



普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

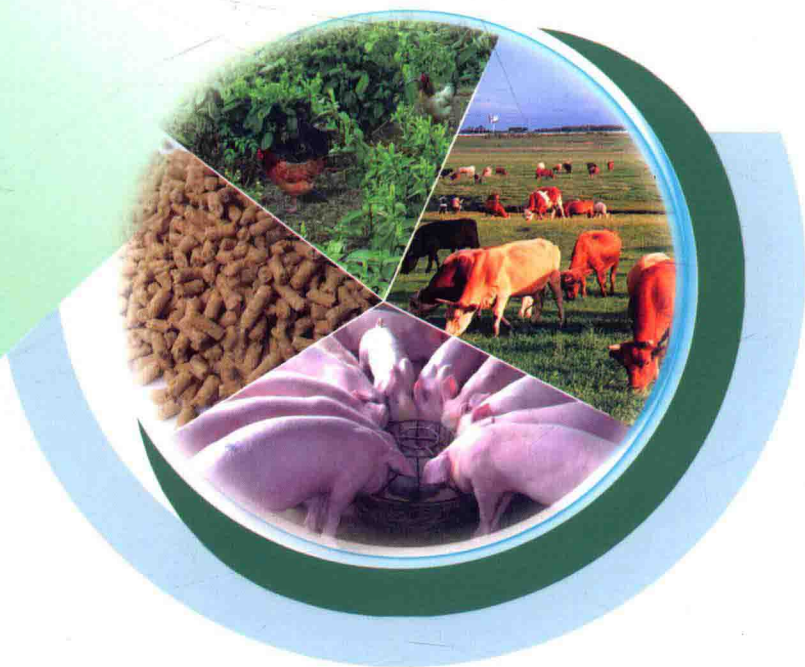
动物营养


第二版

与饲料学

Animal Nutrition and Feed Science

陈代文◎主编



 中国农业出版社

普通高等教育农业部“十二五”规划教材
全国高等农林院校“十二五”规划教材

动物营养与饲料学

第二版

陈代文 主编

中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

动物营养与饲料学/陈代文主编. —2 版. —北京:
中国农业出版社, 2015. 8
普通高等教育农业部“十二五”规划教材 全国高等
农林院校“十二五”规划教材
ISBN 978-7-109-17489-4

I. ①动… II. ①陈… III. ①动物营养—营养学—高
等学校—教材②动物—饲料—高等学校—教材 IV.
①S816

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 145301 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区麦子店街 18 号楼)

(邮政编码 100125)

策划编辑 何 微

文字编辑 陈睿贻

北京通州皇家印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行
2005 年 7 月第 1 版 2015 年 8 月第 2 版
2015 年 8 月第 2 版北京第 1 次印刷

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 26.5

字数: 640 千字

定价: 44.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内容简介

本教材是按照动物科学专业本科学生应具备的动物营养和饲料学基础理论和专业知识编写的教学用书。除绪论外，全书共分3篇29章：第一篇(动物营养原理)介绍动物营养生理、蛋白质营养、糖类营养、脂类营养、能量营养、水的营养、矿物质营养、维生素营养、动物微生态营养、环境与动物营养、营养与健康、营养与畜产品品质相关内容；第二篇(饲料学)介绍饲料的分类、青粗饲料、能量饲料、蛋白质饲料、常量矿物质饲料、饲料添加剂、饲料营养价值的评定、饲料生物安全相关内容；第三篇(动物营养需要及饲料配制)介绍动物的采食量、营养需要与饲养标准、维持的营养需要、生长育肥动物的营养需要、繁殖的营养需要、泌乳动物的营养需要、产蛋禽的营养需要、其他营养需要、配合饲料与配方设计相关内容。每章末进行了小结，并列出了复习思考题；书后附有主要名词术语中英文对照及主要参考文献。

本教材为动物科学专业及相关专业本科学生的教学用书，也可作为动物营养专业硕士研究生、畜牧兽医科研人员、饲料管理部门管理人员、饲料和养殖企业技术人员的参考用书。

第二版编写人员

主 编 陈代文 (四川农业大学)

副主编 余 冰 (四川农业大学)

张克英 (四川农业大学)

贺建华 (湖南农业大学)

郭荣富 (云南农业大学)

兰云贤 (西南大学)

