

# 第一章 鸡饲料营养原理

动物为维持生命及生长发育、繁殖和生产需要，每天必须采食一定数量的饲料。饲料中含有动物需要的各种养分，包括能量、蛋白质、碳水化合物、粗脂肪、矿物质、维生素和水等。要提高动物生产和饲料转化效率，必须了解饲料养分对动物生存，繁衍和生产所起的作用。

饲料配方是否能达到设计目标的关键在于：①对动物营养需要量的认识是否准确；②对饲料原料的有效养分含量或生物学效价掌握的准确程度；③对配合饲料加工贮藏过程中养分损失的准确预测。所以这些研究是营养学、饲料学和配方师的首要目标。

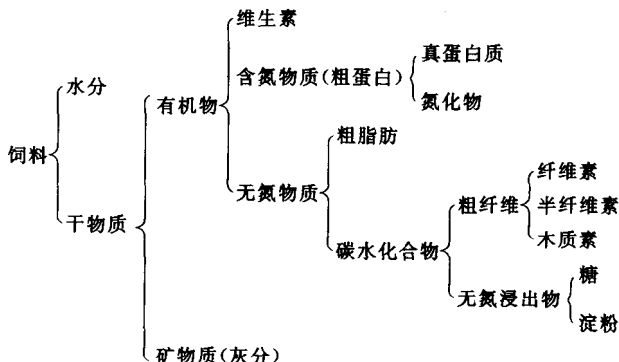
## 第一节 饲料的养分

从人类认识的角度看，人类对动物所需养分和饲料所含养分的认识过程是由粗到细 由简到繁。从动物本身看 随动物种类、性别、年龄、生理状态和生产性能的不同，所需养分的种类和数量也有变化。

### （一）经典的饲料养分

一般用化学分析法研究饲料所含养分的种类和数量。经典的常规化学分析测定表明，饲料中含有蛋白质、碳水化合物、粗脂肪、矿物质、维生素和水 6大部分，见表 1-1。这些成分可分为能源物质、组织物质和活性物质 3类。

表 1-1 饲料中的养分



饲料中的不同养分在动物体内的营养作用不同。能源物质为动物提供能量，主要成分是碳水化合物和脂肪。组织物质构成动物机体各种组织，蛋白质、脂肪、矿物质和水分是基本的组织物质。活性物质是对动物体内新陈代谢过程起调节作用的物质，维生素、微量元素和某些脂肪酸即属于活性物质。这些物质在饲料中比例很小，但其功用十分重要，尤其在封闭圈养条件下动物无法自由活动，无法自己寻找到所需养分，所以无论缺少哪一种活性物质，动物都会发生疾病或生长受阻。

## (二) 饲料养分的细分

养分是指具有营养作用的化学物质，如蛋白质、碳水化合物、矿物质、维生素和水等。

随着分析手段和试验方法的发展，人类对动物营养需要的认识越来越深刻，不仅认识的动物所需养分的种类越来越多，而且对各种养分需要量的认识越来越精确。目前人类已认识到家畜必需的养分种类已多达 50 余种，见表 1-2。

表 1-2 动物所需养分的种类

养分	复胃	单胃	养分	复胃	单胃	养分	复胃	单胃
能量	+	+	维生素 A	+	+	钙	+	+
亚油酸	-	+	维生素 D <sub>2</sub>	+	+	磷	+	+
蛋白质	+	+	维生素 D <sub>3</sub>	+	+	有效磷	-	+
精氨酸	-	+ -	维生素 E	+	+	钠	+	+
组氨酸	-	+	维生素 K	+	+	氯	+	+
异亮氨酸	-	+	核黄素	-	+	镁	+	+
亮氨酸	-	+	硫氨酸	-	+	钾	+	+
赖氨酸	-	+	泛酸	-	+	硫	+	+
蛋氨酸	-	+	烟酸	-	+	铁	+	+
胱氨酸	-	+	胆碱	-	+	铜	+	+
苯丙氨酸	-	+	吡哆醇	-	+	锰	+	+
酪氨酸	-	+	生物素	-	+	锌	+	+
色氨酸	-	+	叶酸	-	+	钴	+	+
苏氨酸	-	+	维生素 B <sub>12</sub>	+	+	碘	+	+
甘氨酸	-	+ -				硒	+	+
丝氨酸	-	+ -				镍	+	+
缬氨酸		鸡+				锡	+	+

