



普通高等教育“十二五”畜牧兽医类规划教材

DONGWU SHENGWU HUAXUE

动物生物化学

(第2版)

赵 丽 程 丰 杨继远 主编

普通高等教育“十二五”畜牧兽医类规划教材

动物生物化学

(第2版)

赵 丽 程 丰 杨继远 主编

河南科学技术出版社

· 郑州 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

动物生物化学/赵丽, 程丰, 杨继远主编. —2 版. —郑州: 河南科学技术出版社, 2012. 8

普通高等教育“十二五”畜牧兽医类规划教材

ISBN 978 - 7 - 5349 - 5601 - 0

I. ①动… II. ①赵…②程…③杨… III. ①动物学 - 生物化学 - 高等学校 - 教材
IV. ①Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 174217 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028 65788613 65788631

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 陈淑芹 编辑信箱: hnstpnys@126.com

责任编辑: 李义坤

责任校对: 丁秀荣

封面设计: 张 伟

版式设计: 栾亚平

责任印制: 张 巍

印 刷: 辉县市文教印务有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 14.25 字数: 330 千字

版 次: 2012 年 8 月第 2 版 2012 年 8 月第 4 次印刷

定 价: 29.00 元

如发现印、装质量问题, 影响阅读, 请与出版社联系调换。

《普通高等教育“十二五”畜牧兽医类规划教材》
编委会名单

主 任 郭长华

副主任 张晓根 刘 源 俞 浩

编 委 (以姓氏笔画为序)

王华杰	王国栋	邓继辉	田玉民
朱金凤	朱钱龙	刘万钧	刘永录
杨继远	李文刚	李德立	宋东亮
张 周	张玉科	张传师	陈文钦
陈宏智	赵 跃	赵 聘	秦 华
黄炎坤			

《动物生物化学》编写人员名单

主 编 赵 丽 程 丰 杨继远

副主编 向金梅 汤 莉 张自芳 连瑞丽

编 者 (按姓氏笔画排序)

卢婷婷 向金梅 汤 莉 杨玉能

杨艳玲 杨继远 连瑞丽 张 华

张自芳 庞 坤 赵 丽 索江华

程 丰

编写说明

畜牧业现代化是农业现代化的重要组成部分,《全国畜牧业发展第十二个五年规划(2011~2015年)》提出:到2015年全国畜禽规模养殖比重提高10%~15%,畜牧业产值占农林牧渔业总产值的比重达到36%。为了实现这个目标,今后几年我们将对畜禽养殖优势区域和畜禽产品主产区的生猪、奶牛、肉牛、肉羊、蛋鸡和肉鸡规模养殖场基础设施进行标准化建设,开展畜禽养殖标准化示范创建工作,完善标准化规模养殖相关标准和规范。鼓励和支持规范化、标准化规模养殖场的建设,助推行业整体水平的提升,保障畜产品安全。畜牧业现代化需要大批适应产业发展要求的高素质、技能型专门人才做保证,而培育这些人才离不开贴近畜牧业生产实际、引领产业发展方向的专门化教材。

教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高〔2006〕16号)明确指出,高等职业教育的培养目标是“面向生产、建设、服务和管理第一线工作需要的高素质、技能型专门人才”。正是基于国家“十二五”期间高等职业教育发展规划和畜牧业发展规划的要求,在全国高等农业院校教学指导委员会的指导下,河南科学技术出版社于2006年组织出版了《21世纪高职高专畜牧兽医专业系列教材》,这套教材出版后得到了广大师生的认可、好评。从2006年到现在,畜牧兽医类专业教学改革取得了丰硕成果,畜牧兽医专业的实践教学课程体系进一步优化,学生的动手能力和解决生产实际技术问题的能力进一步提高。在这个基础上,原有教材体系需要进一步优化,以便体现教学实践体系的改革成果,因此,在河南科学技术出版社的大力配合和支持下,我们于2011年7月组织全国十几所高等农业院校的骨干教师,在原有教材的基础上,对部分教材进行了修订,部分教材进行了调整,组织编写了《普通高等教育“十二五”畜牧兽医类规划教材》。