参 编 (按姓名笔画排序)

丁雪梅 (四川农业大学)

王立志 (四川农业大学)

车炼强 (四川农业大学)

毛湘冰 (四川农业大学)

方正锋 (四川农业大学)

田 刚 (四川农业大学)

苏 军 (西南大学)

吴 德 (四川农业大学)

何 军 (四川农业大学)

张正凡 (西南民族大学)

罗玉衡 (四川农业大学)

罗钧秋 (四川农业大学)

周克勇 (西南农业大学)

郑 萍 (四川农业大学)

赵 叶 (四川农业大学)

贾 刚 (四川农业大学)

曾凡坤 (西南科技大学)

虞 洁 (四川农业大学)

第一版编写人员

主 编 陈代文 (四川农业大学)

副主编 张克英 (四川农业大学)

贺建华 (湖南农业大学)

郭荣富 (云南农业大学)

兰云贤 (西南农业大学)

参 编 (按姓名笔画排序)

丁雪梅 (四川农业大学)

田科雄 (湖南农业大学)

孙新文 (石河子大学)

杨胜林 (贵州大学)

吴 德 (四川农业大学)

余 冰 (四川农业大学)

陈克麟 (云南农业大学)

周克勇 (西南农业大学)

宾石玉 (广西师范大学)

郭春华 (西南民族大学)

贾 刚 (四川农业大学)

梁明振 (广西大学)

黄兴国 (湖南农业大学)

曾凡坤 (西南科技大学)

熊小文 (江西农业大学)

随着我国高等教育教学改革的不断推进,不少高校动物科学专业已将分别开设的动物营养学和饲料学课程合并为动物营养与饲料学,动物医学、水产养殖、特种经济动物养殖、野生动物保护等本科专业更需要一本融营养学和饲料学于一体的《动物营养与饲料学》。因此,编写《动物营养与饲料学》对本课程的规范教学具有积极作用。随着现代畜牧业和饲料工业的发展,资源、环境、安全问题亟待解决,现代科学技术的迅速发展为有效解决这些问题提供了可能。因此,动物营养与饲料学作为生命科学和资源环境科学的组成部分,必须及时反映相关学科的发展,针对产业发展中的关键问题,系统构建相关理论基础和知识体系。本次修订即是在上述背景下提出和完成的。按照“思想性、科学性、先进性和实用性”的原则,力求做到既要把握好本科层次学生应具有的知识水平和业务技能,又要反映学科和生产发展的现实成就和未来需要,本次修订对章节结构进行了调整优化,对章节内容进行了理清更新,删减了疑难内容。在体现学科发展趋势的微生态营养、环境与动物营养、营养与健康、营养与畜产品品质、饲料生物安全、营养结构等内容方面做了进一步提炼,以引领学生学习和思考。通过修订,基础理论更加完善,知识结构更加合理,系统性逻辑性更强。为便于学生的学习,保留了每章小结、复习思考题、主要名词术语中英文对照。

除了参与第一版写作的湖南农业大学、云南农业大学、西南大学、西南科技大学和西南民族大学的老师继续参与修订外,本次修订的主要工作由四川农业大学动物营养团队中参与本课程教学的十余位教师共同完成。修订组多次开会讨论提纲和内容,分工完稿后分别由副主编、主编审阅定稿。

《动物营养与饲料学》作为高等农业院校动物科学专业本科主干专业基础课教材或教学参考用书,也可供动物医学、水产养殖、特种经济动物养殖、野生动物保护等专业本科生及动物营养与饲料专业硕士研究生参考。