注 标有“+”“-”的精氨酸、甘氨酸和丝氨酸是半必需氨基酸，在有些条件下动物自身合成的速度不能满足最大生长的需要，而需要日粮中供给。

### (三) 水分

#### 1. 水分的概念

饲料在 100~105℃ 烘至恒重所失去的重量，定义为该饲料的水分含量。干物质是指从饲料中扣除水分后的物质的重量，可用每千克含多少克 (g/kg) 或以百分率 (%) 表示。

在评价饲料的养分含量以及设计饲料配方时，需要把水分扣除才能有个统一的处理标准。尤其是青贮饲料和青绿饲料等含水量极不稳定的饲料原料，在干物质基准上评价和分析其养分含量才方便使用。

#### 2. 水在饲料中有两种存在状态

一是游离水，二是结合水。同种饲料中水分含量高低主要取决

于游离水变化。不同饲料中水分含量不等，风干饲料一般含水分在12%左右。饲料中含水分高时易发热、发霉或变质，所以含水量是影响饲料质量的重要因素，直接影响饲料贮藏期限。动物体内也含有水分。畜体含水量随家畜种类、体况和年龄而异。幼年家畜含水分多，越胖含水分越少。例如出壳雏鸡含水分85%左右，42周龄时含水55%。

### 3. 水分在家畜体内有多种功能

例如运输、溶剂、化学反应的介质、润滑、维持器官形态和体态、调节体温等。

### 4. 家畜可从3方面获得水

饮水、饲料中的水和代谢水，以饮水为主。

### 5. 水的供应十分重要

缺水可影响动物健康、严重可致死，蛋鸡缺水产蛋量下降，肉鸡缺水生长缓慢。

## 第二节 蛋白质与氨基酸

### （一）蛋白质的概念与营养作用

粗蛋白质（CP）是常用于表示饲料中蛋白质含量的一种指标。一般用饲料中含氮化合物中的总氮量乘以6.25的积来表示。

蛋白质是生命的基础，是动物一切生命活动和生产活动不可缺少的物质，它在动物体内的特有功能是其其他任何物质不能取代和转化的。蛋白质是组成机体的结构物质（细胞组成）是体内代谢活性物质（激素、酶、免疫抗体）的主要成分，是组织更新、修补的原料。蛋白质还可以像碳水化合物、脂肪一样作为动物的能源物质。但碳水化合物和脂肪却不能代替蛋白质，所以在动物饲养中蛋白质既重要又最易缺少。在动物生产上，蛋白质的质和量直接关系到动物生命、生长、发育、繁殖和生产，因此饲料中供应足够质和量的

蛋白质对动物生活和生产有重要作用。

## （二）动物对蛋白质的需要量

不同动物对蛋白质的需要量不同。动物对蛋白质的需要量随物种、品种、生长发育阶段、生理状况、生产性能等而变化。环境温度过高或过低时也会影响动物的蛋白质和氨基酸需要量。

为保持营养平衡，在设计饲料配方时必须根据能量水平调整蛋白质和氨基酸水平，各种氨基酸占粗蛋白质的比例应保持不变，这对于白来航鸡和产蛋火鸡特别合适。蛋白质供给过剩不仅浪费，而且因需消化分解和排出它们而加重肝和肾的负担，严重时会导致肝脏结构和功能损伤，最终导致机体蛋白质中毒，即酸毒症。所以一般饲养标准都规定相应动物的蛋白质需要量。

## （三）蛋白质消化率

反映蛋白质被动物消化吸收的比例，常以吸收的氮占食入氮的百分数（%）表示，叫表观消化率。若从粪中扣除因肠道上皮细胞脱落等产生的内源氮，则所得结果叫真消化率。影响饲料消化率的主要因素有饲料品质、动物物种、品种、年龄、生理状态和饲养管理等。饲料品质因素包括：蛋白质种类。例如羽毛粉的粗蛋白质含量可达 86% 但消化率仅 25% 豆粕含粗蛋白质约 46% 消化率为 90%。②粗纤维水平影响蛋白质消化率。粉碎粒度。加工方式。例如加热过度的豆粕其蛋白质消化率下降。蛋白酶抑制因子。例如生大豆含蛋白酶抑制因子，降低大豆蛋白质的消化率。⑥非蛋白氮，猪鸡等不可利用。

