



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

动物营养学

第二版

杨 凤 主编

畜牧专业、动物营养及饲料加工专业用

中 国 农 业 出 版 社

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

动物营养学

第二版

杨 凤 主编

畜牧专业、动物营养及饲料加工专业用

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

动物营养学/杨凤主编. -2 版. -北京: 中国农业出版社, 2000.12

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-109-06615-0

I. 动... II. 杨... III. 动物学: 营养学 - 高等学校 - 教材 IV. Q943

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 48155 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 颜景辰

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
1993 年 10 月第 1 版 2003 年 7 月第 2 版北京第 4 次印刷

开本: 787mm×960mm 1/16 印张: 21.25

字数: 376 千字

定价: 28.50 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

第二版编者

主 编 杨 凤 (四川农业大学)
副主编 周安国 (四川农业大学)
编 者 王康宁 (四川农业大学)
左绍群 (四川农业大学)
陈代文 (四川农业大学)
张克英 (四川农业大学)
周小秋 (四川农业大学)
贺建华 (湖南农业大学)
主 审 韩友文 (东北农业大学)
审稿者 周毓平 (中国农业大学)
冯仰廉 (中国农业大学)

第二版前言

本书第一版是“七·五”期间由全国高等农业院校教材指导委员会组织编写的动物生产专业本科教材。1997年，国家教委将该教材规划为面向21世纪重点修订教材，我们按照“思想性、科学性、先进性和实用性”的原则对该书进行了全面修订。

此次修订，我们参考了1998年全国“面向21世纪动物生产类本科人才培养方案及教学内容和课程体系改革研究”课题组提出的教材改革建议；专函征求了各兄弟院校在使用第一版教材中发现的问题及意见，与部分兄弟院校同行交流和总结了动物营养学课程改革和建设的经验；参阅了国外近年出版的大学本科本科教材的结构和内容，增添了近十年来动物营养研究发展的新内容。

本次修订对原书的基本框架未作大的调整，但个别章节，特别是有关营养需要部分，内容变动较大。

我们衷心感谢东北农业大学韩友文教授、中国农业大学冯仰廉教授、周毓平教授为本教材的修改、审核提出的宝贵意见；感谢本专业博士研究生吴德、苏宁等同学在修订讨论过程中提供的建议和协助；最后，特别感谢端木道教授、王久仁同志反复修改、审校教材的内容、文字、数据所付出的辛劳！

书中错误在所难免，请读者批评指正。

编者

1999年12月25日

第一版编者

主 编 杨 凤 (四川农业大学)
副主编 陈可容 (四川农业大学)
编 者 周安国 (四川农业大学)
 王康宁 (四川农业大学)
 钱文龙 (四川农业大学)
 左绍群 (四川农业大学)
 张慎容 (四川农业大学)
主 审 韩友文 (东北农学院)
审稿者 周毓平 (北京农业大学)
 冯仰廉 (北京农业大学)

第一版前言

本书是全国高等农业院校“七五”教材规划中编写出版的教材之一。主要为畜牧专业和动物营养及饲料加工专业本科教学而编写。

根据我国养殖业及饲料工业现代化建设和动物营养学科现代科技发展的需要,不仅在动物营养及饲料加工专业,即使在畜牧专业中只开设《家畜饲养学》,已远不能适应形势要求。为此,遵照农业部专业培养目标原则,北京农业大学、四川农业大学和东北农学院等部分院校早在动物营养及饲料加工专业或在畜牧专业的教学计划中,已分别开出《动物营养学》和《饲料与饲养学》两门课程,几年来从实践中积累了一定经验,一些学校还自编了教材,为在全国农业院校分别开设此两门课程奠定了基础和创造了条件。

本课程对畜牧专业属专业基础课,对动物营养及饲料加工专业则为专业课。课程的主要任务是讲授动物营养学的基础理论、基本知识和基本方法。按思想性、科学性、启发性、先进和适用性的原则,力求内容全面、系统和由浅入深。为便于学生对知识的掌握,在对教材内容的处理中,突出某些章节内容的规律性和特殊性。编写中参阅了国内外近年出版的《动物营养学》、《畜禽饲养标准》和动物营养研究进展等大量最新资料。作为畜牧与动物营养及饲料加工两专业的教科书,为避免与相关课程在内容上的脱节与重复,首先,在拟订教材编写大纲过程中,查阅了有关教材,与有关教材主编取得联系和协商,编写大纲除交教材指导委员会专业组讨论审定外,还较广泛地征求了华南、南京、甘肃、华中和内蒙古等院校有关教师的意见。

