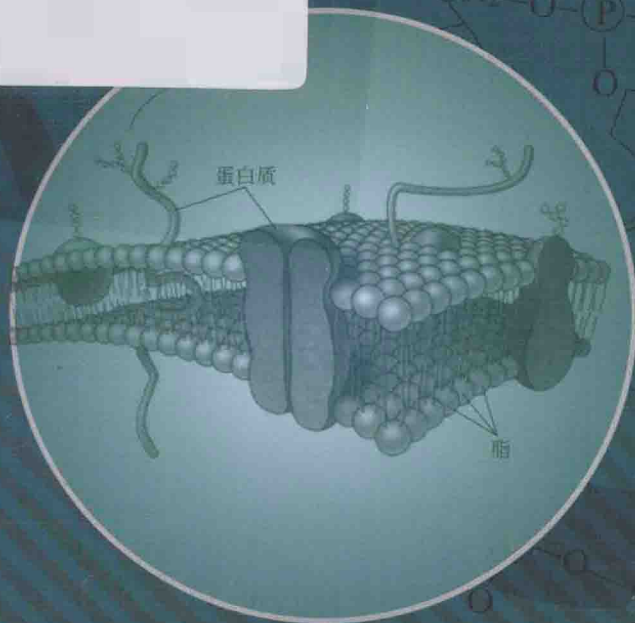
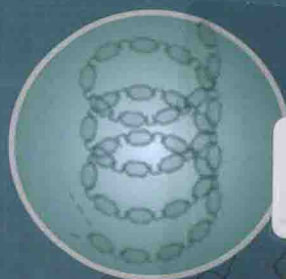


普通高等教育“十二五”规划教材

Animal Nutrition Tutorial

动物营养学教程

周 明 主编



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

动物营养学教程

周 明 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书主要论述了动物的蛋白质、糖、脂、能量、维生素和矿物质等的营养原理，概述了饲料营养价值的评定方法，系统地介绍了畜、禽和鱼、虾等在不同生理状态时的营养需要量和饲料配合方法，并对营养调控、营养生态和分子营养等方面的理论和技术作了阐述。

本书可作为高等院校动物科学专业、动物营养专业、饲料加工专业、生物科学、生物工程以及相关专业的师生教材，也可作为畜牧兽医及饲料科技人员等的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

动物营养学教程/周明主编. —北京: 化学工业出版社, 2014.5

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-19268-4

I. ①动… II. ①周… III. ①动物营养-营养学-高等学校-教材 IV. ①S816

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 297914 号

责任编辑: 尤彩霞
责任校对: 陶燕华

装帧设计: 刘丽华

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 416 千字 2014 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

《动物营养学教程》编写人员

主 编 周 明 安徽农业大学

副主编 胡忠泽 安徽科技学院

汪海峰 浙江农林大学

参 编 (以姓氏笔画为序)

王永侠 浙江农林大学

王 翀 浙江农林大学

车传燕 安徽科技学院

朱风华 青岛农业大学

邓凯东 金陵科技学院

吕秋凤 沈阳农业大学

许发芝 安徽农业大学

惠晓红 塔里木大学

前 言

我国饲料工业经过 30 多年来的快速发展，现已成为国民经济的重要产业之一，在促进我国现代养殖业的发展方面做出了巨大的贡献。其成就一方面归功于国家的相关政策和饲料行业人员的努力，另一方面有赖于动物营养学理论和技术的支撑。

全国高等农业院校都开设动物科学专业，部分高等农业院校还开设动物营养和（或）饲料加工专业。动物营养学课程是动物科学、动物营养和饲料加工专业的主干课程，因此，本教材就是基于这些需求而编写的。

本教材的主要内容包括蛋白质、糖、脂、能量、维生素、矿物质等的营养原理；营养素之间的相互关系；饲料营养价值评定；动物营养需要量、饲粮配合与采食量调控；动物营养生态；动物的分子营养等。

本书特色较好地体现在以下几个方面。

① 经济生态安全观：我国人多地少，人均资源有限，这是不争的事实。目前用较多的粮食作为饲料和超量使用矿物质饲料等问题，已越来越不适应日益倡导的资源节约型养殖业的发展。动物性食品安全问题和环保问题已被全社会高度关注，而这些问题都与动物营养学科相关。编著者用经济生态安全观来编写本书，以期为我国资源节约型养殖业的发展和动物生产的安全环保提供基本的技术保障和理论参考。

② 教程化：将本课程的知识点模块化、条理化、逻辑化、提升化。

③ 两个统一：动物营养学既是理论性较强的学科，又是生产实践应用较广的技术学科。本教材较好地做到了原理与技术的统一和理论与实践的统一。在理论上，对动物营养学一系列理论特别是对营养调控、营养生态、分子营养理论等作了高屋建瓴的论述。在实践应用方面，对许多实际应用技术如对猪、鸡、奶牛、肉牛、兔、鱼类的饲粮配合方法都作了详细的介绍。

