
PRINCIPLES OF
ANIMAL NUTRITION

动物营养学原理

〔美〕伍国耀 (Guoyao Wu) 著

戴兆来 李 鹏 朱正鹏 武振龙 主译

 CRC Press
Taylor & Francis Group



科学出版社



NORTH AMERICAN RENDERERS ASSOCIATION
Reclaiming Resources, Sustainably

北美动物蛋白油脂炼制行业协会
再生资源，持续发展

动物营养学原理

Principles of Animal Nutrition

(美) 伍国耀 (Guoyao Wu) 著

戴兆来 李 鹏 朱正鹏 武振龙 主译

科学出版社

北京

图字：01-2018-8136号

内 容 简 介

《动物营养学原理》共有13章，全面覆盖了动物营养学的经典和前沿概念。本书首先概述了动物营养学的生理与生物化学基础知识，继而详述了碳水化合物、脂质、蛋白质与氨基酸的化学特性，随后系统地介绍了动物体内营养素的消化、吸收、转运和代谢以及能量代谢。在整合营养学的理论和动物饲养实践的基础上，本书对动物维持和生产的营养需要量及动物的采食调控进行了深入讨论。最后，本书对维持动物生存、促进动物生长、改善动物生产蛋白质的饲料转化效率以及为替代饲用抗生素而使用饲料添加剂进行了归纳总结。

本书所有章节均提供了与动物营养学原理相关的详细文献列表，可为科研人员、生产者、初学者以及政策制定者提供参考。本书可作为专业人士的参考书，亦可作为动物科学、生物化学、生物医学、基础生物学、食品科学、营养学、动物医学以及相关研究领域高年级本科生和研究生的教科书。

Principles of Animal Nutrition / Authored by Guoyao Wu / ISBN:978-1-4987-2160-8

Copyright © 2018 by Taylor & Francis Group, LLC.

All rights reserved. Authorized translation from English language edition published by CRC Press, an imprint of Taylor & Francis Group, LLC. 本书原版由Taylor & Francis 出版集团旗下CRC出版公司出版，并经其授权翻译出版，版权所有，侵权必究。

China Science Publishing & Media Ltd. (Science Press) is authorized to publish and distribute exclusively the Chinese (Simplified Characters) language edition. This edition is authorized for sale throughout the Mainland of China. No part of the publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of the publisher. 本书中文简体翻译版授权由科学出版社独家出版，并仅限在中国大陆地区销售。未经出版者书面许可，不得以任何方式复制或发行本书的任何部分。

Copies of this book sold without a Taylor & Francis sticker on the cover are unauthorized and illegal. 本书封面贴有Taylor & Francis 集团防伪标签，未贴防伪标签属未获授权的非法行为。

图书在版编目 (CIP) 数据

动物营养学原理/ (美) 伍国耀著; 戴兆来等主译. —北京: 科学出版社, 2019.11

书名原文: Principles of Animal Nutrition

ISBN 978-7-03-061911-2

I. ①动… II. ①伍… ②戴… III. ①动物营养-营养学 IV. ①S816

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 148894 号

责任编辑: 李秀伟 郝晨扬 陈 倩 / 责任校对: 严 娜

责任印制: 徐晓晨 / 封面设计: 无极书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京虎彩文化传播有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019年11月第一版 开本: 787×1092 1/16

2020年1月第二次印刷 印张: 48 1/4

字数: 1 144 000

定价: 298.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

译校者名单

主 译 戴兆来 李 鹏 朱正鹏 武振龙

译 者 (按姓氏汉语拼音排序):

车东升 吉林农业大学动物科学技术学院
成艳芬 南京农业大学动物科技学院
戴兆来 中国农业大学动物科学技术学院
胡声迪 新希望六和股份有限公司
蒋显仁 中国农业科学院饲料研究所
金 巍 南京农业大学动物科技学院
孔祥峰 中国科学院亚热带农业生态研究所
李 鹏 北美动物蛋白油脂炼得行业协会
李习龙 中国农业科学院饲料研究所
马现永 广东省农业科学院动物科学研究所
苏 勇 南京农业大学动物科技学院
谭碧娥 中国科学院亚热带农业生态研究所
王松波 华南农业大学动物科学学院
魏宏逵 华中农业大学动物科学技术学院
武振龙 中国农业大学动物科学技术学院
姚 康 中国科学院亚热带农业生态研究所
余凯凡 南京农业大学动物科技学院
曾祥芳 中国农业大学动物科学技术学院
朱 翠 佛山科学技术学院生命科学与工程学院
朱正鹏 新希望六和股份有限公司

