

农业部“十一五”规划教材

动物 营养与饲料

● 林洪金 史东辉 主编



中国农业科学技术出版社

农业部“十一五”规划教材

动物 营养与饲料

● 林洪金 史东辉 主编

中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

动物营养与饲料 / 林洪金, 史东辉主编. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2008. 8
ISBN 978 - 7 - 80233 - 551 - 6

I. 动… II. ①林…②史… III. ①动物 - 营养 (生物) ②动物 - 饲料 IV. S816

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 082378 号

责任编辑 朱 绯

责任校对 贾晓红 康苗苗

出版者 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081

电 话 (010) 82106632 (编辑室)

传 真 (010) 82106626

网 址 <http://www.castp.cn>

经 销 者 新华书店北京发行所

印 刷 者 北京华正印刷有限公司

开 本 787 mm × 1 092 mm 1/16

印 张 23.75

字 数 563 千字

版 次 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

定 价 38.00 元

《动物营养与饲料》 编委会

主 编 林洪金 史东辉
副主编 周淑芹 张春华 汪晏伊

编 者 (按姓氏笔画为序)

王玉群 东北农业大学
冯志华 河北农业大学
史东辉 辽宁医学院动物科学技术学院
石 锐 黑龙江民族职业学院
张绍男 黑龙江农业经济职业学院
张春华 黑龙江畜牧兽医职业学院
汪晏伊 黑龙江生物科技职业学院
周淑芹 黑龙江农业工程职业学院
林洪金 东北农业大学

主 审 丁原春 黑龙江畜牧兽医职业学院

前 言

本教材遵循高等职业教育教学规律,根据高职高专教育的特点,以应用型人才为培养目标,针对学生的特点和就业面向,注重对学生专业素质的培养和综合能力的提高,尤其突出实践技能训练。理论内容以“必需”、“够用”为度,适当扩展知识面和增加信息量;实践内容以基本技能为主,又有综合实训项目。教材内容最大限度地保证其科学性、针对性、应用性和实用性,并力求反映当代新知识、新方法和新技术,以便更好地适应当前畜牧业发展的需要。

《动物营养与饲料》主要内容包括动物营养基础、动物营养需要与饲养标准、饲料原料学、配合饲料与饲料配方设计、配合饲料生产工艺及质量管理5章,书后附有大量的国内外信息资料,方便查阅。本书重点阐述了动物营养与配合饲料生产中的基础理论和最新应用技术成果,内容丰富,实用性强。教材定位于以应用为目的,以讲清概念、强化应用为重点,突出了针对性和实用性。

本教材共分5章。绪论、第三章第三节和第四节由林洪金编写,第一章第一节至第五节、第二章由史东辉编写,第一章第七节至第十节、第三章第二节由张春华编写,第三章第六节、第四章第一节至第二节、实训部分由周淑芹编写,第一章第六节、第三章第一节、第五章第一节至第四节由汪晏伊编写,第三章第五节由冯志华编写,第三章第七节、第八节由石锐编写,第四章第三节、第四节由张绍男编写,第五章第五节及部分附录由王玉群编写。统稿及校对工作由林洪金完成。全书由丁原春教授审稿。

在教材编写过程中,兄弟院校对教材提出了宝贵的意见和建议,同时对编者参阅并应用的相关书籍,表示衷心的感谢。由于编者的理论水平和实践经验有限,教材中可能存在诸多问题和不当之处,敬请专家和读者批评指正。

编 者

2008年7月20日

目 录

绪 论	(1)
第一章 动物营养基础	(4)
第一节 动物与植物的组成成分	(4)
第二节 畜禽对饲料的消化	(9)
第三节 蛋白质与动物营养	(15)
第四节 碳水化合物与动物营养	(27)
第五节 脂肪与动物营养	(38)
第六节 矿物质与动物营养	(44)
第七节 维生素与动物营养	(64)
第八节 水与动物营养	(71)
第九节 能量与动物营养	(74)
第十节 各种营养物质在机体中的相互关系	(80)
第二章 动物营养需要与饲养标准	(86)
第一节 营养需要与饲养标准的基本概念	(86)
第二节 营养需要的测定	(86)
第三节 饲养标准的指标	(90)
第四节 维持营养需要	(91)
第五节 生产需要	(94)
第三章 饲料原料学	(103)
第一节 饲料及其分类	(103)
第二节 粗饲料	(108)
第三节 青绿饲料	(121)
第四节 青贮饲料	(126)
第五节 能量饲料	(141)
第六节 蛋白质补充料	(155)
第七节 矿物质饲料	(173)
第八节 饲料添加剂	(183)
第四章 配合饲料与饲料配方设计	(207)
第一节 概述	(207)
第二节 营养平衡配合饲料配方的设计	(209)
第三节 浓缩饲料的配方设计	(220)
第四节 预混合饲料的配方设计	(222)

