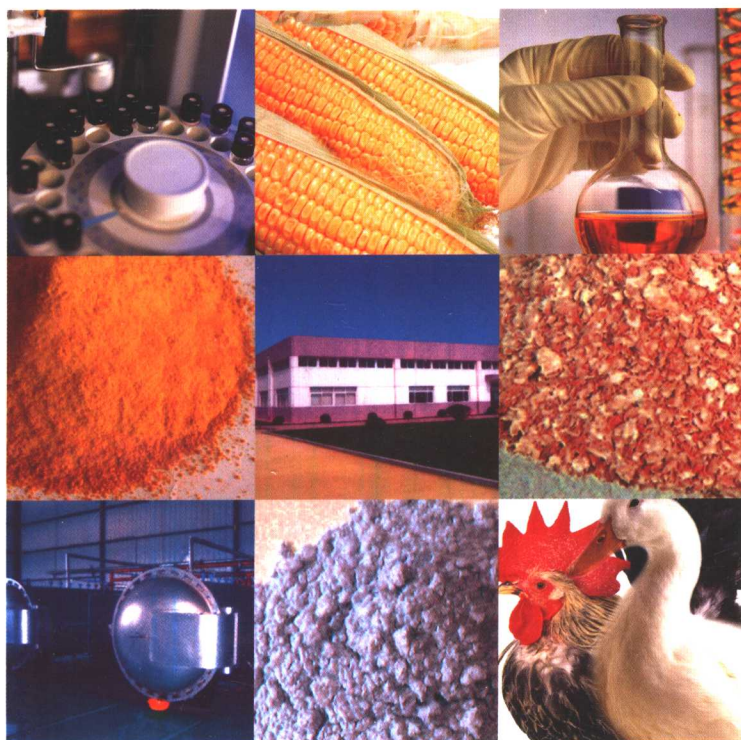


农业生物技术系列

新型蛋白质饲料 开发与利用

计 成 主编

马秋刚 张建云 副主编



化学工业出版社
农业科技出版中心

农业生物技术系列

新型蛋白质饲料开发与利用

计 成 主 编
马秋刚 张建云 副主编



化学工业出版社
农业科技出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

新型蛋白质饲料开发与利用/计成主编. —北京:
化学工业出版社, 2006. 5
(农业生物技术系列)
ISBN 7-5025-8879-5

I. 新… II. 计… III. 高蛋白饲料-研究
IV. S816.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058765 号

农业生物技术系列
新型蛋白质饲料开发与利用
计成 主编

马秋刚 张建云 副主编
责任编辑: 邵桂林 周 旭
责任校对: 李 林
封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
农业科技出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530
(010)64918013

购书传真: (010)64982630
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市宇新装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 11¼ 字数 199 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8879-5

定 价: 27.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

序

农业是国民经济的基础，是人们生存之根本。

农业的发展经历了刀耕火种、牛拉犁耕、机械化作业、高新技术应用等逐步发展的过程，每一次技术的变革都对农业的发展产生了巨大的推动力。当前，在科学发展观的指引下中国已进入城乡统筹以工哺农、以城带乡的新阶段，解决“三农”问题已成为我国向现代化、工业化迈进和建设小康社会的突出任务。但是，农业的发展离不开科学技术的发展和支撑，农业技术的发展历程也同样体现着科技发展的前进轨迹。

目前，全球正面临着人口膨胀、资源紧缺、污染加剧的现状，这些不但使我们的经济和社会发展面临着严峻的考验和压力，同时对农业的发展也提出了现代化的迫切要求。

生命科学与生物技术的快速发展及其在农业领域中的应用，给农业的发展带来了深远的甚至是革命性的变化，大大促进了农业生产力的提高。例如，我们所熟知的杂交水稻、转基因抗虫棉、转基因大豆和转基因水稻以及克隆羊“多莉”等无一不是应用生物技术的成果。而这些已经给我们的生活带来了很大变化。生物技术在品质改良、育种、提高产量等方面已经显现出了良好的应用前景和巨大效益。

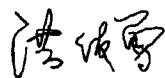
世界各国，尤其是发达国家已经纷纷把生物技术研究、开发和应用作为重点投资的高技术战略目标，特别是加强了生物技术在农业领域中的应用。我国是一个农业大国，但还远不是一个农业强国。因此，我国农业的发展与强盛更加需要广大农业科研与技术人员的努力，更加需要现代新技术、新成果的武装、应用与转化。