## （四）氨基酸的概念

鸡对蛋白质的需要实际上是对氨基酸的需要。鸡不仅要求饲料中氨基酸的种类齐全，而且还要求氨基酸间有一定数量和比例。蛋白质的生物学价值不仅取决于蛋白质消化率，而且还取决于所含氨基酸的平衡状况。

### 1. 氨基酸

一般认为构成动物机体蛋白质的氨基酸只有 20 种。

## 2. 必需氨基酸

必需氨基酸是指动物体内不能合成或合成速度和数量不能满足动物正常生理及生产需要，必须由饲料供给才可满足动物正常生理活动及生产需要的氨基酸。

对雏鸡而言，必需氨基酸一般有 13 种 赖氨酸 蛋氨酸 苏氨酸 亮氨酸 异亮氨酸 苯丙氨酸 缬氨酸 色氨酸 组氨酸 精氨酸，甘氨酸 胱氨酸和酪氨酸 鸡成年后，体内甘氨酸、胱氨酸和酪氨酸的合成能力逐渐增强，其需要量相对下降，所以成年鸡的必需氨基酸仅为 10 种。

## 3. 非必需氨基酸

非必需氨基酸是指动物能自身合成或无需添加就可从饲料中获得足够需要的氨基酸。饲料中的氨基酸被分为必需和非必需，但对于动物生长过程两者都是必需的。非必需氨基酸一般占动物总氨基酸需要量的 50% 左右，如果非必需氨基酸不能满足需要，机体将利用必需氨基酸合成，结果引起必需氨基酸缺乏。考虑到必需氨基酸成本较高，生产上一般要首先满足非必需氨基酸的需要。从营养上讲，非必需氨基酸也是动物营养需要的重要养分，只不过动物自身能足量合成它们，饲料中缺乏时不致患病。

## 4. 氨基酸平衡

当饲料或饲粮中所含的各种氨基酸之间的比例与动物氨基酸需要量的比例一致或很接近时，氨基酸的利用效率最高。这种氨基酸组分之间的恰当比例，就叫氨基酸平衡。

氨基酸平衡不仅在必需氨基酸之间，而且在必需氨基酸与非必需氨基酸之间，同样有重要意义。尤其当必需氨基酸供给量不足时，其重要性更明显。所以在设计饲料配方时，一定要注意各种氨基酸占粗蛋白质的百分比，即营养平衡。

## 5. 限制性氨基酸

有些氨基酸在常规饲料或饲粮中不能满足动物营养需要，且

这些不足的氨基酸又影响到其他氨基酸利用和蛋白质生物学价值。这些氨基酸被称为“限制性氨基酸”。由于非必需氨基酸可在动物体内足量合成，所以限制性氨基酸都是必需氨基酸。在必需氨基酸中根据其易缺程度可分为第一、第二、第三、……限制性氨基酸。常见的限制性氨基酸是蛋氨酸、赖氨酸和色氨酸。

不同生产目的时限制性氨基酸的排列顺序不同。例如鸡第一限制性氨基酸是蛋氨酸，第二限制性氨基酸是赖氨酸，而猪第一限制性氨基酸是赖氨酸，仔猪第二限制性氨基酸是苏氨酸。

## 6. 氨基酸的构型

除甘氨酸外，按碳原子构型可把氨基酸分为 *L*-型和 *D*-型。动植物体蛋白质水解后产生的氨基酸都是 *L*-型的。合成和发酵法产生的氨基酸有 *L*-型氨基酸、*D*-型氨基酸及 *L*-型和 *D*-型混合的 *DL*-型氨基酸。动物只能直接利用 *L*-型氨基酸。除蛋氨酸外，*D*-型和 *DL*-型氨基酸利用率很低，甚至完全不能被利用。

## 7. 氨基酸的消化率

不同动物对不同饲料的氨基酸消化率不同，设计饲料配方时最好按可消化氨基酸设计。在为特定动物设计饲料配方时，影响氨基酸消化率的主要因素只有3个：即饲料原料品种（例如鱼粉中的赖氨酸比棉粕中的消化率高）、加工方法（例如熟豆粕中的赖氨酸比生豆粕中的消化率高）和饲料配方的营养平衡程度或原料搭配比例（养分越平衡的饲料其养分消化率越高，包括氨基酸的消化率），所以在设计饲料配方时，要选择合适的饲料原料，并进行适度初加工，合理搭配各种原料，使各种常量和微量养分达到最佳平衡状态，这是设计饲料配方的最低要求。