第五章 配合饲料生产工艺及质量管理	(231)
第一节 饲料工厂设计	(231)
第二节 饲料原料接收与贮藏	(239)
第三节 配合饲料制造工艺与设备	(242)
第四节 配合饲料的质量管理	(257)
第五节 饲料品质检验	(266)
综合实训	(281)
实训一 畜禽营养缺乏症的诊断与分析	(281)
实训二 常用饲草料的识别与分类	(282)
实训三 干草品质鉴定	(282)
实训四 粗饲料的氨化处理	(285)
实训五 青贮饲料的品质鉴定	(288)
实训六 营养平衡配合饲料配方设计	(290)
实训七 畜牧场饲养现状分析与营养诊断	(293)
实训八 配合饲料厂参观	(293)
实训九 饲料供应计划的制定	(294)
实训十 饲料样本的采集、制备及保存	(295)
实训十一 饲料的感官鉴定和显微镜检验	(299)
实训十二 配合饲料混合均匀度的测定	(299)
实训十三 配合饲料粉碎粒度的测定	(303)
实训十四 饲料水分的测定	(304)
实训十五 饲料中粗蛋白的测定	(306)
实训十六 饲料中粗纤维的测定	(309)
实训十七 饲料粗脂肪的测定	(311)
实训十八 饲料粗灰分的测定	(313)
实训十九 饲料中钙含量的测定	(314)
实训二十 饲料中总磷量的测定	(317)
实训二十一 饲料中食盐含量的估算	(319)
实训二十二 大豆制品中尿素酶活性的测定	(322)
附录一 瘦肉型猪饲养标准	(325)
附录二 鸡的饲养标准	(335)
附录三 牛的饲养标准	(338)
附录四 饲料卫生标准	(352)
附录五 典型饲料配方示例	(354)
附录六 常用畜禽饲料营养成分及营养价值附表	(360)
主要参考文献	(369)

绪 论

我国是一个农业大国，畜牧业在国民经济中占有举足轻重的地位。2004年初，党中央、国务院为解决“三农问题”发出了有关增加农民收入的一号文件，这给发展畜牧业、饲料业创造了有利的条件和时机。到2005年，我国肉类和禽蛋的总产量都已居世界第一，肉类人均占有量超过世界平均水平。畜牧业已由数量型向质量效益型转变，正处于一个迅速发展的阶段。

20年来，我国畜牧业产值占农林牧渔业总产值的比重持续上升，说明畜牧业对农业的发展贡献越来越大。畜牧业已成为大农业中发展速度最快，市场化特征最明显、最具活力、效益最为显著的重要产业。一般发达国家畜牧业产值占农业总产值的比重在50%以上，高的可达70%。畜牧业的好坏已经成为衡量一个国家农业发达程度的重要标志。我国畜牧业产值占农业总产值的比重约为32%，因此，有较大的发展空间。

与此同时，我国畜牧业的发展也面临着诸多挑战。一是重大动物疫病防控形势依然严峻，对畜牧业持续健康发展构成严重威胁；二是消费者对畜产品质量安全更加关注，对畜牧业生产发展提出了更高的要求；三是草原生态局部改善总体恶化的局面尚未得到根本遏制，规模养殖污染问题日益突出；四是蛋白质饲料原料长期供应不足，将继续制约畜牧业的快速发展；五是畜禽良种、畜牧科技、饲料和畜产品监测、草原防火和鼠虫害防治等方面的投入严重不足，基础设施薄弱，影响畜牧业综合生产能力的提高。

而粮食和环境是制约我国畜牧业大发展的重要因素。只有运用现代科学技术手段合理地利用现有资源，解决粮食不足这一问题，才能使畜牧业健康地发展。随着人类生活水平的不断提高，对肉蛋奶的需求量不断增加，致使畜禽生产规模愈来愈大，现代化、集约化程度愈来愈高，饲养密度及饲养量急剧增加，畜禽饲养及活体加工过程中产生的大量排泄物和废弃物，对人类、其他生物及畜禽自身生活环境的污染愈来愈严重。未来的畜牧生产应该做到降低畜产品废品率，保证无污染、无害排放等，才能保障我国畜牧业的健康可持续发展。

中国饲料行业用短短20多年的时间，走过了发达国家饲料工业发展近百年的历程，完成了从手工作坊式的生产到世界第二大饲料生产国的飞跃，成为我国重要的支柱产业之一。主要表现在：

1. 饲料工业支撑了养殖业的发展

畜牧业和水产养殖业发展取得的成就，饲料工业功不可没。1980年以来，世界肉类增量的50%、禽蛋增量的70%和养殖水产品增量的90%来自我国。同期，我国工业饲料产品年递增速度保持在20.5%，为养殖业的快速发展提供了物质保证。

2. 饲料工业带动了种植业结构的调整

玉米是高产高效的农作物品种之一，大力发展玉米生产对于保证我国粮食安全有重要意义。目前，我国玉米总产量的70%以上用作饲料加工原料。随着饲料工业的快速发展，

我国玉米种植面积不断增加。我国畜牧业每年消耗的饲料粮接近粮食总产量的40%，占粮食总消费量的1/3以上，足以看出畜牧业对种植业的带动作用。预计2020年，饲料粮占粮食的比重将达到40%以上，2030年，饲料粮占粮食的比重将达到50%以上，饲料粮总量将超过城镇和农村居民口粮消费总量。