本套教材内容以技能培养为主,理论知识以够用为度;尽量拓宽知识面,增加信息量,很少涉及偏深偏难又不实用的内容;不刻意追求理论性、系统性,内容选材简单实用;紧跟政策与科学技术的发展,反映新准则、新方法和新技术;融教学法于教材之中,便于教学,体现能力本位的职业教育思想。

本套教材适用于高等职业院校畜牧兽医类专业,也可供畜牧兽医行业的从业者、基层技术人员在职学习或参考。

我们同河南科学技术出版社的编辑一起多次开会研讨,共商编写事宜,在教材体系和教材内容上做了许多新的尝试。但由于编者水平所限,不足之处恳请各位专家、同仁批评指正。

教材编委会

2012年6月

前 言

根据教育部《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》文件精神，紧紧围绕《高职高专畜牧兽医类专业人才培养指导方案》，针对高职高专教育发展的特点，充分反映新知识、新技术、新方法，结合各地教学改革及课程设置具体情况，组织编写了本教材。本教材立意新颖，实训内容丰富，强化理论和实践相结合。

动物生物化学是畜牧兽医及相关专业的重要专业基础课程，对学生学习后续的课程，提高学生的综合素质，培养适应生产、管理、服务等第一线的应用型专门人才，具有十分重要的意义。为了适应分子生物学的迅速发展，本教材在满足专业基础要求之外，还融入了新的知识和技术，以便更好地适应畜牧业发展的需要。

本教材共分9章，每章前有知识目标，使学生能抓住重点，明确学习目的和要求；每章后有本章小结和思考与练习，便于学生学习和教师教学。本教材简单介绍了糖类、脂类、蛋白质、核酸等生物大分子的结构、性质和功能；在此基础上，主要讲述了三大物质代谢和核酸代谢的基本过程。实验技能与基本训练主要介绍离心分离技术、分光光度技术、电泳技术、层析技术等相关的实训练习。本教材的编写体现“基础性、实用性、适用性、够用性”的原则，注重理论联系实际，突出职业性，以提高教材的科学性、启发性和实用性。在语言上力求做到深入浅出、通俗易懂、言简意赅，在内容上做到条理清晰、简明扼要。为了丰富学生的专业知识，提高学生的理解能力和学习动力，激发学生的学习兴趣，本教材每章后面都附有知识拓展部分，使教材在一定程度上体现了本学科的最新水平，以便能更好地适应畜牧业的快速发展。

本教材适用于高职院校畜牧兽医类和其他生物技术类专业使用。

本教材在编写过程中，得到了郑州牧业工程高等专科学校、信阳农业高等专科学校、商丘职业技术学院、湖北生物科技职业学院、云南农业职业技术学院、遵义职业技术学院等多家单位领导和一线教师的大力支持，同时河南科学技术出版社的编辑老师对本书的出版也付出了艰辛的劳动，在此表示衷心感谢！

由于编者水平有限，书中可能存在疏漏和不足之处，敬请读者和同行专家给予批评指正。

编者

2011年12月

目 录

绪 论	(1)
第一章 蛋白质与核酸的化学	(6)
第一节 蛋白质的分子组成	(6)
第二节 蛋白质的分子结构	(12)
第三节 蛋白质的理化性质	(19)
第四节 核酸的化学	(23)
第五节 核酸的分子结构	(27)
第六节 核酸的性质	(32)
第二章 酶与维生素	(36)
第一节 酶的概述	(36)
第二节 酶的结构与功能的关系	(39)
第三节 酶的催化作用机制	(43)
第四节 影响酶促反应速率的因素	(44)
第五节 酶工程	(51)
第六节 维生素与辅酶	(55)
第三章 生物氧化	(71)
第一节 概述	(71)
第二节 生物氧化中二氧化碳的生成	(72)
第三节 生物氧化中水的生成	(73)
第四节 生物氧化中能量的生成与利用	(77)
第四章 糖类代谢	(82)
第一节 糖类代谢概述	(82)
第二节 糖的分解代谢	(87)
第三节 糖异生作用	(101)
第五章 脂类代谢	(106)
第一节 脂代谢概述	(106)
第二节 脂肪的分解代谢	(108)



