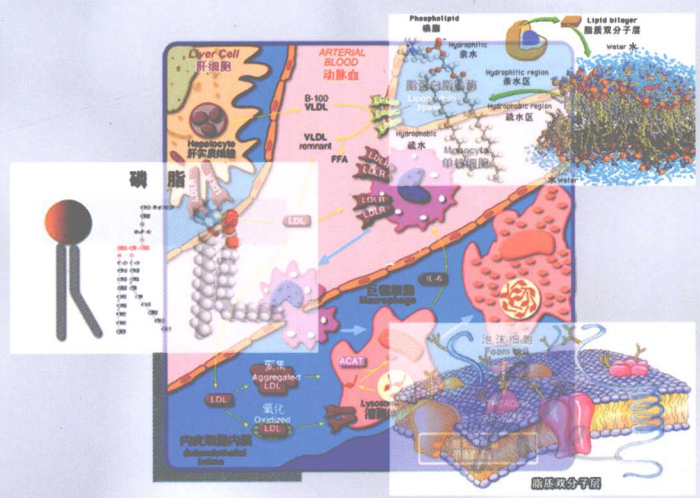


医学高等专科学校 高等职业技术学院教材
(供临床医学、护理、药学、影像技术等专业使用)

生物化学

BIOCHEMISTRY COURSE OF INSTRUCTION

殷蓉蓉 主编



中国科学技术出版社

医学高等专科学校 高等职业技术学院教材
(供临床医学、护理、药学、影像技术等专业使用)

生 物 化 学

殷蓉蓉 主编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/殷蓉蓉主编. —2 版 北京: 中国科学技术出版社, 2005. 1
ISBN978-7-5046-3961-5

I. 生… II. 殷… III. 生物化学—医学院校—教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 139568 号

自 2006 年 4 月起本社图书封面均贴有防伪标志, 未贴防伪标志的为盗版图书

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码: 100081

<http://www.kjbooks.com.cn>

科学普及出版社发行部发行

北京市卫顺印刷厂印刷

*

开本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16 印张: 15 字数: 330 千字

2008 年 1 月第 2 版 2008 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5046-3961-5/R·1090

定价: 24.00 元

(凡购买本社的图书, 如有缺页、倒页、
脱页者, 本社发行部负责调换)

医学高等专科学校 高等职业技术学院教材

《生物化学》编委会

主 编 殷蓉蓉

副主编 刘敬珍 周宗炫 杜丽敏

编 者

殷蓉蓉 华北煤炭医学院秦皇岛分院

周宗炫 泉州医学高等专科学校

王 威 华油职业技术学院

王 伟 石家庄卫生学校

刘敬珍 石家庄卫生学校

马红雨 开封卫生学校

尹永英 南阳医学高等专科学校

刘文芳 临沂卫生学校

孟晨阳 沧州医学高等专科学校

杜丽敏 邢台医学高等专科学校

葛少钦 河北大学医学院

责任编辑 陶 翔

封面设计 王 环

责任校对 刘红岩

责任印刷 李春利

前 言

生物化学是研究生物体的化学组成及其变化规律的科学，是从分子水平和化学变化的本质上探讨并阐明生命现象的，生物化学就是生命的化学。人体是生物化学研究的重要对象。近年来，其他基础医学的研究已深入到分子水平，并以生化的理论与技术予以解决。许多疾病的发病机理也需要从分子水平加以解释。临床医学与生化有密切的联系，并应用生化的理论和方法来诊断和防治疾病。为此应学好生化知识，为基础课和临床课打下理论基础。

本教材按照全面推进素质教育和 21 世纪职业教育课程改革的总体要求，根据《教育部关于加强高职高专教育人才培养工作的意见》中基础理论教学要以应用为目的和教材建设的有关精神组织编写的，供高等医学专科学校、高等职业技术学院、中等职业技术学院、高等医学成人教育学院等各专业学生使用。

本教材由 13 章构成并附 11 项实验。第一部分为前三章，是生物大分子的结构与功能，包括蛋白质化学、核酸化学和酶。第二部分为第四章至第七章，是物质代谢，包括生物氧化、糖代谢、脂类代谢、氨基酸代谢。第三部分为第八章和第九章，是核苷酸代谢、遗传信息的传递和表达，依次描述了遗传信息的复制、转录、翻译以及基因工程。第四部分为后四章，专题讲述肝胆生化、物质代谢调节、维生素、水盐代谢和酸碱平衡。

本教材具有以下特点：

1. 实用性 医学各专业生物化学的理论教学及其实验教学均可使用本教材，根据教学具体情况可取舍和增添。根据学生文化水平和高等职业教育的特点，在编写过程中以“需用为准、够用为度、实用为先”的原则，力求做到概念清晰、内容精炼、重点突出、通顺易懂、清楚具体，复合冗长句式少，机理阐述循序渐进，以掌握和熟悉内容为主，适当降低了理论难度，对于杂而散的内容予以归纳，充分考虑学生的接受能力，便于教与学。本教材还纳入了生活实际和临床与生化联系密切的实例。它是本科教材的简缩，比专科教材易读，较中专教材深入细致，体现出少而精的特点。由于简便实用，故能使学生在短时间内掌握本学科的基本理论的重要内容和精华。