3. 饲料工业推进了养殖业规模化经营

改革开放20多年来，我国畜牧业的发展主要是以家庭小规模饲养为主的量的扩张。畜牧业发展进入新阶段后，畜牧业产业内部的结构性矛盾和资源紧缺、畜产品市场竞争、环境制约等问题日益突出，这就要求必须转变畜牧业生产方式，以规模养殖场和养殖小区为载体，提高规模化、组织化程度和科学饲养水平，有利于资源、技术、资本等生产要素的合理配置，提高畜牧业投入产出率，节本增效，增强畜产品的市场竞争力。我国饲料企业不断延伸产业链条，向畜牧业发展的深度和广度进军，促进了我国养殖小区的发展，提高了畜牧业规模化养殖水平。

4. 饲料工业增加了农民收入

饲料产品对畜牧业发展的贡献率已超过40%。仅饲料转化率从过去的4:1提高到目前的2.6:1一项，就使我国的饲料粮减少消耗10143万吨。饲料科技水平的提高，使有限的粮食资源生产出了更多的畜禽渔产品，农民来自畜牧业和水产养殖业的收入将逐年增加。

5. 促进了相关产业如饲料机械制造业、医药工业、地矿与化工业、发酵工业的发展

我国饲料工业蓬勃发展，取得了令人瞩目的成就，饲料工业已初步建成了具有中国特色，包括饲料原料、饲料添加剂、饲料机械、饲料加工、饲料监测和科技教育等综合配套的独立产业体系。然而，从总体上看，我国的饲料工业尚处于发展阶段，普遍存在着条块分割、行业壁垒、低水平重复建设和资源浪费等问题，难以适应规模化、集约化、现代化养殖业和农业产业化发展的需要。饲料工业面临的主要问题有：

1. 饲料工业技术进步缓慢

第一，饲料工业技术设备落后，企业技术改造困难。从总体上看，随着形势的发展，我国饲料工业设备陈旧、技术老化等问题越来越严重，阻碍了饲料工业的技术进步，而饲料企业技术改造的投入很低；第二，饲料工业科技投入低。长期以来，国家对饲料工业科技投入少，研究与开发的费用占饲料工业总产值的比重不及1%，20世纪80年代以来的投资额仅占饲料工业总产值的0.2%左右。这不仅不能与发达国家相比，而且也低于许多发展中国家；第三，饲料工业科研与生产相脱节。科技成果转化已成为我国饲料工业科技发展的“瓶颈”；第四，低水平重复引进技术。

2. 饲料工业发展水平落后于发达国家

饲料工业技术水平主要体现在配合饲料的转化效率及畜禽生产性能达到的水平，而饲料添加剂是配合饲料的技术核心，体现了一个国家饲料工业的技术水平。从添加剂技术水平看，我国批准使用的饲料添加剂品种仅为美国的38%，日本的90%；我国虽对各大类添加剂产品均有涉足，但主要是磷钙等矿物质，而技术含量高的氨基酸、维生素、抗生素等的研制和生产能力还很低。

3. 饲料企业的规模小而分散，难以实现规模经济

据统计，我国现有时产1t以上的饲料加工企业，平均每个企业的年生产能力不足1万t，其中，时产5t以上的饲料企业只有1503家，占总数的12%，时产10t以上的只占

总数的2%~3%。而目前在世界范围内,时产10t以上的饲料厂占全世界饲料厂总数的30%,产量占饲料总产量的80%。因此,时产10t以上饲料厂的数量将增加,时产5t以下的饲料厂将逐步减少。但我国的饲养方式与国外不同,家家户户小规模饲养是传统的饲养方式,从传统饲养方式向集约化饲喂方式过渡,需要有一个过程,因此,在一定时期内小型饲料厂还占有一定的生存空间。

4. 饲料工业布局不合理

由于区域间的经济发展和消费市场的牵引,导致饲料企业过分集中在少数发达的省份,加工能力出现过剩。而在粮食(饲料粮)主产区及欠发达地区,饲料加工业较少,能力不足,粮食就地转化矛盾突出,制约着养殖业的发展,从而使得我国饲料工业布局与原料供给、市场需求相脱节。而在内地农区,缺少以生产高质量、多品种的预混料和浓缩料为主的骨干企业。从总体上看,我国饲料工业布局不合理,致使一些地区出现饲料产品远不能满足养殖业发展的需求、某些地区又出现开工不足和能力过剩并存的矛盾和问题。

5. 饲料工业结构不协调

从总体上看,我国饲料添加剂工业和饲料原料工业落后于饲料加工业的发展,使饲料工业行业间发展不协调,饲料原料、饲料添加剂工业比较薄弱,不适应饲料加工业快速发展的需要。特别是饲料原料的短缺,供应渠道没有保证。我国饲料加工业主要依靠鱼粉和饼粕作为配合饲料中的蛋白质补充料。目前,我国产鱼粉质次、量少,不得不需要进口大量的鱼粉。同时,饲料品种不平衡。因此,要加快制定饲料工业结构调整政策,大力振兴饲料原料、饲料机械和添加剂工业等行业的发展,不断提高它们在饲料工业乃至在国民经济中的比重。

