	カルシウム	リン	ビタミンA	
Milk Fat (%)	CP (g)	DCP (g)	TDN (kg)	DE (Mcal)	ME (Mcal)	Ca (g)	P (g)	VA (1000IU)	
2.8	64	41	0.28	1.23	1.01	4.21	2.6	1.5	1.3
3.0	65	43	0.29	1.26	1.04	4.33	2.7	1.5	1.3
3.5	69	45	0.31	1.35	1.11	4.64	2.9	1.7	1.3
4.0	74	48	0.33	1.44	1.18	4.95	3.2	1.8	1.3
4.5	78	50	0.35	1.53	1.26	5.25	3.4	1.9	1.3
5.0	82	53	0.37	1.62	1.33	5.56	3.6	2.1	1.3
5.5	86	56	0.39	1.71	1.40	5.87	3.9	2.2	1.3
6.0	90	58	0.41	1.80	1.48	6.18	4.1	2.3	1.3

注) 乳量15kgにつき、維持と産乳を加えた養分量を分離給与の場合は4%、TMR給与の場合は3.5%増給する。泌乳牛のように維持以上の飼料を摂取するものでは、飼料摂取量の増加に伴って消化率は低下する。そのため養分要求量を補正する必要があり、維持と産乳を加えた養分量に補正係数を乗ずる。ただしビタミンAおよびDについてはこの補正を行わない。  
 補正係数=1+(乳量÷15)×0.04……分離給与の場合、補正係数=1+(乳量÷15)×0.035……TMR給与の場合  
 注) ビタミンDの産乳に要する要求量は、乳量にかかわらず体重1kg当たり4.0IUである。(日本飼養標準・乳牛 2006年版、一部改正)



%、舎飼いでTMRを給与している2産分娩泌乳牛のCP、TDN、DE、ME、カルシウム (Ca)、リン (P)、ビタミンA (VA) およびビタミンD (VD) 要求量の算出例を示す。

①維持に要する要求量を、表11-4-3からそれぞれ求める。本例では2産分娩泌乳牛であるので、増体量を考慮して体重600kgの雌牛の維持要求量に対して15%増給する (初産分娩牛の場合は30%増給、3産以上分娩牛の場合は産次の補正は行わない)。ただしVA、VDについては、産次にかかわらずこの補正を行わない。

$$CP=548 \times 1.15 \div 630 \text{ (g)}$$

$$TDN=3.90 \times 1.15 \div 4.49 \text{ (kg)}$$

$$DE=17.19 \times 1.15 \div 19.77 \text{ (Mcal)}$$

$$ME=14.10 \times 1.15 \div 16.22 \text{ (Mcal)}$$

$$Ca=24 \times 1.15 = 27.6 \text{ (g)}$$

$$P=17 \times 1.15 = 19.55 \text{ (g)}$$

$$VA=25.4 \text{ (1,000IU)}$$

$$VD=3.6 \text{ (1,000IU)}$$

②産乳に要する要求量を、表11-4-4からそれぞれ求める。本例では乳脂率3.5%の牛乳を35kg生産しているので、以下のように計算される。ただしVDは乳量や乳成分にかかわらず体重1kg当たり4.0IUである。

$$CP=69 \times 35 = 2,415 \text{ (g)}$$

$$TDN=0.31 \times 35 = 10.85 \text{ (kg)}$$

$$DE=1.35 \times 35 = 47.25 \text{ (Mcal)}$$

$$ME=1.11 \times 35 = 38.85 \text{ (Mcal)}$$

$$Ca=2.9 \times 35 = 101.5 \text{ (g)}$$

$$P=1.7 \times 35 = 59.5 \text{ (g)}$$

$$VA=1.3 \times 35 = 45.5 \text{ (1,000IU)}$$

$$VD=4.0 \times 600 = 2,400 \text{ (IU)} = 2.4 \text{ (1,000IU)}$$

③泌乳牛における養分要求量の補正係数 (CFA) を求める。本例での飼料給与方式はTMR給与なので、乳量15kgにつき3.5%増給する (分離給与方式の場合は4%増給する)。

$$CFA=1 + (\text{乳量} \div 15 \times 0.035) = 1 + (35 \div 15 \times 0.035) \div 1.082$$