鉴于教材内容多,篇幅有限,修订难度大,不当之处恳请读者和用书单位及时指正,以便下次修订完善。

编者

2014年10月

《动物营养与饲料学》作为高等农业院校动物科学专业本科主干专业基础课教材，主要为动物科学、动物营养及饲料加工等专业编写。

根据我国养殖业及饲料工业现代化建设和动物营养学现代科技发展的需要，分别开展动物营养学和饲料学的教学，已不能完全满足农业院校动物科学专业本科教学的需要。国内不少高校已将动物营养学和饲料学两门课程合为动物营养与饲料学一门课程。但由于缺乏统编教材，给本课程的规范教学带来一定的影响。为此特编写本教材。本教材主要讲授动物营养学的基础理论、基本知识和基本方法，以及饲料的化学组成、营养特性、饲料营养价值评定方法和饲料的合理利用途径。根据学科和行业的进展及要求，本教材在国内已有的相关教材基础上还增加了微生态营养、营养与免疫、营养与畜产品安全、饲料生物安全等新内容。按照“思想性、科学性、先进性和实用性”的原则，做到既能反映学科和生产发展的现实成就和未来需要，又把握好本科层次学生应具有的知识水平和业务技能，使教材的知识体系和深度适合本科学生的需要。在内容上力求全面、系统和由浅入深。为便于学生的学习，每章进行了小结，并根据教学内容列出了复习思考题；书后附有主要术语中英文对照。

教材编写组由四川农业大学、湖南农业大学、云南农业大学、西南农业大学、石河子大学、贵州大学、西南民族大学、广西大学、西南科技大学、江西农业大学和广西师范大学等 11 所大学的富有教学经验的 20 位教师组成。为了确保教材的质量，编写组多次开会研讨编写提纲和内容。初稿完成后主编和副主编进行了交叉审阅和修改。

鉴于教材编写难度大、时间仓促和编写人员水平有限，书中的不足之处在所难免，恳请读者批评指正，以便修订完善。

编者

2005 年 5 月

第二版前言
第一版前言

绪论	1
本章小结	4
复习思考题	5

第一篇 动物营养原理

第一章 动物营养生理	8
第一节 养分及其来源	8
第二节 动物对养分的消化与利用	10
第三节 各类动物的消化生理特点	13
本章小结	14
复习思考题	15
第二章 蛋白质营养	16
第一节 蛋白质的组成与营养作用	16
第二节 单胃动物蛋白质和氨基酸营养	19
第三节 反刍动物的蛋白质营养	25
第四节 蛋白质的周转代谢	29
本章小结	32
复习思考题	33
第三章 糖类营养	34
第一节 糖类的种类和性质	34
第二节 淀粉的营养	37
第三节 非淀粉多糖的营养	40
第四节 非淀粉多糖的抗营养作用	44
本章小结	46
复习思考题	47
第四章 脂类营养	48
第一节 脂类的性质与作用	48

第二节 脂类的消化利用	51
第三节 必需脂肪酸	56
本章小结	58
复习思考题	58
第五章 能量营养	60
第一节 能量来源及在动物体内的转化	60
第二节 饲料中有效能及测定方法	63
第三节 能量与动物生产	68
本章小结	73
复习思考题	74
第六章 水的营养	75
第一节 水的性质和作用	75
第二节 动物体内水的平衡及调节	76
第三节 动物需水量	78
第四节 水的品质	79
本章小结	82
复习思考题	82
第七章 矿物质营养	83
第一节 概述	83
第二节 常量矿物元素营养	85
第三节 微量矿物元素营养	91
本章小结	101
复习思考题	102
第八章 维生素营养	103
第一节 概述	103
第二节 脂溶性维生素	104
第三节 水溶性维生素	113
本章小结	127
复习思考题	128
第九章 动物微生态营养	130
第一节 概述	130
第二节 微生态平衡	131
第三节 动物微生态营养原理	133
本章小结	137
复习思考题	138

第十章 环境与动物营养	139
第一节 温热环境与动物营养	139
第二节 管理环境与动物营养	145
本章小结	147
复习思考题	147
第十一章 营养与健康	148
第一节 概述	148
第二节 机体的免疫机制	149
第三节 营养对机体免疫力的影响	150
第四节 抗病营养	154
本章小结	156
复习思考题	156
第十二章 营养与畜产品品质	158
第一节 营养与肉质	158
第二节 营养与乳品质	161
第三节 营养与蛋品质	163
第四节 营养与皮毛品质	165
本章小结	168
复习思考题	168

第二篇 饲料学

第十三章 饲料的分类	170
第一节 国际分类	170
第二节 中国饲料分类法	171
第三节 饲料原料目录	173
本章小结	179
复习思考题	179
第十四章 青粗饲料	180
第一节 青绿饲料	180
第二节 青贮饲料	183
第三节 干草	187
第四节 藁秕饲料	190
本章小结	193
复习思考题	194

