




新版

# 系统动物 营养学 导论

卢德勋 ◎ 著

AN INTRODUCTION TO  
SYSTEMS-NUTRITION  
OF ANIMALS  
(2016 EDITION)



 中国农业出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

新版

# 系统动物 营养学 导论

卢德勋 著

Lu De-Xun

AN INTRODUCTION TO  
SYSTEMS - NUTRITION  
OF ANIMALS

(2016 EDITION)

中国农业出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

新版系统动物营养学导论 / 卢德勋著. —北京:  
中国农业出版社, 2016. 8  
ISBN 978-7-109-21714-0

I. ①新… II. ①卢… III. ①动物营养—营养学  
IV. ①S816

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 117388 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)

责任编辑 周晓艳

---

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月北京第 1 次印刷

---

开本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 51 插页: 1

字数: 1250 千字

定价: 320.00 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

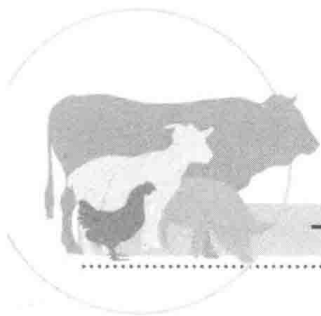
# 作者简介

AN INTRODUCTION TO SYSTEMS  
NUTRITION OF ANIMALS (2016 EDITION)

卢德勋，内蒙古农牧业科学院研究员。

我国著名的动物营养学家，系统动物营养学的创立者，一直致力于系统动物营养学的倡立、传播和发展。曾担任中国畜牧兽医学会动物营养学分会会长，内蒙古乳业研究院首席专家，内蒙古农牧业科学院动物营养研究所主要负责人，内蒙古农业大学兼职教授、博士生导师及国家多项重大项目评审专家。现担任中国畜牧兽医学会动物营养学分会名誉会长、《动物营养学报》主编、国家重大基础研究“973”项目（猪、奶牛）咨询专家。先后获国家农业部科技进步一等奖1项、省级科技进步一等奖1项、二等奖3项、三等奖3项、丰收奖一等奖2项，主持制定国家标准5项，获得国家发明专利3项，出版学术专著5部、译著1部，发表学术论文465篇（其中1篇在2014年1月发表于美国 *Frontiers in Bioscience*），共培养出博士后3名、博士28名、硕士60名（包括合作培养的研究生）。

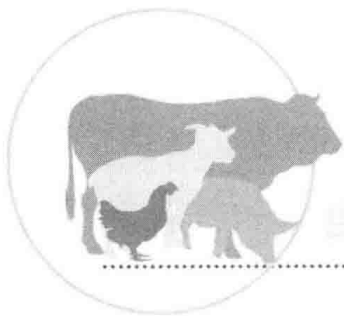




## 一、参加提供部分章节初稿和互动修改的人员

---

- 王丽芳（第五章第七节“营养与动物健康”）
- 王军军、杜瑞平（第六章“微观层次的营养研究”）
- 王洪荣（第八章第四节“反刍动物营养调控”）
- 熊本海（第十章第三节“动物营养模型化——动物营养数字模拟技术”）
- 马燕芬（第十二章“动物营养检测”）
- 胡红莲（第四篇“饲料科学理论和技术体系的创新和发展”）
- 徐明（第二十章“奶牛营养工程技术”）
- 瞿明仁（第二十一章第四节“繁殖母牛营养工程技术”）
- 姚飞（第二十二章第三节“舍饲母羊-羔羊一体化营养工程技术”）
- 赵胜军、王军军和刘作华（第二十四章“猪营养工程技术”）
- 苏鹏程（第二十五章“蛋鸡和肉鸡营养工程技术”）
- 张兴夫、高民（第二十六章“以降低畜禽养殖对环境污染为目标的营养工程技术”）



## 二、参加部分章节初稿初审程序的人员

---

——王林枫（第四至六章）

——周玉香（第二十二章“绵羊营养工程技术”）

## 三、参加全书终审的人员

---

——王洪荣

——谭支良

——甄玉国

——张爱忠

——卜登攀

## 四、参加全书文字统稿人员

---

——杜瑞平

——程建波





# 序

## PREFACE ONE

It was a great pleasure for me to read the second version of Prof. De-Xun Lu's well-written and thoughtful book entitled "*Introduction to Animal Systems Nutrition*". This publication is timely and important for both researchers and students of animal nutrition. The new book has extensively updated major advances in the field since its first edition was printed in 2004. In the post-genome era, it is the right time to call for innovations in research methods, as well as practices of feeding mammals, poultry and fish.