## （五）理想蛋白质

理想蛋白质是指各种必需氨基酸以及供给合成非必需氨基酸的氮源之间有最佳平衡比例的日粮蛋白质。一般地说，必需氨基酸总量与非必需氨基酸总量之间的比例为1:1~45:55。通常以日

粮赖氨酸为基准，以赖氨酸的量为 100% 以其他氨基酸占赖氨酸的百分比表示理想蛋白质的氨基酸模式。

动物对饲料蛋白质的利用，是将蛋白质消化降解为氨基酸，然后以氨基酸（少部分以短肽）的形式吸收、参与机体代谢，合成各种动物组织蛋白，生产产品。各种蛋白质不仅消化率不同，所含氨基酸组成比例也不同。当动物合成某一组织蛋白（或生产某一特定产品，如鸡蛋）时，动物只是按所要合成蛋白质中氨基酸组成比例利用饲料蛋白质中的氨基酸。如果其中一种或几种必需氨基酸比例低于所要合成蛋白质中相应氨基酸的比例，则会限制其他氨基酸的利用，降低饲料蛋白质的生物学价值。只有供给的蛋白质中所含氨基酸比例与要合成蛋白质一致时，蛋白质才能最有效地被利用，各种氨基酸的效价也最高。可见，饲料蛋白质的质量不仅取决于所含氨基酸的总量和消化率，而且还取决于氨基酸组成的比例。一般说来，动物性蛋白质所含必需氨基酸量和比例都与动物需要量接近，因而生物学效价高，品质好。多数谷物及其他植物性蛋白质含必需氨基酸总量少，比例不符合动物需要，生物学价值低，品质差。目前营养学家们视与某特定动物群体特定生长阶段的体组织蛋白质（或某产品蛋白质）中氨基酸比例一致的蛋白质为此群体、此阶段的“理想蛋白质”。

#### （六）蛋鸡的理想蛋白质模式

国内外有不少关于家禽的氨基酸模式，差异很大。理想蛋白质氨基酸模式是以日粮赖氨酸为基准的。产蛋鸡对特定数量单体氨基酸的生理需要主要是用于生产鸡蛋蛋白和体组织蛋白。尹清强等（1995）推荐罗曼蛋鸡产蛋前期氨基酸模式见表 1-3。

氨基酸需要量的最好表达方式是以每天氨基酸的摄入量（一般为 mg/d）直接表示而不是占饲料的百分比。美国 NRC（1994）根据体重及日采食量对产蛋鸡每日氨基酸需要量进行了计算。见附录。

表 1-3 罗曼蛋鸡产蛋前期的各种氨基酸模式

氨基酸	A	B	C	氨基酸	A	B	C
赖氨酸	100	100	100	缬氨酸	106	98	97
苏氨酸	78	72	72	异亮氨酸	76	69	73
蛋氨酸	43	42	44	亮氨酸	205	189	196
胱氨酸	27	25	24	酪氨酸	69	63	64
色氨酸	16	15	15	苯丙氨酸	110	101	101
组氨酸	57	53	53	精氨酸	124	119	119

注：数据引自《中国兽医学报》，1995,15(4)；A 为饲养试验的最佳氨基酸模式；B为回归分析优选氨基酸模式；C 为回归分析优选可消化氨基酸模式。

### (七) 肉仔鸡的理想氨基酸模式

肉仔鸡的氨基酸需要量受日龄、性别、温度、品种和氨基酸平衡的影响。表 1-4 列举了一些研究机构所建议的氨基酸需要量。美国 NRC(1994) 将肉仔鸡的氨基酸需要量按三个生长阶段进行划分；ARC(1981)和 SCA(1987) 则按两个生长阶段进行划分。美国 NRC(1994)的估测值看起来比较合理，因为生长动物的营养物质需要量，尤其是蛋白质和氨基酸的需要量随生长阶段而急剧变化。