编著者
2014 年 4 月

目 录

绪论	1
第一章 营养源	4
第一节 营养成分	4
第二节 营养成分的来源	9
本章小结	10
第二章 动物的消化生理	12
第一节 消化管	12
第二节 消化腺	13
第三节 动物对饲料的一般性消化吸收过程	14
本章小结	19
第三章 水的营养	20
第一节 水的性质和生理作用	20
第二节 动物体内水平衡的调节	21
第三节 动物的需水量	24
本章小结	27
第四章 蛋白质的营养	28
第一节 蛋白质的化学	28
第二节 动物对蛋白质的消化与吸收	33
第三节 反刍动物对非蛋白氮物质的利用	35
第四节 氨基酸和寡肽的营养	39
第五节 蛋白质、氨基酸代谢及其调控	43
本章小结	46
第五章 糖类化合物的营养	49
第一节 糖类化合物的化学	49
第二节 动物对糖类化合物的消化和吸收	54
第三节 糖类化合物消化产物在动物体内的基本代谢	55
第四节 糖类化合物对动物的营养作用	57
本章小结	59
第六章 脂类的营养	60
第一节 脂类化学与生理作用	60
第二节 动物对脂类的消化和吸收	65
第三节 动物体内脂类代谢及其调控	67
第四节 必需脂肪酸	72
本章小结	75
第七章 能量的营养	77
第一节 概论	77
第二节 饲料能量在动物体内代谢过程	77

本章小结	79
第八章 维生素的营养	81
第一节 维生素概论	81
第二节 脂溶性维生素	82
第三节 水溶性维生素	88
本章小结	109
第九章 矿物质的营养	110
第一节 概述	110
第二节 常量（大量）元素	114
第三节 微量元素	126
本章小结	136
第十章 营养素之间的相互关系	137
第一节 营养物质之间的相互关系	137
第二节 能量与营养物质之间的相互关系	140
本章小结	141
第十一章 饲料营养价值评定	142
第一节 饲料营养价值评定方法	142
第二节 饲料蛋白质营养价值评定	148
第三节 饲料能值评定	149
本章小结	151
第十二章 动物的营养需要	153
第一节 营养需要概论	153
第二节 维持营养需要	155
第三节 生长育肥动物的营养需要	158
第四节 繁殖动物的营养需要	160
第五节 泌乳动物的营养需要	167
第六节 产蛋动物的营养需要	170
第七节 产毛动物的营养需要	181
第八节 役用动物的营养需要	187
第九节 鱼类的营养需要	188
本章小结	193
第十三章 动物饲养标准与饲料配合	195
第一节 有关概念	195
第二节 饲料配方的设计方法	198
本章小结	210
第十四章 动物采食量的调控	212
第一节 概论	212
第二节 动物采食量的调控机理	213
本章小结	216
第十五章 动物营养生态初论	217
第一节 动物与环境温度	217
第二节 营养与动物清洁生产	224

第三节	高铜高锌制剂和砷制剂对生态系统的影响.....	226
第四节	动物的运输应激及其缓解措施.....	228
第五节	其他环境因子对动物的影响.....	229
本章小结		233
第十六章	动物分子营养学初论	234
第一节	概述.....	234
第二节	分子生物学技术在动物营养学中的应用.....	235
第三节	营养物质对基因表达的作用.....	237
本章小结		241
参考文献		242

绪 论

一、营养与动物营养学

从字面上理解,“营养”是指摄入并转化养分,养护身体,以期保证身体健康的生理过程。对于人来说,营养的根本目的是保证身体健康。但对于动物来说,营养的目的不止是保证身体健康,更重要的是为人类生产量多质优的产品。

动物营养学是研究动物摄入营养物质以及被摄入的营养物质消化、吸收、中间代谢和排泄代谢尾产物等一系列的生物学过程。此外,对上述过程,采取适当的营养调控措施,以期动物健康、抗病力强、生产出量多质优的产品。

动物营养学研究内容主要包括:①研究动物在维持(身体健康)和生产过程中需要的养分。到目前为止,已证明动物需要50种以上养分。②研究动物对饲料的摄取、消化、吸收、中间代谢和排泄代谢尾产物等过程。③研究各养分对动物机体的作用及作用机理。④探明各养分之间在动物体内的代谢关系。⑤测定动物对各养分的需要量。⑥从营养学角度,研究提高动物生产性能与饲料营养价值的方法。⑦研究动物生产与生态环境的关系。

动物营养学常采用以下研究方法:①化学分析法:即对饲料、动物组织以及动物排泄物等的成分,采用化学法和仪器法分析。②消化试验法:消化试验包括体内消化实验(全收粪法、指示剂法和尼龙袋法)和体外消化实验(动物源性消化酶法和人工合成消化酶法)。③养分平衡试验法(氮平衡试验和能量平衡试验等)。养分平衡试验又被称为养分代谢试验。④饲养试验和屠宰试验法。⑤其他实验技术(同位素示踪法、外科造瘘技术、无菌技术、组织或细胞培养等技术)。

二、动物营养学发展史略

1898年前,“营养”作为一个科学名词,还很少出现在文献资料上。但对其研究可追溯到更早的历史。Reaumur于1752年用鸟类食物回吐法证明了食物消化过程的化学变化;Spallanzani在1780年用鸟类、其他动物与他本人做试验,证实并发展了这种观点;Prout于1824年鉴定了胃液中含有游离盐酸;Schwann于1833年又鉴定了胃蛋白酶。从此,消化的化学与生理学研究不断地向前发展。法国化学家Lavoisier和Laplace在1783年用豚鼠做了一个著名的呼吸试验,证明了呼吸是一种化学过程。Lavoisier被誉为“动物营养学之父”。