为了有助于广大农业科技工作者更多地了解当今生物技术在农业领域中应用的状况、前景，启发新的科研思维和方法，同时也为了更进一步促进农业生物技术研究成果与生产实践的紧密结合，本着前沿、实用、创新的目的，化学工业出版社组织出版了一套《农业生物技术系列》图书。该套图书的编写人员均是来自农业领域不同专业方向的知名专家，在其科研工作领域具有较深的造诣，取得了一大批成果。该套图书基本涉及了农业生物技术的各个方面，包括农作物与动物育种新技术、畜牧兽医技术、基因工程技术，农畜产品品质改良技术，生物饲料、生物疫苗、生物农药、生物肥料开发与应用技术等，内容丰富实用，突出了创新性和实践可应用性，基本上能够满足不同专业人员的

需要。

值此套《农业生物技术系列》图书出版之际，我衷心希望该套系列丛书对于加快农业生物技术在农业领域中的转化和应用，推动我国农业科技和农业的进一步发展发挥应有的作用；同时我也希望有更多的农业工作者、有关部门和企业重视农业科技的发展、关心并大力支持农业科技的发展，为建设创新型国家，创新型农业做出应有贡献。

农业部原副部长
全国人大农业与农村委员会原副主任
中国农学会名誉会长



前 言

发展安全、优质、高效的饲料业，是养殖业持续健康发展的物质基础，是提供卫生、安全和营养丰富的动物性食品、提高人民生活水平的基本保障。

经过 20 多年的改革与发展，我国饲料业已经形成门类比较齐全、功能比较完备的产业体系，成为国民经济中的重要基础产业。在发展过程中，饲料原料（特别是蛋白质原料）严重不足是我国发展饲料工业的难题之一，人们迫切要求加速新型饲料技术的研究开发，广辟饲料来源，加快饲料业科研与开发。例如：以研究开发蛋白质饲料、农副产品饲料的生产及高效利用技术为重点，开发非粮食饲料；广泛应用生物、精细化工等技术，加速研制并推广安全、高效、无污染的饲料添加剂；大力推动优质环保型饲料、专用饲料和安全饲料科学配方技术的研究开发等。

新的农业科技革命正在深刻地改变世界农业的面貌。农业高新技术不断涌现，带动了农业结构的不断优化；改善和保护生态环境，农业可持续发展越来越受到重视；随着生物技术的飞速发展，新型蛋白质饲料资源不断涌现，对这些新型蛋白质饲料资源的开发与安全高效利用技术需求就显得越来越迫切。因此，我们特编写了本书。

本书详细论述了蛋白质饲料安全高效利用的营养学基础；蛋白质营养价值评定与蛋白质饲料利用效率；新型蛋白质饲料开发技术；新型蛋白质饲料的安全高效使用；新型蛋白质饲料的安全性评价等。

参加本书的编写人员有：计成、马秋刚（第一章）；张建云、何欣（第二章）；王志祥、易中华（第三章、第四章、第五章、第七章）；王志祥、何欣、张建云（第六章）；田河山（第八章）。本书由计成和马秋刚负责总体筹划，计成、张建云、易中华负责最后统筹定稿。

在本书的编写过程中，得到我国著名的动物营养学家戎易教授的支持和指导，在此特致以衷心的敬意与感谢！

本书所涉及的研究领域广泛，是一门发展中的科学，新理论、新观点层出不穷，但因篇幅有限，不可能将所有理论和观点包罗其中，同时，由于作者水平有限，书中定有缺点和不妥之处，敬请读者指正。