主 校 伍国耀 美国得克萨斯农工大学

译者序

中国的饲料行业在过去 40 年中取得了长足的发展，在整体产量，产品品质，产品功能性，维生素、氨基酸和多种添加剂的合成生产等方面取得了令世界瞩目的成绩，成为全球饲料行业的主要供应国。以 2018 年为例，中国的饲料产量达到 22 788 万 t，其中配合饲料 20 529 万 t，浓缩饲料 1606 万 t，添加剂预混合饲料 653 万 t。自 2012 年起，连续 7 年产量位居世界第一，并占全球产量的 1/4。然而，中国饲料行业对饲料原料（尤其是豆粕、菜粕、鱼粉、肉骨粉等蛋白质原料）的进口依存度畸高，饲料营养素利用率低及其造成的严重环境污染都已成为制约行业发展的瓶颈因素。所以，对于动物营养学基本原理的深刻理解，并运用此基础知识来促进畜牧业和水产业实践中饲料的精准化配制，对提高养殖动物对日粮的蛋白质及能量的利用效率、减少对进口蛋白质原料的依赖、降低养殖业环境污染等诸多方面，都有着至关重要的意义，这也是中国动物营养和饲料行业可持续发展的必然选择。

世界上所有的动物都需要营养素来维持生命、生长、发育和繁殖。因此，动物营养学是研究家畜、家禽、水产等与人类关系密切的众多经济动物健康和生产的基础科学，也为研究宠物的健康和发育提供重要的借鉴作用。随着生物化学、生理学、分子生物学、生物信息学等学科的飞速发展，动物营养学的发展也呈现日新月异的变化，动物营养学领域研究成果与新知识积累的速度远超过了相关科学概念及定义更新的速度。同时，已出版多年的参考书与教科书中相关概念和知识的局限性以及其急需修改更新的紧迫性是全世界科学界面临的共同问题，而动物营养学在此方面的问题尤为突出。在这一背景和需求下，美国得克萨斯农工大学（简称得州农工大学）动物科学系杰出教授伍国耀博士，结合自身超过 35 年的科研和 28 年的教学经验，凭借对动物营养学理论与实践发展的深刻认识，花费三年多时间总结归纳和提炼了大量动物营养生物化学及相关学科领域的最新研究进展，于 2018 年出版了 *Principles of Animal Nutrition* 一书。该书是继 I.E. Coop 于 1962 年撰写出版《动物营养学的原理和应用》（*The Principles and Practice of Animal Nutrition*）以来对动物营养学理论与实践，特别是对动物营养学中的生理与生物化学基础，进行全面阐述、总结、提炼与升华的重要著作。

《动物营养学原理》共有 13 章，囊括了与动物营养学相关的生物化学、生理学、解剖学等学科的最新研究进展，为动物营养学学者和动物营养行业从业人员深入理解单胃和反刍动物对各种营养素的利用提供了知识基础。本书从动物营养生理生化基础的综述入笔，逐一阐述了糖类（碳水化合物）、脂类、蛋白质、氨基酸等营养素的化学特征，深入探讨了不同种属经济动物对于常量营养素、能量物质、矿物质和维生素的消化、吸

收、运输及代谢过程。为了更加紧密地连接起动物营养的基本原理与动物饲养的生产实践，并指导饲料精准化配制的应用，本书还讨论了动物用于基础代谢和生长的营养需要以及采食量的调控因素。同时，本书对于特定的新型营养物质及添加剂如何提高动物生长和存活率，增加饲料转化效率，以及抗生素的替代物所发挥的重要作用也进行了深入阐述。

在动物的生命过程中，各种营养物质的需要量都基于动物本身的生理状态，同时受到环境、疾病和基因型等多种因素的影响。在各种营养素中，以氨基酸需要量的研究最有代表性。氨基酸的需要量是动态的，而不是恒定的。在蛋白质原料缺乏的情况下，低蛋白质日粮的科学使用十分必要。但是，日粮中适宜的低蛋白质水平是有限度的，氨基酸营养不仅在于其平衡，而且还在于其供给量。尽管动物能合成一些氨基酸，但其合成量有限。很遗憾的是，在传统的动物营养学中，以“理想蛋白质模型”的概念为代表，忽略了这一类虽能被动物体合成但合成量相对有限的氨基酸。近 30 年的研究发现，大量的“非必需氨基酸”在营养和生理上起到非常重要的作用。所以，近 50 年来一直应用的“理想蛋白质模型”其实并不理想，以其为理论依据配制低蛋白质日粮的营养实践是很不完善的。伍国耀教授在本书中全面介绍了养分在动物体内的消化、吸收和代谢，为“饲料精准化配制”，尤其是增效减排的低蛋白质动物日粮的研发，提供了崭新而坚实的理论基础。