2. 先进性 反映生物化学领域的新知识、新技术、新进展，如“遗传信息的传递与表达”为独立部分，包括基因工程。该章前有核苷酸与之衔接，其后在物质代谢调节中设有细胞间信息传递的内容。适当增加了一些与临床学科有密切联系的成熟的新进展。

3. 新颖性 图表所占的比例大，理论部分包括 169 幅图，52 张表，82 个结构式，196 个反应式。实验部分有 5 幅图。本教材的新颖性体现在：

(1) 图的创作 每逢复杂连续多次的反应途径之前都设计一个简图，使人一目了然，然后再逐阶段详细叙述。如脂肪酸合成酶系及酶促反应四步连续的示意图；丙酮酸脱氢酶复合体及其酶促反应模式图；核苷酸合成后的相互转变图示；脂蛋白电泳与超速离心两者分类对照图；ATP 的来源与去路，等等。三大营养素代谢联系图的构思，增加了趣味性。氨基酸排序风趣好记。尿素合成图的处理，既与前述的连续转氨的构图相同，又能区分该图内的主次。

(2) 表的设立 过去的生物化学教材,无机盐、微量元素代谢,按一定顺序逐一重复叙述吸收、排泄等,本教材将其共同的内容概况归纳成表,需要详细讲解的单独一题目。还有核苷酸抑制剂表、酶化学组成的比较等内容,是在20多年教学过程中逐渐形成的。

(3) 内容的填补与充实 填补和充实了新内容。如维生素在体内的代谢,维生素C为辅酶;磷酸戊糖途径的概念和特点;心钠素的作用;酶的必需基团分四种;影响胆红素代谢的因素和意义。实验中增添了注意事项、附注并将经验融入其中。

(4) 部分内容的改进 如DNA复制改为动态过程和RNA转录改为直观而连续的三个阶段。遗传密码的简表可直接看到其简并性以及各氨基酸的密码数。糖酵解、IMP合成、嘌呤核苷酸分解代谢,图的设计精巧,有内在规律。两套联合脱氨基,左右上下均可对照比较,易看易学。

对教材内容、结构做了调整。如无绪论,由于学时少,所要讲述的内容多,给教师留一块自由的空间。维生素放在各种有机物质代谢之后,容易被接受。由于维生素参与各种物质代谢,在学习维生素的同时,既横向总结,又纵向复习,加深对前述内容的印象,从而明确维生素在各种物质代谢中所发挥的作用,利于理解和掌握。维生素也需要酶学的理论,因此将其排在后边。对于维生素的概念,用比较的方法予以解释。涉及有关血液生化的具体内容,归入各章节之中。如血浆蛋白质在血脂中;血红素在胆色素代谢中;红细胞中BPG在糖代谢中;有关蛋白质的结构在蛋白质化学中。

各章内容、结构的安排,一般先介绍其化学结构及其生化功用,再从分子水平上阐述其化学变化,然后说明该变化途径对人体有何意义。有的联系临床实际为例加以说明。

教材中的同一物质多次出现,但侧重点不同,根据所在的章节所要表述的角度不同而异。如叶酸在维生素章和一碳单位代谢中分别出现。谷胱甘肽、甘氨酸等同样如此。在蛋白质化学章的编写时注意了为后叙代谢理论服务,如蛋白质的分类;着重叙述其结构;从生化角度说明蛋白质的功用,不同于营养学和有机化学等其他学科。

在教材的编写和审订过程中,主编殷蓉蓉耗费了大量时间精力,绝大部分图都是反复钻研、精心设计、改进、创新和绘制的,得到了编委会的一致认可;华北煤炭医学院秦皇岛分校的领导和沈立老师在编写过程中也给予了大量的支持与鼓励,在此一并致谢。

在今后的教学使用过程中,我们欢迎各校教师就有关内容提出修订、补充以及更新性的意见和建议,各类建议请集中到责任编辑信箱(box@taoxiang.com),以便在第二版中调整。