第三节	脂肪的合成代谢	(114)
第四节	类脂代谢	(119)
第五节	血脂与血浆脂蛋白	(125)
第六章	含氮小分子的代谢	(130)
第一节	蛋白质的营养作用	(130)
第二节	氨基酸的一般分解代谢	(132)
第三节	个别氨基酸的代谢	(141)
第四节	核苷酸的代谢	(146)
第七章	物质代谢的相互关系与代谢的调节	(155)
第一节	糖类、脂类、蛋白质和核酸代谢的相互关系	(155)
第二节	物质代谢的调控	(157)
第八章	核酸和蛋白质的生物合成	(163)
第一节	DNA 的生物合成	(163)
第二节	RNA 的生物合成	(168)
第三节	蛋白质的生物合成	(171)
第九章	水和无机盐代谢	(186)
第一节	体液	(186)
第二节	水与电解质的平衡及调节	(188)
第三节	铁、镁及畜禽体内微量元素代谢概述	(190)
生物化学实验技能及基本训练		(194)
第一部分	生物化学实验基本技术	(194)
第二部分	生物化学实训	(200)
参考文献		(220)

绪 论

【知识目标】

- ◆掌握生物化学的概念。
- ◆了解生物化学的发展。
- ◆掌握生物化学的研究内容。

一、生物化学的概念

生物化学(biochemistry)是生命的化学。它是以生物体为研究对象,在分子水平上研究生物体的化学组成、结构、理化性质、生物功能及其在生命活动中化学变化规律与生理功能的关系,从而揭示生命现象本质的一门科学。它是生理学、医学化学和生物科学等发展到一定阶段的产物。

生物体中任何一种物质,都不能独立地表现出生命活动,只有当它们以特定的方式结合在一起时才能表现出生命活动,如肌肉收缩。在体内执行肌肉收缩机能的主要物质是肌动蛋白和肌球蛋白,肌肉的收缩是肌动蛋白和肌球蛋白发生相对运动的结果,这个过程受 Ca^{2+} 的调节,并需要水解 ATP 提供能量。生物化学的研究目的就是探讨构成生物的各种物质(特别是生物大分子)是怎样表现出生命活动现象的。

因此,科学家将现代生物化学定义为:研究生物分子,特别是生物大分子相互作用、相互影响以表现生命活动现象原理的科学。其中以动物体为研究对象的生物化学叫动物生物化学。

二、生物化学的发展

生物化学发展到现在只有 100 多年的历史。一般认为 1877 年德国的霍佩·赛勒(E. F. Hoppe-seyler)第一次提出“生物化学”一词,并建立第一个生理化学实验室,又率先创办一种生物化学专业杂志——《生理化学杂志》,标志着生物化学的诞生。生物化学的发展大致经过了四个时期。

1. 生物化学产生前时期 实际上,生物化学产生最早可追溯到离现在 4 000 多年前,我们的祖先在公元前 22 世纪就会用谷物酿酒,公元前 12 世纪中国人就会制酱、制饴,公元前 7 世纪我国医学家孙思邈就能用车前子、杏仁治疗脚气病等,这个时期只是



人们依靠经验自发地利用生物化学规律，而对其本质没有认识。

2. 静态生物化学时期 (1770 ~ 1903) 18 世纪中叶到 20 世纪初，主要完成了各种生物体化学组成的分析研究，发现了生物体主要由糖类、脂肪、蛋白质和核酸四大类有机物质组成。1794 年法国拉瓦锡 (A. L. Lavoisier) 研究燃烧现象和质量守恒定律，成为现代生物氧化和能量代谢基础。1828 年魏勒 (F. Wohlen) 在实验室将无机物氰酸钠合成为哺乳动物的代谢产物——尿素。1842 年德国生理学家李比希 (J. Liebig) 首次提出“新陈代谢”的概念。1877 年德国霍佩·赛勒首次提出“生物化学”一词。1897 年布克纳兄弟 (Hans Buchner 和 Edward Buchner) 将蔗糖放入已磨碎的酵母细胞的液汁中，结果发现蔗糖发酵了，蔗糖酵母发酵实验推翻了“活力论”(认为生命过程是由一种神秘和超物质的生命力所支配)，也打开了现代生物化学的大门，即生命体的新陈代谢反应过程可以在体外来研究。生物化学进入了发展的新时代。