与动物营养学科其他图书相比，本书更加突出以下方面：

- 1) 全面覆盖了动物对于营养素的消化、吸收、代谢的生物化学过程以及多种生理功能；
- 2) 从比较生理学和进化生理学的角度阐述哺乳动物、鸟类和鱼类等的营养生化特点，以及动物种间对于营养素需求的差异性；
- 3) 针对养殖动物、野生动物及宠物的生长、发育和健康等性状进行差异化优化而采取的不同饲喂机制；
- 4) 本书在突出传统动物营养学的经典概念和由现代动物营养学发展所衍生出的新概念的同时，全力引入动物营养学最前沿的研究进展。在保证本书权威性的同时，也赋予了其强大的时效性；
- 5) 在本书的每一个章节后，原作者都清晰地整理了与该章节内容密切相关的重要文献，以便于动物营养的学者、从业者、管理政策制定者以及新近涉猎的学生进行拓展阅读和深入研究。

本书的原作者伍国耀教授，先后求学于华南农业大学、中国农业大学，于 1989 年在加拿大阿尔伯塔大学取得博士学位。在中国农业大学攻读硕士学位期间，师从中国著名动物营养学家、现代动物营养学奠基人之一的杨胜教授。在杨先生的谆谆教导和悉心关怀下，伍国耀教授在氨基酸营养生化领域砥砺前行，学术造诣日渐深厚。在 35 年的时间里，伍教授发表了近 600 篇 SCI 科研论文，解密了在不同生物体的不同组织内诸多

重要的氨基酸代谢途径、调控机制及其重要生物学意义，向动物营养学界展现了前所未有的氨基酸代谢与调控的精彩世界。伍教授现担任世界一流农学高校——美国得州农工大学（Texas A&M University）动物科学系（Department of Animal Science）的杰出教授（Distinguished Professor）。他先后荣获美国动物科学学会（American Society of Animal Science, ASAS）Morrison 大奖、美国动物科学联合会和美国饲料工业协会（Federation of Animal Science Societies and American Feed Industry Association, FASS-AFIA）联合颁发的动物营养科学新前沿研究奖，世界上最大的科学和工程学协会的联合体——美国科学促进会（American Association for the Advancement of Science, AAAS）科研成就奖等诸多荣誉。他同时担任着 *Amino Acids*、*Frontiers in Bioscience* 和 *Advances in Experimental Medicine and Biology* 等专业期刊编辑和世界一流科技类出版社施普林格出版社（Springer-Verlag）的生命科学类图书编辑。他也曾长期担任 *Journal of Nutrition*、*Biochemical Journal* 和 *Journal of Nutritional Biochemistry* 等世界级营养学、生物化学期刊编委。本书是伍教授 35 年的科研和教学的结晶，是动物营养学领域现阶段认知的凝练与总结，是对动物营养学界的贡献，同时也是对杨胜先生的学术思想和治学精神的缅怀、继承和发扬。

本书的英文原版 *Principles of Animal Nutrition*，是由泰勒-弗朗西斯出版集团（Taylor & Francis Group）的子公司 CRC Press 组织发行的，该书的出版在全球动物营养界引起了广泛的关注，但原版英文图书难以充分满足我国从事动物营养学研究的专家、学者和从业人员的参考需要。为了能让国内动物营养相关领域的工作者更好更快地了解和掌握世界动物营养学理论研究的最新进展和成果，伍教授在 *Principles of Animal Nutrition* 的出版伊始即决定组织国内科研院所的中青年教师及企业科研骨干开展对该书中文版——《动物营养学原理》的翻译工作。伍教授也在百忙之中，亲自主持了本书的全部校对工作，以保证本书的准确和严谨。伍教授和译者团队希望用本书为畜牧科学、水产科学、生物化学、生物医学、基础生物学、食品科学、饲料加工、动物医学等众多生命科学分支领域的读者们提供一份完整而系统的参考资料，通过本书将不同哺乳动物、禽类、鱼类、甲壳类的营养状况、健康和疾病状态与基础的生理和生物化学整合起来，为华语读者在动物营养和饲料精准化配制的科学研究及技术研发方面提供些许坚实的力量。2019 年元旦恰逢杨胜先生百年诞辰，本书英文版及中文译本均在 2019 年前后相继出版，是伍国耀教授和本书编译团队纪念杨胜先生百年诞辰、励志传承先生治学精神并践行他“奋发图强、报效国家”的谆谆教诲的一份微薄而真诚的心意。

本书的翻译工作主要分为各章节的文字与表格翻译，及全书图片的编辑翻译及统筹。这项庞大的翻译工作得到了中国农业大学、中国科学院亚热带农业生态研究所、中国农业科学院饲料研究所、南京农业大学、华中农业大学、华南农业大学、吉林农业大学、广东省农业科学院、佛山科学技术学院等科研院所及北美动物蛋白油脂炼得行业协会、新希望六和股份有限公司等单位人员的参与和支持。具体翻译校对人员请参见译校者