编者

2006 年 4 月

目 录

第一章 饲料蛋白质的营养	1
第一节 蛋白质分类及氨基酸组成	1
一、简单蛋白质	1
二、结合蛋白质	3
第二节 动物对蛋白质的消化、吸收和利用	3
一、传统的蛋白质消化、吸收理论	3
二、传统的蛋白质消化、吸收理论的局限性	4
三、蛋白质消化、吸收新理论	5
第三节 动物的理想蛋白质模式	5
一、理想蛋白质模式概念	6
二、各种畜禽的理想蛋白质模式	6
三、理想蛋白质的研究方法	9
四、影响理想蛋白质模式的因素	10
五、理想蛋白质的实际应用价值	11
第四节 蛋白质营养价值评定体系及影响蛋白质利用率的主要因素	12
一、非反刍动物饲料中蛋白质营养价值评定方法	12
二、反刍动物饲料中蛋白质营养价值评定方法	14
三、影响蛋白质利用率的主要因素	16
第五节 饲料氨基酸的利用率	17
一、氨基酸利用率测定方法	17
二、影响氨基酸利用率的因素	24
第二章 新型蛋白质饲料的开发技术	31
第一节 发酵饲料技术	31
一、发酵工程技术简介	31
二、单细胞蛋白饲料、饲料酵母、发酵饲料、酵母饲料	33
三、利用废水废液生产单细胞蛋白质饲料	34
第二节 饲料酶生产及酶解技术	39
一、饲用酶制剂的分类及作用机理	40
二、饲用酶制剂生产工艺简介	42
三、饲用蛋白酶制剂的特点及生产技术要点	50

第三章 单细胞蛋白质饲料的属性及其安全高效使用	53
第一节 饲料酵母的属性及其安全高效使用技术	54
一、饲料酵母的养分含量	54
二、饲料酵母的饲用价值	55
第二节 石油酵母的属性及其安全高效使用技术	57
一、石油酵母的营养特性	57
二、石油酵母的饲用价值	58
第三节 单细胞藻类蛋白的属性及其安全高效使用技术	58
一、淡水藻类的营养价值	58
二、螺旋藻的营养特点	59
三、螺旋藻在养殖业上的应用	60
四、小球藻的营养价值	61
第四节 混合菌属单细胞蛋白质的营养价值	62
第五节 我国生产单细胞蛋白质的潜力与开发前景	63
一、轻工、粮油、食品、发酵工业生产单细胞蛋白质潜力	63
二、农副产品加工下脚料生产单细胞蛋白质的潜力	65
三、农林废弃物生产 SCP 的潜力	65
第六节 单细胞蛋白质饲料的安全性及饲喂注意事项	66
一、单细胞蛋白质饲料的安全性	66
二、单细胞蛋白质饲料的饲喂注意事项	66
第四章 发酵饲料的属性及其安全高效使用	68
第一节 秸秆饲料发酵及发酵后的使用方法	68
一、微生物发酵秸秆饲料的原理	68
二、微生物发酵秸秆饲料的品质评价	69
三、微生物发酵秸秆饲料的应用效果	72
第二节 畜、禽粪便发酵再生饲料的属性及使用方法	73
一、发酵鸡粪的饲用	73
二、牛粪发酵饲料的营养价值及使用	74
第三节 牛、羊瘤胃液的发酵产物及应用	75
第四节 血粉的发酵及其应用	75
一、发酵血粉生产技术	75
二、血粉发酵产物的属性及使用方法	77
第五节 饼粕类饲料的发酵脱毒	79
一、棉籽饼粕发酵脱毒处理技术	79
二、菜籽饼粕发酵脱毒处理技术	81

第六节 利用废渣粕原料生产发酵饲料	82
第七节 发酵饲料的利用及注意事项	83
一、秸秆发酵饲料的使用	83
二、粪便发酵饲料的使用	84
三、废渣粕原料生产发酵饲料的使用	84
第五章 酶解饲料的属性及安全高效使用	85
第一节 酶解饲料常用的酶类	85
第二节 酶解饲料的特点	86
第三节 酶解饲料的饲养效果	88
第四节 酶解饲料的作用机理	89
第五节 使用酶解饲料的注意事项	91
第六章 寡肽饲料的属性及其安全高效使用	92
第一节 寡肽饲料的属性	92
一、寡肽概念的提出背景	92
二、寡肽的吸收机制	93
三、影响寡肽释放、吸收的因素	94
四、寡肽在动物营养中的作用	96
第二节 体外酶解生产寡肽饲料添加剂	98
一、大豆酶解生产小肽	98
二、玉米黄粉酶解生产小肽	100
三、大豆玉米复配物酶解生产小肽	101
四、水产动物蛋白酶解生产小肽	102
第三节 生物活性肽（功能型肽）	103
一、生物活性肽的主要生理作用	104
二、天然存在的生物活性肽	105
三、体外酶解生产生物活性肽饲料添加剂	110
第四节 商品肽类饲料安全高效使用	114
一、商品肽类饲料应用效果	114
二、商品肽类饲料应用注意事项	116
第七章 其他新型饲料的属性及其安全高效使用	117
第一节 优质蛋白玉米的属性及其安全高效使用	117
一、优质蛋白玉米的发展概况	117
二、优质蛋白玉米营养价值提高的原因	118
三、优质蛋白玉米对单胃动物的营养价值	119
第二节 双低菜粕的属性及其安全高效使用	122