①蛋白质的发现 1816年Magendie用犬的饲养试验证明了:含氮食物对生命是必需的。“蛋白质”术语是由荷兰生物化学家JanMulder于1838年提出的。“蛋白质”一词源于希腊字“proteios”,意为“第一”重要,故国内有许多学者建议将protein(proteios)译为“朐”,但未推广开来,现多用译名“蛋白质”。Boussingault于1839年首次用马、牛做氮平衡试验,证明了:动物不能从空气中固定氮,而含氮食物才为动物所必需。

19世纪50年代,Rathamsted通过饲养试验和对农场动物的调查研究证明:不同的蛋白质营养价值不同。1909年Karl Thomas提出了蛋白质生物学价值的概念和测定方法。1946年,Block和Mitchell提出了衡量蛋白质品质的其他公式,并发展了以蛋白质中氨基酸组成为基础的化学积分法。Rose及其同事(1938)证明了成年人需要8种必需氨基酸。

②脂类的发现 法国科学家Chevreul第一个测定了油脂中化学成分,提出脂肪由脂肪

酸与甘油组成，并分离了许多脂肪酸。初时，认为食物脂肪是动物体脂的唯一来源，但后来 Boussingault (1845) 在鹅与鸭中实验证明：在动物体内糖类化合物可转变为脂肪。Lawes 和 Gilbert (1845) 也得到了同样的试验结果。初时认为脂类的功用是供能，后来发现脂类中还有脂溶性维生素和必需脂肪酸（亚油酸等），它们为人类和动物所必需。

③ 糖类化合物的发现 Schmidt (1844) 从血中分离出葡萄糖；Fehling (1849) 提出了测定葡萄糖的一种灵敏方法；Claude Bernard 在 1856 年发现了肝糖原。从营养角度说，糖类化合物是人和动物的基本能源物质。

④ 矿物质的发现 人类对矿物质营养作用的认识并无固定的模式。1842 年，Chossat 发现，鸟（鸽）需要钙，以颗粒形式补充，可保证其骨骼的正常生长发育；而后，陆续发现其他必需矿物元素；直至 1973—1977 年，Anke 等用合成日粮饲喂山羊和猪，发现镍和砷对农畜具有必需作用。人们历经 130 余年的时间发现了 27 种必需矿物元素。

⑤ 维生素的发现 人们对维生素的认识往往是先认识其缺乏后果或营养作用，后才研究其化学结构和性质。1906 年，F. Hopkins 认为，除了蛋白质、糖和脂外，尚有未知养分 (unknown nutrient)。1912 年，Funk 发现，脚气病、坏血病、癞皮病、佝偻病都是由某类物质缺乏引起的。这类物质具有有机胺的性质，故 Funk 将这类物质命名为“Vitamine”。后来又发现，也有不是有机胺物质的，故将“e”除掉，变“Vitamine (生命胺)”为“Vitamin (维他命)”，现多译为“维生素”。

McCollum 和 Davis 以及 Osborne 和 Mendel (1913—1915) 用“纯”日粮喂鼠，发现了维生素 A 与维生素 B。用豚鼠试验发现了维生素 C (1917)。1922 年发现了维生素 D 和维生素 E。1926 年，又把维生素 B 分为两种，一种耐热，另一种不耐热。1932 年，维生素开始被认定为辅酶系统的组分。最晚 (1947 年) 发现的维生素是维生素 B₁₂。

三、动物营养学对动物生产的贡献

动物营养学理论对动物生产的指导作用很大，主要体现在如下几个方面。

① 营养在动物遗传改良方面的作用 要改良或培育一个动物品种，除需合理的育种方法外，尚要有科学的饲养技术。只有在充裕的养分供给条件下，目标基因才可顺利地表达，才能实现动物遗传组成的质变。

② 营养是动物健康的基本保证 动物营养不良时，会发病甚至死亡。动物各种营养缺乏症就是很好的例证。另外，动物营养不足时，免疫机能下降，因而抗病力下降。

③ 营养是动物高产的条件 动物营养不良时，生产性能下降。此外，动物轻度或临界缺乏营养素时，虽不表现临床缺乏症状，但新陈代谢受到不利的影响或不顺畅，因而动物的生产潜力不能充分发挥。与 50 年前比较，现代动物的生产水平提高了 80%~200%。其中动物营养学的贡献率占 50%~70%。

④ 营养影响动物产品质量 饲料或饲粮化学组成能影响动物产品质量。例如，用玉米型饲粮喂养肉猪，体脂硬度下降；若用大麦部分替代饲粮中玉米，则体脂硬度增大。又如，在蛋鸡饲粮中使用较多的蚕蛹粉，影响鸡蛋的风味。若在饲粮中不合理甚至违规使用某些制剂，会给动物产品造成安全隐患。

⑤ 营养是动物集约化饲养的必要条件 动物生产方式沿革顺序为：个体散放饲养→小群饲养→农场化饲养→工厂化饲养。工厂化饲养动物的特点为：动物群体大，畜（禽）舍密闭，需人工气候。这就要求动物的饲粮全价、平衡，否则动物就会发病甚至死亡，导致动物集约化饲养方式的失败。

⑥ 营养直接影响动物生产成本 据估计，饲料成本约占动物生产总成本的 70%。因此，

降低饲料成本，对降低动物生产总成本的意义很大。对动物营养全价饲养，可使动物生产潜能和饲料营养价值充分发挥，因而生产成本下降。例如，肉猪原来每增重 1kg 需要饲料 4.5~5.0kg，现在只需要 2.5kg 饲料；肉鸡原来每增重 1kg 需要饲料 4.0kg，现在只需要 1.6kg 饲料。另外，营养状况好的动物，抗病力强，发病率下降，因而医疗费用也减少。