3. 动态生物化学发展时期 (1903 ~ 1950) 这一时期人们对物质的代谢途径有了一定的了解，如物质代谢途径及动态平衡、能量转化、光合作用、生物氧化、糖的分解和合成代谢、蛋白质合成、核酸的遗传功能、维生素、激素等的代谢。

1905 年，哈登 (A. Harden) 和杨 (W. Youg) 发现酶和辅酶，他们发现把破碎后的酵母汁液加入葡萄糖溶液中，发酵立即开始，但要保持反应速率需要加入无机磷酸盐，他们推断无机磷酸盐掺入到糖中形成了磷酸酯，并分离出了一种六碳糖二磷酸酯，即后来的果糖 1,6 - 二磷酸。这些是对发酵过程认识的开始。

1926 年，萨姆纳 (J. B. Sumner) 首次用丙酮从刀豆中获得了结晶的脲酶，稍后那士洛普 (Nothrop) 等又制得活性很高的胃蛋白酶、胰蛋白酶等。都证明酶的化学本质是蛋白质。由于酶都是蛋白质，具有催化性，那么与其他蛋白质的差异在什么地方呢？由此开始了蛋白质分子结构与功能的研究，1945 ~ 1955 年英国生物化学家桑格 (F. Sanger) 用 10 年的时间完成了牛胰岛素的氨基酸组成结构的分析，这是第一个蛋白质分子组成结构的分析。

自 1905 年哈登和杨开始用酵母菌榨汁研究糖的酵解起，许多不同国家的研究者又花费了几十年的时间辛勤工作，直到 1940 年糖酵解的全过程才获得圆满的结果。其中恩伯顿 (G. Embden)、迈耶霍夫 (O. Meyerhof) 等为此作出了重大贡献。

20 世纪关于糖有氧分解、脂肪代谢、蛋白质的分解和氨基酸代谢的研究也齐头并进地展开起来。许多结果是很多科学家各自研究又相互补充印证而成的。糖的有氧分解于 1937 年由克雷布斯 (S. H. A. Krebs) 完成，其中圣·乔治 (A. Szent-Gyorgyi)、马提乌斯 (C. Martius)、克努普 (F. Knoop) 作出了重要贡献。

在此前，克利布斯还用肾脏浸出液观察了 *D*-氨基酸和 *L*-氨基酸的代谢，并证明了脱氨基的机制。在前人的基础上，1932 年克利布斯用组织切片实验证明了尿素的合成反应，提出了鸟氨酸循环理论。

关于脂肪酸的代谢，1904 年克努普制备了一系列的 ω -苯基脂肪酸，即在距羧基最远的一个碳原子上导入一个苯环作“标记”，并喂给狗，然后检查尿中含苯环的化合物。结果发现凡烃链碳原子是偶数的脂肪酸均生成苯乙酸，凡奇数脂肪酸均生成苯甲酸。因此，他提出 β -氧化学说。1949 年肯尼迪 (E. Kennedy) 等证明脂肪氧化是在线



粒体中进行， β -氧化生成乙酰 CoA。脂肪酸合成的细节到 20 世纪 60 年代才完成。

4. 机能生物化学时期（1950 年以后） 研究重点是核酸、蛋白质等生物大分子的结构、功能及基因结构、表达与调控的内容，揭示生命本质的高度有序性和一致性，生物化学研究深入到生命的本质。

1944 年艾弗里（O. Avery）等转化试验首次证明 DNA 是遗传物质。

于是 DNA 成为研究焦点，其中 1946 年威尔金斯（M. Wilkins）完成了 DNA 的 X 射线衍射研究。1950 年查加夫（E. Chargaff）证明了 DNA 中腺嘌呤与胸腺嘧啶、鸟嘌呤与胞嘧啶之比接近于 1.0。双螺旋 DNA 碱基对互补的原则，成为 DNA 复制、转录、反转录及翻译的分子基础。1953 年沃森（J. D. Watson）和克里克（F. Crick）在分析了威尔金斯所摄制的 DNA 纤维的 X 射线衍射图后，提出了 DNA 双螺旋三维空间结构模型。它开辟了从分子水平去理解基因功能的道路，成为当今分子生物学的起点。