一、双低菜粕的饲用价值及影响因素·····	122
二、双低菜粕在畜禽饲料中的应用·····	125
第三节 低酚棉籽饼粕的属性及其安全高效使用·····	132
一、低酚棉籽饼粕的饲用价值及影响因素·····	132
二、低酚棉籽饼粕在畜禽饲料中的应用·····	133
第四节 瓜尔豆的开发利用·····	134
一、瓜尔豆的营养价值特点·····	134
二、瓜尔豆粕的营养价值特点·····	134
三、瓜尔豆粕在饲料中的应用·····	135
第八章 新型蛋白质饲料的安全性评价·····	136
第一节 安全毒理学评价的一般程序·····	136
一、安全毒理学评价的四个阶段内容及选用原则·····	137
二、安全毒理学评价的试验目的与结果判定·····	138
第二节 一般饲料安全毒理学常用试验技术·····	140
一、急性毒性试验·····	140
二、30d 和 90d 喂养试验·····	147
三、慢性毒性和致癌试验·····	148
四、致畸试验·····	149
五、日容许摄入量 (ADI) 的制定·····	151
第三节 饲料中动物源成分的检测·····	153
附录 1 动物源性饲料产品安全卫生管理办法·····	155
附录 2 国家质检总局出入境检验检疫行业标准 进口动物源性饲料中	
牛羊源性成分检测方法——PCR 方法 (SN/T 1119—2002) ·····	161
参考文献·····	166

饲料蛋白质的营养

随着畜牧业的可持续发展,我国蛋白质饲料持续短缺,新型蛋白质饲料开发及其安全高效利用显得尤为迫切。而新型蛋白质饲料的开发与安全高效利用技术的基础,仍然是饲料蛋白质营养的理论和实践。

畜禽所需的蛋白质主要来源于饲料。我国蛋白质饲料资源十分匮乏,突出表现在豆粕和鱼粉等优质蛋白质饲料的供应量严重不足。因此,动物对饲料蛋白质的高效利用和非常规蛋白质饲料资源的开发及其安全利用,一直是动物营养学与饲料加工工艺学研究的重要内容。随着现代农业生物技术和现代仪器分析技术的发展,研究手段逐步提高,丰富了动物营养学研究的内容,在蛋白质营养领域有许多重大理论突破,这些理论的丰富和完善为蛋白质饲料的开发及安全高效利用技术提供了理论基础。

第一节 蛋白质分类及氨基酸组成

蛋白质是由氨基酸通过肽键、氢键所形成的复杂的具有三维结构的大分子聚合物。氨基酸数量、种类和排列顺序的变化产生了各种不同的蛋白质。不同饲料中蛋白质化学组成的差异是决定饲料蛋白质营养价值和利用效率的主要因素。根据饲料中主要蛋白质的组成特点、理化特性及溶解度等,可以对蛋白质进行分类,主要分为简单蛋白质和结合蛋白质两大类。

一、简单蛋白质

简单蛋白质又称为单纯蛋白质,这类蛋白质仅含由 α -氨基酸组成的肽链,它被完全水解后的产物只有氨基酸。简单蛋白质又可分为以下几类。

(1) 白蛋白 亦称清蛋白,是一种分布最广的蛋白质。动物所有组织器官的细胞及体液中均含有白蛋白,豆科籽实中也含有少量白蛋白,禾本科籽实白

蛋白含量很低。白蛋白主要有卵清蛋白、血清蛋白、豆清蛋白、乳清蛋白等几种。动物体内的白蛋白经过完全水解可游离出 19 种氨基酸，其中赖氨酸、亮氨酸、谷氨酸含量较多，而蛋氨酸、甘氨酸含量较少。