④維持と産乳を加えた養分量にCFAを乗じて泌乳牛の養分要求量を算出する。ただしVAおよびVDについては泌乳牛の補正を行わない。(①+②)×③から、

$$CP=(630+2,415) \times 1.082 \div 3,295 \text{ (g)}$$

$$TDN=(4.49+10.85) \times 1.082 \div 16.60 \text{ (kg)}$$

$$DE=(19.77+47.25) \times 1.082 \div 72.52 \text{ (Mcal)}$$

$$ME = (16.22 + 38.85) \times 1.082 \approx 59.59 \text{ (Mcal)}$$

$$Ca = (27.6 + 101.5) \times 1.082 \approx 139.7 \text{ (g)}$$

$$P = (19.55 + 59.5) \times 1.082 \approx 85.5 \text{ (g)}$$

$$VA = 25.4 + 45.5 = 70.9 \text{ (1,000IH)}$$

$$VD = 3.6 + 2.4 = 6.0 \text{ (1,000IU)}$$

乳牛が要求する養分量の算出方法は、上記の算出例で示したとおりであるが、これらすべての養分要求量を単一の飼料のみで充足させることは困難であり、エネルギー含量の高い飼料と蛋白質含量の高い飼料を組み合わせたり、また不足するミネラルやビタミンを補給したりする必要がある。日本飼養標準・乳牛（2006年版）には、養分要求量計算ファイルと飼料成分表、飼料計算ファイルがCD化されたものが添付されており、比較的容易に飼料計算や飼料設計を行うことができる。必要に応じて暑熱や寒冷、季節、妊娠ステージなども考慮できる計算ファイルとなっており、養分要求量に対する供給量の割合、すなわ

表11-4-5 ルーメン機能のチェック項目

乳脂率	3.3%以上
乳脂率/乳蛋白質率	1:1以上
反芻割合	40%以上
乾物摂取量	22.5kg以上
産乳量	予測乳量以上
ケトージス	2~5%以下
第4胃変位	5%以下
蹄病	25%以下
ルーメンpH	6.0以上
糞のpH	6.2以上

(標本 2004)

ち養分充足率を算出した結果が出力されるが、これら値には安全率が含まれていないので、場合によっては個体差、飼料成分の養分変動および残食量に対する安全率として10%程度増給することも推奨されている。

飼料計算ソフトなどを使った飼料設計は、ゲームやパズル感覚で比較的容易に行うことができるが、養分要求量に見合った適正な飼料設計は、乳牛の健康を保ちつつ効率的に牛乳生産を行うために非常に重要であることは

表11-4-6 糞スコア (Manure Score)

スコア 1	スコア1は極めて液体状の糞を代表し、豆のスープのような密度である。病気が存在しないときには、飼料プログラムの中の分解性蛋白質、またはデンプンが多すぎることを示している。過剰な蛋白質は消化され、そして尿素は尿中に排泄されるばかりではなく、後部消化管にもリサイクルされる。
スコア 2	スコア2では糞が柔らかすぎて、ちゃんとしたパイル（円板状で崩れない）を形成しないことを意味する。これは繊維の少ない飼料プログラムで、比較的分解性蛋白質が多いことを示している。繊維の少ない飼料プログラムを採食している牛は乾物摂取量が多くなるので、その結果、通過スピードが速くなる。
スコア 3	スコア3はオートミール状の密度であり、地面や床面に落ちたときに「べたんっ」という音がする。スコア3の糞をみるもう一つの方法は、長靴のつま先に糞に突っ込んだとき、長靴の先に糞がつくかどうかをみるもの。もしくっつけば、蛋白質と水のバランスがうまくいっていることを示す。
スコア 4	スコア4は、中程度の固さの糞である。ブーツにはくっつかないくらい乾いているが、つま先でつついても軋がったり割れたりしない。これは主として、乾草とわずかの穀類で構成される多くの乾乳牛や育成牛の飼料プログラムで典型的にみられる。
スコア 5	スコア5は、硬い糞のボール状を意味する。もし、消化管内に異常がなければ、これはワラだけの飼料プログラムか、重度の脱水を意味する。

(小出 2004)

いうまでもない。一方で、飼料設計はあくまで設計であり、さらに重要なことは、設計された飼料を設計どおりに乳牛が摂取しているか、乳量や乳成分は適正か、ルーメン内発酵が正常であり（表11-4-5）、糞性状が異常ではないか（表11-4-6）、などを確認、評