1961 年 S. Spiegelman 用分子杂交技术证明了 mRNA 的存在，其碱基顺序与 DNA 模板互补。mRNA 来自 DNA，随后证明 tRNA 和 rRNA 也是基因的产物。接着 J. Hurwith 和 S. Weiss 分别发现了 RNA 聚合酶，DNA 转录机制得到了阐明。

1966 年雷仑伯格（M. Nirenberg）和科拿那（H. G. Khorana）两位学者合作破译了遗传密码。至此，遗传信息在生物体由 DNA 至蛋白质的传递过程已经弄清。

到 20 世纪 70 年代初随着对病毒的认识，如 RNA 病毒遗传信息编码在 RNA 中而不是在 DNA 中。自身有复制能力并产生 mRNA。另外，如 RNA 肿瘤病毒，带有一种逆转录病毒，能将病毒 RNA 复制成 DNA 分子，这些重要的发现丰富了生物基因遗传信息传递的知识。1971 年克里克（F. Crick）完善了中心法则，清楚地表述了生物世界遗传信息的传递方向及相互关系。

20 世纪 50 年代以来，随着电泳、层析、电泳、同位素、高速离心等新技术新方法的不断改进和发展，于 20 世纪 70 年代初出现了 DNA 重组技术。这项技术的特点在于根据生物基因遗传的规律，按人的预先设计，通过体外 DNA 重组将外源基因转入生物体，最终使生物体的遗传性状发生了改变。人类在一定程度上实现了按自己的愿望改变生物遗传性状的目的。

1978 年桑格尔（F. Sanger）提出的末端终止法核苷酸顺序测定、DNA 自动合成仪和 1988 年莫里斯（Kary Mullis）发明的 DNA 体外快速扩增的聚合酶链式反应（PCR），极大地丰富了 DNA 重组技术，形成了当今分子生物学技术的主要内容。今天利用这些技术可从蛋白质来找基因组，从基因组又可以了解相应的蛋白质。基于这些特点，很快提出了以“定点突变”技术为核心的“蛋白质工程”。蛋白质是生命存在的形式，而结构决定它的功能，DNA 重组技术与定点突变等技术的应用对蛋白质结构与功能的研究产生了深远的影响。

DNA 重组技术等另一个结果是促使人们在分子水平上来解释基因和表达之间错综复杂的相互关系及如何被调控。早在 1960 年雅可布（F. Jacob）和佩林（J. Monod）等发现了原核生物的操纵子，并且说明基因的表达是受到生物严格调控的，开始了原核生物基因表达调控的研究。但真核生物的调控不同于原核生物，方法也完全不同，DNA 重组技术的出现才促进了真核生物基因表达调控机制的研究，现已成为生物化学中研究



的热点。其成果将为揭示细胞生长、增殖和分化的本质奠定基础。

1982 年帕尔米特 (Palmiter) 将大白鼠生长激素的基因重组后注射到小鼠受精卵, 再将受精卵植入小鼠子宫, 发育成的小鼠长得比原小鼠大两倍而成为“硕鼠”, 证明转入的外源基因改变了生物的性状, 创立了转基因技术。

1991 年苏格兰人运用转基因技术使绵羊的乳腺表达 α -抗胰蛋白酶基因成功, 产量十分可观。这种转基因动物称为“生物反应器”。

1997 年英国人威尔穆特等运用羊的体细胞 (乳腺细胞) 克隆出了羊 (多利), 震惊了世界。

5. 我国生物化学的发展 20 世纪 30 年代吴宪等建立了血糖测定方法、蛋白质变性理论; 1965 年我国科学家人工合成了具有生物学活性的结晶牛胰岛素, 有力地证明了对蛋白质结构认识的正确性, 也有力地证明了蛋白质结构与功能的统一性; 1981 年合成了酵母丙氨酸转移核糖核酸, 为核酸的人工全合成开辟一条道路; 同时我国又参与了人类基因组、水稻基因组等的研究。

三、生物化学的研究内容

1. 生物体的物质组成 高等生物体主要由蛋白质、核酸、糖类、脂类以及水、无机盐等组成, 此外还含有一些低分子物质, 如维生素、激素、氨基酸、多肽、核苷酸及一些分解产物。