Animal nutrition is the foundation for producing meat, milk, eggs, and wool, as adequate intakes of nutrients are required for all animals to survive, grow, develop, and reproduce. Animal feeding had traditionally been based on the empirical and scientific knowledge of: a) nutrient digestion and metabolism; b) dietary requirements of nutrients by animals for maintenance and production at various developmental stages; and c) evaluation of nutritive values of feed-stuffs. The long-standing scientific system of animal nutrition, which was developed in Europe over 100 years ago, is characterized by: a) consideration of the feeding of the whole animal (i. e. , applied nutrition) as the dominant mode of thinking; b) focus of studies on the proximate analysis of feeds, digestive physiology, and quantitative requirements of nutrients by animals; c) insufficient understanding of the fundamental principles of animal nutrition; d) reductionism, "trial and error", and "feed and weigh" approaches as major research methods; e) over-reliance on fixed feeding standards; and f) static description of the complex processes of nutrient utilization in animals. These limitations of the traditional animal nutrition scheme resulted primarily from inadequate knowledge of "the black box" of animals.

Scientific systems are developed through the conception of new theories and experiments to test novel hypotheses. Having recognized the problems of low



efficiencies of protein accretion in farm animals, particularly ruminants, Prof. Lu used the principles of integrated animal systems to successfully formulate balanced diets for improving lactation and growth performance of cows and sheep in the 1980s. In August, 1994, he coined the term “systems nutrition of animals” at a conference held in Inner Mongolian Agricultural University. Systems nutrition is defined as a branch of biological sciences concerning the digestion, absorption, metabolism, and utilization of nutrients in animals at whole body, organ, tissue, cellular, and molecular levels to maximize feed efficiency and economic returns of animal production. The major features of the systems nutrition include: a) the systems science-based knowledge as the foundation of the discipline; b) integration of the animal systems from molecules to the intact organism to define responses of animals to environmental factors (including diets); c) nutritional regulation of animal growth and production as the focus of research and practice; and d) use of advanced techniques for nutritional engineering and for management of animals on large-scale farms. When diets are formulated to provide sufficiently amino acids, lipids, water-soluble and insoluble carbohydrates, minerals, and vitamins by following the principles of systems nutrition, the complex metabolic network in animals can be exquisitely regulated to enhance the growth, lactation, and reproduction of livestock, poultry and fish.

Animal agriculture plays an important role in improving human nutrition, growth, and health, as well as economical and social developments worldwide. The global population is 7.4 billion in 2016 and has been projected to be 9.6 billion in 2050. With the increases in global population and human consumption of meat and milk per capita, demands for animal-source protein and other animal products are expected to increase by 70% between 2016 and 2050 worldwide. With a daunting task to fully understand the “black box” of animals, maximally enhance the efficiency of metabolic transformations, and continuous-



ly sustain animal agriculture, animal nutritionists face tremendous challenges to produce livestock, poultry and fish for feeding the growing world. Prof. Lu's seminal concept of systems nutrition is expected to guide and transform the practice of animal nutrition to greatly facilitate the achievement of this noble goal in the coming years.

I thank Prof. Lu for the opportunity to write a preface to the revised version of his book "*Introduction to Animal Systems Nutrition*". I hope that new and established scholars of animal nutrition and related fields at academic institutions, as well as animal nutritionists on farms and in feed companies, will enjoy reading this well-organized monograph as much as I do.

April 8, 2016

Guoyao Wu, Ph. D.