(2) 球蛋白 它的分布也较广泛，几乎与白蛋白并存。在动物体内存在于体液和许多组织器官中，豆科籽实中 95% 以上的蛋白质属于球蛋白，禾本科籽实球蛋白含量很少。球蛋白主要有血清球蛋白、血浆纤维蛋白原、肌浆蛋白、豆球蛋白等几种。球蛋白不溶于水，可溶于盐溶液、稀酸和稀碱，用饱和硫酸铵溶液可将球蛋白析出，遇热后凝固。球蛋白是由 14~17 种氨基酸组成，其中亮氨酸、赖氨酸、酪氨酸含量较高，蛋氨酸、丝氨酸含量较少。球蛋白与白蛋白的不同之处在于球蛋白中甘氨酸含量较高。

(3) 谷蛋白 它是禾本科籽实中主要植物蛋白之一，其与醇溶蛋白一起构成禾本科籽实的贮藏蛋白，主要包括麦谷蛋白、玉米谷蛋白、大米米精蛋白等。谷蛋白不溶于水或中性溶液，易溶于稀酸、稀碱。玉米胚乳蛋白的 35% 和胚蛋白的 54% 左右属于谷蛋白。小麦麦谷蛋白约占籽粒总蛋白的 10%，是面筋蛋白的主要成分。与醇溶蛋白相比，谷蛋白的氨基酸组成更加平衡，其中赖氨酸和色氨酸是醇溶蛋白的 3 倍左右。动物对谷蛋白的净利用率也高于醇溶蛋白。

(4) 醇溶蛋白 它也是禾本科籽实中主要植物蛋白之一，不溶于水，易溶于稀酸、稀碱，可溶于 70%~80% 乙醇中。玉米胚乳蛋白的 47% 和胚蛋白的 6% 左右是醇溶蛋白。小麦醇溶蛋白约占小麦面粉总量的 4%~5%，是胚乳的主要贮藏蛋白。醇溶蛋白中所含的必需氨基酸（特别是赖氨酸和色氨酸）含量很低，蛋白净利用率只有 57% 左右，蛋白质营养价值低于谷蛋白。

(5) 胶原蛋白 它是构成动物体软骨组织和结缔组织的主要蛋白质，动物体内 1/3 的蛋白质属胶原蛋白。胶原蛋白不溶于水，对动物消化酶有一定抗性，但易被膨润而形成冻胶。在水、稀酸、稀碱中长时间煮沸胶原蛋白，可改变其结构，部分蛋白发生水解，变成可溶、易消化的白明胶。其完全水解产物中甘氨酸、脯氨酸含量较多，酪氨酸、蛋氨酸、组氨酸等含量较少，且不含胱氨酸、半胱氨酸、色氨酸及异亮氨酸。

(6) 角蛋白 它主要存在于动物的羽毛、被毛、蹄、角、爪、喙中，不溶于酸和水，也不溶于氨液及有机溶剂，甚至不被动物消化酶消化。只有当角蛋白被无机酸长期浸泡水解后，才能水解出 7~14 种氨基酸，其中胱氨酸、蛋氨酸较多，赖氨酸、组氨酸、丝氨酸较少。

此外，还有一类弹性蛋白，它主要存在于肌腱和动脉血管等弹性纤维结缔组织中，不溶于水，也不能被膨润，水解后的主要氨基酸为甘氨酸，其次为亮氨酸、缬氨酸。弹性蛋白的弹性很好，但韧性不如胶原蛋白。

由于角蛋白、胶原蛋白、弹性蛋白都不溶于水、盐溶液及有机溶剂中，故

又称为不溶性蛋白或硬蛋白。

二、结合蛋白质

结合蛋白质是由简单蛋白质与非蛋白质物质结合而成的复合物，其完全水解产物是氨基酸和其他化合物，这些与简单蛋白质结合的各种非蛋白质组分称为结合蛋白质的辅基。结合蛋白质在动植物体内分布十分广泛，但是在蛋白质饲料中的绝对含量并不高。