名单。团队中各位动物营养学者在繁重的科研与教学工作之余，全力合作，用业余时间为一本书翻译工作的保质保量并尽早完成付出了大量的辛勤劳动。从有利于学科和行业发展角度出发，伍教授和译者团队谢绝了所有的稿酬及版税，在此表示诚挚的感谢。在本书的翻译、校对过程中，科学出版社的李秀伟编辑付出了诸多心血，为本书的顺利出版提供了极大的帮助和支持，在此表示衷心感谢。

北美动物蛋白油脂炼得行业协会（North American Renderers Association, NARA）是代表美国的家畜家禽等陆生动物蛋白及油脂炼得行业的组织，其前身是美国动物蛋白及油脂提炼协会（National Renderers Association, NRA）。北美动物蛋白油脂炼得行业协会以及美国的动物蛋白及油脂炼得企业长期致力于陆生动物源性副产品的安全高效回收再利用，并在全球畜牧业、水产养殖业和宠物饲料行业推广不断更新的营养科学发现及应用，以促进这些行业的可持续发展。北美动物蛋白油脂炼得行业协会对科学出版社引进翻译出版 *Principles of Animal Nutrition* 一书提供了重要的经费支持，从而使中译本得以顺利面世。中国农业大学动物科学技术学院亦对本书的出版发行给予了部分资助。

鉴于译者水平和能力所限，书中不妥之处在所难免，诚恳接受各位行业同仁和读者的批评指正。

译者

2019年4月

原 书 序

动物可将日粮成分和能量转化成食物（如肉、蛋、奶）供人类食用，同时为人类提供服装和配饰的原材料（如羊毛和皮革）。通过生物技术手段，动物还可用于生产酶类和蛋白质以治疗更多人类疾病。虽然哺乳动物、禽类、鱼类和甲壳类在维持和适应相关的代谢途径上具有异同点，但是它们都需要食物而得以存活、生长、发育和繁殖。因此，动物营养学是一门对于家畜（如牛、山羊、猪、兔和绵羊）、家禽（如鸡、鸭、鹅和火鸡）和鱼类（如鲤、鲑和罗非鱼）的生产，以及伴侣动物（如猫、狗、马、雪貂、沙鼠和鸚鵡）的健康非常重要的基础学科。作为一门有趣的、动态的和具有挑战性的学科，动物营养学涉及的范围很广，从化学、生物化学、解剖学和生理学到繁殖生物学、免疫学、病理学和细胞生物学。这些学科的知识对于充分理解动物营养学的原理非常必要。

对实验动物、家畜和伴侣动物的研究历史非常悠久。H.P. Armsby 在 1902 年出版的《动物营养学原理》（*The Principles of Animal Nutrition*）一书中总结了 19 世纪获得的动物营养学知识。在过去的 56 年间，自从 I.E. Coop 撰写了《动物营养学的原理和应用》（*The Principles and Practice of Animal Nutrition*）一书后，动物营养与代谢领域由于生物化学、生理学和分析化学等方面的进展而得到迅速发展。特别要注意的是，前人曾在以下书籍中描述了动物在营养素的消化、吸收和排泄方面的许多差异性，如 L.A. Maynard 和 J.K. Loosli 的《动物营养学》（*Animal Nutrition*）（第六版，1979）、P.R. Cheeke 和 E.S. Dierenfeld 的《动物营养与代谢比较》（*Comparative Animal Nutrition and Metabolism*）（2010）及 J.P. McNamara 的《伴侣动物营养学原理》（*Principles of Companion Animal Nutrition*）（第二版，2010）。此外，更多的应用书籍还包括：W.G. Pond、D.C. Church、K.R. Pond 和 P.A. Schoknecht（2004）的《动物营养基础与饲养》（*Basic Animal Nutrition and Feeding*）（第五版），P. McDonald、R.A. Edwards、J.F.D. Greenhalgh、C.A. Morgan 和 L.A. Sinclair（2011）的《动物营养学》（*Animal Nutrition*），以及 M.H. Jurgens、K. Bregendahl、J. Coverdale 和 S.L. Hansen（2012）的《动物饲养与营养》（*Animal Feeding and Nutrition*）。虽然这些著作重点介绍了畜禽的饲料与实际饲养，但我们需要全面系统地介绍动物营养生化和生理学基础，有助于更好地理解动物系统内的“黑箱”。鉴于上述考虑并在 CRC 出版社的帮助下，《动物营养学原理》得以出版。

《动物营养学原理》共分为 13 章。首先主要概述动物营养学的生理和生化基础（第 1 章），然后详细介绍了碳水化合物（第 2 章）、脂质（第 3 章）、蛋白质与氨基酸（第 4 章）的化学特征。本书还进一步介绍了碳水化合物（第 5 章）、脂质（第 6 章）、蛋白质与氨基酸（第 7 章）、能量（第 8 章）、维生素（第 9 章）、矿物质（第 10 章）等