第十五章 能量饲料	195
第一节 谷类籽实	195
第二节 谷类加工副产物类饲料	201
第三节 块根、块茎及瓜果类饲料	205
第四节 其他能量饲料	208
本章小结	215
复习思考题	215
第十六章 蛋白质饲料	216
第一节 植物性蛋白质饲料	216
第二节 动物性蛋白质饲料	228
第三节 单细胞蛋白质饲料	233
第四节 非蛋白氮饲料	236
本章小结	237
复习思考题	238
第十七章 常量矿物质饲料	239
第一节 常用矿物质饲料的特点	239
第二节 矿物质补充料的生物利用率	243
本章小结	244
复习思考题	245
第十八章 饲料添加剂	246
第一节 概述	246
第二节 营养性饲料添加剂	248
第三节 非营养性饲料添加剂	258
本章小结	268
复习思考题	269
第十九章 饲料营养价值的评定	270
第一节 饲料营养价值的评定方法	270
第二节 动物饲料营养价值评定体系	280
本章小结	287
复习思考题	287
第二十章 饲料生物安全	289
第一节 饲料生物安全的概念及意义	289
第二节 饲料与动物安全	290
第三节 饲料与畜产品的食用安全	292

第四节 转基因饲料生物安全	293
第五节 确保饲料安全的措施	294
本章小结	295
复习思考题	296
第三篇 动物营养需要及饲料配制	
第二十一章 动物的采食量	298
第一节 采食量的概念和意义	298
第二节 采食量的调节	299
第三节 采食量的估计和影响采食量的因素	302
本章小结	303
复习思考题	304
第二十二章 营养需要与饲养标准	305
第一节 营养需要与饲养标准	305
第二节 动物营养需要量的研究方法	308
本章小结	311
复习思考题	311
第二十三章 维持的营养需要	312
第一节 维持需要的概念及意义	312
第二节 动物维持状态下的营养需要	312
本章小结	318
复习思考题	318
第二十四章 生长育肥动物的营养需要	320
第一节 生长育肥的生理基础	320
第二节 生长育肥动物的营养需要	326
本章小结	340
复习思考题	340
第二十五章 繁殖的营养需要	342
第一节 营养对动物繁殖影响	342
第二节 繁殖的营养需要	344
本章小结	350
复习思考题	351
第二十六章 泌乳动物的营养需要	352
第一节 乳的成分及乳的形成	352

第二节 泌乳的营养需要	356
本章小结	363
复习思考题	364
第二十七章 产蛋禽的营养需要	365
第一节 产蛋的营养生理	365
第二节 产蛋鸡的营养需要	367
本章小结	370
复习思考题	371
第二十八章 其他营养需要	372
第一节 产毛的营养需要	372
第二节 役畜工作的营养需要	373
第三节 其他动物	377
本章小结	388
复习思考题	388
第二十九章 配合饲料与配方设计	389
第一节 配合饲料概述	389
第二节 饲料配方的设计原则	390
第三节 饲料配合设计的基本步骤	392
第四节 各类饲料的配方设计	396
本章小结	402
复习思考题	403
主要名词术语中英文对照	404
主要参考文献	410

绪 论

一、营养与营养学的概念与地位

营养是有机体消化吸收食物并利用食物中的有效成分来维持生命活动、修补体组织、生长和生产的全部过程。食物中能够被有机体用以维持生命或生产产品的一切化学物质称为营养物质或营养素、养分。养分可以是简单的化学因素，如钙、磷、钾、钠、氯、镁、硫、铁、铜、锰、锌、硒、碘等，也可以是复杂的化合物，如蛋白质、脂肪、糖类、维生素等。由此可知，有机体的营养过程就是营养物质在机体内的代谢过程。

营养是生物界的共同现象，也是生物及其与环境相互联系的纽带。自然界中的生物根据其营养特点不同，可分为自养生物和异养生物两大类。大部分植物和微生物能够利用土壤中的无机元素、硝态或氨态氮、水及空气中的二氧化碳和叶绿素捕获的太阳能，通过光合作用合成自身需要的各种有机物，同时释放出氧。这些生物属自养生物。大多数动物不能像自养生物那样以简单无机物为食，必须从环境中直接获得所需的有机物及氧。这些生物属异养生物。自养生物的存在成为异养生物的主要食物；异养生物在生命活动中的排泄物和死后尸体，经微小的异养生物（主要是微生物）分解，最后转化为无机物还原于自然界，成为自养生物的食物来源。自养生物和异养生物是生物界物质循环的两大主要生物群落。它们相互制约、相互依存，并同时对环境产生影响，由此构成复杂的生态系统。营养是维系这一系统及其平衡的根本机制，没有合理的营养，生态系统就会被破坏。