University Distinguished Professor, Texas A&M University, College Station, TX, USA;  
Adjunct Professor, Wuhan Polytechnic University, Wuhan, Hubei, China; and  
Adjunct Professor, China Agricultural University, Beijing, China

## 序 二

### PREFACE TWO

《新版系统动物营养学导论》一书是卢德勋研究员在他2004年8月出版的《系统动物营养学导论》学术专著的基础上进一步修订完成的。2004版《系统动物营养学导论》的出版标志着我国学者在探索构建具有时代特征的动物营养学理论和技术体系征途上迈出了历史性的一步，获得了开创性的、具有重要学术价值的研究成果。之后，又经过12年的研究、探索和创新，《新版系统动物营养学导论》修订和增补了2004年以来系统动物营养学发展的最新成果，全书进一步强调要在系统科学思维指导下推动动物营养学与饲料科学学科的理论和技术体系创新，对系统动物营养学在思维方式、研究范围、研究内容、研究技术与应用体系等方面的创新成果进行了系统梳理与总结，特别是根据系统科学理论和方法在分子营养学基础上首次提出发展微观营养学的学科战略；增加了饲料科学理论和技术体系创新工程、日粮营养平衡理论、营养组学型饲料产品、日粮诊断技术、动物多层次营养平衡理论、营养工程技术体系等一系列重大理论和技术创新成果，全面展示了卢德勋研究员几十年来对动物营养学和饲料科学两大学科体系创新工程的突出贡献。

《新版系统动物营养学导论》汇集了卢德勋研究员过去56年来，特别是最近11年来带领他的同事、学生们所取得的研究成果，是卢德勋研究员毕生苦心思考与不懈研究的成果结晶，对推动动物营养学和饲料科学两大理论和技术体系创新和动物营养科学发展的现代化进程必将产生重大的、深远的影响。

在过去56年来，卢德勋研究员为中国动物营养学发展鞠躬尽瘁、不懈努力、默默无闻地为实现他提出的“让中国动物营养学整体走向世界”的中国梦付出了自己的人生大部分年华，深受我国动物营养学界同仁尊敬和爱戴。2007年退休后，他依然老骥伏枥、壮志不已，不顾体弱多病，继续参加国家重大科技项目咨询和指导工作；笔耕不辍，继续努力从事动物营

养学和饲料科学两大学科理论和技术体系创新工程，为系统动物营养学传承、应用和发展呕心沥血不断奔忙。在他 80 高龄到来之际，又完成了《新版系统动物营养学导论》这本巨著，并奉献给大家，实在令人钦佩。我这里郑重向读者推荐，并以此为序。



2016 年 3 月

# 投身学科理论和技术体系创新的新时代

——写在《新版系统动物营养学导论》出版之际

早在 1937 年国际动物营养学界先驱、美国康奈尔大学 L. A Maynard 教授在他的名著 *Animal Nutrition* 中曾经写过这样一段话：“The nutrition worker who is a true scientist recognizes the limitations of present knowledge（一个从事营养学研究的真正科学家要认识到现有知识的局限性）。”当第一次读到这段话时，我还是一位刚刚毕业的 28 岁的副博士（相当于现在的硕士学位）。我被这位伟大的科学家这一远见卓识的科学论断深深地震撼了。在震撼之余，我这位刚刚进入动物营养学科、才疏学浅的年轻人又感到莫大的困惑。路在何方？为了解开这一谜团，我几乎花去了多半生的宝贵时光，一直在不懈地苦苦探索、探索……在我著的 2004 版《系统动物营养学导论》“前言”里对这段 40 多年的探索历程曾经作过简略地回顾。到今天为止，该书的出版发行又过去了近 10 个年头。在过去半个多世纪的苦苦探索历程中，我终于找到了对 Maynard 教授 80 年前提出的如何克服动物营养学现有知识局限性的答案，这就是从转变学科思维方式入手，紧紧抓住学科理论及技术体系创新和发展的时代主题，用系统科学思维方式指导继承、创新和发展实践，大力推动学科理论和技术体系创新工程，实现构建具有时代特征的动物营养学学科理论和技术体系百年历史性跨越。我深深地为能有幸投身于这一伟大的时代洪流，并参与见证百年动物营养学发展的历史进程而感到无比骄傲和自豪。

在 2004 版《系统动物营养学导论》问世后的 11 年时间里，我的生活中发生了两件事：一是疾病缠身，经常住院或看急诊，稍稍加大工作量就不行了；二是 2007 年正式办理了退休手续，开始过上了“退而不休”的新生活。虽然由于病痛的影响，有时也产生过一些悲观情绪，但是我仍然痴心不改，利用一切可能继续推动系统动物营养学的传承、普及和发展。在我的推动和我的弟子们的帮助下，2008 年第一届“全国系统动物营养学发展论坛”在扬州顺利召开。随后由于各方面的大力支持和帮助，该论坛每年召开一次，到 2015 年止已先后举办了 8 届，其中第六届论坛和第三届“奶牛营养与牛奶质量”国际研讨会一起在北京举办，扩大了系统动物营养学在国际范围内的传播。现在“全国系统动物营养学发展论坛”越办越好，