营养物质的消化、吸收、转运和代谢方面的研究进展，以及这些营养物质之间的相互作用（第 5–10 章）。为了将动物营养学的基本知识应用到实际动物饲养中，本书进一步讨论了动物维持和生产的营养需要量（第 11 章），以及动物采食的调控（第 12 章）。最后，本书介绍了饲料添加剂方面的内容（第 13 章），包括促进动物生长与存活、改善饲料报酬和蛋白质合成以及替代饲料抗生素等的添加剂。本书秉承传统动物营养学和现代动物营养学的理念，尽可能涵盖这一不断发展的领域的最新进展，有助于不同生物学科的读者能更好地将生物化学和生理学与哺乳动物、禽类和其他动物（如鱼、虾）的营养、健康和疾病结合起来。每章章末都附有参考文献，以供读者全面查阅某一主题和原始试验数据。科学文献的阅读对于科学家深入了解该领域的历史、培养创造性思维和严谨地研究开发非常重要。索引部分列出了关键词、短语和缩略词，有助于读者快速地找到它们在章节中的信息。

本书源于作者本人过去 25 年来在得州农工大学所教的四门研究生课程的教材，包括 ANSC/NUTR 601 “动物营养学总则”、ANSC/NUTR 603 “实验营养学”、ANSC/NUTR 613 “蛋白质代谢”和 NUTR 641 “营养生物化学”。本书可作为动物科学、生物化学、生物医学工程、生物学、人类医学、食品科学、人体运动学、营养学、药理学、生理学、毒理学、动物医学和其他相关学科专业的高年级本科生及研究生的参考书籍或教材。此外，所有章节都提供了有用的参考文献，以供生物医学、农业（含动物科学和植物育种）和水产方面的研究者、从业者以及政府官员了解动物营养学原理的基本概念和具体知识。

畜牧业在改善人类营养、生长和健康以及全球的经济和社会发展中发挥着重要作用。2016 年全球人口为 74 亿，预计 2050 年将达到 96 亿。随着全球人口和肉、蛋、奶人均消费量的增长，2016–2050 年全球对动物来源的蛋白质和其他动物产品的需求将增长 70%。在充分认识动物的生物学特点、最大限度地提高从饲料到动物产品的代谢转换效率、实现动物性农业的可持续发展这些艰巨的任务面前，动物营养学家面临巨大的挑战去生产畜、禽、水产品以满足全世界正在增长的人类需求。《动物营养学原理》这本书将指导和改变动物营养学的实践，有望在未来的岁月里促进这一目标的实现。

动物营养学的学科发展离不开全球许多同行前辈的努力，他们对这个领域的重大贡献使本书的出版成为可能。由于篇幅所限，尚有许多优秀的论文未能引用，为此我深表歉意。最后，衷心感谢我所有已毕业的和在读的学生对我的教学课程提出的建设性意见以及在动物营养学主题上展开的有益讨论。

伍国耀

2017 年 6 月

美国，得克萨斯州，大学城

致 谢

本书始于 CRC 出版社高级主编 Randy L. Brehm 女士的盛情邀请，并在她出版社同事的耐心指导下完成。本书作者感谢 Ruthann M. Cranford 女士、Sudath Dahanayaka 先生、B. Daniel Long 先生、孙开济先生和 Neil D. Wu 先生在绘制营养物质结构和代谢通路图以及在稿件准备过程中给予的帮助。感谢 Gregory A. Johnson 博士帮助阐述反刍动物尿素循环机制和细胞结构以及戴兆来博士帮忙绘制肠道主要细菌的表格。衷心感谢以下参与审阅并提出建设性改进意见的专家：