营养学是研究生物体营养过程的科学。通过这一过程的研究，可以阐明生命活动的本质，并通过营养调控措施维持生态系统的平衡。根据研究的对象，营养学分为动物营养学、植物营养学和微生物营养学。动物营养学和植物营养学分别是动物生产和植物生产的支柱学科，微生物营养学不但可同时为动物生产和植物生产服务，而且可直接为人类健康和食物生产服务。营养物质在土壤—植物—动物—人组成的食物链中的流向与转移，不但是农业生产的根本基础，也是农业生产的最终目的。现代农业的最大特点就是营养物质在食物链中的快速和高效转移与回流。要体现这一特点，必须研究和掌握动物、植物和微生物营养。因此，营养学是农业生产及其可持续发展的理论基础。

二、动物营养与饲料学的研究内容与目标

动物营养与饲料学是研究营养物质摄入与动物生命活动（包括生产）之间关系的科学。饲料是动物生命活动的物质基础。研究饲料养分的摄入与动物健康和高效生产的定性定量规律，不但可以为动物生产和饲料资源的合理利用提供理论根据和实践指南，维持动物生产的高效进行，而且有助于揭示动物生命活动的本质、动物与人及环境的互作关系。因此，动物营养与饲料学不但是动物生产的理论基础，也是生命科学和资源环境科学的组成部分。

动物营养与饲料学的根本任务就是回答动物吃什么、吃多少和怎么吃才能确保健康和

效生产。要回答这三个问题，必须研究以下内容：第一，确定必需营养素及其理化特性；第二，研究必需营养素在体内的代谢过程及其调节机制；第三，研究营养摄入与动物健康的关系；第四，研究动物营养与人及环境之间的互作规律；第五，确定不同条件下、不同生产目的的动物对各种营养物质的需要量；第六，研究饲料的种类、营养价值和饲用价值；第七，研究饲料的科学利用原理和方法；第八，研究动物营养和饲料学的研究方法。通过研究，揭示饲料养分利用的定性定量规律，形成饲料资源的高效利用、动物产品的高效生产、人类健康及生态环境的长期维护的动物营养科学指南，使动物生产在土壤—植物—动物—人组成的食物链中与其他要素协调发展，为维持食物链的高效运转发挥积极作用。

由此可见，动物营养与饲料学研究内容深、广，研究目标远、难，任务十分艰巨。完成这一任务，不但需要长期不懈的努力，更需要多学科理论和技术的融合。动物营养与饲料学至少与 30 多门自然科学特别是与生命科学有关的学科，以及经济、政治、环境等社会学科有联系。掌握或了解这些学科的基本知识有助于全面深入理解动物营养与饲料学的内涵，推动动物营养与饲料学的发展。

有些学科还是动物营养与饲料学的理论基础和方法基础。与动物营养学关系十分密切的学科包括普通化学、分析化学、动物生物化学、动物生理学、细胞与分子生物学、数学、土壤学、微生物学、生态学、畜牧经济学、动物生产学等。

三、动物营养与饲料学在产业发展中的作用

动物营养与饲料学是动物生产和饲料工业的理论基础和技术组成。动物生产的目的是将粮食及人类不能直接利用的物质转化为人类生存及生活质量提高所必需的食物、衣物、药物、娱乐、劳力、自然环境等产品或方式。其中，生产食物是动物生产的主要目的。

我国的动物养殖已有几千年的历史，但只有到了 20 世纪中叶，现代动物营养学基本成熟以后，动物养殖才真正开始摆脱盲目低效的状态，进入以科学技术为指南的有目的的高效生产时代。养殖方式也逐渐由粗放分散的副业养殖向专业化、集约化和工厂化的产业养殖方向发展。现代养殖业已成为国民经济的重要行业。

饲料工业是以动物营养和饲料学为基础，以养殖业为服务对象的从事商品饲料生产的工业行业。自 1875 年 John Barwell 在美国 Illinois 州建立第一家饲料加工公司以来，饲料工业已有 100 多年的历史。随着动物营养与饲料学及相关学科的发展，随着养殖业的进步，饲料工业有了长足进展。目前已形成了包括饲料原料工业、饲料添加剂工业、饲料机械工业和饲料加工工业在内的完整的工业体系。