2. 物质代谢 生物体与其外环境之间的物质交换过程称为物质代谢 (新陈代谢)。物质代谢的基本过程主要包括: 消化、吸收、中间代谢、排泄。其中, 中间代谢过程是在细胞内进行的, 它包括合成代谢、分解代谢、物质互变、代谢调控、能量代谢几方面的内容。

3. 生物分子的结构与功能 研究物质结构、代谢和生物功能与复杂的生命现象之间的关系; 研究生物体遗传的物质基础, 基因信息传递、表达及其调控规律。

四、生物化学与畜牧兽医学科的关系

生物化学是生物科学的基础, 也是畜牧和兽医学科主要的专业基础课程。学好生物化学是学好畜牧兽医专业课程的保证。

利用蛋白质、酶和 DNA 等的遗传多态性作为遗传标记, 进行畜禽品种亲缘关系、种间遗传距离的分析, 筛选与优良生产性状相关的遗传标记, 为培养高产优质的畜禽品种 (如瘦肉型猪、高产蛋鸡等) 提供理论依据, 目前这些遗传标记在遗传育种中已取得明显的成果。

运用转基因动物制成的“生物反应器”来生产多种人畜需要的蛋白质和药物, 如运用 DNA 重组技术使大肠杆菌生产一些特有的蛋白质和药物, 如猪、牛的生长激素, 乙肝疫苗、干扰素等。

运用体细胞克隆个体的技术, 将为保存优良畜禽品种发挥积极的作用。



用分子生物学技术深入了解各种病毒基因的分子结构与功能，才能有目的地制备有效的基因工程疫苗。反义 RNA 等分子调控机制正被运用于猪、牛的某些疾病的基因治疗。

在畜禽饲养中深刻理解畜禽机体内物质代谢和能量代谢的状况，掌握体内营养物质代谢间相互转变及相互影响的规律，是提高饲料营养作用的基础。现在许多新型添加剂、生理调节剂、酶制剂的研制及应用都是基于对动物体内代谢过程的调控，以达到机体内营养成分更加合理、有效地进行转化，提高饲料的营养作用，促进畜禽的生产效益，避免因营养配比不当、饲养不合理而引起各种代谢的疾病（如酮症、产蛋疲劳综合征等）。

掌握正常畜禽的代谢规律，对于临床上畜禽代谢疾病的诊断与治疗具有重要的作用。许多疾病如酮症是脂肪酸正常代谢的产物——酮体过多造成的，但多数是在低糖的情况下才会出现酮症。因此找到引起低糖的病因是治疗该病的根本。对正常代谢规律的认识也有利于临床上药物的使用。

总之，生物化学及生物技术应成为每个畜牧兽医专业学生必备的知识与技能，应该运用这些知识和技术为发展我国的畜牧兽医事业作出贡献。



思考与练习

1. 何谓生物化学？
2. 试述生物化学的发展历程。
3. 简述生物化学的研究内容。

第一章 蛋白质与核酸的化学

【知识目标】

- ◆了解蛋白质的元素组成及特点。
- ◆掌握组成蛋白质的基本单位和氨基酸的理化性质。
- ◆熟悉蛋白质的分子结构及其与功能的关系；掌握蛋白质的理化性质和分类。
- ◆掌握核酸的化学组成、分子结构和理化性质。

蛋白质（protein）是生物体中广泛存在的生物大分子，约占人体干重的45%，在肝、脾、心、肺、肾、肌肉等器官可达60%~80%，动物体中的每个细胞和重要组成部分都有蛋白质参与。核酸（nucleic acid）存在于所有动植物细胞、微生物体内，生物体内的核酸与蛋白质常结合形成核蛋白。

第一节 蛋白质的分子组成

蛋白质是生物体内最重要的物质之一，参与体内各种物质代谢，包括物质的消化吸收、分解与合成、物质转运与利用以及各种化学变化，近代分子生物学的研究还表明，蛋白质在遗传信息的控制、细胞膜的通透性以及高等动物的记忆、识别等方面都起到重要作用。因此，蛋白质有着极其重要的生物学意义。