编写组由七位富有教学经验和具高级职称的教师组成,编写过程中部分博士研究生参加了讨论。初稿完成后,编写组曾约请审稿者开会进行初步商讨。会后曾蒙审稿者逐章逐句地认真审阅,提出几百条宝贵意见,对此深表感谢。编写组对审稿意见逐一考虑,在认真讨论的基础上,经多次修改定稿。

因时间仓促和编写人员水平所限,错误和不当之处在所难免,欢迎读者指正。

编者

1991年4月

目 录

绪论	1
第一章 动物与饲料的化学组成	6
第一节 动物与饲料	6
第二节 动植物的化学组成	11
第二章 动物对饲料的消化	17
第一节 饲料的可消化性	17
第二节 动物的消化力与饲料的可消化性	22
第三章 水的营养	26
第一节 水的性质和作用	26
第二节 动物体内水的平衡及调节	27
第三节 各种动物的需水量及饮水品质	31
第四章 蛋白质的营养	36
第一节 蛋白质的组成和作用	36
第二节 蛋白质的消化吸收	40
第三节 蛋白质、氨基酸的代谢	44
第四节 蛋白质、氨基酸的质量与利用	46
第五节 非蛋白氮的利用	57
第五章 碳水化合物的营养	59
第一节 碳水化合物及其营养生理作用	59
第二节 碳水化合物的消化、吸收和代谢	65
第三节 纤维的利用	73

第六章 脂类的营养	76
第一节 脂类化学及其作用	76
第二节 脂类的消化、吸收和代谢	81
第三节 必需脂肪酸	86
第七章 能值	89
第一节 能量来源及能量单位	89
第二节 饲料能量在动物体内的转化	90
第三节 动物能量需要的表示体系	96
第四节 饲料的能量效率	98
第八章 矿物质营养	101
第一节 概述	101
第二节 常量元素	104
第三节 微量元素	113
第九章 维生素的营养	124
第一节 脂溶性维生素	124
第二节 水溶性维生素	133
第十章 饲料添加剂	143
第一节 抗生素	143
第二节 酶制剂	147
第三节 益生菌	149
第四节 其他饲料添加剂	152
第十一章 各类营养物质的相互关系	158
第一节 能量和其他营养物质的关系	158
第二节 蛋白质、氨基酸与其他营养物质的关系	160
第三节 矿物质与维生素的关系	162
第十二章 营养需要及饲料营养价值评定的研究方法	165
第一节 化学分析法	165

第二节	消化实验	167
第三节	平衡实验	171
第四节	生长实验	175
第五节	比较屠宰实验	180
第六节	其他实验技术	181
第十三章	营养需要与饲养标准	183
第一节	饲养标准	183
第二节	饲养标准的内容和应用	187
第十四章	动物的采食量	193
第一节	采食量的概念和意义	193
第二节	采食量的调节	195
第三节	影响采食量的因素	201
第十五章	营养与环境	208
第一节	热平衡与温热环境	208
第二节	温热环境对动物营养的影响	211
第三节	动物营养与环境保护	217
第十六章	维持的营养需要	221
第一节	维持需要的概念及意义	221
第二节	动物维持状态下的营养需要	222
第三节	影响维持需要的因素	231
第十七章	生长肥育的营养需要	233
第一节	生长的生理基础	233
第二节	生长肥育的营养需要	239
第三节	生长肥育的饲料利用效率	251
第十八章	繁殖的营养需要	254
第一节	营养与动物繁殖	254
第二节	繁殖周期中母畜及胎儿的营养生理规律	257
第三节	繁殖母畜的营养需要	261

第四节 繁殖公畜的营养需要	268
第十九章 泌乳的营养需要	270
第一节 乳的成分及影响因素	270
第二节 乳的形成	274
第三节 泌乳的营养需要	277
第四节 营养对泌乳的影响	286
第二十章 产蛋的营养需要	290
第一节 蛋的成分、形成和营养因素的影响	290
第二节 产蛋的营养需要	294
第二十一章 役畜工作的营养需要	304
第一节 役畜工作的营养生理	304
第二节 役用动物工作量的衡量	306
第三节 役用动物工作的营养需要	308
第二十二章 产毛的营养需要	314
第一节 毛的成分和形成	314
第二节 产毛的营养需要	318
主要参考文献	322