动物营养与饲料学涵盖了动物营养学与饲料学两大学科,是在动物生理生化的基础上,阐明营养物质与生命活动之间关系的科学。本教材以动物营养理论与饲料配方及饲料加工生产技术为核心,重点培养解决畜牧生产中营养与饲料方面的实际问题的能力,兼顾一定的理论知识,使理论与实践密切结合。本教材包括动物营养学与动物饲养学两大学科的知识,是畜牧兽医专业的应用基础学科。本教材的内容主要有:(1)营养素的生理功能及缺乏症;(2)各种畜禽对饲料养分消化吸收的特点;(3)畜禽的营养需要特点及饲养标准;(4)生产中常用饲料原料的营养特性及应用;(5)饲料配方设计、配合饲料生产工艺及饲料质量控制。针对各部分内容配有相应的实训内容。

动物营养与饲料科学将在以下几方面有较大的发展:(1)营养代谢机理研究正向分子水平深入;(2)营养物质在消化道中的消化吸收机理研究日趋活跃;(3)反刍动物营养研究仍以瘤胃营养代谢为重心,并逐渐向肠道营养代谢扩展;(4)营养物质的生物学新功能在不断被发现;(5)营养需要量和饲料营养价值评定研究正向养分有效性方向转变;(6)营养物质间的相互作用与平衡是动物营养学的研究热点之一;(7)营养研究中更注意与环境的相互关系;(8)建立健全高效饲料工业技术进步运行机制,加大饲料工业标准和检测方法研究制标力度,寻求更有效的评价饲料营养价值的新方法;(9)饲料加工工艺的研究。

本课程是养殖类专业的一门基础课程,学习本课程时,应注重理论联系实际,深入理解营养学与饲料学的基本原理,密切结合生产实践,为合理运用饲料资源奠定坚实的基础。

第一章 动物营养基础

第一节 动物与植物的组成成分

一、动物与植物相互关系

(一) 动植物的代谢特点

动物和植物是自然界生态系统中两个重要组成部分，植物和大多数微生物能利用土壤和大气中的无机物合成自身所需要的有机物，属自养生物。动物则直接从外界环境中获得所需要的有机物，属异养生物。自养生物与异养生物是生物界生态系统内物质循环的两大主要生物群落，他们之间相互制约，相互依存，共同保持着生态系统内的物质平衡。

高等动物按其食性可分为杂食动物、草食动物和肉食动物3类。畜牧生产中饲养的动物主要是杂食动物（如猪和禽）和草食动物（如马属类、兔、牛和羊）。这些动物的饲料直接或间接来源于植物。高等动物在生命活动过程中的排泄物和死后尸体，经微生物分解，最后转化为无机物还原于自然界。绿色植物及少数具有光合作用的微生物是自然界有机营养物质的生产者，它们利用空气和土壤中的二氧化碳、水及各种无机物，通过光合作用合成自身的有机物，同时也贮存能量，释放氧气，为动物生存提供条件。动物则不能直接利用阳光进行光合作用，而是通过摄取饲料进入体内，经分解代谢和合成代谢等一系列复杂的生物化学过程，构成动物体组织和产品。虽然二者在化学成分上存在密切关系，在物质循环上存在着极密切的联系，但构成物质却不尽相同。

(二) 动植物的相互关系

经过人类长期驯化的家养动物，无论是杂食动物、草食动物或肉食动物，都是不同饲料链中的主要消费者。这种以营养为纽带的生态系统，不停地进行着能量和物质的交换，从而构成了自然界的物质循环。动物和植物则是物质循环的两个主要方面。生产领域中动物生产与植物生产是农业生产的两大支柱。植物生产除了为人类生存提供饲料外，也为动物生产提供饲料，特别是人类不能直接利用的农作物副产品，可以通过动物转化为优质的动物产品，供人类食用。而动物生产又为植物生产提供有机肥料，有利于农作物增产增收。因此，动物生产和植物生产不仅是人类生存的条件，而且二者之间还存在着相互依存、相互促进的关系。

由此可见，生物界中动物与植物以营养为纽带，构成各种不同的饲料链，把生物与生物、生物与环境紧密地联系在一起。

二、动植物体的化学组成

畜禽为了生存、生长、繁衍后代和生产，必须从外界摄取饲料。一切能被畜禽采食、

消化、利用，并对畜禽无毒害的物质，皆可作为畜禽的饲料。饲料中凡能被畜禽用以维持生命、生产产品的物质，称为营养物质，简称养分。畜禽从外界环境中摄取含有所需要的各种营养物质的饲料、植物及其产品是畜禽饲料的主要来源。因此，了解畜禽与饲料，特别是植物性饲料的化学组成与畜禽之间的相互关系，是学习畜禽营养学的基础。

(一) 元素组成

畜禽的饲料，除少量来自于动物、矿物质及人工合成外，绝大部分来源于植物。应用现代分析技术测定，在已知的 109 种化学元素中，动植物体内约含 60 余种元素，其中以碳、氢、氧、氮含量最多，占总量 90% 以上。矿物质元素的含量较少，约占 5% (表 1-1)。