表 1-4 肉仔鸡氨基酸需要量 %

养分	NRC(1994)			ARC(1981)		SCA(1987)	
	0~3	4~6	7~8	0~4	5~8	0~4	5~8
	周龄	周龄	周龄	周龄	周龄	周龄	周龄
消化能(MJ/kg)	13.38	13.38	13.38	13.0	13.0	12.54	13.38
粗蛋白质	23.0	20.0	18.0	18.8	15.6	—	—
精氨酸	1.44	1.20	1.00	1.03	0.76	1.02	0.94
甘氨酸+丝氨酸	1.50	1.00	0.70	1.40	1.02	—	—
组氨酸	0.35	0.30	0.26	0.48	0.36	0.40	0.35
异亮氨酸	0.80	0.70	0.60	0.85	0.64	0.57~0.8	0.51
亮氨酸	1.35	1.18	1.00	1.47	1.07	0.16~1.94	1.22
赖氨酸	1.20	1.00	0.85	1.10	0.80	1.13	0.90
蛋氨酸+胱氨酸	0.93	0.72	0.60	0.92	0.67	0.85	0.59
蛋氨酸	0.50	0.38	0.32	0.48	0.36	0.45	0.35

续表 1-4

养分	NRC(1994)			ARC(1981)		SCA(1987)	
	0~3	4~6	7~8	0~4	5~8	0~4	5~8
	周龄	周龄	周龄	周龄	周龄	周龄	周龄
苯丙氨酸+酪氨酸	1.34	1.17	1.00	1.58	1.16	1.36	1.13
苯丙氨酸	0.72	0.63	0.54	0.85	0.64	0.79	0.63
苏氨酸	0.80	0.74	0.68	0.74	0.53	0.68	0.54
色氨酸	0.23	0.18	0.17	0.21	0.15	0.21	0.17
缬氨酸	0.82	0.72	0.62	0.98	0.71	0.77~1.06	0.73

## (八) 理想蛋白质氨基酸模式的应用

### 1. 配制低蛋白质日粮

在设计饲料配方时,添加限制性氨基酸使日粮氨基酸水平与需要量处于平衡,可降低饲养标准中粗蛋白质1~2个百分点,最大限度地提高饲料利用率。在利用理想蛋白质体系配制低蛋白氨基酸平衡日粮时必须注意,以可利用氨基酸为基础配制日粮和采用自由采食方式效果才较好。

### 2. 有效利用非常规蛋白饲料

缓解蛋白质资源缺乏的另一个重要方法是充分利用非常规蛋白质饲料,如菜子粕、棉子粕、肉骨粉、羽毛粉等。棉子饼和菜子饼中含有毒物质。一般以化学去毒剂和限制在日粮中的使用比例来减少其毒性和对适口性的影响;而对其营养不平衡性,改善途径是以可消化氨基酸为基础按理想蛋白氨基酸模式配制日粮。

### 3. 有利于环境保护

利用理想氨基酸模式,使家禽对日粮蛋白质的利用率提高,从而减少由排泄物导致的环境污染。此外,因为过多的氮以尿素或尿酸形式排出,而合成这些物质需耗用能量,所以理想氨基酸平衡可缓解家禽应激,这对笼养鸡特别重要。

## (九) 理想蛋白质氨基酸模式目前存在的问题

现有理想氨基酸模式在理论和实践上存在问题:①动物

体内存在蛋白质周转，已降解的体蛋白并不完全随排泄物或分泌物排出，而是大部分被动物重新利用合成体蛋白。这部分氨基酸如何与日粮氨基酸相平衡，有待深入研究。②饲料中蛋白质结合态氨基酸与合成氨基酸间存在差异，研究理想蛋白质是利用基础日粮中添加合成氨基酸的方式进行的，而结合态氨基酸与合成氨基酸的吸收速度和利用率不同。氨基酸吸收受体内离子平衡状况和代谢调节的影响。目前尚不清楚氨基酸以小肽形式吸收和转运的营养作用对理想氨基酸模式的影响。胃肠激素及许多中枢神经递质（多巴胺、儿茶酚氨、5-羟色胺）都与饲料中相应氨基酸水平有密切联系，但理想氨基酸模式与它们的关系仍有待澄清。