(1) 核蛋白 它是蛋白质与核酸结合的产物，普遍存在于生物的细胞核和原核生物的有形成分中。由于核酸分为两大类，故核蛋白也分为两大类，即核糖核蛋白、脱氧核糖核蛋白。

(2) 糖蛋白 它是由蛋白质与复合多糖类物质所构成的结合蛋白质。以黏多糖为辅基的蛋白质叫黏蛋白，黏蛋白和黏多糖广泛存在于动物的多种组织器官中，起着重要的生理作用。

(3) 脂蛋白 它是由蛋白质与脂肪或类脂物所构成的结合蛋白质。脂蛋白广泛存在于动物体中，高等动物血液中的脂蛋白包括 α -脂蛋白和 β -脂蛋白。细胞膜中的脂蛋白影响细胞膜的通透性。

(4) 色蛋白 它是由蛋白质和色素物质所构成的结合蛋白质，其中最重要的是卟啉类色蛋白，其次还有黄素蛋白和黑素蛋白等，它们在生物体内表现出多种不同的作用。

(5) 磷蛋白 由蛋白质和磷酸结合而成磷蛋白，其中最重要的是酪蛋白、卵黄磷蛋白和鱼卵蛋白等。磷蛋白是动物脑组织中的重要组成成分。从氨基酸组成来讲，酪蛋白是营养价值非常全面的蛋白质。

此外，还有金属蛋白，凡以金属离子为辅基的结合蛋白质称为金属蛋白，主要的金属离子有铁离子、铜离子、锌离子、钴离子、钙离子、镁离子等，最常见的为铁蛋白，其次为锌蛋白和铜蛋白；还有类金属蛋白，其辅基为非金属元素，如碘、溴、氟等。

第二节 动物对蛋白质的消化、吸收和利用

一、传统的蛋白质消化、吸收理论

传统的蛋白质营养理论认为，蛋白质在动物胃、肠道内经各种消化酶水解后的最终产物是游离氨基酸，而且蛋白质必须被消化成游离氨基酸后才能被小肠黏膜细胞吸收和转运，因此，人们一直认为蛋白质的营养实质上就是氨基酸

的营养，动物对蛋白质的需要即是对必需氨基酸和非必需氨基酸的需要。

长期以来，蛋白质营养的研究一直以氨基酸的营养为基础，并先后形成了粗蛋白质、必需氨基酸、可利用氨基酸、理想蛋白质等理论，这些理论在生产实践中确实起到了一定的指导作用。例如，适当降低日粮中的蛋白质水平、添加合成氨基酸来平衡猪、鸡日粮，不但降低了饲料成本，而且提高了日粮氮的利用率和动物的生产性能。

二、传统的蛋白质消化、吸收理论的局限性

研究表明，用合成氨基酸取代完整蛋白质的数量是有限的。在生长迅速的猪、鸡日粮中，如果保持能量水平一致，不断降低粗蛋白质水平、同时升高合成氨基酸的添加水平，当达到一定程度时，动物不能保持最佳的生产性能和饲料效率。

Jensen (1991) 在 3~6 周龄的肉仔鸡日粮中设置了不同的蛋白质水平，同时添加合成氨基酸来满足必需氨基酸的需要。结果表明，与含 20%、21%、22% 和 23% 粗蛋白质的日粮相比，含 18% 粗蛋白质的日粮降低了生长率和饲料效率（表 1-1）；生长猪对低水平完整蛋白质日粮的反应与肉仔鸡相似。

表 1-1 日粮蛋白质水平对肉鸡生产性能的影响

日粮蛋白质水平/%	3 周龄体重/kg	耗料/增重	日粮蛋白质水平/%	3 周龄体重/kg	耗料/增重
23	0.709	1.39	20	0.650	1.44
22	0.713	1.39	19	0.622	1.53
21	0.691	1.41	18	0.577	1.55

注：来自 Jensen (1991)。

由动物对日粮低蛋白质水平所产生的反应说明，蛋白质的作用不仅仅是提供单个必需氨基酸，动物对饲料中蛋白质及所组成氨基酸的利用也不完全受单一限制性氨基酸的影响。关于低蛋白质日粮引起动物生产性能降低的原因，动物营养学家们曾经有几种假设。