编者

2005年1月

目 录

前言	(1)	第三节 RNA 的分子结构	(23)
第一章 蛋白质的化学	(1)	一、转运 RNA	(23)
第一节 蛋白质的分子组成	(1)	二、信使 RNA	(24)
一、蛋白质的组成元素	(1)	三、核糖体 RNA	(24)
二、蛋白质的基本组成单位—— 氨基酸	(1)	第四节 核酸的理化性质	(25)
三、肽键连接氨基酸——肽	(4)	一、一般性质	(25)
第二节 蛋白质的分子结构	(5)	二、变性与复性	(25)
一、蛋白质的一级结构	(5)	第三章 酶	(27)
二、蛋白质的二级结构	(7)	第一节 酶促反应的特点	(27)
三、蛋白质的三级结构	(9)	第二节 酶的结构与功能	(28)
四、蛋白质的四级结构	(9)	一、酶的化学组成	(28)
第三节 蛋白质结构与功能的关系 ..	(10)	二、酶的分子构成	(29)
一、一级结构决定蛋白质的构象	(10)	三、酶的活性中心	(29)
二、构象决定蛋白质的功能	(10)	四、酶原与酶原的激活	(30)
第四节 蛋白质的分类	(11)	五、同工酶	(31)
一、按组成分类	(11)	第三节 影响酶促反应速度的 因素	(32)
二、按形状分类	(11)	一、底物浓度的影响	(32)
第五节 蛋白质的理化性质	(11)	二、酶浓度的影响	(33)
一、蛋白质的两性解离	(11)	三、pH 的影响	(34)
二、蛋白质的高分子性质	(12)	四、温度的影响	(34)
三、蛋白质的沉淀	(13)	五、激活剂的影响	(35)
四、蛋白质的变性	(14)	六、抑制剂的影响	(35)
五、蛋白质的吸收光谱及呈色反应	(14)	第四节 酶的命名与分类	(39)
第二章 核酸的化学	(16)	一、酶的命名	(39)
第一节 核酸的化学组成	(16)	二、酶的分类	(40)
一、核酸的元素组成	(16)	第五节 酶与医学的关系	(40)
二、核酸的基本组成成分	(16)	一、酶异常引起疾病	(40)
三、核酸的基本组成单位—— 核苷酸	(17)	二、检测酶辅助诊断	(41)
四、其他重要的核苷酸	(19)	三、酶制品治疗疾病	(41)
第二节 DNA 的分子结构	(20)	第四章 生物氧化	(42)
一、DNA 的一级结构	(20)	第一节 生物氧化概述	(42)
二、DNA 的空间结构	(21)	一、生物氧化的概念	(42)
		二、生物氧化的特点	(42)
		三、生物氧化反应的类型	(43)

四、生物氧化反应的酶类	(43)	四、脂类的消化吸收	(82)
五、生物氧化中 CO ₂ 的生成	(44)	第二节 三酰甘油的分解代谢	(83)
第二节 线粒体氧化体系——		一、三酰甘油的动员	(83)
呼吸链	(44)	二、甘油的氧化分解	(84)
一、呼吸链的概念	(44)	三、脂肪酸的氧化分解	(84)
二、呼吸链的组成及其作用机理	(45)	四、酮体的生成和利用	(87)
三、重要呼吸链的电子传递过程	(47)	第三节 三酰甘油的合成代谢	(88)
四、呼吸链的生化作用	(49)	一、 α -磷酸甘油的生成	(89)
第三节 ATP 的代谢	(49)	二、脂肪酸的合成	(89)
一、ATP 的结构	(49)	三、三酰甘油的合成	(92)
二、ATP 的作用	(50)	第四节 甘油磷脂的代谢	(92)
三、ATP 的生成	(51)	一、甘油磷脂的合成	(92)
第四节 穿梭系统	(54)	二、甘油磷脂与脂肪肝	(92)
第五节 非线粒体氧化体系	(54)	三、甘油磷脂的分解	(93)
一、微粒体氧化体系	(55)	第五节 胆固醇的代谢	(94)
二、过氧化物酶体氧化体系	(55)	一、胆固醇的合成部位和原料	(94)
第五章 糖代谢	(57)	二、胆固醇的合成过程	(94)
第一节 糖的化学和生化功用	(57)	三、胆固醇合成的调节	(95)
一、糖的化学	(57)	四、胆固醇的酯化	(96)
二、糖的生化功用	(59)	五、胆固醇的转化与排泄	(97)
第二节 葡萄糖分解代谢	(59)	第六节 血脂与血浆脂蛋白	(98)
一、糖酵解	(59)	一、血脂	(98)
二、糖的有氧氧化	(64)	二、血浆脂蛋白	(99)
三、磷酸戊糖途径	(68)	三、高脂血症	(101)
第三节 糖原的代谢	(70)	第七章 氨基酸代谢	(103)
一、糖原合成	(70)	第一节 概述	(103)
二、糖原分解	(72)	一、蛋白质的营养作用	(103)
第四节 糖异生	(74)	二、蛋白质的消化、吸收与	
第五节 血糖	(75)	腐败作用	(104)
一、血糖的来源和去路	(76)	三、氨基酸代谢概况	(105)
二、血糖浓度的调节	(76)	第二节 氨基酸的一般代谢	(105)
三、糖耐量及耐糖曲线	(77)	一、氨基酸脱氨基作用	(105)
四、高血糖与低血糖	(77)	二、氨的代谢	(108)
第六节 糖复合物	(78)	三、 α -酮酸的代谢	(112)
第六章 脂类代谢	(80)	四、氨基酸、糖、脂肪之间的	
第一节 概述	(80)	联系	(113)
一、脂类的分布	(80)	第三节 个别氨基酸的代谢	(114)
二、脂类的化学	(80)	一、氨基酸脱羧成胺	(114)
三、体内脂类的功用	(81)	二、一碳单位代谢	(115)

