

## 5 章 動物の栄養と機能

動物の体成分はタンパク質、炭水化物、脂質、ビタミンなどの有機物およびカルシウム、リンなどの無機物からなっており、この点は動物も人間も同じである。体成分は固定的なものではなく、常に合成（あるいは同化, anabolism）と分解（異化, catabolism）を繰り返している。これを動的状態（dynamic state）とよび、合成と分解が平衡に保たれている場合を定常状態（steady state）にあるという。このため動物は、つねに外界から物質を摂取し、不要なものを糞、尿あるいは呼気として対外に排出しながら動物体成分をつくり、生命維持に必要なエネルギーを体内で生産するとともに、肉、乳、卵などを生産する活動を営んでいる。このように物質を外界から摂取し、体機能を維持あるいは高めることを栄養（nutrition）といい、外界から摂取する化学成分を栄養素または養分という。栄養素は、タンパク質、脂質、炭水化物、ミネラル、ビタミンの5種に大別され、これらを5大栄養素とよんでいる。これに水を加えて6大栄養素ということもある。

表 5.1 動物体の組成 (%)

動物	水分	タンパク質	脂質	灰分
子牛	74	19	3	4.1
肥育牛	43	13	41	3.3
ブタ (8kg)	73	17	6	3.4
ブタ (100kg)	49	12	36	2.6
鶏	57	21	19	3.2
ウマ	61	17	17	4.5
ラット	65	22	9	3.6
ヒト	60	18	18	4.3
ヒラメ	72	18	4	4.0
テラピア	78	15	4	3.0

Maynardら (1979)、Takeuchiら (2002)、Uyanら (2007) から抜粋

### 5.1 体成分と栄養素

動物の体成分は大きく分けると水分と乾物（DM）に分けられる。乾物は有機物（organic matter）とミネラル（mineral）からなり、有機物中にはタンパク質、核酸、脂質、有機酸（塩）、炭水化物、ビタミンなどが含まれる。動物の体成分は比較的在一定であり、成熟した哺乳動物では水分60%、タンパク質16%、脂質20%、ミネラル4%前後である。水分と脂質は変動する。一般に幼時には水分が多く、脂質は少ないが、成熟するにつれて水分が少なくなり、脂質は増加する。体成分は動物の栄養状態、雄、雌の性差によっても変動する。

#### 1) 水

体内の水（water）は成分の溶媒、物質輸送、体温調節など動物の基本的な生体反応に重要な役割を果たしている。これらの機能を維持するために、体内の水は一定に保たれており、水の出納は正確に調節されている。体内から水の流出が続くとさまざまな障害が発生し、死に至る場合もあるため、動物への水の補給には十分注意する必要がある。

動物の体からは、糞、尿、呼気、皮膚蒸散などにより常に水が失われている。このための水は飲料水、飼料中の水および代謝水（metabolic water）の3種類の給源から得ている。飲料水は主要な給源であり、その摂取量は、気温、飼料摂取量、飼料中の水分含量、飼料中のミネラルなどの成分、泌乳中であるか否かなどによって影響を受ける。代謝水は、体内で自給できる水であるので、水の要求量を考える場合無視することはできない。

炭水化物、脂肪およびタンパク質 100g が酸化されて生じる代謝水量はそれぞれ 60g、

111g, 42g である.

## 2) タンパク質

### a 体成分

タンパク質 (protein) は, 細胞の原形質の主要成分として含まれる高分子有機化合物であり, 生命現象のあらゆる面でもっとも重要な物質である. 炭水化物や脂質と同様に, 炭素 (C), 水素 (H), 酸素 (O) を含むが, さらにすべてのタンパク質は窒素 (N) を含み, 一般に硫黄 (S) も含んでいる. タンパク質は平均して 16%の窒素を含むので, 体成分や飼料の一般分析では窒素を 6.25 倍して粗タンパク質 (crude protein) とする. しかし窒素を含有する化合物は純タンパク質のみでなく, アミノ酸, ペプチド, アミン, 尿素, 尿酸などの窒素化合物を含む.

### b 分類と役割

タンパク質は, アミノ基 (-NH<sub>2</sub>) とカルボキシル基 (-COOH) をもつ約 20 種類の  $\alpha$  アミノ酸 (amino acid) がペプチド結合を繰り返してできた高分子化合物である.