表 1-1 饲料和畜体干物质中主要元素的含量

	主要元素含量 (%)					矿物质
	碳	氢	氧	氮	合计	
植物性饲料	45.0	42.0	6.5	1.5	95.0	5.0
肥育公牛	63.0	13.8	9.4	5.0	91.2	8.8

构成动植物的化学元素并非都游离存在，绝大多数是相互结合为复杂的有机或无机的化合物而构成动植物体各种组织器官和产品。在动物营养研究方面，营养学家们将这些元素及有机的或无机的化合物称为营养物质。

(二) 化合物的组成

饲料中的营养物质可以是简单的化学元素，如钙、磷、镁、钠、氯、硫、铁、铜等，也可以是复杂的化合物，如蛋白质、脂肪、碳水化合物和各种维生素等。国际上通常采用 1864 年德国 Hanneberg 提出的常规饲料分析方案，即概略养分分析方案，将饲料中的营养物质分为六大类 (图 1-1)，即：水分、粗灰分、粗蛋白质、粗脂肪、粗纤维和无氮浸出物。所分析的每一类都包括相当杂的多种物质，所以称为“粗养分”。该分析方案概括性强，简单、实用，尽管分析中存在一些不足，特别是粗纤维分析尚待改进，但目前世界各国仍在采用 (表 1-2)。

表 1-2 饲料常规成分分析组分表

组分	过程	主要成分	组分中的化学成分
水分	100℃干燥至恒重，所失重部分即为水分含量	水和挥发性物质	水分 (可能存在挥发性的酸或碱)
粗灰分	在 500 ~ 600℃下灼烧一定时间的残余灰分	矿物质元素	常量元素 (K、Na、Mg、S、Ca、P、Cl) 微量元素 (Fe、Cu、Mn、Co、I、Zn、Se、Br、Ba、Sr) 非必需元素 (Si、Cr、Ni、Ti、Al、V、B、Pb、Sn)
粗蛋白质 (N×6.25)	凯氏定氮法	蛋白质、氨基酸、非蛋白氮	蛋白质、氨基酸、胺类、含氮糖苷、糖脂、B 族维生素 (有时还有硝酸盐类)
粗脂肪	乙醚浸提	脂肪、蜡质及色素等	脂肪、油类、蜡、有机酸、甾醇、维生素 A、维生素 D、维生素 E、维生素 K
粗纤维	酸、碱处理法	纤维素、半纤维素、木质素	纤维素、半纤维素、木质素
无氮浸出物	从饲料总量 (100%) 中减去以上 5 部分	淀粉、糖、部分纤维素、半纤维素、木质素	淀粉、糖、果聚糖、半纤维素、木质素、有机酸、树脂、单宁、色素、水溶性维生素

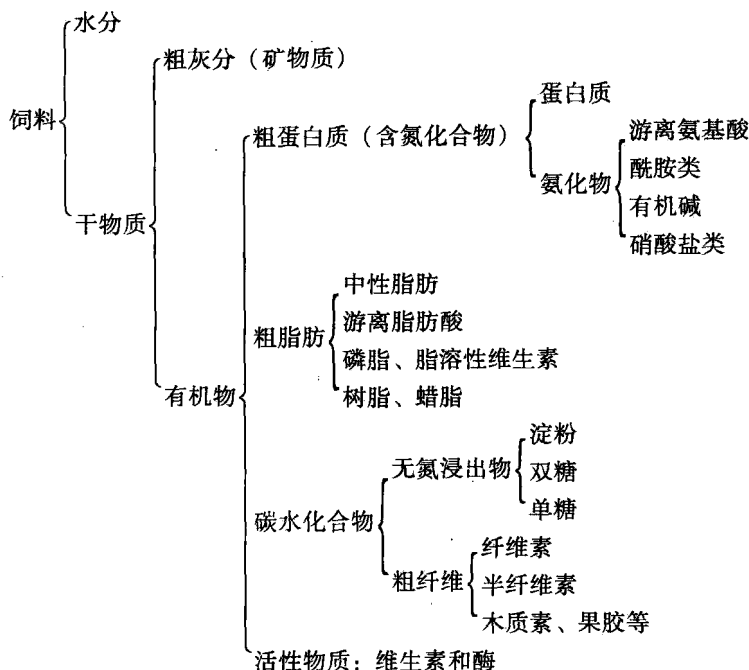


图 1-1 植物性饲料的营养物质组成

1. 水分

各种饲料均含有水分，其含量差异很大，最高可达 95% 以上，最低可低于 5%。水分含量越多的饲料，干物质含量越少，营养浓度越低，相对而言，营养价值也越低。同一种饲料植物，收割期不同、部位不同，水分含量也不一样。幼嫩时含水较多，成熟后水分含量减少；枝叶中水分较多，茎秆中水分较少；青绿多汁饲料和各类鲜糟渣饲料中水分含量较多，谷物籽实和糠麸类饲料中水分含量较少。水分含量多不利于饲料的贮存和运输，一般保存饲料的水分以不高于 14% 为宜。