已经成为展示我国最新动物营养科研技术创新与成果、促进国内同行交流与互动的一个重要平台。“全国系统动物营养学发展论坛”的举办大大推动了系统动物营养学的传承、发展和创新，使系统动物营养学理论和技术成果不仅在国内得到了极大的传播，取得了越来越多的理解和认可，而且开始向国外介绍系统动物营养学的创新成果。特别提到的是2014年1月我撰写的综述性论文“Systems nutrition: an innovation of a scientific system in animal nutrition”在美国 *Frontiers in Bioscience* 上发表后，得到了国内外同行的高度评价。过去的11年是我在系统动物营养学研究和创新继续取得突破性进展的11年。我和我指导的团队以及国内同行继续探索，坚持创新，在系统动物营养学的研究和应用方面不断取得许多可喜的进展，在许多领域里获得了重大理论和技术突破，特别是提出了“微观营养学”“饲料科学理论和技术体系创新工程”，以及其他一些重大理论和技术创新性成果，为丰富和发展系统动物营养学做出了重要贡献。近年来，众多读者要求对2004版《系统动物营养学导论》进行修订，增补2004年以来系统动物营养学发展的新成果，充分反映2000年以后国际动物营养学和相关生物科学的新进展，使这一自主创新的学术著作能够进一步在国内外传播。应该说这也是我多年的心愿，但是苦于疾病的困扰，一直下不了最后的决心。庆幸的是，从2012年起我的健康状况不断好转，加上许多朋友和弟子的鼓励和支持，我终于决定开始着手对2004版《系统动物营养学导论》进行修订。从2013年起，开始对本图书进行修订并且工作进展顺利，终于全部完成《新版系统动物营养学导论》书稿。

这次修订的基本方针是在保持2004版的基本框架、内容和风格的基础上，在“增补”和“修订”两个方面下功夫。与2004版比较，大家将要看到的《新版系统动物营养学导论》有以下三个重要的特点：

第一，新增补的内容占了相当大的比例，全书篇幅大大扩增。2004版《系统动物营养学导论》全书共四篇、16章、670千字，《新版系统动物营养学导论》全书共五篇、26章、预计1 015千字，印刷字数是2004版的1.5倍。

第二，新增内容均属2004年以来我和我的弟子新近提出的新的理论见解和新的研究成果。这些理论见解和研究成果均属于自主创新性成果，对

科学发展或培养科技人才有重要作用；有些成果已经或正在应用于生产实践，获得可喜成果。

第三，根据新的发展，对2004版《系统动物营养学导论》中原有一些内容或提法及个别文字进行了一些修订，体现了与时俱进的原则，使《新版系统动物营养学导论》质量有了新的提升。

这里值得提及的就是我的很多弟子参加了这次修订工作的全过程，他们给了我极大的帮助。可以说，没有他们的参与这次修订工作几乎是不可能完成的。更重要的是通过参加这次修订使他们在学术上得到了新的提升，通过修订为我国动物营养学发展培养了更多能掌握系统动物营养学理论和技术的年轻人才。这也正是我所以下决心着手对2004版《系统动物营养学导论》修订最重要的初衷所在。我衷心地期待将来有更多的后继者能把我这一份学术遗产继承下来，传承下去，在实现构建具有时代特征的动物营养学学科理论和技术体系伟大征程里不断攀登一个又一个高峰。参加这次修订工作的我的弟子的名字都一一列在本书中，在本书即将出版之际，我对大家一并表示衷心的感谢。

这次修订工作之所以能顺利进行首先得益于我的妻子冯允义。在2004版出版后十多年来，她在自己身体健康并不好的情况下，一直默默地照顾我的生活，在病床边护理，鼓励我和疾病作斗争。在她无微不至的关怀下，这几年我的身体越来越好，病情趋于稳定，为这次修订工作奠定了最重要的基础。应该说，我每取得一份工作成绩，都浸透着她对我深深的爱，都有她一半的功劳。这些都不是只用一句感谢的话所能完全表达出我万分感激的心情。