三、含硫氨基酸的代谢	(118)	四、影响生物转化的因素	(161)
四、苯丙氨酸和酪氨酸代谢	(120)	第四节 胆色素代谢	(161)
第八章 核苷酸代谢	(122)	一、血红素的化学	(161)
第一节 核酸的消化与吸收	(122)	二、胆红素代谢	(161)
第二节 核苷酸的合成代谢	(122)	三、血红素的合成	(164)
一、嘌呤核苷酸的合成	(122)	第十一章 物质代谢的调节	(166)
二、嘧啶核苷酸的合成	(125)	第一节 细胞水平的代谢调节	(166)
三、脱氧核苷酸的合成	(126)	一、酶的变构调节	(166)
四、核苷酸合成的抑制剂	(127)	二、酶的化学修饰	(168)
第三节 核苷酸的分解代谢	(127)	三、酶含量的调节	(170)
第九章 遗传信息的传递与表达	(130)	第二节 激素水平的调节	(170)
第一节 DNA 的生物合成	(130)	一、激素	(170)
一、DNA 的复制	(130)	二、激素受体	(170)
二、DNA 的损伤与修复	(134)	三、G 蛋白	(171)
三、逆转录	(135)	四、细胞膜受体激素的信息传递	(172)
第二节 RNA 的生物合成	(136)	五、细胞内受体激素的信息传递	(175)
一、转录	(136)	第三节 整体水平的调节	(176)
二、RNA 的复制	(140)	第十二章 维生素	(177)
第三节 蛋白质的生物合成	(140)	第一节 维生素概况	(177)
一、参与翻译的物质	(140)	一、维生素的概念	(177)
二、蛋白质生物合成过程	(142)	二、维生素的命名与分类	(177)
三、蛋白质生物合成与医学的		三、缺乏维生素的原因	(178)
关系	(146)	第二节 脂溶性维生素	(178)
四、基因表达调控	(147)	一、维生素 A(视黄醇)	(178)
第四节 基因工程	(148)	二、维生素 D(钙化醇)	(179)
一、工具酶	(148)	三、维生素 E(生育酚)	(180)
二、目的基因与载体	(148)	四、维生素 K(凝血维生素)	(181)
三、基因工程的主要步骤	(149)	第三节 维生素 C(抗坏血酸)	(182)
四、基因工程与医学的关系	(149)	第四节 维生素 B 族	(184)
第十章 肝胆生化	(151)	一、维生素 B ₁ (硫胺素)	(184)
第一节 胆汁酸代谢	(151)	二、维生素 B ₂ (核黄素)	(185)
一、胆汁	(151)	三、泛酸(遍多酸)	(186)
二、胆汁酸代谢	(151)	四、维生素 PP(尼克酰胺)	(187)
第二节 非营养物质的代谢	(155)	五、维生素 B ₆ (吡哆醛)	(188)
第三节 生物转化的反应类型	(155)	六、生物素	(189)
一、第一相反应——氧化、还原、		七、叶酸	(190)
水解	(155)	八、维生素 B ₁₂ (钴胺素)	(191)
二、第二相反应——结合反应	(158)	第十三章 水、盐和酸碱平衡	(194)
三、非营养物质代谢的特点	(160)	第一节 体液	(194)

一、体液的含量与分布	(194)	实验一	血清蛋白醋酸纤维薄膜电泳	(211)
二、体液中电解质含量及特点	(194)	实验二	酶的专一性	(213)
第二节 水代谢	(195)	实验三	影响酶促反应的因素	(214)
一、水的功用	(195)	实验四	琥珀酸脱氢酶的作用及竞争性抑制	(216)
二、水的来源与去路	(196)	实验五	比色分析法和 721 分光光度计的使用	(217)
三、婴幼儿水代谢的特点	(196)	实验六	血糖测定(邻甲苯胺法)	(220)
四、激素的调节	(197)	实验七	肝中酮体的生成作用	(221)
第三节 无机盐代谢	(197)	实验八	血清丙氨酸氨基转移酶测定(赖氏比色法)	(223)
一、无机盐的功用	(197)	实验九	血清尿素测定(二乙酰肼法)	(225)
二、钠、氯、钾、镁的代谢	(198)	实验十	胡萝卜素的柱层析分离法	(226)
三、钙磷代谢	(199)	实验十一	血浆 CO ₂ 结合力测定(酸碱滴定法)	(228)
第四节 微量元素	(201)			
一、铁	(201)			
二、体内微量元素的代谢概况	(202)			
三、几种微量元素的功用	(202)			
第五节 酸碱平衡	(204)			
一、体内酸碱物质的来源	(204)			
二、酸碱平衡的调节	(204)			
三、酸碱平衡紊乱	(209)			
生物化学实验指导	(210)			