四、动物营养学科的发展趋势

① 在动物营养研究方法上，正在或将有新的突破，即由“静态”营养研究逐渐过渡到“动态”营养研究。传统营养学观点把动物假定为固定模式对象，这是不够妥当的。其实，动物是活的机体，生理机能是变化着的，它所处的外界环境条件也往往是不稳定的。世界上一切生物都是在动态中生存和发展着，而不是一个静止不变的过程。传统动物营养学所制定的各种畜禽对营养物质的需要量，通常只把畜禽简单地分为几个阶段，而且设置固定的数值，动物的营养需要量似乎是一组固定不变的数值。例如，美国 NRC (1996) 把阉牛对粗蛋白质的维持需要量定为 $5.7W^{0.75}$ ；国内一些人把乳牛对粗蛋白质的消化率定为 65%，把可消化蛋白质转化为乳蛋白质的效率也定为 65%，把阉牛对粗蛋白质的平均利用效率定为 34%，这些都是采用固定不变的数值来表示动物的营养参数。实际上，畜禽的生长发育特性和生理机能随着环境条件的不断变化而不同，对营养物质的需要量和对养分的利用能力也是不断变化着的，用一个固定的数值表示一个动态的机体物质交换规律显然是不正确的。现今，少数先进的国家或组织开始用数学模型动态地衡量动物对某些养分的需要量。

② 今后对动物营养代谢调控的研究将进一步加强。动物生产实质上就是将饲料原料通过动物这部“活机器”生产肉、蛋、奶、毛、皮等产品的过程。动物营养学的一个主要任务就是探索以最少的饲料原料生产数量最多和质量最好的动物产品的方法。要实现这一目标就必须对动物营养代谢进行调控。目前在这一方面已取得了较大进展，但还远远不够。预期今后将从不同层次上如从动物环境、动物整体、动物组织细胞、动物体内营养物质分子代谢水平上进行调控。

③ 动物营养的研究今后更深入地渗透到其他学科或与其他学科更紧密地结合，形成新的分支学科或边缘学科。例如，营养与生殖学科的结合，形成生殖营养学；营养因子对动物免疫机能调控的深入广泛的研究为正在崛起的新学科营养免疫学奠定基础；动物营养学和动物生态学的相互渗透和相互结合，已基本形成动物营养生态学，该新学科在今后若干年内将得到完善，趋于成熟。分子生物学理论和现代分析手段在动物营养研究中的应用，已导致分子营养学的诞生。用数学方法对动物的营养过程进行定量分析，实行模式优化，采用电子计算机技术来监测动物的营养需要的动态，对动物生长发育和生产性能进行数学模拟，这便是未来的学科计量营养学或数字营养学的基本内涵。将系统论应用到营养学中，形成了系统营养学的雏形。系统营养学突出了系统论方法，如对动物营养进行多层次的调控，便是系统营养学的体现。又如评价一种饲料的质量时，要对饲料原料、饲料配方、饲料加工、饲喂技术、动物生理状态、环境控制等各个环节进行评价，这样方能获得正确的判断。（周 明）

第一章 营 养 源

动物为了维持健康和生产，就需要摄入某些物质。这里的某些物质就是营养源，在动物中被称为饲料。饲料是一种称谓，是外形（形式），其中的营养物质（养分）才是实质（本质）。营养物质在动物体内既起原料作用，又有信号功能。

第一节 营养成分

饲料中含有蛋白质、糖类化合物、脂类物质、维生素、矿物质和水等成分以及储存于有机物质中的能量。

一、营养成分概论

营养成分包括蛋白质（氨基酸）、糖类化合物（习称碳水化合物）、脂类物质、维生素、矿物质和水等成分，以及蕴含于有机物质中的能量。

1. 蛋白质（protein）

蛋白质主要由碳、氢、氧、氮四种化学元素组成（表 1-1），部分蛋白质还含有硫、磷、铁、铜、锌、硒、碘等元素。由于用凯氏（Kjeldahl）微量定氮法测定的总蛋白质中除真蛋白质（true protein）外，尚含有非蛋白质含氮物质（non protein nitrogen），故在营养学科中，将蛋白质称为粗蛋白质（crude protein, CP）。在动物营养上，将含有化学元素氮的所有化合物都称为粗蛋白质。

表 1-1 组成蛋白质的化学元素

单位：%

化学元素	碳	氢	氧	氮	硫	磷	铁
含量	50.0~55.0	6.0~7.3	19.0~24.0	15.0~18.0	0~4.0	0~1.5	0~0.4

蛋白质（真蛋白质）中含氮量较稳定，平均约为 16%（变动范围一般为 15.0%~18.0%）。这意味着，饲料中 1g 氮的存在，就表明其中约含有 6.25（100/16）g 的蛋白质。通常，将 6.25 称为蛋白质的换算系数。