在这次修订工作中，我得到了很多朋友真诚的鼓励和支持，特别提到的是大北农集团董事长邵根伙博士的宝贵资助及美国Texas A & M大学伍国耀教授的支持和鼓励，正是这一巨大支持才使这次修订工作得以顺利进行。这里我再一次向朋友们表示深深的谢意。

在这次修订工作开始时，有专家建议能不能把2004版《系统动物营养学导论》书名中“导论”二字去掉，直接定名为《系统动物营养学》。我毅然决然地否定了这一建议。这是因为推进动物营养学的理论和技术体系的创新是当代动物营养学的重大历史任务，需要经过较长的历史时期才能最

终完成。固然，系统动物营养学提出是推进动物营养学理论和技术体系的创新工程的一次重要尝试，具有重大的战略意义。但是，目前撰写《系统动物营养学》的时机并不成熟。目前我提出的许多理论见解还属于框架阶段，尚需进一步完善和发展，这个具有历史意义的任务还是留给后人来完成吧！这次《新版系统动物营养学导论》出版后，作为系统动物营养学的开拓者，我的历史任务已经完成。我千百倍真诚地、热切地期盼着后继者们能超越我已经取得的成果，在系统动物营养学的创新和发展中有所建树，取得更大、更好的成果。

“宜将登攀作乐事，  
无限风光在峰顶。”

这是我2009年12月在病床上写的一首诗中的两句话，就用这两句话和大家一起共勉吧！

最后，让我对乘鹤西去的两位恩师杨胜教授和 R. J. Moir 教授再一次表示深切的感谢。每当忆起他们的音容笑貌和一起度过的时光，我总是禁不住热泪盈眶。老师，我深深地怀念你们。没有你们的学识传授、学术指引和鼓励，我这近半个世纪的探索恐怕都会在黑暗中前行，终将一事无成。就让这本用弟子心血培育而成的《新版系统动物营养学导论》作为一束鲜花放在你们的墓前来寄托我绵绵无尽的哀思吧！

卢德勋

2016年8月



# 目 录

## CONTENTS

序一

序二

投身学科理论和技术体系创新的新时代

### 第一篇

## 01 绪 论

### 第一章 系统动物营养学的研究对象和性质 / 3

第一节 系统动物营养学的定义和性质 / 3

第二节 系统动物营养学与传统动物营养学的区别 / 6

### 第二章 系统动物营养学的整体思维方式 / 9

第一节 学科整体思维方式的重要性 / 9

第二节 系统动物营养学学科整体思维方式的特点 / 10

### 第三章 系统动物营养学的产生和发展 / 14

第一节 系统动物营养学产生的历史背景 / 14

第二节 系统动物营养学的发展和展望 / 18

### 第二篇

## 02 动物营养系统及其调控

### 第四章 动物营养系统分析 / 25

第一节 动物营养系统的基本概念 / 25

第二节 动物营养系统的结构 / 30

第三节 动物营养系统功能 / 40

## 第五章 动物营养系统内营养物质的转化和利用 / 49

- 第一节 含氮物质 / 49
- 第二节 葡萄糖和短链脂肪酸 / 59
- 第三节 脂类的转化和利用 / 64
- 第四节 水的循环 / 68
- 第五节 矿物质的转化和利用 / 71
- 第六节 动物营养系统内各种营养物质转化和利用的整体观 / 79
- 第七节 营养与动物健康 / 83

## 第六章 微观层次的营养研究 / 97

- 第一节 微观营养学产生的历史背景 / 97
- 第二节 微观营养学的定义、学科特征及其研究内容 / 100
- 第三节 微观营养学的研究方法与技术 / 102
- 第四节 我国微观层次的营养研究进展示例 / 112
- 第五节 微观营养学的发展展望 / 120

## 第七章 动物机体自我营养调控功能 / 121

- 第一节 动物机体自我营养调控功能的概念、运行特征及其生理意义 / 121
- 第二节 采食调控 / 125
- 第三节 营养物质代谢的稳衡控制 / 133
- 第四节 营养物质的协调分配 / 149
- 第五节 抗营养性应激调控 / 160

## 第八章 动物营养系统的调控 / 170

- 第一节 动物营养调控理论的历史发展 / 170
- 第二节 消化道营养调控理论的基本内容 / 171
- 第三节 系统整体营养调控理论的基本内容 / 179
- 第四节 反刍动物营养调控 / 182
- 第五节 猪的营养调控 / 205
- 第六节 家禽营养调控 / 214