饲料中的水分常以两种状态存在。一种是存在于动植物体细胞间、与细胞结合不紧密、容易挥发的水，称为游离水或自由水；另一种是与细胞内胶体物质紧密结合在一起、形成胶体水膜、难以挥发的水，称为结合水或束缚水。构成动植物体的这两种水分之和，称为总水分。常规饲料分析将饲料中总水分分为初水分和吸附水。

(1) 初水分 初水分又称自由水、游离水或原始水分。将新鲜饲料样品切细，置于饲料盘中，在 60~70℃ 烘箱中烘干 3~4h，取出在空气中冷却 30min 后称重，再烘干 1h，取出在空气中冷却 30min 后称重，待两次称重相差小于 0.05g 时，所失重量即为初水分。各种新鲜的青绿多汁饲料，含有较多的初水分。

(2) 吸附水 吸附水又称结合水或束缚水。测定初水分后的饲料，经自然风干，放入称量皿中，在 100~105℃ 烘箱内烘干 2~3h 后取出，放入干燥器中冷却 30min，再重复烘干 1h，待两次称重相差小于 0.002g 时，即为恒重，失去的重量为吸附水。

除去初水分和吸附水的饲料为绝干物质 (DM)。绝干物质是比较各种饲料所含养分多少的基础。

2. 粗灰分

粗灰分是饲料、动物组织和动物排泄物等样品在 550~600℃ 高温炉中将所有有机物

质全部氧化后剩余的残渣。残渣主要为矿物质氧化物或盐类等无机物质，有时还含有少量泥沙，故称粗灰分。

3. 粗蛋白质 (CP)

粗蛋白质是常规饲料分析中用以估计饲料、动物组织或动物排泄物中一切含氮物质的指标，它包括真蛋白质和非蛋白含氮物 (NPN) 两部分。NPN 包括游离氨基酸、硝酸盐、氨等。

常规饲料分析测定粗蛋白质，是用凯氏定氮法测出饲料样品中的含氮量后，用含氮量乘以 6.25 计算粗蛋白质含量。6.25 称为蛋白质的换算系数，代表饲料样品中粗蛋白质的平均含氮量为 16%。因此，一般测定粗蛋白质都用 6.25 进行计算。

4. 粗脂肪 (EE)

粗脂肪是饲料、动物组织和动物排泄物等样品中脂溶性物质的总称。常规饲料分析是用乙醚浸提样品后所得的乙醚浸出物。粗脂肪中除真脂肪外，还含有其他溶于乙醚的有机物质，如叶绿素、胡萝卜素、有机酸、树脂、脂溶性维生素等物质，故称粗脂肪或乙醚浸出物。

5. 粗纤维 (CF)

粗纤维是植物细胞壁的主要组成成分，包括纤维素、半纤维素、木质素及角质等成分。常规饲料分析方法测定的粗纤维，是将饲料样品经 1.25% 的稀酸、1.25% 的稀碱各煮沸 30min 后，所剩余的不溶解碳水化合物。其中纤维素是由 β -1, 4-葡萄糖聚合而成的同质多糖；半纤维素是葡萄糖、果糖、木糖、甘露糖和阿拉伯糖等聚合而成的异质多糖；木质素是苯丙烷衍生物的聚合物，是动物利用各种养分的主要限制因子。该方法在分析过程中，有部分半纤维素、纤维素和木质素溶解于酸、碱中，使测定的粗纤维含量偏低，同时又增加了无氮浸出物的计算误差。为了改进粗纤维分析方案，Van Soest (1976) 提出了用中性洗涤纤维 (NDF)、酸性洗涤纤维 (ADF)、酸性洗涤木质素 (ADL) 作为评定饲草中纤维类物质的指标。同时将饲料粗纤维中的半纤维素、纤维素和木质素全部分离出来，能更好地评定饲料粗纤维的营养价值。

饲料中粗纤维含量较高，粗纤维中的木质素对动物没有营养价值。反刍动物能较好地利用粗纤维中的纤维素和半纤维素，非反刍动物借助盲肠和大肠微生物的发酵作用，也可利用部分纤维素和半纤维素。

6. 无氮浸出物 (NFE)

无氮浸出物主要由易被动物利用的淀粉、聚糖、双糖、单糖等可溶性碳水化合物组成。无氮浸出物中除碳水化合物外，还包括水溶性维生素等其他成分。常规饲料分析不能直接分析饲料中无氮浸出物含量，而是通过计算求得。常用饲料中无氮浸出物含量一般在 50% 以上，特别是植物籽实和块根、块茎类饲料中含量高达 70% ~ 85%。饲料中无氮浸出物含量高、适口性好、消化率高，是动物能量的主要来源。动物性饲料中无氮浸出物的含量很少。

随着营养科学的发展和饲料养分分析方法的不断改进，分析手段越来越先进，如氨基酸自动分析仪、原子吸收光谱仪、气相色谱分析仪等的使用，使饲料分析的劳动强度大大减轻，效率提高，各种纯养分皆可进行分析，促使动物营养研究更加深入细致，饲料营养价值评定也更加精确可靠。