粗蛋白质分真蛋白质和非蛋白氮物质。真蛋白质由多种氨基酸以肽键连接方式构成。组成（真）蛋白质的氨基酸（amino acids, AA）有 20 种，包括甘氨酸、丝氨酸、苏氨酸、酪氨酸、半胱氨酸、天门冬氨酸、谷氨酸、天门冬酰胺、谷氨酰胺、精氨酸、赖氨酸、组氨酸、丙氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、缬氨酸、脯氨酸、苯丙氨酸、色氨酸和蛋氨酸。上述氨基酸的氨基和羧基皆连接于 α -碳原子上，故名 α -氨基酸。除甘氨酸外，其余氨基酸的 α -碳原子都是不对称碳原子，具有光学异构现象。大多数氨基酸属 L 系，即 L- α -氨基酸。但也有很少的 D 系氨基酸，主要存在于某些抗生素和生物碱中。自然界中，还有一些氨基酸如牛磺酸、瓜氨酸、硒氨酸、含羞草氨酸等，属于非蛋白质氨基酸。

非蛋白氮物质是指其分子结构中不含有肽键的一类含氮化合物。这类物质主要有：硝酸盐、铵盐、尿素、氨基酸、含氮脂（如卵磷脂、脑磷脂、磷脂酰丝氨酸、脂氨酸等）、生物碱（如茄碱、蓖麻碱、颠茄碱、尼古丁、可卡因、吗啡、马钱子碱、毒芹碱等）、嘌呤（如腺嘌呤、鸟嘌呤等）、嘧啶（如胸腺嘧啶、胞嘧啶、尿嘧啶等）、胺类（如精胺、精脒、酪

胺、色胺、组胺、半胱胺、乙胺等)、B族维生素等。幼嫩的植物(如叶菜类、豆科牧草等)中非蛋白氮物质含量较多。

2. 糖类化合物(saccharides)

糖类化合物是指含多羟基醛或多羟基酮以及经水解能产生多羟基醛或多羟基酮的一类化合物。根据化学组成,一般可将糖类化合物分为单糖、寡糖、多糖以及相关的其他化合物。

① 单糖(monosaccharides)

不能被降解成更小分子的糖一般被称为单糖。根据其碳原子数量,还可将单糖分为三碳糖(如3-磷酸甘油醛、磷酸二羟基丙酮)、四碳糖(如赤藓糖、苏阿糖)、戊糖(如核糖、木糖和阿拉伯糖等)、己糖(如葡萄糖、果糖、半乳糖、甘露糖等)、庚糖(景天庚酮糖等)和衍生糖(如2-脱氧核糖、鼠李糖、葡糖胺、甘露糖醇、肌醇、葡糖醛酸、半乳糖醛酸等)。

② 寡糖(oligosaccharides)

能被水解成几个(一般指2~6个或2~10个)单糖分子的糖就被称为寡糖,二糖(蔗糖、麦芽糖和乳糖)是其主要代表。蔗糖(sucrose)由1分子葡萄糖和1分子果糖脱水缩合而成,甘蔗和甜菜等植物富含蔗糖。麦芽糖(maltose)由两个分子葡萄糖构成,是淀粉降解而生成的中间产物。乳糖(lactose)由1分子半乳糖和1分子葡萄糖脱水缩合而成。植物不含乳糖,仅哺乳动物的乳腺中能合成乳糖。

另外还有其它寡糖,如纤维二糖(cellobiose,纤维素降解的中间产物)、棉籽三糖(raffinose,由半乳糖、葡萄糖和果糖脱水缩合而成的三糖,在棉籽中含量约为8%)和水苏四糖(stachyose,由葡萄糖、果糖和两分子半乳糖构成的四糖,主要存在于水苏的根中)等。

③ 多糖(polysaccharides)

由多个(一般指10个以上)分子单糖缩合而成。水解时仅产生一种单糖的多糖被称为纯多糖,主要有淀粉(多个 α -葡萄糖分子缩合而成)、糖原(也由许多 α -葡萄糖分子缩合而成)、纤维素(由许多 β -葡萄糖分子以 β -1,4-苷键连成的直链多糖)、木聚糖(多个木糖分子的聚合物)、半乳聚糖(多个半乳糖分子的聚合物)、甘露聚糖(多个甘露糖分子的聚合物)、菊糖(inulin,多个果糖分子的聚合物)等。水解时产生两种或两种以上单糖或还有其他构成单位(如氨基酸等)的多糖则被叫做杂多糖,如半纤维素、阿拉伯树胶、果胶、黏多糖、透明质酸等。

半纤维素(hemicellulose)存在于植物木质化部分,由己糖(葡萄糖、果糖、甘露糖、半乳糖)和戊糖(阿拉伯糖、木糖、鼠李糖、糖醛酸)构成。果胶(pectine)是由甲基-D-半乳糖醛酸构成的聚合物,含存于植物细胞壁中。它可被水浸出而成胶状物。动物消化酶不能将之降解,但微生物能将之降解。黏多糖(mucopolysaccharide)是N-乙酰氨基糖、糖醛酸的聚合物。各种腺体分泌的润滑黏液多富含黏多糖。透明质酸(hyaluronate)是葡萄糖醛酸、N-乙酰氨基糖的聚合物。透明质酸具有高度黏性,在润滑关节、减轻或消除机体因受到强烈震动而影响正常功能方面起着重要的作用。