### 第三节 能量与脂肪

任何生命活动都是在能量支持下进行的。一般认为，每天每只动物采食的能量一般相对稳定。饲料中的能量浓度低时采食量增加，能量浓度高时采食量减少，这就是动物“为能而食”的理论。不过动物调节每天能量采食量的能力并不很精确。例如蛋鸡，饲料能量浓度高时会采食较多能量，导致体脂肪增加，影响产蛋性能。更重要的是，动物调节每天能量采食量的能力有限。当饲料中能量浓度过低时，虽然动物会尽量增加采食量以企图摄取足够能量，但由于消化道容积有限，动物消化能力也有限，所以仍有可能得不到足够能量。这就会导致动物分解体组织以满足生存或生产需要，久之会降低生产性能和机体健康水平。

所以一般认为，饲料中能量浓度只能在一定范围内变化，否则会影响动物生产性能和健康水平。例如蛋鸡配合饲料中，代谢能含量在 11.08~12.13 MJ/kg 范围内变化时，每日能量采食量大致不变 10.8 MJ/kg 时已略显影响；低于 10.8 MJ/kg 时就显著降低每天的代谢能采食量。

### (一) 能量的度量单位

在动物营养学范畴,1984年前用“卡(cal)”为单位表示能量,以后按我国国家标准规定,统一改用“焦(J)”(或焦耳)为单位表示。焦与卡的换算关系为:

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ J}; 1 \text{ kcal} = 4.184 \text{ kJ}; 1 \text{ Mcal} = 4.184 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ J} = 0.2388 \text{ cal}; 1 \text{ kJ} = 1000 \text{ J}; 1 \text{ MJ} = 1000 \text{ kJ}$$

卡(cal)是指在101.325千帕(kPa)的恒定压力下将1g无空气的水从14.5℃加热到15.5℃所需的热量。准确的全称应为克卡。各种能的形式都可转变成热能,所以过去营养学者都习惯用热单位来表示能的量。1000 cal称为1 kcal,1000 kcal称为1 Mcal。

焦耳是指1 kg质量的物体在力的方向上移动1 m所做的功。换言之即用1“牛顿”的力把1 kg质量的物体在力的方向上移动1 m所需能量,简称为“焦”。1牛顿N是加在质量为1 kg的物体上使之产生1 m/s<sup>2</sup>加速度的力。

### (二) 总能

#### 1. 概念

总能是指饲料在完全燃烧时所释放的总热量。

#### 2. 能量的估计

总能 = [粗蛋白质含量 × 23.85 + 粗脂肪含量 × 39.33 + (干物质含量 - 粗蛋白质含量 - 粗脂肪含量 - 粗灰分含量) × 17.57] / 1000

饲料中含有的能量并非都能被动物利用。有些能量随粪便、尿液、呼吸和体表散热过程而损失。

### (三) 消化能

粪中所含的能量叫粪能。消化能是指从动物食入饲料的总发热量中减去从粪中排出的总发热量的差值,是一种评价有效能值的初级指标,又称粗能。

消化能 = 总能 - 粪能

用常规消化试验所测得的粪能中既包含饲料中未消化物的能量，同时也包括消化道脱落物、肠道内分泌物和肠液微生物等所含能量。因而所测得的消化能又称为表观消化能，比真消化能值低。家禽的粪尿通过泄殖腔同时排出，很难把粪单独分离出来测定，所以在设计家禽饲料配方时一般不使用消化能。

#### (四) 代谢能

##### 1. 概念

饲料中的总能减去粪能和尿能（反刍动物和马等还要减去甲烷能）后的能值叫代谢能。通常对甲烷能、代谢性粪能、内源性尿能忽略不计，所以又称为表观消化能，表观代谢能加代谢性粪能及内源性尿能则成为真代谢能，有种种测定方案，可更进一步地反映饲料的生理能值。通常如没加注解的代谢能值即为表观代谢能。用常规方法测定猪饲料中的表观代谢能值时须粪、尿严格分离，分别测定，但对禽类则一般不作分别测定。

##### 2. 代谢能的估计

不同动物对饲料的消化利用能力不同，所以同一饲料用于不同动物时的代谢能不同。实践中可据下列回归公式估计有关饲料的代谢能（山西配合饲料资源成分及营养价值表，山西人民出版社，2002）：

$$\text{能量饲料 } ME = 4.184 \times (-0.036337 X_1 + 0.091893 X_2 - 0.062025 X_3 + 0.047236 X_4 - 0.085197) \quad (R^2 = 0.81)$$

$$\text{动物性饲料 } ME = 4.184 \times (0.029266 X_1 + 0.085202 X_2 + 0.096512) \quad (R^2 = 0.91)$$