① 日粮非必需氨基酸含量低。但在低蛋白质日粮中添加非必需氨基酸使之与高蛋白质日粮的总氨基酸相等，仍然不能改变生长性能的差异（Pinchasov 等，1990；Kaphart 和 Sherrit，1990）。

② 日粮电解质不平衡。通常日粮中的粗蛋白质主要由豆粕提供，日粮粗蛋白质水平降低亦即日粮中豆粕含量也降低，结果也降低了日粮中钾的含量。同时，合成赖氨酸（L-lysine-HCl）的添加增加了日粮中氯的含量。然而，饲喂电解质平衡的低蛋白质日粮的猪、鸡生长性能仍然落后（Fancher 和 Jensen，1989；Kaphart 和 Sherrit，1990）。

③ 美国 NRC（National Research Council）（1984）的必需氨基酸推荐量偏低或偏高。但无论提高必需氨基酸的浓度还是按照降低的粗蛋白质水平，相

应降低必需氨基酸的浓度，都不能解决问题。

④ 低蛋白质日粮的多胺水平较低。但在肉仔鸡日粮中添加腐胺，对生长率和饲料利用效率没有影响。

以上假设都不能得到圆满解释，一些学者又提出日粮完整蛋白或有关肽可能为动物最佳生产性能所必需（Webb, 1990），因而，产生了蛋白质消化、吸收新理论。

三、蛋白质消化、吸收新理论

蛋白质消化、吸收的新理论提出，小肠黏膜细胞表面刷状缘肽酶的终末水解是蛋白质消化和吸收的关键环节，从而将食物蛋白质的消化与吸收过程分为3个阶段，即腔内期、小肠黏膜期、转运与吸收期。

在腔内期，食物蛋白质仅一小部分被胃蛋白酶水解为大小不一的多肽，大部分蛋白质经肠腔中胰液和小肠液的消化，产物为少量游离氨基酸和大量寡肽（含2~20个氨基酸残基，常指2~6个氨基酸残基）。

在小肠黏膜期，寡肽的消化、吸收通过两种途径：一是黏膜上皮细胞表面刷状缘途径，完成氨基酸和肽的转运；二是细胞内途径，同肽的转运有关。小肠上皮细胞刷状缘和细胞液中富含肽酶，能逐步水解肽链氨基端的肽键，使其分解为小肽和部分多肽。最近，在小肠黏膜刷状缘上还发现能水解多肽和完整蛋白质的中性内肽酶，这表明即使在胰酶缺乏时刷状缘仍有能力水解和吸收一些相对较大的蛋白质分子。

刷状缘膜上的各种载体转运使肽和氨基酸的最终消化和吸收成为可能。氨基酸通过需钠耗能的主动转运而吸收；绝大部分寡肽不能直接吸收入血液，其中约10%的二肽、60%的三肽和几乎全部三肽以上的寡肽需经刷状缘肽酶水解，最终形成的游离氨基酸通过载体介导从底侧膜吸收入血液；部分二肽、三肽可直接被转运入上皮细胞由细胞浆肽酶水解，这个过程称为二肽和三肽的原样转运；只有极少量二肽或三肽（如含有甘氨酸、脯氨酸、羟脯氨酸的肽）可不经肽酶水解而直接吸收入血液。

许多试验也表明，寡肽与游离氨基酸吸收相比较，具有转运速度快、耗能低、载体不易饱和、可避免氨基酸之间产生吸收竞争的特点。

第三节 动物的理想蛋白质模式

关于蛋白质饲料的高效利用问题，10多年来的研究与实践表明，按理想

蛋白质模式配制饲粮，可使畜禽对氨基酸的需求得到最大满足而又浪费最小。饲养实践证明，按理想蛋白质模式，合理利用各种饲料资源，并添加工业合成氨基酸（赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸等），可在饲粮蛋白质水平比传统饲粮降低2%~3%的情况下获得同样饲养效果，还可减少畜禽的氮排出量，因而减轻对环境的污染，有利于实现无公害养殖。