饲料中营养物质含量的多少受诸多因素影响，如饲料的种类与品种、收获期、饲料作物部位、贮存时间、土壤环境、施肥、气候条件等。了解影响饲料中营养物质组成的因素，一方面能正确地认识饲料的营养价值和查用饲料成分表，做到合理利用饲料；另一方面还可采取适当的措施，改变饲料的营养物质组成，提高饲料的营养价值。

(三) 动植物体组成成分的比较

为了研究动物与饲料间的相互关系，对动物体组成成分也进行了同样的分析。其养分的组成与植物性饲料组成相比较，既有相同之处，又有明显的区别（图 1-2）。19 世纪初期，科学工作者利用化学分析方法对动植物体化学成分进行研究，并作了比较，发现二者所含化学元素基本相同，都是由 60 余种化学元素构成，但数量略有差异。植物因种类不同，化学元素含量差异很大。不同种类动物体化学元素含量差异不显著。无论植物或动物体的化学元素含量，均以氧为最多，碳、氢次之，钙、磷较少。动物体内的钙、磷、钠、氯、镁、硫等含量大大超过植物，钾含量则低于植物，其他微量元素的含量相对较稳定。植物元素组成则受土壤、肥料、气候条件和收获、贮存时间等因素影响而变化。

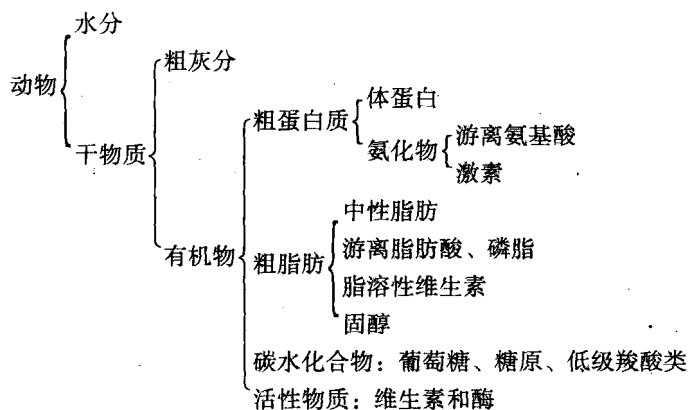


图 1-2 动物体营养物质的组成

动物从饲料中摄取由各种化学元素组成的化合物后，在体内代谢过程中，经一系列化学变化，合成特定的无机和有机化合物。这些化合物大致可分为 3 类：第一类是构成机体组织的成分，如蛋白质、脂肪、碳水化合物、水和矿物质；第二类是合成或分解反应的中间产物，如氨基酸、甘油、尿素、氨、肌酸等；第三类是生物活性物质，如酶、激素、维生素和抗体等。比较图 1-1 和图 1-2 中这些化合物组成可以看出，植物性饲料与动物体组成成分间有以下几方面的差异：

1. 成分上的差异

(1) 碳水化合物 碳水化合物是植物体的结构物质和贮备物质。植物体内的碳水化合物包括无氮浸出物和粗纤维。动物体内没有粗纤维，只含有少量的葡萄糖、低级羧酸和糖原。

(2) 粗蛋白质 植物体内的蛋白质包括纯蛋白质和氮化物。动物体内的蛋白质，除纯蛋白质外，仅含有一些游离氨基酸、酶和激素。构成动植物体蛋白质的氨基酸种类相同，但植物体能自身合成全部的氨基酸，动物体则不能全部合成，一部分氨基酸必须由饲料中获得。

(3) **粗脂肪** 植物体内的粗脂肪含有中性脂肪、脂肪酸、脂溶性维生素、磷脂、树脂和蜡质等。动物体内不含树脂和蜡质，其余成分与植物体内的相同或相似。植物种子中的脂类主要是简单的甘油三酯，复合脂类是细胞中的结构物质，平均占细胞膜干物质的一半或以上。动物体内的脂类主要是结构性的复合脂类，如磷脂、糖脂、鞘脂、脂蛋白和贮存的简单脂类等。

2. 数量上的差异

植物与动物体中各种成分的含量及变化幅度也极不一致，并且植物体内养分含量变化幅度明显高于动物体。主要表现为以下几点：

(1) **水分** 植物性饲料因种类不同，含水量在5%~95%之间变化；动物体的含水量虽然也有变化，但成年动物（生长育肥动物除外）比较稳定，一般多为体重的1/2~2/3。

对生长育肥动物而言，动物体内水分随年龄增长而大幅度降低。以牛为例，胚胎期含水高达95%，初生犊牛含水75%~80%，5月龄幼牛含水66%~72%。降低的原因是由于体脂肪的增加，如瘦阉牛体内含脂肪12%，含水64%；肥阉牛体内含脂肪41%，含水43%。又如猪从体重8kg增至100kg时，则水分从73%下降到49%，脂肪则从6%上升到36%。由此可见，动物体内的水分和脂肪的消长关系十分明显。

水分是动物体成分之一，不同器官和组织因机能不同，含水量亦不同。血液含水量90%~92%，肌肉含水量72%~78%，骨骼组织含水量约45%，牙齿珐琅质含水量仅5%。