第一章 蛋白质的化学

蛋白质是由氨基酸组成的生物大分子，是生物体内最重要的物质基础。生物体内蛋白质的种类繁多，单细胞生物大肠杆菌就含有 3000 余种，而复杂的人体则含蛋白质多达 10 万余种，其质量约占人体干重的 45%。

一切生命活动都与蛋白质有关。各种蛋白质都有其特定的结构和功能。蛋白质的主要功能：

1. 是组织细胞的结构成分。

2. 具有特殊生化功用 如酶、蛋白质激素、载脂蛋白、组蛋白与非组蛋白、蛋白质因子、清蛋白、受体、血红蛋白、铁蛋白、钙调蛋白、阻遏蛋白、基因激活蛋白、胶原蛋白等。

3. 营养作用和氧化供能 如血浆蛋白质可用于组织蛋白质的更新和修复；蛋白质彻底氧化分解可释放热能。

4. 蛋白质水解成氨基酸是合成含氮物的原料 嘧啶、嘌呤、肉碱、牛磺酸、肌酸、胆碱等，是体内重要的含氮化合物，需氨基酸做原料。

第一节 蛋白质的分子组成

一、蛋白质的组成元素

元素分析证明，组成蛋白质(Pr)的主要元素有碳(50% ~ 55%)、氢(6% ~ 8%)、氧(19% ~ 24%)、氮(13% ~ 19%)、硫(4%以下)。有些蛋白质含有磷，少数蛋白质还含有微量铁、铜、锌、锰等元素，个别的含碘。

蛋白质的含氮量平均为 16%。动植物组织中的含氮物质以蛋白质为主，其他物质含氮极少且不均衡。因此，只要测出样品中含氮克数，再乘以系数 6.25，即可得出蛋白质的大致含量。因为 100 g 蛋白质当中含有 16 g 氮， $100/16 = 6.25$ ，即每克氮相当于 6.25 g 蛋白质，所以要乘以该系数。计算蛋白质百分含量的公式：

$$\text{蛋白质的含量}\% = \text{每克样品含氮克数} \times 6.25 \times 100\%$$

二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸

蛋白质分子的基本组成单位是氨基酸。蛋白质受酸、碱或蛋白酶作用后，其水解产物是氨基酸(aa)。

(一) 氨基酸的命名

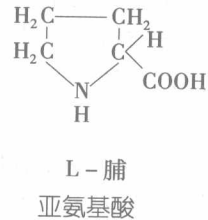
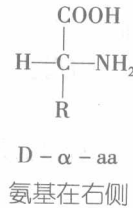
氨基酸的命名以羧酸为母体，其碳原子的位次用希腊字母 α 、 β 、 γ ……标示。其氨基当作取代基、碳原子数用传统的天干表示。生物化学常用俗称。如 α -氨基乙酸(甘氨酸，简称甘)。

(二) 氨基酸的结构特点

组成蛋白质的氨基酸，其结构有共同的特点。

1. 除脯氨酸外，都是 α -氨基酸 氨基都连接在羧酸的 α -碳原子上，所以称为 α -氨基酸。其中 R 称为氨基酸的侧链基团。脯氨酸上的氨基与侧链构成环，为 α -环状亚氨基酸。

2. 除甘氨酸外，都是 L-型氨基酸 不同氨基酸在于 R 不同。甘氨酸的 R 为 H，其他氨基酸的 α 碳原子都是手性碳，具有旋光异构现象，存在 D-型和 L-型两种异构体。组成天然蛋白质的氨基酸均为 L-型，所以称为 L- α -氨基酸。羧基在上，氨基在 α -碳原子的左侧，为 L 型；位于右侧的则为 D 型。另外，还有一种构型，除半胱氨酸(R 型)外，其他均为 S 型。



(三) 氨基酸的分类

存在于自然界中的氨基酸有 300 余种，但组成人体蛋白质的氨基酸仅有 20 种(表 1-1)。

这 20 种氨基酸都具有特异的遗传密码，故称为编码氨基酸。在蛋白质分子中，氨基酸的 R 侧链基团决定蛋白质的结构、性质和功能。根据侧链基团的结构和性质将 20 种氨基酸分为 4 类：

1. 酸性氨基酸 侧链上有羧基，在水溶液中能释出 H^+ ，在生理条件下带负电荷。如：谷氨酸、天氨酸。
2. 碱性氨基酸 侧链上有氨基、胍基或咪唑基，在水溶液中能结合 H^+ ，在生理条件下带正电荷。如：赖氨酸、精氨酸、组氨酸。
3. 非极性疏水性氨基酸 其侧链为烃基、吡啶环或甲硫基等。
4. 极性亲水性氨基酸 其侧链上有羟基、巯基或酰胺基等。

除上述 20 种氨基酸外，蛋白质分子中还有一些氨基酸是在蛋白质生物合成阶段经加工、修饰而成的非编码氨基酸，它们在生物体内没有相应的遗传密码，如羟赖氨酸、羟脯氨酸、焦谷氨酸、胱氨酸。在自然界中还有一些氨基酸如鸟氨酸等，不参与蛋白质的合成，游离存在。