动物营养与饲料学在动物生产中的作用表现在以下几个方面。

第一，保障动物健康。合理的营养有利于提高机体免疫机能，增强对应激和疾病的抵抗力。

第二，提高生产水平。动物生产的实质是养分的沉积（产肉）或分泌（产奶、产蛋），营养是生产产品的物质基础。与 50 年前比较，现代动物的生产水平提高了 80%~200%。其中，营养的贡献率占 50%~70%。

第三，改善产品质量。畜禽产品的色泽、风味、储藏期及对人类的保健作用与饲料营养直接相关，合理的营养管理有助于改善产品品质。

第四，降低生产成本。动物生产的总成本中，饲料成本占 50%~80%（表 0-1）。只有重

视和改善营养管理，才能降低生产成本，提高生产效益。

表 0-1 饲料成本占动物生产总成本的比例 (%)

(引自 Gillespie, 1987)

动物	饲料成本	动物	料成本
猪	65~80	蛋鸡	55
奶牛	50~60	肉鸡、火鸡	65
肉牛	70	羔羊育肥	50

第五，保护生态环境。动物生产是环境氮、磷等元素污染的重要原因。只有应用动物营养学的原理和技术，提高动物对养分的利用效率，才能降低氮、磷等的排泄量，减少环境污染。

在饲料工业中，动物营养和饲料学原理和技术是决定饲料企业产品定位、产品产量与质量、企业生产效率的核心因素。饲料产品的结构、饲料原料及添加剂的选用与配比、饲料工厂的设计、饲料机械的选用、饲料加工工艺流程设计等均需要以动物营养学为理论基础和行动指南。

四、动物营养与饲料学的发展历程与趋势

现代动物营养和饲料学大体经历了三个阶段共 200 多年时间才形成。

从 18 世纪中叶到 19 世纪中叶的 100 年时间为第一阶段。此期的最大成就是法国化学家 Antoine Lavoisier (1743—1794) 创立了燃素学说，奠定了营养学的理论基础。Lavoisier 把豚鼠装在自己设计的小室中，用温度表、天平测量了体热损失、消耗的氧气和呼出的二氧化碳。他从中得出结论：动物呼吸是与体外物质燃烧相似的一种燃烧过程；动物产热与氧的消耗直接有关。第一阶段营养学进展很慢。

从 19 世纪中叶开始，以后的 100 年为第二阶段。此阶段的主要成就是认识到了蛋白质、脂肪和糖类三大有机物是动物的必需养分。大部分研究集中在这三大养分及能量利用率上，并开始积累有关矿物元素的资料。1875 年，美国成立全球第一家饲料厂，标志着动物营养学已进入到实际应用阶段。但其产品只考虑了干物质和总消化养分 (TDN) 两项质量指标。

从 20 世纪中叶起，动物营养学的发展进入第三阶段，即现代动物营养学的形成与发展阶段。从 20 世纪 30 年代开始，维生素、氨基酸、必需脂肪酸、无机元素、能量代谢、蛋白质代谢、动物营养需要及养分互作关系的研究取得巨大进展。特别是在 30~40 年代，分离并阐明了维生素的化学结构以后，微量养分的营养就初步形成了。40 年代开始了对氨基酸的营养研究。到 50 年代，对微量元素、维生素、氨基酸这些微量养分的营养功能和需要量进行了大量研究，同时发现了低剂量的抗生素具有促进动物生产和改善饲料利用率的功效。这些研究成果表明，在天然饲料中加入这些微量的营养性物质（微量元素、维生素和氨基酸）以及非营养性的抗生素，可使动物生产潜力得到最大限度发挥。由此诞生了“饲料添加剂”的概念。到了 60 年代，维生素、氨基酸、抗生素的人工合成取得成功，养殖业也开始向规模化集约化方式发展，大大促进了动物营养和饲料学在生产实际中的应用。与此同时，饲料工业进入迅速发展时期。应用已知的动物营养和饲料学知识所生产的配合饲料能够促使养殖生产水平和饲料利用率的大幅度提高，标志着现代动物营养和饲料学已经形成。从 20