個々のタンパク質は固有のアミノ酸組成をもち, 自然界には多種類のタンパク質が存在する. アミノ酸からのみ構成されているタンパク質を単純タンパク質 (simple protein) といい, 他の成分が含まれているものを複合タンパク質 (conjugated protein) という. 複合タンパク質には核酸, 糖質, 脂質, リン酸, 金属などと結合した核タンパク質, 糖タンパク質, リポタンパク質, 金属タンパク質などがある.

タンパク質は, 体内では, 酵素作用, ホルモン作用, 免疫作用, 緩衝作用, 栄養素の輸送, 筋肉運動, 体の保護など生命存在に必要な多くの役割を果たしている.

### c アミノ酸

アミノ酸はタンパク質の最小構成単位である. タンパク質を構成するアミノ酸はカルボキシル基に隣接する  $\alpha$  位の炭素にアミノ基がついた  $\alpha$  アミノ酸である. その結果, 光学的異性体が存在するが, 生物が生成するアミノ酸は, 例外を除いて, すべて L 型である. 自然界には代謝産物としてのアミノ酸が 200 種以上存在しており, これらの中には生理, 薬理作用をもつものも少なくない. アミノ基 (-NH<sub>2</sub>) の代わりにイミノ基 (=NH) をもつイミノ酸 (imino acid) もあるが, 通常はこれもタンパク質の構成成分となる.

タンパク質合成に必要なアミノ酸はタンパク質の種類によって異なるが, 20 種類である. なお, 遺伝子情報にしたがいポリペプチドが合成された後に, 一部のアミノ酸が修飾を受けることがある. 動物にはこの 20 種類のアミノ酸すべてが必要であるが, 体内では約半数のアミノ酸を合成することができないかまたは合成量が必要な量を満たしていない. したがって, 体内で不足する個々のアミノ酸を飼料から得なければならず, このようなアミノ酸を必須アミノ酸 (essential amino acid) または不可欠アミノ酸 (indispensable amino acid) という. 体内で十分量が合成可能なアミノ酸は非必須アミノ酸 (non-essential amino acid) または可欠アミノ酸といわれる. いくつかのアミノ酸代謝には相互作用が認められる. 構造が類似した, ロイシン-イソロイシン-バリン間やリジン-アルギニン間には拮抗作用があり, 一方のアミノ酸摂取が過剰になると他方のアミノ酸の必要量が多くなる. また, 体内

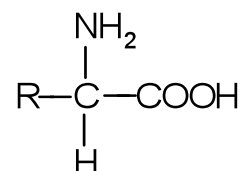


図5.1  $\alpha$  アミノ酸の基本構造 (Rは側鎖を示す。)

でシステインはメチオニンから合成可能であるが、そのためシステイン不足はメチオニンの必要量を増加する。

反芻動物は第一胃内で飼料中の窒素化合物を微生物タンパク質に変換し、それを利用する。微生物タンパク質の中には動物に必要なすべてのアミノ酸が含まれているため、反芻動物の飼料には必須アミノ酸を含む必要はないとされている。

表5.2 各種動物の必須アミノ酸

	ヒト		ラット	ニワトリ	ブタ	魚類
	成人	幼児				
アルギニン			○a	○	○a	○
ヒスチジン		○	○	○	○	○
イソロイシン	○	○	○	○	○	○
ロイシン	○	○	○	○	○	○
リジン	○	○	○	○	○	○
メチオニン+システイン	○	○	○	○	○	○
フェニルアラニン+チロシン	○	○	○	○	○	○
スレオニン	○	○	○	○	○	○
トリプトファン	○	○	○	○	○	○
バリン	○	○	○	○	○	○
グリシン+セリン				○		
アスパラギン			○b			
プロリン			○b			

a 成長中のみ必要である

b 速い成長時にのみ必要の可能性がある

アンモニア、尿素、尿酸、核酸などは非タンパク態窒素（non-protein nitrogen: NPN）化合物といわれるが、反芻動物のルーメン内では微生物がこれらの非タンパク態窒素化合物を利用して、アミノ酸、タンパク質を合成することができる。しかし、尿素を多量に与えるとアンモニア中毒が発生するので、注意しなければならない。