Fuller W. Bazer 教授，得克萨斯州，大学城，得州农工大学，动物科学系；

Werner G. Bergen 教授，亚拉巴马州，奥本，奥本大学，动物科学系；

John T. Brosnan 教授，加拿大，圣约翰斯，纽芬兰纪念大学，生物化学系；

Margaret E. Brosnan 教授，加拿大，圣约翰斯，纽芬兰纪念大学，生物化学系；

Jeffrey L. Firkins 教授，俄亥俄州，哥伦比亚，俄亥俄州立大学，动物科学系；

Catherine J. Field 教授，加拿大，埃德蒙顿，阿尔伯塔大学，医学院；

Nick E. Flynn 教授，得克萨斯州，峡谷，西得州农工大学，化学与物理系；

Wayne Greene 教授，亚拉巴马州，奥本，奥本大学，动物科学系；

Chien-An Andy Hu 教授，新墨西哥州，阿尔布开克，新墨西哥大学，生物化学和分子生物学系；

Shengfa F. Liao 教授，密西西比州，密西西比州立大学，动物和奶业科学系；

Timothy A. McAllister 教授，加拿大，艾伯塔，莱斯布里奇，加拿大农业部；

Cynthia J. Meininger 教授，得克萨斯州，大学城，得州农工大学，医学生理系；

Steven Nizielski 教授，密歇根州，艾伦代尔，伟谷州立大学，生物医学系；

James L. Sartin 教授，亚拉巴马州，奥本，奥本大学，解剖学、生理学和药理学系；

Stephen B. Smith 教授，得克萨斯州，大学城，得州农工大学，动物科学系；

Luis O. Tedeschi 教授，得克萨斯州，大学城，得州农工大学，动物科学系；

James R. Thompson 教授，加拿大，温哥华，不列颠哥伦比亚大学，动物科学系；

Nancy D. Turner 教授，得克萨斯州，大学城，得州农工大学，营养与食品科学系；

Rosemary L. Walzem 教授，得克萨斯州，大学城，得州农工大学，家禽科学系；

Hong-Cai Zhou 教授，得克萨斯州，大学城，得州农工大学，化学系。

本书作者特别感谢本实验室所有已毕业和在读的研究生、博士后、访问学者和实验员等在开展科研试验及参与重要讨论过程中所做的努力。非常感谢我的研究生导师杨胜教授和 James R. Thompson 博士以及我的博士后导师 Errol B. Marliss 博士和 John T. Brosnan 博士，

衷心感谢他们对我在动物生化、营养和生理学方面的训练以及对我在探索这些学科上所给予的热情支持和鼓励。特别感谢在得州农工大学一直保持高效且愉快合作的许多同事(尤其是 Fuller W. Bazer、Robert C. Burghardt、R. Russell Cross、Harris J. Granger、Gregory A. Johnson、Darrell A. Knabe、Catherine J. McNeal、Cynthia J. Meininger、Jayanth Ramadoss、M. Carey Satterfield、Jeffrey W. Savell、Stephen B. Smith、Thomas E. Spencer、Carmen D. Tekwe、Nancy D. Turner、Shannon E. Washburn、Renyi Zhang 和周怀军等博士), 以及来自其他单位的合作伙伴(尤其是 David H. Baker、Makoto Bannai、Francois Blachier、Douglas G. Burrin、戴兆来、Teresa A. Davis、Catherine J. Field、Susan K. Fried、侯永清、Shinzato Izuru、蒋宗勇、Sung Woo Kim、孔祥峰、李德发、李菊、李鹏、Shengfa Liao、Gert Lubec、Wilson G. Pond、Peter J. Reeds、J. Marc Rhoads、Ana San Gabriel、谭碧娥、Nathalie L. Trottier、王丙良、王根虎、王晓龙、王凤来、王军军、Malcolm Watford、武振龙、郑石轩、朱伟云、姚康和印遇龙)。此外, 还特别感激得州农工大学动物科学系的历任和现任领导对我的研究与教学工作所给予的帮助及支持。

本实验室的工作得到了许多单位和组织的资助, 在此表示衷心感谢! 其中, 包括味之素公司(日本东京)、美国心脏协会、中国科学院、上海亘泰实业集团(中国上海)、广东粤海饲料集团股份有限公司(中国湛江)、休斯敦牛仔竞技节和牲畜展(美国)、河南银发牧业有限公司(中国郑州)、武汉轻工大学“湖北省百人计划”、国际氨基酸科学委员会(比利时布鲁塞尔)、国际谷氨酸技术委员会(比利时布鲁塞尔)、美国 JBS 联合公司(印第安纳州谢里登)、青少年糖尿病研究基金会(美国)、美国国立卫生研究院、中国国家自然科学基金委员会、美国辉瑞公司、美国史葛&怀特医院、得州农工农业研究院、得州农工大学、中国农业大学“千人计划”、美国农业部、美国玉米种植者协会、美国西瓜推广委员会, 以及美国家禽和鸡蛋哈罗德 E. 福特基金会。

本书作者特别感谢无数的科学家为帮助人们更好地理解动物营养学原理所作出的杰出贡献。我在阅读他们的论文过程中感到愉悦, 更重要的是从他们前期发表的工作中学习到许多宝贵的知识。最后, 特别感谢 Ragesh K. Nair 先生及其在 Nova Techset 的同事对整篇稿件的专业排版。

作者简介



伍国耀，博士，得州农工大学（Texas A&M University）的杰出教授、大学研究员，得州农工大学农业研究所（Texas A&M AgriLife Research）的高级研究员。1978—1982年，在华南农业大学（广州）攻读本科，获动物科学专业学士学位；1982—1984年，在中国农业大学（北京）攻读硕士研究生，获动物营养学专业硕士学位；1984—1986年、1986—1989年，在加拿大埃德蒙顿阿尔伯塔（Alberta）大学先后获得动物生物化学专业硕士、博士学位。1989—1991年，在加拿大蒙特利尔麦吉尔（McGill）大学医学院做博士后，1991年转到加拿大圣约翰斯纽芬兰纪念大学医学院继续博士后研究，主要围绕糖尿病、营养和生物化学开展研究工作。1991年10月，进入得