绪 论

动物生产是将低质的自然资源或农副产品转变成优质动物性食品的理想途径，是人类社会物质资料生产的重要组成部分，对提高人们生活质量、保障健康、促进经济的发展乃至保持社会稳定都起着非常重要作用。动物营养学对动物生产的发展至关重要，它不仅是培养动物生产方面人才的一门重要学科，而且也是推动动物生产不断发展的重要理论指南和技术基础。

一、动物营养学的概念和任务

动物营养是指动物摄取、消化、吸收、利用饲料中营养物质的全过程，是一系列化学、物理及生理变化过程的总称。它是动物一切生命活动（生存、生长、繁殖、产奶、产蛋、免疫等）的基础，整个生命过程都离不开营养。

动物营养学是研究动物摄入、利用营养物质全过程与生命活动相互关系的科学。其主要任务在于：

第一，研究动物生存和生产所需要的营养物质及各种营养物质的生理或生物学功能。到目前为止，已证明各种动物均不同程度地需要约 50 种以上的必需营养物质。未知的营养物质尚有待于发现和证实。

第二，研究各种动物的适宜营养并确定各种营养物质的需要量。阐明需要的营养生理基础和营养缺乏或过量对动物生产和健康的影响。

第三，研究营养素供给与动物体内代谢速度、代谢特点、动态平衡、动物生产特性和效率之间的关系，揭示营养物质进入体内的定量转化规律及其作用调节机制，阐明动物机体与饲料营养物质间的内在联系。

第四，研究各类动物对饲料中营养物质的利用效率，评定饲料的营养价值，阐明影响营养物质利用效率的因素，并提出提高营养物质利用效率的措施和途径。

第五，研究营养与动物体内外环境之间的关系。

第六，寻求和改进动物营养研究的新方法和手段，开拓动物营养研究的新领域。

二、动物营养学在现代动物生产中的重要作用

动物生产是人类获取优质营养食品和某些生活用品的重要社会生产活动。现代动物生产实际上是把动物作为生物转换器，将饲料，特别是营养质量比较差的饲料转化成优质的动物产品（肉、奶、蛋、皮、毛等）。转化利用程度是动物生产效率的具体体现。从本质上说，动物转化的是其所需要的并含于饲料中可利用的营养物质。转化效率固然是由动物自身遗传特性所决定，但营养仍是提高动物生产效率、发挥最大生产潜力的主要因素，即动物品种确定以后，饲养、营养是决定生产效率高低和生产潜力发挥程度的关键因素。

提高动物生产效率，除合理选用品种外，在很大程度上依赖于营养物质利用效率的提高，后者则取决于动物营养研究的发展。20世纪，特别是近半个世纪以来，随着动物营养、动态营养、营养需要研究的深入发展和动物营养学边缘学科等领域的不断扩展，动物生产的发展突飞猛进，生产水平显著提高。全世界猪的生长速度和饲料利用效率比50年以前提高了1倍以上，出栏时间缩短到6个月以下，以前肉猪增重1kg需消耗5kg饲料，而今仅需2.5~3.0kg；肉鸡由原来每增重1kg需饲料4.0kg降到只需1.8~2.0kg；淡水鱼已达摄入1.0kg饲料、增重1.0kg的水平；奶牛年产奶量已从1000kg上升到5000kg，不少牛群平均达9000kg，世界记录已刷新到23000kg；肉牛达到500kg体重，以前需5~6年时间，现已缩短到1a左右，每增重1kg耗料已从过去的8kg以上下降到5~6kg；高产蛋鸡群，年平均每只产蛋量可达250~270枚。

我国动物生产效率从1978年以来有了极大提高，生猪平均出栏率达到125%以上，每头存栏肉猪平均产肉量达到96kg，耗料增重比已经下降到3.5左右，产蛋鸡和肉鸡的生产已基本上达到国际水平。这些成绩的取得，是与我国动物营养研究成果（如饲养标准的制订）的广泛应用和大批专业人才的培养密不可分的。