一、蛋白质的元素组成

蛋白质是含氮的有机化合物，其含氮量占生物组织中一切含氮物质的绝大部分。氮元素是蛋白质区别于糖和脂肪的特征性元素，根据对大多数蛋白质的氮元素分析，其氮元素的含量都相当接近，一般在15%~17%，平均为16%，即100g蛋白质中含有16g氮。这是凯氏（Kjeldahl）定氮法测定粗蛋白质含量的计算基础。测定公式如下：

$$\text{蛋白质含量 (g/100 g)} = \text{每克样品中含氮克数} \times 6.25 \times 100$$

蛋白质除含有氮元素外，还含有下述几种主要元素：C：50%；H：7%；O：23%；S：0~3%。有些蛋白质含有少量的磷，还有些蛋白质含有微量的金属元素，如铁、铜、锰、锌等。

二、蛋白质的基本结构单位

蛋白质是一类含氮的生物大分子，结构复杂，功能多样。经酸、碱或蛋白酶处理，



使蛋白质彻底水解可以得到各种氨基酸。现在已证明氨基酸是蛋白质的基本组成单位，组成蛋白质的氨基酸共有 20 种，组成蛋白质的氨基酸称为蛋白质氨基酸。

目前从各种生物体中发现的氨基酸已有 180 多种，除去组成蛋白质的 20 种氨基酸外，其余氨基酸被称为非蛋白质氨基酸。

1. 蛋白质氨基酸的一般结构特点及其分类 氨基酸是含有氨基及羧基的有机化合物。从蛋白质水解产物中分离出来的常见的 20 种氨基酸除脯氨酸外，其余 19 种氨基酸在结构上的共同特点是与羧基相邻的 α -碳原子上都有一个氨基，因而称为 α -氨基酸。结构通式如图 1.1 所示。

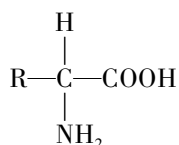


图 1.1 α -氨基酸的结构通式

除甘氨酸外，所有 α -氨基酸的 α -碳原子都是不对称碳原子（asymmetric carbon）或称手性中心，因此都具有旋光性，都能使偏振光平面向左或向右旋转，左旋通常用（-）表示，右旋通常用（+）表示。其次每种氨基酸都有 *D*-型和 *L*-型两种立体异构体，这是与甘氨酸相比较确定的。书写时将羧基写在 α -碳原子的上端，则氨基在左边的为 *L*-型，氨基在右边的为 *D*-型。从蛋白质水解得到的 α -氨基酸都属于 *L*-型的，所以习惯上书写氨基酸都不标明构型和旋光方向。

从 α -氨基酸的结构通式可以知道，各种 α -氨基酸的区别就在于侧链 R 基团的不同，即是说，不同的氨基酸有不同的 R 基团。这样，组成蛋白质的 20 种常见氨基酸可以按照 R 基团的化学结构或极性大小进行分类。在这里，我们将按照各种氨基酸侧链 R 基团的极性差别进行分类。这对于认识蛋白质的性质、结构与功能更为有利。按照这种分类方法可将氨基酸分为四大类，其结构见表 1.1。

表 1.1 组成蛋白质的 20 种氨基酸

氨基酸名称	结构式	三字母符号	单字母符号
非极性氨基酸			
丙氨酸 (alanine)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Ala	A
缬氨酸 (valine)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Val α -氨基异戊酸	V



续表

氨基酸名称	结构式	三字母符号	单字母符号
亮氨酸 (leucine)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	Leu α -氨基异己酸	L
异亮氨酸 (isoleucine)	$ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	Ile α -氨基- β -甲基戊酸	I
脯氨酸 (proline)	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{C} \begin{array}{l} \diagup \text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \diagdown \text{CH}_2-\text{NH}_2 \end{array} \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	Pro β -吡咯烷基- α -羧酸	P
苯丙氨酸 (phenylalanine)	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	Phe α -氨基- β -苯基丙酸	F
色氨酸 (tryptophan)	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{Indole ring}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	Trp α -氨基- β -吲哚基丙酸	W
蛋氨酸 (甲硫氨酸) (methionine)	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	Met α -氨基- γ -甲硫基丁酸	M
具有极性不带电荷的 R 基团的氨基酸			
甘氨酸 (glycine)	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $	Gly 氨基乙酸	G