州农工大学工作。2005年，利用学术休假在美国马里兰大学医学院开展人类肥胖症研究。

伍博士在得州农工大学教授研究生课程（实验营养学、动物营养学总则、蛋白质代谢、营养生物化学）和本科生课程（动物科学、营养学和生物化学问题）长达25年，在美国、加拿大、墨西哥、巴西、欧洲和亚洲等地做过多次学术报告。研究领域集中在从基因、分子、细胞和机体水平研究动物的氨基酸及相关营养物质的生物化学、营养和生理作用。研究方向包括：①氨基酸对基因表达（含表观遗传学）的作用；②细胞内蛋白质和氨基酸合成和分解代谢的机制；③激素和营养对代谢性能源物质稳态的调控；④一氧化氮和多胺的生物学及病理学作用；⑤氨基酸在预防代谢性疾病（如糖尿病、肥胖症和宫内发育迟缓）中的关键作用；⑥氨基酸对胚胎、胎儿和新生儿的存活、生长及发育的重要作用；⑦不同生长阶段日粮氨基酸和蛋白质的需要量；⑧应用动物模型（如猪、大鼠、绵羊）研究人类代谢性疾病。

在同行评审的期刊上发表论文540余篇，期刊包括 *Advance in Nutrition*、*Amino Acids*、*American Journal of Physiology*、*Annals of New York Academy of Sciences*、*Annual Review of Animal Biosciences*、*Annual Review of Nutrition*、*Biochemical Journal*、*Biology of Reproduction*、*British Journal of Nutrition*、*Cancer Research*、*Clinical and Experimental Immunology*、*Comparative Biochemistry and Physiology*、*Diabetes*、*Diabetologia*、

Endocrinology、*Experimental Biology and Medicine*、*FASEB Journal*、*Food & Function*、*Frontiers in Bioscience*、*Frontiers in Immunology*、*Gut*、*Journal of Animal Science*、*Journal of Animal Science and Biotechnology*、*Journal of Agricultural and Food Chemistry*、*Journal of Biological Chemistry*、*Journal of Chromatography*、*Journal of Nutrition*、*Journal of Nutritional Biochemistry*、*Journal of Pediatrics*、*Journal of Physiology (London)*、*Livestock Science*、*Molecular and Cellular Endocrinology*、*Molecular Reproduction and Development*、*Proceedings of National Academy of Science USA* 和 *Reproduction* 等，主编或参编专著 58 部。研究成果在谷歌学术被他人引用超 38 000 次，H 指数达 100；其中有 3 篇论文单篇被引用次数超过 2200 次。曾被 Web of Science 授予“高被引学者”和“最具影响力的科学头脑”（2014—2016），2016 年入选全球农业科学领域的十大“高被引科学家”。

曾荣获中国、加拿大和美国的奖项与荣誉，包括“中国研究生出国留学奖学金”（1984），“阿尔伯塔大学 Andrew Stewart 研究生奖”（1989），“加拿大医学研究委员会博士后奖学金”（1989），“美国心脏协会优秀研究者奖”（1998），“得州农工大学 AgriLife 研究员奖”（2001、2002），美国动物科学学会“非反刍动物营养研究奖”（2004），中国国家自然科学基金“杰出青年基金”获得者（2005），得州农工大学农业项目“杰出团队奖”（2006），“杰出个人奖”（2008）和“多学科合作奖”（2011），中国“长江学者”（2008），“得州农工大学杰出研究成就奖”（2008），“得州农工大学 AgriLife 高级研究员奖”（2008），中国湖北省“楚天学者”（2008），美国动物科学联合会和美国饲料工业协会“FASS-AFIA 动物营养研究新前沿奖”（2009），华南农业大学“丁颖学者”（2009），中国“千人计划”专家（2010），“国际长颈鹿保护协会桑布鲁合作奖”（2010），Sigma Xi 荣誉学会得州农工大学分会“杰出科学家奖”（2013）和中国湖北省“百人计划”专家（2014）。

伍博士为美国科学促进会的会员和会士，也是美国心脏协会、美国动物科学学会、美国营养学会及美国生殖研究学会的会员。他还担任了 *Biochemical Journal*（1993–2005）、*Journal of Animal Science and Biotechnology*（2010–）、*Journal of Nutrition*（1997–2003）和 *Journal of Nutritional Biochemistry*（2006–）等杂志的编委，并担任 *Amino Acids*（2008–）、*Journal of Amino Acids*（2009–）等杂志的编辑，*SpringerPlus–Amino Acids Collections*（2012–2016）杂志的主编，以及 *Frontiers in Bioscience* 的管理编辑（2009–2016）和编辑（2017–）。