#### d タンパク質代謝

前に述べたように体タンパク質は動的状態にあり、動物体内では体タンパク質の合成と分解が繰り返されている。動物は摂取したタンパク質をアミノ酸として吸収する。細胞は血漿からアミノ酸を取り込み、タンパク質を合成する。タンパク質の一部はアミノ酸

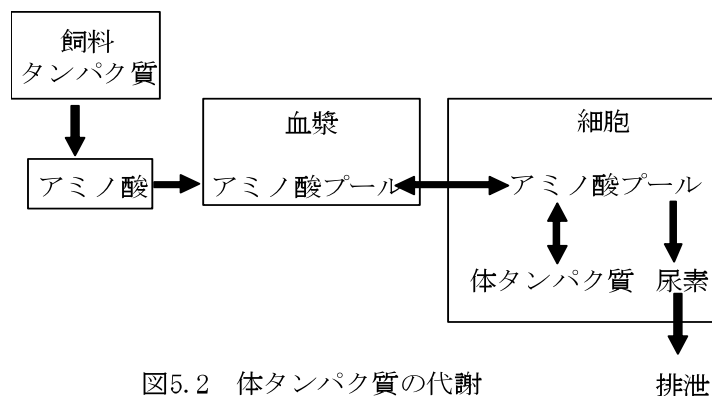


図5.2 体タンパク質の代謝

に分解され、再度タンパク質合成に用いられるか、アミノ酸に含まれる窒素は尿素に代謝され尿へ排泄される。炭素はエネルギー産生に用いられる。50kgのブタは1日に約225gのタンパク質を吸収する。一方、体タンパク質合成量は1日に1kg以上であり、タンパク質合成に用いられるアミノ酸は摂取したタンパク質由来のアミノ酸を大きく上回る。これは、体タンパク質の分解によって生じるアミノ酸を効率よく体タンパク質合成に用いているからである。

### 3) 炭水化物

動物の飼料の主体である植物は、その大部分が炭水化物（carbohydrate）から構成されて

おり・デンプンやセルロースの形で含まれている。動物体内の炭水化物含量は 0.2~0.5% ときわめて少ないが、筋肉や肝臓にグリコーゲンあるいは血液の中にグルコース（血糖）として存在し、エネルギー代謝で重要な役割を担っている。炭水化物はもっとも簡単な構成単位である単糖類、単糖類の縮合体である少糖（オリゴ糖）類さらに多数の単糖からなる多糖類に分けられる。

#### a 単糖類

単糖類 (monosaccharide) は構成炭素数によって、トリオース（三炭糖）、ペントース（五炭糖）、ヘキソース（六炭糖）などに分けられる。天然に存在する単糖類はおもに五炭糖と六炭糖であり、六炭糖は、飼料の成分および体内の代謝物質として栄養上とくに重要である。おもなものはグルコース、ガラクトース、フルクトース、マンノースなどである。

グルコース（ブドウ糖）は生体にとって主要なエネルギー源である。天然に遊離の形で存在するが、デンプン、グリコーゲン、セルロースなどの多糖類の構成成分となっている。

#### b 少糖類

少糖類 (oligosaccharide) は単糖類が 2 つ結合した二糖類が一般的である。おもな二糖類は以下の 3 種である。グルコース 2 分子が  $\alpha$ -1.4 結合したマルトース (maltose, 麦芽糖)、 $\beta$ -ガラクトースとグルコースが  $\beta$ -1.4 結合したラクトース (lactose, 乳糖)、グルコースとフルクトースの 1-C の OH が結合したシュクロース (sucrose, 蔗糖) である。

三糖類のラフィノースは糖蜜中に、四糖類のスタキオースは大豆などの豆の種子中にある。

#### c 多糖類

多糖類 (polysaccharide) は植物体成分の大部分の構成部分である。また動物の飼料は植物体によってそのほとんどの部分が占められており、多糖類は動物のエネルギー源としてきわめて重要である。ヒアルロン酸コンドロイチン硫酸およびヘパリンのような複合多糖は動物体組織の構成成分として重要である。多糖類にはデンプン、グリコーゲン、セルロース、ヘミセルロースなどがある。