但是，世界动物生产的饲料成本仍占总生产成本的50%~80%，动物生产效率的进一步提高，仍有待动物营养研究的新突破。

饲料工业是动物营养学发展到一定阶段的必然产物，它有力地推动了集约化养殖业的蓬勃发展，促进了动物生产效率的提高。以动物营养学为科技支柱的饲料工业已成为促进动物生产的一项重要产业。

三、动物营养学的历史、现状和未来

动物营养学是在生产实践和科学实验中产生并在实践中得到不断检验、修

正、丰富和发展完善的。人类在长期生产、生活实践中逐渐认识了食物与机体之间的关系，不断获得新的营养知识。动物营养学就是这些知识不断积累和升华的结果。

在 18 世纪前，人类对营养经历了长期朦胧的感性认识阶段。远古时期的人们已发现食物与机体健康之间存在某些联系。公元前 3000 年，中国已有了关于甲状腺肿的记载，并推荐患者食用海带。公元前 2600 年，中国人发现了糙大米可以治疗脚气病。古希腊医学之父 Hippocrates 在公元前 460—前 364 年就建议用动物肝脏治疗夜盲症，并描述了坏血病的症状。1564 年，荷兰医生 Ronssens 首次推荐用柑橘预防坏血病。玉米传入欧洲不久，西班牙一位内科医生便描述了癞皮病的症状。但是，当时的人们并不知道为什么特定的疾病与特定的食物有关系。

在长期生产实践活动中，人类很早以前就有了朴素的食物、饲料营养价值的认识。罗马时代的普利尼就认识到了“适时收割的干草要比成熟时收割的好”，并指出“改进饲养才能获得良好的家畜生产效益”。中国在春秋战国时代就提出了“五谷为养，五果为助，五畜为益，五菜为充”（“五”为“多种”之意）的朴素的膳食平衡观点。这些直观经验性的认识，为动物营养学形成独立的学科提供了宝贵的材料。

人类社会进入 18 世纪后，随着实验科学的产生，研究动物和生命有机体的科学得到迅速发展，加之在物理、化学、生物学发展的推动下，动物营养知识的积累也大大加速，并且有着质的飞跃。

被誉为动物营养学奠基人的法国伟大化学家拉瓦锡（Lavoisier，1743—1794），1783 年用豚鼠进行呼吸代谢实验，提出了“生命是一个化学过程”的论断，从而奠定了动物营养学的理论基础。自此，化学和生理学成了构建营养学大厦的两块基石。随后经过大约 100 年时间的探索，确定了蛋白质、脂肪和碳水化合物为动物机体的能源。1807 年，英国的 Fordyce 通过实验证明产蛋鸡需要补充钙，由此揭开了矿物质营养研究的序幕。1810 年，德国科学家 Thaer 提出了以干草为标准（干草价）衡量其他饲料营养价值的评定方法，并提出了饲喂动物的饲料定额，这是饲养标准的雏形，由此启动了制定饲养标准的研究。1864 年，德国 Hanneberg 提出了饲料概略养分分析方案，大大加快了动物营养的研究步伐。1898 年，美国 Henry 提出了以可消化总养分（TDN）为基础的饲养标准，此后以淀粉价、饲料单位为基础的饲养标准也相继提出。这些建立在科学实验基础上的探索和研究成果，使动物营养知识在深度和广度上均有了较大发展，为动物营养学奠定了坚实的科学基础。

20世纪初至70年代,在分析化学、生物化学、生理学等发展的推动下,动物营养研究十分活跃,发展迅速。1912年,波兰化学家Funk在谷壳中发现了一种能防止人类脚气病、鸡多发性神经炎的有机物质(后来被命名为维生素B₁),并创用了“维生素”一词。1913年美国学者在鱼肝油和奶油中发现了维生素A,上述研究掀起了三四十年代维生素鉴定分离和合成的热潮。1925年,美国学者Hart及其同事发现,单是补铁不能治愈大鼠的缺铁性贫血,还必须同时补铜。1930年,美国伊里诺伊斯大学Rose及其同事对大鼠的研究,确定其正常生长需要的10种必需氨基酸。1937年,美国Maynard所著的《动物营养学》出版,标志着动物营养学正式成为一门独立的学科。