価して修正を加えていくことである。飼養標準を機械的に適用するのではなく、実際に給与する場合には家畜の栄養状態、個体能力の差、TMRの混合状態および残食の状態、利用する飼料の種類や飼料成分のばらつき、乳量や乳成分の変動、環境温度湿度条件、経営的条件などを常に考慮しながら、飼養標準を活用することが重要である。

#### 引用文献

- 独立行政法人農業技術研究機構(編). 2001. 日本標準飼料成分表(2001年版). 中央畜産会. 東京
- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構(編). 2007. 日本飼養標準・乳牛(2006年版). 中央畜産会. 東京
- 椋本正寿. 2004. 四つの栄養～ここで間違いやすい!～(Dairy Japan 2004年6月臨時増刊号). 5-23. デーリー・ジャパン社. 東京
- 小出佳正. 2004. 糞のモニタリング(Dairy Japan 2004年6月臨時増刊号). 71-105. デーリー・ジャパン社. 東京
- 越野正義・三上仁志・滝川明宏・山岸規昭・名久井 忠・三田村強・橋立賢二郎・清水良彦・石栗敏機・三谷宣充・門馬栄秀・湯藤健治・遠谷良樹・杉本亘之・能代昌雄・古谷政道・筒井佐喜雄・川崎 勉・板東 健・小倉紀美・岡本全弘. 1991. 牧草・飼料作物の栄養価評価の手引.(牧草・飼料作物栄養価問題検討委員会編). 41-52. 北農会. 札幌
- McDonald, P., R. A. Edwards, J. F. D. 2002. Greenhalgh and C. A. Morgan, Evaluation of foods: energy content of foods and the partition of food energy within the animal. Animal Nutrition. 6th ed. 263-312. Pearson Education Limited. Edinburgh Gate.
- 名久井 忠. 1996. 北日本におけるトウモロコシホールクロップサイレージの効率的調製・貯蔵のモデルと栄養価並びに養分収量推定法の開発に関する研究. 北海道農業試験場研究報告, 162: 25-121.
- National Research Council, Nutrients requirements of dairy cattle. 2001. 7th revised ed. National Academy Press. Washington, D.C.
- 篠田 満. 1992. 飼料の繊維成分分析によるTDN含量の簡易推定法. 北農, 59: 62-65.
- 津留崎正信・棟加登きみ子・阿部 亮. 1990. 牧乾草と牧草サイレージに共通したTDN含量の推定. 日本草地学会誌, 36(別): 139-140.
- Weiss, W. P. 1992. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. Animal Feed Science and Technology, 39:95-110.

#### 参考文献

- 阿部 亮. 2001. 栄養価の評価(動物の栄養, 唐澤 豊編). 121-134. 文永堂出版. 東京

- 朝日田康司(編). 1984. 飼料・栄養と飼料(畜産ハンドブック. 姫野健太郎・横山 昭・津田恒之・朝日田康司・黒崎順二・澤崎 坦・扇元敬司・中江利孝編). 253-343. 講談社
- 日野常男・板橋久雄・秋葉征夫. 1989. 所要量の決定法(家畜栄養学. 小野寺良次・星野貞夫・板橋久雄・日野常男・秋葉征夫・長谷川 信著). 155-208. 川島書店. 東京
- 河合正人. 2006. 乳牛の飼養標準(乳牛管理の基礎と応用. 柏村文郎・増子孝義・古村圭子編著). 322-332. デーリィ・ジャパン社. 東京
- 増子孝義. 1999. 飼料価値の評価(乳牛の栄養学. 増子孝義著). 103-110. デーリィ・ジャパン社. 東京
- 永西 修・川村 修・新美光弘・蔡 義民・西野直樹・一戸俊義・出口健三郎. 2004. 粗飼料の飼料価値に関する調査法(草地科学実験・調査法. 日本草地学会編). 269-295.
- 矢野秀雄(編). 1995. 飼料・飼養(新畜産ハンドブック. 扇元敬司・三上仁志・渡邊誠喜・角田幸雄・矢野秀雄・森地敏樹・中井 裕・永村武美編). 187-276. 講談社. 東京
- 米持千里・菅原邦生. 2004. 栄養価の評価とその方法(動物の飼料. 唐澤豊編). 27-41. 文永堂出版. 東京