リグニン (lignin) は化学構造からは炭水化物ではないが、飼料分析では繊維質（粗繊維成分）に分類されるので炭水化物として扱われている。リグニンは、動物の消化液や微生物によってもほとんど分解されず、リグニンの存在は、飼料の消化性を低下させる。

### 4) 脂質

動物の体成分のうち、水に不溶でエーテル、ベンゼン、クロロホルムなどの有機溶媒に可溶性化合物を総称して脂質 (lipid) という。飼料や体成分の一般分析では粗脂肪すなわちエーテル抽出物に相当する。脂質の多くは炭水化物と同様に炭素 (C)、水素 (H)、酸素 (O) の 3 元素からできているが、炭水化物よりも炭素と水素の割合が高いため、高い燃焼熱（約 9 kcal/g）をもっている。動物にとって脂質はエネルギー源として、また生体膜、脳神経組織などの構成成分および種々の生理活性物質源として重要な栄養素である。

体内の脂質は役割の面から機能脂質と貯蔵脂質に分けられる。前者は細胞膜や脳の神経組織の主要成分となるリン脂質、糖脂質、コレステロールなどであり、その割合は高くない。後者は動物のエネルギー貯蔵形態であり、その成分は主として中性脂肪（トリアシルグリセロール）である。この貯蔵脂肪は動物の栄養状態によって量を大きく変動させる。

脂質は通常次のように分類される。単純脂質：脂肪酸と各種アルコールとのエステル（脂肪、ロウなど）複合脂質：脂肪酸とアルコールのほかリン、窒素などが結合したもの（リ

ン脂質, 糖脂質など)誘導脂質: 単純脂質, 複合脂質の加水分解物(脂肪酸, 高級アルコール, ステロールなど)

#### a 脂肪

脂肪 (fat) は通常 3 分子の脂肪酸が 1 分子のグリセロールとエステル結合したトリアシルグリセロール (triacylglycerol) であり, トリグリセリド (triglyceride) あるいは中性脂肪ともいう。

#### b 脂肪酸

動植物脂質を構成している脂肪酸 (fatty acid) は一般に  $C_nH_{2n+1}$  で表されるアルキル基 (R-) にカルボキシル基 (-COOH) 1 個が結合したモノカルボン酸 (R-COOH) である。

脂肪酸は二重結合の有無によって, 不飽和 (unsaturated) 脂肪酸と飽和 (saturated) 脂肪酸に分けられる。鎖長によって短鎖 (炭素数 5 以下), 中鎖 (炭素数 6~10) および長鎖脂肪酸 (炭素数 12 以上) に分ける場合もある。脂肪酸の融点は炭素数が長くなるほど高くなり, 二重結合の数が減ると低下する。したがって不飽和脂肪酸の多い植物性脂肪は常温で液体であり, 飽和脂肪酸の割合が多い動物性脂肪は固体である。特に, 反芻動物では第一胃内で不飽和脂肪酸が水素添加を受け飽和脂肪酸となりやすい。

二重結合部分には水素やヨウ素などのハロゲンが結合しやすいので, 脂肪酸の不飽和度を示すのにこの性質が利用される (ヨウ素価: 脂肪 100g に添加されるヨウ素の g 数)。脂肪をアルカリ (KOH など) で加水分解すると, グリセロールと脂肪酸のアルカリ塩 (石けん) が生じる (けん化)。脂肪酸分子の大きさの測定にはけん化価 (脂肪 1g をけん化するための KOH の mg 数) が用いられる。低級脂肪酸が多いほど反応に関与する分子数が多くなるので, けん化価は大きくなる。

動物は正常な発育と機能維持に必須のある種の多価不飽和脂肪酸を体内で合成できないために, それらを飼料として摂取する必要がある。そのような脂肪酸を必須脂肪酸 (essential fatty acid) といい, リノール酸,  $\alpha$ -リノレイン酸およびアラキドン酸などがこれに相当する。脂肪酸の二重結合は通常は cis 型であるが, 水素添加を受ける際に中間物として trans 型二重結合を有する脂肪酸 (トランス脂肪酸) が生じることがある。一般にトランス脂肪酸をヒトが多量に摂取すると血中コレステロール濃度が上昇し, 動脈硬化の発生を引き起こす可能性がある。一方, 反芻動物の脂肪やミルクに含まれるトランス脂肪酸の一部は共役リノール酸であり, 共役リノール酸は他のトランス脂肪酸と異なり, 動脈硬化予防や発癌予防効果があるとされている。