④ 相关化合物

常与糖伴存或相关的化合物如几丁质、木质素、硫酸软骨素等也被归属为糖类化合物。木质素(lignin)本身不是糖,但与糖紧密相连。木质素可使植物细胞具有化学和生物抗性以及机械强度。木质素为集合名词,是一组紧密相关的化合物的总称。木质素分子由许多苯丙醇单位组成,为一类复杂的基团交互连接的结构。木质素构成植物纤维的物理性外壳,使酶不能进入细胞,因而细胞内容物不能被消化。老熟干草和秸秆富含木质素,因而其消化率极低。几丁质(chitin)又名甲壳素、壳多糖,是N-乙酰氨基糖、碳酸钙的聚合物,为一些无脊椎动物如虾、蟹等外骨骼的主要成分。虾、蟹在不断蜕壳和再生壳的过程中生长,甲壳

素的分解产物 2-氨基葡萄糖对于虾、蟹壳的形成，具有重要作用。

按饲料成分常规分析方案，可将糖类化合物分为粗纤维（crude fibre，CF）和无氮浸出物（nitrogen-free extract，NFE）。粗纤维由纤维素、半纤维素、木质素等组成。无氮浸出物就是除去粗纤维的糖类化合物，包括单糖、寡糖和部分多糖（如淀粉等）。维生素 C 也归属为无氮浸出物。

用常规分析方法，饲料粗纤维含量的测定值偏低。鉴于此，Van Soest（1976）提出了用中性洗涤纤维（neutral detergent fiber，NDF）、酸性洗涤纤维（acid detergent fiber，ADF）、酸性洗涤木质素（acid detergent lignin，ADL）作为评定饲草营养价值的指标。他的分析方案能将粗纤维中的纤维素、半纤维素、木质素分离出来，因而能较好地评定饲料粗纤维的营养价值。各组分的组成关系如下：

$$\begin{aligned} \text{中性洗涤纤维} &= \text{酸性洗涤纤维} + \text{半纤维素} \\ \text{酸性洗涤纤维} &= \text{酸性洗涤木质素} + \text{纤维素} \\ \text{酸性洗涤木质素} &= \text{木质素} + \text{灰分} \end{aligned}$$

3. 脂类物质（lipids）

不溶于水，而溶于乙醚、氯仿、乙醇、苯等普通有机溶剂的一类化合物被称为脂类物质。在饲料常规分析中，用乙醚作溶剂（抽提剂），因此常将这类物质称为（乙）醚浸出物（ether extract，E. E）。由于溶解在乙醚中的物质并非单纯脂肪，而尚含非脂肪物质（如色素、固醇类物质、树脂等），故又将这些浸出物称为粗脂肪（crude fat）。对脂类物质的分类方法很多，这里不作叙述。在动物营养上，一般将粗脂肪分成两类，即（真）脂肪（fats，三酰甘油类）和类脂质。

（1）（真）脂肪

指 1 个甘油分子和 3 个脂肪酸分子脱水缩合而成的化合物，故曾称为甘油三酯（tri-glycerides），但这一名称在化学上不够明确，国际命名委员会建议不要再使用这一名称，而使用三脂酰甘油（triacylglycerols）。

植物性饲料脂肪中的脂肪酸主要是不饱和性脂肪酸，熔点低，故植物性脂肪（植物油）在常温下呈液态；而动物性饲料脂肪中的脂肪酸多为饱和性脂肪酸，熔点高，故动物脂肪在常温下呈现固态。表 1-2 列举了构成脂肪的一些常见脂肪酸。

表 1-2 构成脂肪的常见脂肪酸

脂肪酸种类	分子式	熔点/℃
（1）饱和脂肪酸		
丁酸	C ₃ H ₇ COOH	-7.9
己酸	C ₅ H ₁₁ COOH	-3.2
辛酸	C ₇ H ₁₅ COOH	16.3
癸酸	C ₉ H ₁₉ COOH	31.2
月桂酸	C ₁₁ H ₂₃ COOH	43.9
豆蔻酸	C ₁₃ H ₂₇ COOH	54.1
棕榈酸（软脂酸）	C ₁₅ H ₃₁ COOH	62.7
硬脂酸	C ₁₇ H ₃₅ COOH	69.7
花生酸	C ₁₉ H ₃₉ COOH	76.3
（2）不饱和性脂肪酸		
棕榈油酸	C ₁₅ H ₂₉ COOH	0
油酸	C ₁₇ H ₃₃ COOH	13
亚油酸	C ₁₇ H ₃₁ COOH	-5
亚麻酸	C ₁₇ H ₂₉ COOH	-14.5
花生烯酸	C ₁₉ H ₃₁ COOH	-49.5

(2) 类脂质

这类化合物的种类较多，常见的有以下几种。

① 糖脂 (glycolipid) 甘油分子中的两个羟基被脂肪酸酯化，另一个羟基连着一个糖基，故称为糖脂。牧草（如三叶草等）中的脂肪主要（60%）是半乳糖脂。牧草半乳糖脂中的脂肪酸几乎（95%）都是亚麻酸，少量（2%~3%）的是亚油酸。在动物中，糖脂主要存在于脑和神经纤维中。动物糖脂中的醇基不是甘油，而是鞘氨醇。