(四) 氨基酸的主要理化性质

1. 两性电离与等电点 氨基酸含有碱性的氨基，又含有酸性的羧基，因此是两性化合物。氨基酸分子中的氨基可以接受羧基上电离出的 H^+ ，成为既带正电荷又带负电荷的两性离子。

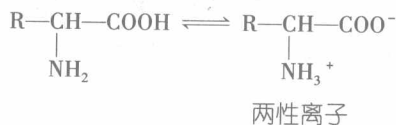
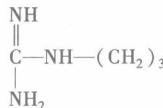
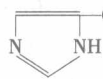

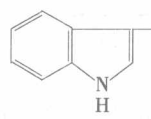


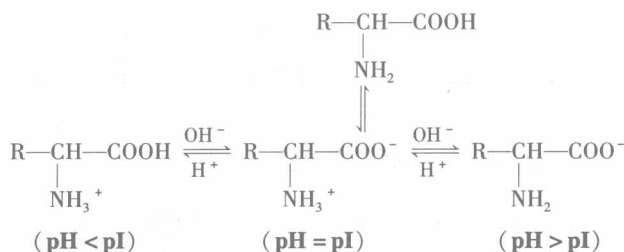


表 1-1 组成蛋白质的 20 种编码氨基酸

分类	名称		结构式		分类	名称		结构式	
	(简写符号)	R 侧链	共同部分			(简写符号)	R 侧链	共同部分	
酸性氨基酸	谷氨酸 (谷, Glu)E	HOOC - CH ₂ - CH ₂ -	NH ₂ 3.22 *	 CH - COOH	非极性疏水性氨基酸	甘氨酸 (甘, Gly)G	H -	NH ₂ 5.97	 CH - COOH
	天冬氨酸 (天, Asp)D	HOOC - CH ₂ -	NH ₂ 2.77			丙氨酸 (丙, Ala)A	H ₃ C -	NH ₂ 6.00	
碱性氨基酸	赖氨酸 (赖, Lys)K	H ₂ N - (CH ₂) ₄ -	NH ₂ 9.74	 CH - COOH		缬氨酸 (缬, Val)V	CH ₃ -	NH ₂ 5.96	 CH - COOH
	精氨酸 (精, Arg)R		NH ₂ 10.76			亮氨酸 (亮, Leu)L	CH ₃ - CH -	NH ₂ 5.98	
	组氨酸 (组, His)H		NH ₂ 7.59			异亮氨酸 (异, Ile)I	CH ₃ - CH -	NH ₂ 6.02	
极性亲水性氨基酸	丝氨酸 (丝, Ser)S	HO - CH ₂ -	NH ₂ 5.68	 CH - COOH		苯丙氨酸 (苯, Phe)F		NH ₂ 5.48	 CH - COOH
	苏氨酸 (苏, Thr)T	OH H ₃ C - CH -	NH ₂ 6.16			色氨酸 (色, Trp)W		NH ₂ 5.89	
	酪氨酸 (酪, Tyr)Y		NH ₂ 5.66			蛋氨酸 M (蛋, 甲硫, Met)	H ₃ C - S - (CH ₂) ₂ -	NH ₂ 5.74	
	半胱氨酸 (半, Cys)C	HS - CH ₂ -	NH ₂ 5.07			脯氨酸 (脯, Pro)P		NH 6.30	
	天冬酰胺 (天胺, Asn)N	O H ₂ N - C - CH ₂ -	NH ₂ 5.41						
	谷氨酰胺 (谷胺, Gln)Q	O H ₂ N - C - (CH ₂) ₂ -	NH ₂ 5.65						

* 结构式右上方的数字为等电点(pI)

氨基酸在溶液中的存在形式取决于溶液的 pH。如在氨基酸溶液中滴加酸，则 COO⁻ 接受 H⁺，氨基酸变为正离子；若滴加碱，-NH₃⁺ 解离出一个 H⁺ 与 OH⁻ 结合成水，氨基酸变为负离子。氨基酸在溶液中的存在形式随溶液酸碱性的变化而变化，可表示如下：



可见，将氨基酸溶液的 pH 值调到某一特定的数值时，其产生的正电荷等于所产生的负电荷，氨基酸即呈电中性。氨基酸带正、负电荷相等时溶液的 pH 值称为该氨基酸的等电点 (pI)。由于各种氨基酸所含氨基、羧基数目不同，而且各种基团电离程度不同，因此等电点不同 (表 1-1)。酸性氨基酸的 pI < 4.0，碱性氨基酸的 pI > 7.5，中性氨基酸的 pI 在 5.0 ~ 6.5。