目 录

译者序

原书序

致谢

作者简介

1 动物营养学的生理和生化基础	1
1.1 动物营养学的基本概念	2
1.1.1 营养素和日粮的定义	2
1.1.2 营养的定义	3
1.1.3 饲料的组成成分	4
1.1.4 动物的组成成分	5
1.1.5 饲料的概略养分分析或韦恩德分析	5
1.1.6 饲料和动物成分分析的改进方法	6
1.1.7 生物化学作为营养学的化学基础	7
1.1.8 生理学作为营养学的基础	7
1.2 系统生理学在营养物质利用过程中的整合作用	8
1.2.1 动物细胞的结构	8
1.3 动物系统的概述	13
1.3.1 神经系统	14
1.3.2 心血管系统	16
1.3.3 淋巴系统	20
1.3.4 消化系统	21
1.3.5 肌肉骨骼系统	33
1.3.6 呼吸系统	33
1.3.7 泌尿系统	34
1.3.8 雄性生殖系统	34
1.3.9 雌性生殖系统	36
1.3.10 内分泌系统	37
1.3.11 免疫系统	40
1.3.12 感觉器官	40
1.4 代谢途径概述	41
1.4.1 主要代谢途径及其意义	41

1.4.2	代谢途径的特征.....	41
1.4.3	线粒体内的生物氧化.....	48
1.5	小结.....	56
	参考文献.....	58
2	碳水化合物化学	64
2.1	碳水化合物的分类.....	64
2.1.1	概述.....	64
2.1.2	D-和 L-碳水化合物.....	65
2.1.3	环状半缩醛(醛糖)和半缩酮(酮糖).....	66
2.2	单糖.....	67
2.2.1	定义.....	67
2.2.2	单糖的化学结构.....	67
2.2.3	植物中的葡萄糖和果糖.....	71
2.2.4	动物中的葡萄糖和果糖.....	72
2.2.5	植物和动物中的其他单糖.....	73
2.2.6	简单的氨基糖作为植物和动物中的单糖.....	75
2.3	二糖.....	75
2.3.1	定义.....	75
2.3.2	纤维二糖.....	77
2.3.3	乳糖.....	77
2.3.4	麦芽糖和异麦芽糖.....	78
2.3.5	蔗糖.....	78
2.3.6	α, α -海藻糖.....	78
2.4	寡糖.....	79
2.4.1	定义.....	79
2.4.2	三糖.....	79
2.4.3	四糖.....	79
2.4.4	五糖.....	79
2.5	同聚多糖.....	81
2.5.1	植物中的同聚多糖.....	81
2.5.2	动物中的同聚多糖.....	85
2.5.3	微生物和其他低等生物中的同聚多糖.....	87
2.6	杂聚多糖.....	89
2.6.1	植物中的杂聚多糖.....	89
2.6.2	动物中的杂聚多糖.....	91
2.6.3	微生物中的杂聚多糖.....	93
2.6.4	藻类和海藻(海洋植物)中的杂聚多糖.....	94

2.6.5 植物的酚类聚合物.....	95
2.7 碳水化合物的化学反应.....	97
2.7.1 单糖.....	97
2.7.2 二糖和多糖.....	99
2.8 小结.....	100
参考文献.....	102
3 脂质化学	106
3.1 脂质的分类与结构.....	107
3.1.1 脂肪酸.....	108
3.1.2 简单脂质.....	116
3.1.3 复合脂质.....	118
3.1.4 衍生脂质.....	126
3.2 脂质的化学反应.....	137
3.2.1 甘油三酯的水解和脂肪酸的皂化.....	137
3.3 小结.....	140
参考文献.....	141
4 蛋白质和氨基酸化学	145
4.1 氨基酸的定义、化学分类和性质.....	148
4.1.1 氨基酸的定义.....	148
4.1.2 氨基酸的两性离子形式(电离).....	149
4.1.3 D-或L-氨基酸.....	151
4.1.4 蛋白质或多肽中修饰过的氨基酸残基.....	156
4.1.5 游离氨基酸和肽(蛋白质)结合的氨基酸.....	156
4.1.6 氨基酸的物理状态、熔点和味道.....	160
4.1.7 氨基酸在水和溶液中的溶解性.....	160
4.1.8 氨基酸的化学稳定性.....	161
4.2 肽和蛋白质的定义、化学分类及性质.....	162
4.2.1 肽和蛋白质的定义.....	162
4.2.2 动物体内的主要蛋白质.....	163
4.2.3 从蛋白质中分离肽.....	165
4.2.4 蛋白质的结构.....	165
4.2.5 粗蛋白质(CP)和真蛋白质的概念.....	167
4.3 动物日粮中晶体氨基酸、蛋白质饲料和肽类添加剂.....	169
4.3.1 晶体氨基酸.....	169
4.3.2 蛋白质饲料.....	170
4.3.3 用作饲料添加剂的肽类.....	171
4.4 游离氨基酸的化学反应.....	174