(2) **蛋白质和脂肪** 动物体内蛋白质和脂肪含量除肥育家畜有明显变化外，一般健康的成年动物都相似。但植物性饲料则不然，如块根、块茎类饲料的粗蛋白质含量不超过4%，粗脂肪含量仅在0.5%以下，而大豆中粗蛋白质平均含量为37.5%，粗脂肪平均含量为16%。一般来讲，油料植物中脂类含量较多，其他一般植物脂类含量较少。

(3) **碳水化合物** 动物体内的碳水化合物含量低于1%，主要以肝糖原和肌糖原形式存在。肝糖原约占肝鲜重的2%~8%，占总糖原的15%；肌糖原约占肌肉鲜重的0.5%~1.0%，占总糖原的80%；其他组织中糖原约占5%。葡萄糖是重要的营养性单糖，肝和肾是体内葡萄糖的贮存库。

植物体内的碳水化合物含量高，如块根、块茎和禾本科谷物籽实干物质中淀粉等营养性多糖含量达80%以上。豆科籽实中棉籽糖、木苏糖含量高。甘蔗、甜菜等茎中蔗糖含量特别高。

综上所述，动物体与植物性饲料的组成既有相同点又有很大的差别。动物从饲料中摄取6种营养物质后，必须经过体内的新陈代谢过程，才能将饲料中的营养物质转变为机体成分、动物产品或为使役提供能量。

第二节 畜禽对饲料的消化

一、饲料的消化性

动物采食饲料是为了从饲料中获得所需要的营养物质，但饲料中的营养物质一般不能

直接进入体内，必须经过消化道内一系列消化过程，将大分子有机物质分解为简单的、在生理条件下可溶解的小分子物质，才能被吸收。不同动物对不同饲料的消化利用程度不同，饲料中各种营养物质消化吸收的程度直接影响其利用效率。了解动物消化饲料的基本规律和特点，科学认识动物的营养过程，有利于合理向动物供给饲料，提高饲料利用率，节约利用饲料，降低动物生产成本。

（一）消化方式

畜禽的种类不同，消化道系统的结构和功能也不同。但是，它们对营养物质的消化却具有许多共同的规律，其消化方式主要归纳为以下几种：

1. 物理性消化

物理性消化主要是指饲料在动物口腔内的咀嚼和在胃肠运动中的消化。该方式是依靠动物的牙齿和消化道管壁的肌肉运动把饲料压扁、撕碎、磨烂，从而增加饲料的表面积，更容易与消化液充分混合，并把食糜从消化道的一个部位运送到另一个部位，有利于饲料在消化道形成多水的悬浮液，为胃和肠的化学性消化与微生物消化做好准备。但这种消化只是使饲料颗粒变小，没有化学变化，其消化产物不能被吸收。由于饲料粒度对咀嚼及消化器官的肌肉运动产生机械刺激，进而促进了消化液的分泌。若没有这种刺激，则消化液分泌减少，不利于化学性消化。所以对于各种动物而言，均不提倡将精饲料粉碎过细。

口腔是猪、牛、羊等哺乳动物主要的物理消化器官，对改变饲料粒度起着十分重要的作用。鸡、鸭、鹅等禽类对饲料的物理消化，主要是通过肌胃收缩的压力和饲料中硬质物料的切揉，从而使饲料粒度变小。因此，禽类在笼养条件下，配合饲料中一般应适量添加硬质沙砾。

2. 化学性消化

饲料在消化道内的化学性消化，主要是酶的消化。酶的消化是高等动物主要的消化方式，是饲料变成动物能吸收的营养物质的一个过程。单胃动物与反刍动物都存在着酶的消化，但是这种消化对单胃动物的营养具有特别重要的作用。消化酶有多种，大多数存在于腺体所分泌的消化液中，有的存在于肠黏膜内或肠黏膜脱落细胞内。消化腺所分泌的酶主要是水解酶，并且有高度的特异性。根据其作用的底物不同而将酶分为3组，即蛋白分解酶、脂肪分解酶及糖分解酶，每组又包括数种。不同生长阶段的动物，所分泌的消化酶的种类、数量及活性均不相同，这一特性为合理组织动物饲养提供了科学依据。

3. 微生物消化

消化道内的微生物在消化过程起着积极作用。这种作用对反刍动物和草食动物的消化十分重要，是其能够大量利用粗饲料的根本原因。瘤胃是反刍动物微生物消化的主要场所，盲肠和大肠是草食单胃动物微生物消化的主要场所。动物对饲料中粗纤维的消化，主要靠消化道内微生物的发酵。

成年反刍动物的瘤胃容积大，约为胃总容积的80%，消化道总容积的70%，就像一个高效率的发酵罐，其中，寄生着数量巨大的细菌和纤毛虫。饲料中70%~85%的干物质和50%粗纤维在瘤胃内被消化。瘤胃微生物能分泌淀粉酶、蔗糖酶、果聚糖酶、蛋白酶、胱氨酸酶、半纤维素酶等。饲料中的营养物质被微生物酶逐级分解，最终产生挥发性脂肪酸等营养物质供宿主利用，同时产生甲烷等大量气体，通过暖气排出体外。瘤胃微生