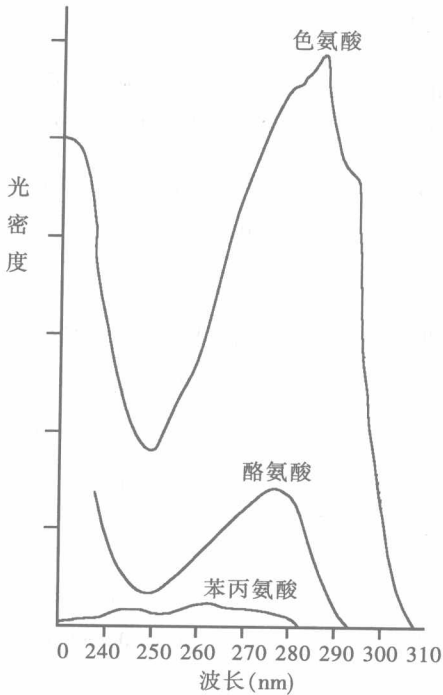


图 1-1 芳香族氨基酸的紫外吸收

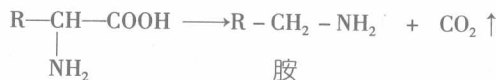
2. 脱水成肽 氨基酸受热或经酶的作用，一分子氨基酸的 α -氨基与另一分子氨基酸的 α -羧基脱水缩合生成肽 (详见肽、肽键平面)。

3. 茚三酮反应 氨基酸与水合茚三酮在溶液中共热，发生一系列反应，最终生成蓝紫色化合物，称为罗曼紫，并放出 CO_2 。脯是亚氨酸与茚三酮呈黄色。



4. 紫外吸收作用 色氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸等芳香族氨基酸，对 280nm 附近波长处紫外光谱有明显的吸收作用 (图 1-1)。

5. 脱羧反应 氨基酸在脱羧酶的作用下发生脱羧反应，生成胺类化合物。例如，误食变质的肉可引起食物中毒，其原因是蛋白质中的精氨酸脱羧生成腐胺，赖氨酸脱羧生成尸胺，二者均有毒。



6. 脱氨反应 体内的氨基酸在酶的作用下发生脱氨反应，生成 α -酮酸和氨。现将氨基酸理化性质的应用意义汇总于表 1-2。

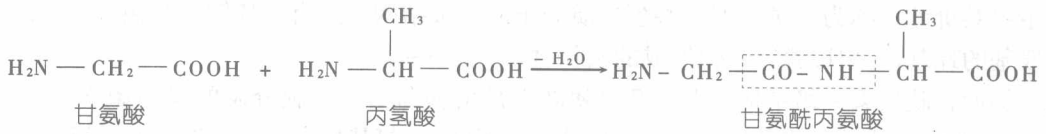
表 1-2 氨基酸的理化性质及应用意义

理化性质	应用或意义
两性电离	调 pI; 分离提纯氨基酸
脱水成肽	形成多肽链
茚三酮反应	定性、定量测定氨基酸
紫外吸收	280nm 处, 定量测定 Pr
脱羧反应	体内正常代谢产胺有意义
脱氨反应	体内主要分解代谢

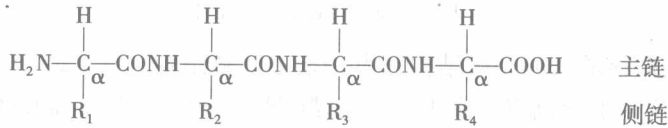
三、肽键连接氨基酸——肽

蛋白质是由氨基酸聚合而成的高分子有机化合物。在蛋白质分子中，氨基酸之间通过肽键相连。氨基酸通过肽键连接成的化合物称为肽。如甘氨酸与丙氨酸脱水缩合生成甘氨酸

酰丙氨酸(某氨酰某氨酸):

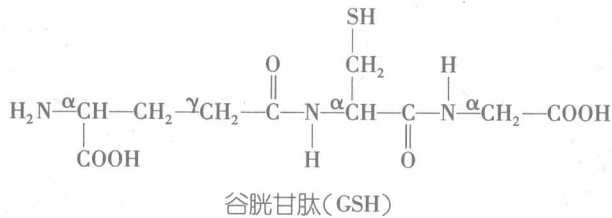


由两个氨基酸缩合成的肽称为二肽；三个氨基酸缩合成的叫三肽……六个氨基酸缩合成的叫六肽；按氨基酸数目以此类推。通常十肽以下称寡肽，超过十肽的称为多肽。肽中的氨基酸在形成肽后已不完整，故将肽中的氨基酸称为氨基酸残基。肽由肽键连接成的长链骨架，称为主链，而各氨基酸残基的 R 基团统称为侧链。



肽有两端：①游离 α -NH₂ 末端，称 N 端(或称为 N-末端，氨基末端，常用“H-”表示)；②游离 α -COOH 末端，称 C 端(或称为 C-末端，羧基末端，常用“-OH”表示)。书写某肽时，N 端在左，C 端在右，从左至右依次将各氨基酸的缩写符号按固定顺序列出。