#### c ロウ

ロウ (wax) は長鎖アルコールと脂肪酸がエステル結合した単純脂質で, 多くは融点が高く固体である。植物の葉や果物の表面および動物の体表面に存在し, その役割は水の侵入や漏出を防ぐことである。

#### d リン脂質と糖脂質

脂肪酸およびリンを含む脂質をリン脂質 (phospholipid) といい, これはグリセロリン脂質とスフィンゴリン脂質に分けられる。グリセロリン脂質は細胞膜などの膜構造の主要な構成成分であり, 膜内外間の物質の透過, 情報伝達など膜の生理機能に大きな役割を果たしている。スフィンゴリン脂質の代表的なものとしてスフィンゴミエリンがあり, これは脳神経組織や各臓器に含まれる。脂肪酸および糖を含む脂質を糖脂質 (glycolipid) といい, グリセロ糖脂質とスフィンゴ糖脂質に分けられる。

#### e ステロール

ステロールはステロイド核を基本構造とする化合物とその誘導体の総称である。動物体内のステロールには、コレステロール、胆汁酸、副腎皮質ホルモン、性ホルモン、ビタミン D などがあり、いずれも生体に重要な役割を果たしている。コレステロールは血中ではリポタンパク質として存在しており、肝臓から他の組織へは低密度リポタンパク質 (LDL) として、肝臓へは高密度リポタンパク質 (HDL) として運ばれる。コレステロールは、脳・神経組織、副腎や脂肪組織に多く含まれ、生体膜や髄鞘などの構成成分となっている。また胆汁酸はコレステロール代謝の最終産物で強力な界面活性作用を有し、脂肪の乳化と膵リパーゼ (脂肪消化酵素) の活性化に役立っている。

#### 5) ビタミン

ビタミン (vitamin) は微量であるが、動物が正常な生理活動を営むために不可欠な有機化合物であり、脂溶性ビタミンと水溶性ビタミンに分けられる。脂溶性ビタミンには、ビタミン A (レチノール)、ビタミン D (エルゴカルシフェロールとコレカルシフェロール)、ビタミン E (トコフェロールとトコトリエノール)、ビタミン K (フィロキノンとメナキノン) がある。水溶性ビタミンにはビタミン B<sub>1</sub> (チアミン)、ビタミン B<sub>2</sub> (リボフラビン)、ナイアシン、ビタミン B<sub>6</sub> (ピリドキシン)、パントテン酸、ビオチン、葉酸、ビタミン B<sub>12</sub>、コリンがある。

ビタミンは動物の体内で合成できないかあるいは合成量が不十分なために、微量であるがこれを飼料として摂取しなければならない。コリンを除く水溶性ビタミンは補酵素として働いている。脂溶性ビタミンであるビタミン A は視覚に必要なが、この作用以外にもビタミン D とともに体内で活性型誘導体となり、転写因子である受容体と結合し遺伝子発現を調節している。

反芻動物では、第一胃内微生物が水溶性ビタミンとビタミン K を十分合成するので、これらのビタミンを給与する必要はない。しかしビタミン B<sub>12</sub> の反芻胃内の合成にはコバルト (Co) の摂取が必要である。

#### 6) ミネラル

ミネラル (mineral, 無機質) は体内に灰分として 3~5% 含まれており、多量元素 (主要元素) と微量元素に分けられる。これらの元素は歯や骨の成分として骨格の形成、血液やその他の体液の pH や浸透圧の調整、神経や筋肉への情報伝達、酵素の補因子としてなど動物の成長や生命維持のうえで重要な役割を果たしている。したがって動物は必須元素 (essential element または essential mineral) については一定量を摂取しなければならない。

##### a 多量元素

多量元素 (macro-element) は主要元素 (major element) ともいわれるカルシウム (Ca)、リン (P)、カリウム (K)、ナトリウム (Na)、硫黄 (S)、塩素 (Cl)、マグネシウム (Mg) の 7 元素が含まれるが、これらの多量元素はすべて動物に必須である。