$$\text{植物性蛋白饲料 } ME = 4.184 \times (0.042431 X_1 + 0.080297 X_2 - 0.038323 X_3 + 0.041593 X_4 - 0.671555) \quad (R^2 = 0.66)$$

$$\text{青绿饲料 } ME = 4.184 \times (0.016889 X_1 + 0.024867 X_2 -$$

$$0.004\ 568\ X_3 + 0.018\ 602\ X_4 + 0.009\ 494) \quad (R^2 = 0.95)$$

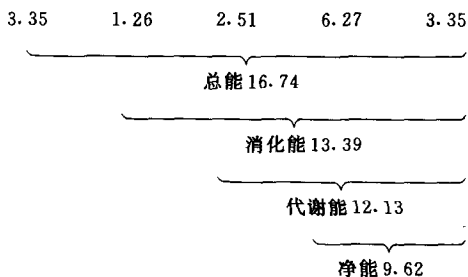
上述公式中,  $ME$  是代谢能 (MJ/kg)  $X_1, X_2, X_3$  和  $X_4$  分别代表粗蛋白质、粗脂肪, 粗纤维和无氮浸出物的百分含量。

### (五) 净能

净能是饲料的代谢能减去热增耗 (反刍动物还要减去发酵热) 后的能值。热增耗主要由消化道微生物发酵热耗和营养素新陈代谢所需热增耗两大部分组成, 是动物机体内食人饲料后不可避免的损耗。净能一般根据消化能或代谢能计算。用于奶牛者为产奶净能, 用于肉牛者为增重净能, 用于维持者为维持净能。

为使读者了解各种能量间的数量关系, 这里给出产蛋鸡摄入 1 kg 饲料中的能量在不同阶段消耗的量。在 1 kg 含有 16.74 MJ 能量的饲料中有 12.13 MJ 可被母鸡用于代谢 约 9.62 MJ 能量用于维持、产蛋和组织生长 (后二者是净能)。这个数量关系可用表 1-5 表示。

表 1-5 产蛋鸡摄入 1 kg 饲料中的能量在不同阶段消耗的量



### (六) 碳水化合物

#### 1. 碳水化合物的概念

碳水化合物包括粗纤维和无氮浸出物 (或称可溶性碳水化合物) 两种组分, 粗纤维包含有纤维素、半纤维素、木质素、果胶以及

动物性的甲壳素等。木质素并非碳水化合物，只因它与纤维素和半纤维素共同作为植物细胞壁的结构物质，才把它列为碳水化合物。无氮浸出物包含有单糖、双糖和多糖类（淀粉）物质。

无氮浸出物不是单一的化学物质。其中还包括有单糖、双糖、无碳糖、淀粉及部分可溶性木质素、半纤维素等。溶于水和稀酸，易消化。主要成分是单糖（葡萄糖）、双糖（乳糖、蔗糖）及多糖（淀粉、糊精）。

在植物干物质中约50%是纤维素。粗纤维是饲料中较难被家畜消化的组分，在动物性饲料中一般不含粗纤维。有时在动物性饲料中出现的粗纤维多系混杂物。

## 2. 碳水化合物的来源

碳水化合物是来源最广、在植物饲料中含量最多的营养物质，是动物饲料的主要组成部分。淀粉主要存在于禾本科植物子实、块根和块茎类饲料原料中，占碳水化合物总量的60%~70%。纤维素通常与半纤维素和木质素等结合在一起，构成植物细胞壁，主要存在于植物子实饲料的皮壳和茎、叶等秸秆类粗饲料中。植物在生长初期幼嫩阶段由纤维素组成，随着植物逐渐成熟细胞壁逐渐木质化，木质素含量逐渐增多。纤维素和半纤维素都是比较复杂的多糖类化合物，可被动物体内的微生物酵解而消化利用。木质素是一种芳香族化合物，不能被畜禽消化。

## 3. 碳水化合物的营养功能

碳水化合物是动物的主要能量来源；是形成体脂的重要原料，脂肪贮于体内，可作为能量贮备物质；碳水化合物为动物体内合成非必须氨基酸提供碳架；是动物体组织的构成物质；碳水化合物还是泌乳家畜合成乳糖和乳脂的原料。