20世纪80年代以来,动物营养研究进一步快速发展。猪、家禽等非反刍动物理想氨基酸模式、饲料营养物质生物学效价评定的研究日益深入,反刍动物饲养标准开始采用蛋白质新体系,以可消化氨基酸为基础配制猪、鸡饲料已用于实践,营养物质动态代谢研究,营养与免疫、营养与动物体内外环境、营养与遗传等领域里的研究已突破了传统营养学的范围。

现在动物营养研究已经开始从以静态为主描述营养物质的转化利用规律转向动态营养研究。饲养标准的研究、制定和营养定额的表达方式也开始发生相应变化。今后的饲养标准不仅是符合动物营养生理特点的动态标准,还具有准确预测生产性能和优化饲养决策的功能。制定饲养标准走向计算机化、模型化的道路已成为必然的发展趋势。NRC(1998)《猪的营养需要》已在计算机化方面迈出了第一步。

动物营养研究不仅要弄清动物自身的调控稳恒机制及外界环境对营养代谢的制约,还要使进入动物体内的营养物质,按照人的意愿进行分流,并生产出优质的动物产品,达到通过营养、饲养调控动物产品品质和量的目的。反过来,能够根据一定的动物产品的质和量,准确预测饲料、营养物质的供给量和适宜的饲养技术及适宜的环境条件,使动物生产以最少的投入,获得最大的产出为人类服务。

世界人口日益增长,粮食需求剧增,发展动物生产,充分合理利用大量植物性饲料,开辟更加广泛的饲料营养资源,仍然有待动物营养和相关学科携手攻关,早日取得理论和技术上的新突破。

在未来社会发展中,“粮食与畜禽”、“人畜争粮”、“环境保护”、“绿色食品”等都是人们十分关注的全球性问题。为了解决这些问题,不断提高动物生产中饲料营养物质转化效率,更好地利用有限资源,发展高效优质动物生产,动物营养学还任重而道远,需要大家发扬“献身、求实、协作、创新”的精神。

四、动物营养学与其他学科的关系

动物营养学是生命科学中理论性、应用性均较强的学科，与自然科学中三十多门学科，特别是与生命有关的学科关系密切，也和哲学、自然辩证法、经济学和法律等人文学科相互联系。掌握这些门类的知识将有助于推动营养研究的发展，更全面深入地了解动物营养学。

饲料和饲养是动物营养学的姊妹学科。动物营养学研究营养需要的发展历史，实际上也就是饲料营养价值评定和饲养技术研究发展的历史。

动物生理学和生物化学与动物营养学紧密相关，是动物营养学阐明营养物质在体内代谢转化以及评定动物对营养物质需要量的理论根据。生理、生化的发展对动物营养研究具有特别重要的推动作用。这两门学科是学好动物营养学和从事动物营养研究、揭示营养作用机制必备的基本知识。

物理学特别是同位素示踪技术、射线照拍技术、色谱技术，数学特别是应用数学以及计算机技术是动物营养学的基础知识和重要的研究手段与工具。

微生物学是动物营养学研究消化道营养，特别是反刍动物和单胃草食动物营养的重要理论基础。

分子生物学的理论和实验技术将有助于动物营养学从根本上阐明营养物质的摄入、利用与生命活动之间的关系。动物营养学与之交叉结合，势必将在动物营养方面获得重大突破。

第一章

动物与饲料的化学组成

动物为了维持自身的生命活动和生产，必须从外界环境中摄取所需要的各种营养物质或含有这些营养物质的饲料。植物及其产品是动物饲料的主要来源，因此，了解动物与饲料，特别是植物性饲料的化学组成与动物之间的相互关系，是学习动物营养学的重要基础。

本章重点阐述了动物与植物的相互关系，动植物的化学组成，动物饲料中主要营养物质，特别是饲料概略养分分析方案中六大成分的概念。以后各章均是从不同角度，不同侧面对动物与饲料的关系的展开和深化，所以本章是本书的逻辑起点。

第一节 动物与饲料

一、动物与植物

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。异养生物与自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。

高等动物的食物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，他们利用二氧化碳、水及各种无机物，通过光合作用生产各种有机物。同时也贮存能量，释放氧气，为动物生存提供条件。由此看出，生物界中动物和植物，以营养为纽带，构成各种不同的食物链，把生物与生物，生物与环境紧密地联系在一起。

经过人类长期驯化的家养动物，无论杂食动物、草食动物或肉食动物，都是不同食物链中的主要消费者。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。动物与植物则是物质循环