##### b 微量元素

微量元素 (micro-element または trace element) には鉄 (Fe)、亜鉛 (Zn)、銅 (Cu)、モリブデン (Mo)、セレン (Se)、ヨウ素 (I)、マンガン (Mn)、コバルト (Co) があげられ、これらは動物の必須微量元素である。その他に動物体内にはフッ素 (F)、ケイ素 (Si)、クロム (Cr)、バナジウム (V)、ヒ素 (As)、ニッケル (Ni)、スズ (Sn) などが含まれており、これらの元素の機能や必須性については検討されているところである。

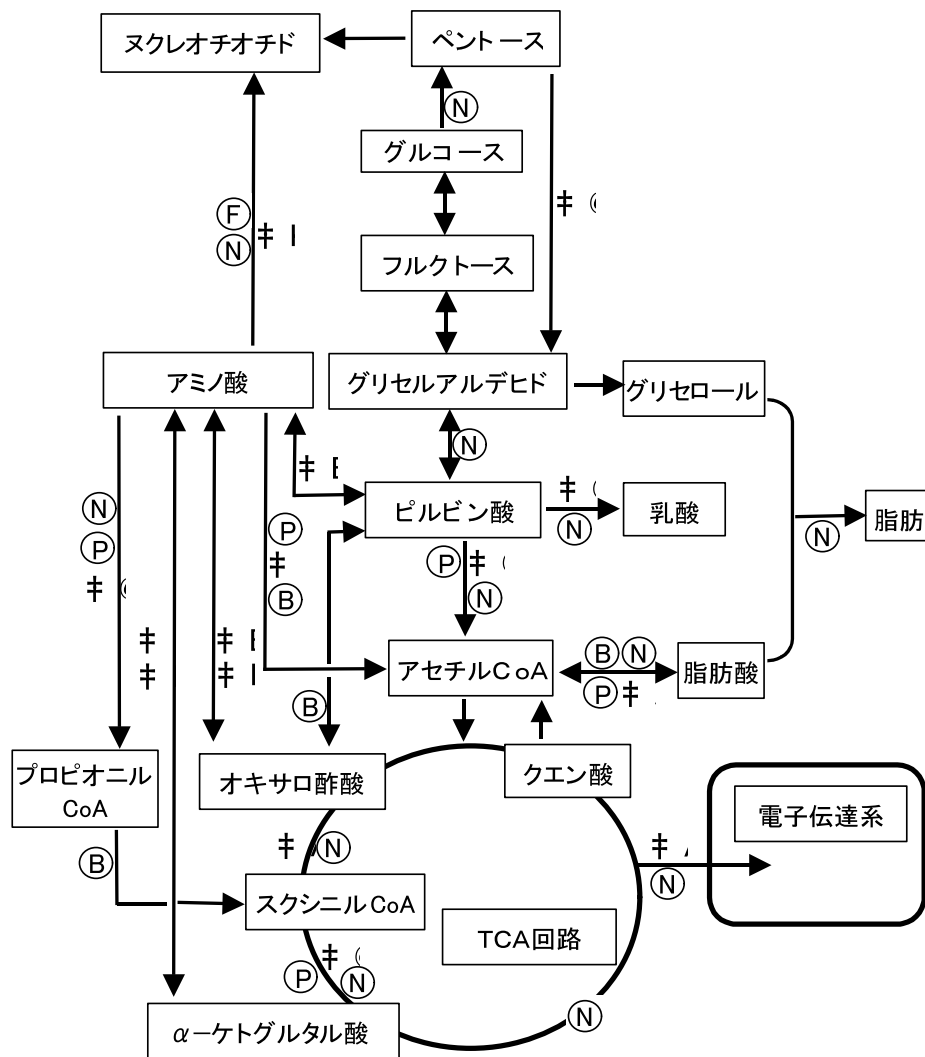


図 5.3 ビタミンBが補酵素として作用する物質代謝

①ビタミンB<sub>1</sub>、②ビタミンB<sub>2</sub>、Nナイアシン、⑥ビタミンB<sub>6</sub>、Pパントテン酸、F葉酸  
Bビオチン、⑫ビタミンB<sub>12</sub>

(矢野秀雄・松井徹)

【参考図書】石橋 晃・板橋久雄・祐森誠司・松井 徹・森田哲夫 (編)：動物飼養学，養賢堂，東京，2011