② 磷脂 (phospholipids) 在动物中，脑、心、肝、肾、神经组织和禽蛋中磷脂含量较多。例如，神经轴的髓鞘质含磷脂量达 55%。在植物中，豆实中磷脂（如大豆中磷脂）含量也较多。磷脂主要包括卵磷脂 (lecithine)、脑磷脂 (cephaline)、丝氨酸磷脂 (serine phosphoglycerides)、肌醇磷脂 (inositol phosphoglycerides)、磷脂酰甘油 (phosphatidyl glycerols)、心磷脂 (cardiolipin) 和缩醛磷脂 (plasmalogens) 等。

a. 卵磷脂 (磷脂酰胆碱) 为白色蜡样物质，极易吸附水，其中不饱和性脂肪酸很快被氧化。各种动物组织都含有相当多的卵磷脂。其组分胆碱的碱性很强。胆碱在甲基转换过程中起着供甲基的作用；乙酰胆碱为神经递质。卵磷脂有调控代谢、预防动物脂肪肝等的作用。

b. 脑磷脂 (磷脂酰乙醇胺) 在动、植物中含量都较多，与血凝有关。

c. 磷脂酰丝氨酸 (丝氨酸磷脂) 源于血小板和损伤组织，可激活损伤组织表面的凝血酶原。磷脂酰丝氨酸与卵磷脂、脑磷脂可相互转化。

③ 蜡质 (waxes) 蜡为简单脂类，由 1 个脂肪酸分子同 1 个分子长碳链的一元醇构成，在普通温度下为固体。天然蜡质通常是由许多不同的酯组成的混合物，如蜂蜡至少由 5 种不同的酯组成。蜡质广泛分布于动、植物体内，对动、植物有保护作用。在植物体表，蜡质能减少植株由于蒸腾作用而造成水的损失。动物被毛表面蜡质层由于疏水作用而防止被毛湿透。蜡质不易水解，无营养价值。

④ 类固醇 (sterols) 这类物质包括在生物学上重要的化合物，如固醇、胆汁酸、肾上腺皮质激素和性激素等。它们具有一个共同的基本化学结构，即菲核和环戊烷相连接。其间的差别是：双键数量和侧链不同。

a. 固醇 这类化合物在侧链上有 8~10 个碳原子，且在第 3 位碳原子上有一个醇基。它们可被分成：光固醇（来源于植物）、霉菌固醇和动物固醇。胆固醇属于动物固醇，动物固醇是合成固醇类化合物的原料。7-脱氢胆固醇是维生素 D₃ 的前体。麦角固醇属于光固醇，是维生素 D₂ 的前体。

b. 胆汁酸 其结构为菲戊烷核，第 17 位碳原子上有一个 5 个碳原子的边链，边链末端羧基同甘氨酸或牛磺酸形成酰胺键。胆汁酸在小肠中起着重要作用，即能乳化脂肪和激活脂肪消化酶。

c. 固醇类激素 包括雌性激素（雌二醇等）、雄性激素（睾酮）和孕酮以及醛固酮等。

⑤ 萜类 (terpenoids) 由许多连接在一起的异戊二烯单位组成，形成链状结构或环状结构。异戊二烯是一种五碳化合物。维生素 A、维生素 E、维生素 K 都属萜类化合物。

4. 能量 (energy)

能量蕴含于有机营养物质（主要是蛋白质、糖和脂类物质）的化学键中，这些物质降解后才释放出能量。在三大有机营养物质中，脂肪中能量最多，每千克脂肪中的能量一般都在 36MJ 以上。每千克蛋白质中的能量一般为 20MJ 左右；每千克糖类化合物中的能量大多在 16MJ 以上。一些营养物质和饲料中能值如表 1-3 所示。

表 1-3 一些养分与饲料中能值

单位: MJ/kg 干物质

饲料	能值	饲料	能值	饲料	能值
葡萄糖	15.73	甲烷	55.80	玉米	18.54
蔗糖	16.57	草地干草	18.09	大麦	18.25
淀粉	17.7	苜蓿干草	18.21	高粱	18.66
纤维素	17.49	三叶干草	18.70	燕麦	19.58
猪油	39.66	猫尾干草	18.86	米糠	22.09
植物油	39.04	黑麦干草	19.00	小麦麸	19.00
酪蛋白	24.52	稻草	15.72	蚕豆	19.28
尿酸	11.46	大麦秸	16.86	大豆	23.10
乙酸	14.6	玉米秸	18.12	大豆饼	21.20
尿素	10.59	燕麦秸	18.54	花生饼	21.61
胡萝卜	18.32	亚麻饼	21.42	甘薯	17.20

5. 维生素 (vitamins)

事实上,人们并没有给维生素下明确的定义。一般认为,维生素是一类有机物质,对动物机体起着重要作用,微量就能满足动物需要;这类物质在动物体内不作为结构物质和能源物质,而是起着特殊作用;动物一旦缺乏一种或多种维生素,不仅其生产性能下降,而且还会发病,甚至死亡。符合上述条件的物质,都可被视为维生素。从目前来说,比较认可的维生素种类有 15 种,即:维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K、维生素 B₁、维生素 B₂、维生素 B₆、维生素 PP、泛酸、生物素、叶酸、维生素 B₁₂、胆碱、维生素 C 和肌醇。

另外,还有一些物质如 α -硫辛酸、“维生素 U”(抗溃疡因子)、“维生素 P”、“维生素 B₁₅”等,虽还未被多数人认可为维生素,但它们对人和(或)动物起着积极的作用。

6. 矿物质 (minerals)