一、理想蛋白质模式概念

理想蛋白质（ideal protein, IP）是指日粮中蛋白质的氨基酸组成和比例与畜禽氨基酸需要比例相吻合。

理想蛋白质的概念是 Howard 在 1958 年提出来的，而首先应用理想蛋白质的是 ARC。

确立理想蛋白质构成氨基酸平衡模式的原因是：畜禽（单胃动物）对氨基酸的需要量受代谢能、蛋白质水平，以及遗传、性别等诸多因素的影响，无法通过实验逐一确定每种必需氨基酸的需要量，而通过确定必需氨基酸相对于赖氨酸的理想比例来计算氨基酸的需要量，更容易适应多样性的环境条件，因为理想比例是相对稳定的，它不受氨基酸营养水平变化的影响。

理想蛋白质（或氨基酸平衡模式）一定要考虑实际日粮中氨基酸的消化率，也就是说，氨基酸平衡模式应以可消化氨基酸为基础，而不能以总氨基酸为基础，理想蛋白质中氨基酸模式通常以赖氨酸为基础，因而确定可消化赖氨酸的需要量就显得尤为重要。

二、各种畜禽的理想蛋白质模式

1. 猪的理想蛋白质模式

Cole 在 1978 年以生长猪为动物模型提出理想蛋白质这一概念，此后，许多学者在猪的氨基酸平衡方面做了大量的工作。表 1-2 是为猪设计的氨基酸平衡模式参考配比，其中英国 ARC（Agriculture Research Council）（1981）提出的模式没有考虑氨基酸消化率这一因素，故数值偏低。

表 1-2 不同学者设计的氨基酸平衡模式（参考配比）

氨基酸	ARC(1981)	ARC(1984)	Wang(1987)	Fuller(1987)
赖氨酸	100	100	100	100
蛋氨酸+胱氨酸	50	60	63	57
苏氨酸	60	60	72	73
色氨酸	15	18	19	18

Yen 等 (1986a, 1986b) 以氨基酸可利用性为基础, 建立了每种必需氨基酸都保持最低水平时的理想蛋白质模式; Wang 等 (1990) 采用回肠可消化氨基酸对 Yen 等的模式进行改进, 其结果如表 1-3。

表 1-3 生长猪理想蛋白质中回肠可消化氨基酸的比例

氨基酸	Yen(1986a)	Yen(1986b)	Wang(1990)
赖氨酸	100	100	100
蛋氨酸	37	39	—
蛋氨酸+胱氨酸	52	58	60
苏氨酸	64	67	66
异亮氨酸	73	76	60
亮氨酸	130	140	111
苯丙氨酸	86	95	120
组氨酸	43	46	—
缬氨酸	90	97	75

日粮中氨基酸总量应与能量水平保持一定的比例, 在猪日粮中赖氨酸通常是第一限制性氨基酸, 故诺丁汉大学的 C. Lunen 等 (1996) 认为氨基酸的比例关系可用 Lys/DE (g/MJ) 来表示, 见表 1-4。

表 1-4 15~150kg 生长肥育猪赖氨酸 (Lys) 需要量及 Lys/DE 水平

体重/kg	PDR ^① /g·d ⁻¹	维持需要量 /g·d ⁻¹	生长需要量 /g·d ⁻¹	总需要量 /g·d ⁻¹	适宜 Lys/DE 水平 /g·MJ ⁻¹
20	114	0.43	14.25	14.68	1.20
30	137	0.58	17.13	17.70	1.15
40	157	0.72	19.63	20.34	1.10
50	172	0.85	21.50	22.35	1.05
60	182	0.97	22.75	23.72	1.00
70	186	1.09	23.25	24.35	0.95
80	186	1.20	23.25	24.45	0.90
90	182	1.31	22.75	24.06	0.85
100	174	1.42	21.75	23.17	0.80
110	164	1.53	20.50	22.03	
120	152	1.63	19.00	20.63	
130	140	1.73	17.50	19.23	
140	127	1.83	15.88	17.71	
150	114	1.93	14.25	16.18	

① PDR 为蛋白质沉积率。

2. 鸡及其他禽类的理想蛋白质模式

虽然赖氨酸在鸡的日粮中只是继蛋氨酸之后的第二限制性氨基酸, 但还是将其作为理想蛋白质氨基酸配比中的参考氨基酸, 这是因为对赖氨酸的分析比蛋氨酸容易, 且它几乎是唯一仅被用于体蛋白质沉积的氨基酸, 因而极少受维持、羽毛生长等代谢途径的影响。