肽的顺序编号从 N 端开始，如 1, 2, …; 5, 10, …; 10, 20, …; 50, 100, 150, …。寡肽的命名方法，可以用氨基酸残基排序加“肽”字来命名，如谷胱甘肽(全称谷氨酰半胱氨酰甘氨酸)。谷胱甘肽参与细胞内的氧化还原，清除氧化剂，具有保护某些蛋白质活性巯基的作用。临床将它作为解毒、抗辐射和治疗肝病的药物，具有解毒功能。



肽也可按生物活性等命名，如抗利尿激素(九肽)、催产素(九肽)、促甲状腺素释放激素(三肽)。多肽或分子较大的常用来源、功能或特点加“蛋白”或“酶”及“因子”等字样。如血红蛋白、脱氨酶、生长因子、神经肽。

在生物体内，具有调节功能的小分子肽，称为生物活性肽。生物活性肽是传递细胞之间信息的重要信息分子，在调节代谢、生长、发育、繁殖等生命活动中起重要作用。最小的活性肽是三肽。

第二节 蛋白质的分子结构

蛋白质的分子结构非常复杂，每种蛋白质都有其特定的结构并执行独特的功能。蛋白质分子结构分成基本结构(一级结构)和空间结构(二、三、四级结构)。

一、蛋白质的一级结构

蛋白质的一级结构是指蛋白质分子中氨基酸的排列顺序。一级结构是蛋白质的基本结

二、蛋白质的二级结构

蛋白质二级结构是指多肽主链原子的局部空间排布。

(一) 肽键平面

在多肽主链上，肽键中的 C-N 键长为 0.132nm，比 C-N 单键短，比 C=N 双键长，介于两者间，故肽键具有部分双键性质，不能自由旋转；而且会出现反式结构；肽键里边的 C 和 N 这两个原子，各自有 3 个键角，其键角之和均为 360°。所以，肽键中的 CONH 四个原子与其相邻的两个 C α 原子都处于空间的同一平面上，这一平面称肽键平面(图 1-4)。相邻的 C α 间距 0.36nm。

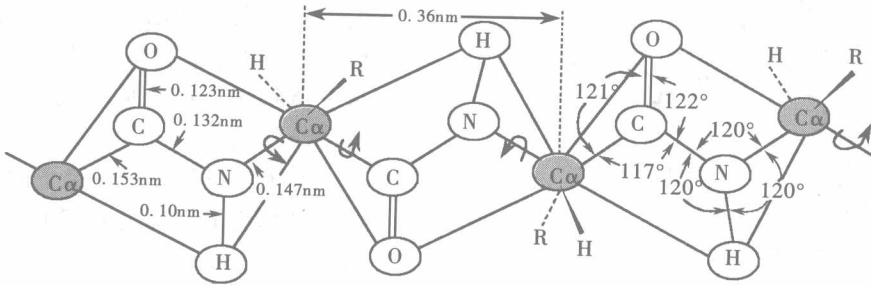


图 1-4 肽键平面示意图

从图中可见，两个相邻肽键平面绕 C α 旋转，这样多肽主链是一条由近似菱形片连成的长链，C α 就是菱形片的连接点。由于连接点两侧单键(N-C α -C)的旋转角度不同，就能形成盘曲、折叠等形式。因此，肽键平面是主链各种构象的结构基础。

(二) 蛋白质二级结构的基本形式

1. α -螺旋 以肽键平面为转折单位，沿长轴方向局部盘旋的结构(图 1-5)。

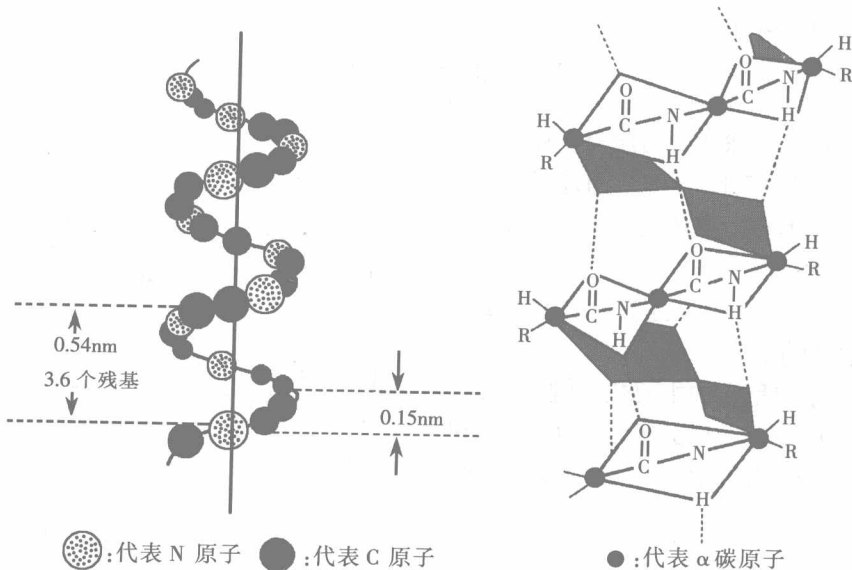


图 1-5 α -螺旋结构示意图