无氮浸出物特别是糖和淀粉，主要功能是提供能源，多余部分转化为脂肪。

胃肠道内没有纤维素酶，所以不能消化粗纤维中的纤维素和

半纤维素。由于粗纤维吸水性强，进入消化道吸水后体积膨大，使家畜有饱感。在单胃动物，粗纤维本身不易被消化，其主要功能是填充胃肠，促进肠道蠕动和粪便排泄。粗纤维增加能量消耗，使饲料营养价值降低。日粮中粗纤维含量（ $X$ ）与日粮消化率 $Y$ 有如下关系（相关系数为 0.91）：

$$Y = 86.90 - 3.622X$$

粗纤维中的木质素难于消化，没营养价值。它常与纤维素和半纤维素结合在一起，阻止酶与其他营养物质接触，从而降低其他养分的消化率。同时木质素还具有便秘性，过多时会引起便秘。所以即使是反刍动物，日粮中的粗纤维也应控制在一定范围内，尤其是高产动物和幼年动物。

## （七）粗脂肪

### 1. 粗脂肪的概念

在饲料成分分析中，凡是能够用乙醚浸出的物质，包括脂肪、油和类脂化合物，总称为粗脂肪。粗脂肪中除包括脂肪外，还含有部分有机酸、蜡质、色素和类脂质。因为测定的醚浸提物中，除真脂肪外，还含有其他溶于乙醚的有机物质，例如叶绿素、胡萝卜素、脂溶性维生素和有机酸等，所以称之为粗脂肪或醚浸出物。

### 2. 粗脂肪的营养功能

（1）脂肪是构成动物体组织的重要组成部分，动物体的各种器官和组织如神经、血液、肌肉、骨骼和皮肤等都含有脂肪。

（2）脂肪对动物体有保护作用。皮下脂肪不仅能隔热保体温，而且使皮肤有一定弹性；体内器官周围的脂肪因具有弹性所以对器官有保护作用；肠壁周围的脂肪还有润滑作用。

（3）脂肪是供给动物能量和动物贮藏能量的最好形式。因为脂肪在动物体内占体积小而含热能高，脂肪在动物体内代谢所产生的热量是同一重量的碳水化合物所产热能的 2.25 倍 动物采食脂

肪后体增热小，所以夏季炎热时在饲料中添加适量脂肪可降低食后体增热，减少应激。

(4) 脂肪是重要营养物质。油脂是供给动物必需脂肪酸的基本原料；植物油、鱼油等富含动物所需的必需脂肪酸，是动物必需脂肪酸的最好来源；动物体组织的生长和修复，尤其是幼年动物生长，都需要从饲料中摄取脂肪；粗脂肪是形成激素的原料。鸡体中的胆固醇通过紫外线作用能形成维生素 D 雌素酮、雄素酮等性激素也是由胆固醇合成的。产蛋母鸡日粮中，应含 2% 左右的亚油酸。如果必需脂肪酸供应不足，会降低公鸡授精能力及母鸡的产蛋率和孵化率。

(5) 饲料中脂溶性维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K 及胡萝卜素等被动物采食后，必须先溶解于脂肪才能被吸收、运输和利用，饲料中缺少脂肪会导致脂溶性维生素代谢障碍。

(6) 脂肪是畜产品的重要组成部分。对于家禽，日粮脂肪酸组成能影响其体脂肪和产品中脂肪的组成。这是因为植物性（或动物性的）饲料中的脂肪在动物体小肠内消化吸收后，直接沉积于动物体脂肪组织中。例如蛋黄中脂肪酸的组成模式与饲料中脂肪酸的组成模式相似。单胃动物如肉鸡、猪、马等对脂肪酸不能进行氢化作用，体脂品质受日粮中脂肪性质的影响，日粮中不饱和脂肪酸多时，体脂会变软。粗脂肪占鸡蛋重量的 10% 占蛋内成分 1.2% 粗脂肪是形成蛋的原料。

(7) 脂肪的额外能量效应。添加高水平脂肪时，日粮有效能值大于各原料单项有效能值的和，这种现象称为脂肪的额外热能效应。这是因为添加高水平脂肪时，日粮在肠道的停留时间明显增加，有利于饲料完全消化和各种养分的充分吸收。

### 3. 在设计饲料配方时考虑粗脂肪

饲料中不饱和脂肪酸多时易氧化发霉，不过有时必须在饲料中额外添加脂肪才能达到饲养标准规定的能值，例如肉鸡等配合