因最初源于矿物而得名,它们主要以化合物的形式存在,有些是天然产物(如石粉等),另一些是化工产品(如硫酸亚铁等),还有些是用动物组织制得的产品(如骨粉等)。矿物质包括钙(Ca)、磷(P)、钾(K)、钠(Na)、镁(Mg)、氯(Cl)、硫(S)、铁(Fe)、锌(Zn)、锰(Mn)、铜(Cu)、钴(Co)、碘(I)、硒(Se)、钼(Mo)、氟(F)、硅(Si)、铬(Cr)、砷(As)、镍(Ni)、矾(V)、镉(Cd)、锡(Tn)、铅(Pb)、锂(Li)、硼(B)、溴(Br)等物质成分。

7. 水 (water)

由于水在自然界分布广,因此一些人未将水看作是营养物质。其实,水是所有生物(包括人、动物、植物和微生物)的极其重要的营养物质。动物体成分的 60%~75%是水。植物性饲料因收获期和干燥程度不同,其中含水量变异很大,一般为 10%~90%。

二、营养成分的基本功能

饲料中有 6 大类营养物质,即蛋白质、糖、脂、维生素、矿物质和水。它们在动物体内发挥各种各样的作用,功能很多。经综合归纳,这些营养物质在动物体内有三项基本作用:①作为动物体的结构成分,水、蛋白质、糖、脂和矿物质都是动物体的“建筑材料”。②提供能源,糖、脂和蛋白质可氧化供能,为动物之所需。③作为活性物质的成分或组分,例如:蛋白质是载体、受体、抗体、酶、含氮激素和递质等的成分;B 族维生素是辅酶的成分;矿物质是酶、激素和载体等的组分或激活因子。当然,营养物质在动物体内还有许多其他方面的作用。

第二节 营养成分的来源

营养成分来源于植物性饲料、动物性饲料、微生物性饲料、化工合成品和天然矿物质饲料等。

一、植物性饲料

植物性饲料是动物最主要的营养源。植物性饲料主要包括谷实类、糠麸类、饼粕类、豆实类、青绿多汁饲料类和粗饲料类等。玉米、小麦、大麦、高粱、稻谷、粟等谷实类饲料富含淀粉等糖类化合物，含量一般都在70%以上。糠麸类饲料中粗纤维含量均较多，如小麦麸中粗纤维含量为10%左右，另外这类饲料中磷含量多，达1%以上，但主要是植酸磷。大豆饼粕、菜籽饼粕、棉籽（仁）饼粕、花生饼粕、芝麻饼粕等饼粕饲料中蛋白质含量高，一般为35%~48%，是动物最主要的蛋白源饲料。中国是大豆的原产地，大豆产量约占世界产量的10%。大豆中蛋白质含量为33%~38%，脂肪含量约为18%。近年来，不少养殖场将大豆作为配制动物高能、高蛋白饲料的首选饲料原料。青绿多汁饲料是草食动物的重要饲料。青绿多汁饲料中含水量一般为60%~90%，其中胡萝卜素、维生素E、维生素C、维生素K和大多数B族维生素含量较多。粗饲料是草食动物尤其是反刍动物较为重要的饲料。粗饲料中粗纤维含量都很高，一般为30%~50%。大豆油、菜籽油和米糠油等作为特高脂植物性饲料为动物补充能量。

二、动物性饲料

源于动物组织的所有饲料都为动物性饲料，主要包括鱼粉、血粉、肉粉、蚕蛹粉、羽毛粉、虾粉、蚯蚓粉、肠膜蛋白粉、乳清粉、骨粉、贝壳粉、蛋壳粉等。前8种粉中蛋白质含量都较高或很高，其中鱼粉是动物最重要的动物性蛋白源饲料。乳清粉中乳糖含量很高，一般在70%以上，它是仔猪的优良能量饲料。骨粉中钙、磷和镁等矿物质含量高，它是动物重要的钙、磷源性饲料。贝壳粉、蛋壳粉中钙含量很高，达30%以上，它们都是动物的钙源性饲料。血粉中铁很丰富，含量达0.2%以上，铁作为微量元素，其含量已是很高了。肉骨粉也是一种较常见的动物性饲料，其中蛋白质、脂肪、钙、磷含量都较多。动物油（猪油、禽油、牛油、鱼油）更是特高脂动物性饲料。

三、微生物性饲料与化工合成品

目前，微生物性饲料的种类还较少，可见到的这类饲料有饲料酵母、饲料螺旋藻粉等。实际上，饲用微生物乳酸杆菌、双歧杆菌、枯草芽孢杆菌、粪肠球菌、屎肠球菌等益生菌属于微生物性饲料。许多饲用酶制剂都是通过微生物发酵生产的，即微生物产生的，因此按来源应属于微生物性饲料。发酵法生产的维生素B₂（乙酪梭状芽孢杆菌或假丝酵母产生的）、维生素B₁₂也应属于微生物性饲料。

维生素A、维生素D、维生素E、维生素K、维生素B₁、维生素B₆、维生素PP、泛酸、叶酸、胆碱等都是用化学法生产的（表1-4）。蛋氨酸、羟基蛋氨酸、精氨酸、色氨酸、化学合成-酶法生产的赖氨酸、蛋白水解法生产的苏氨酸等都是化工合成品。许多矿物盐如磷酸氢钙、磷酸二氢钙、脱氟磷酸钙、轻质碳酸钙、硫酸镁、硫酸亚铁、硫酸锌、碘化钾、碘酸钙、亚硒酸钠、氯化钴、氨基酸络合盐等都是通过各种化学工艺生产的，皆属化工合成品。