



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
全国卫生职业院校规划教材

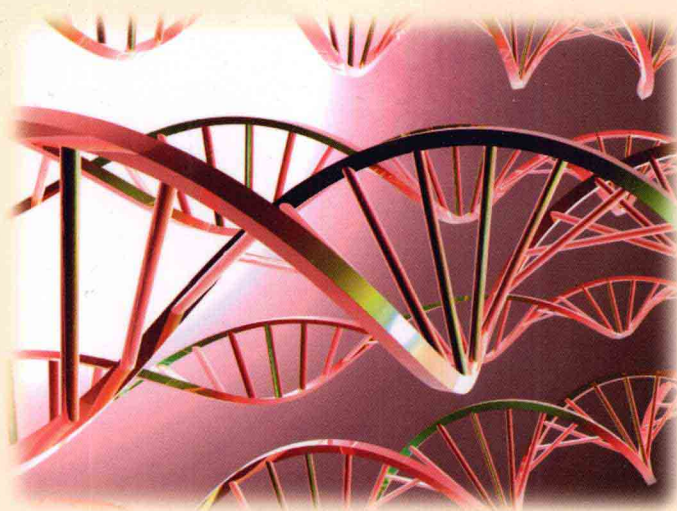
供高职（五年制）护理、涉外护理、助产、检验、药学、药剂、
卫生保健、康复、口腔医学、口腔工艺技术、社区医学、
眼视光、中医、中西医结合、影像技术等专业使用



生物化学

（第二版）

程 伟 主编



科学出版社
www.sciencep.com

教育部职业教育与成人教育司推荐教材
全国卫生职业院校规划教材

供高职(五年制)护理、涉外护理、助产、检验、药学、药剂、卫生保健、康复、口腔医学、
口腔工艺技术、社区医学、眼视光、中医、中西医结合、影像技术等专业使用

生物化学

(第二版)

主 编 程 伟

副主编 盖德先 莫素梅 李平国

编 者 (以姓氏汉语拼音排序)

程 伟 (信阳职业技术学院)

盖德先 (莱阳卫生学校)

郭桂平 (廊坊市卫生学校)

李 俊 (淄博科技职业学院)

李平国 (黄山卫生学校)

马红雨 (开封市卫生学校)

莫素梅 (柳州市卫生学校)

沙进荣 (西安市卫生学校)

王利平 (信阳职业技术学院)

于瑞梅 (潍坊卫生学校)

赵国华 (大庆医学高等专科学校)

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本教材是教育部职业教育与成人教育司推荐教材和全国卫生职业院校规划教材之一。第一版自2003年出版以来,对培养高职高专院校护理专业人才起到了积极的作用。此次再版在保持第一版优点的基础上,坚持以执业准入为标准,遵循“贴近学生、贴近社会、贴近岗位”的原则,具有较强的实用性、可读性和创新性。

全书包括理论和实践两大部分。其中理论知识有四部分,第一部分介绍生物大分子蛋白质、核酸及酶的结构与功能;第二部分为物质代谢和能量代谢,重点介绍糖、脂类、氨基酸代谢;第三部分以遗传学中心法则为核心,阐述了复制、转录、翻译等遗传信息传递及表达的有关知识;第四部分属于与临床医学密切相关的生物化学内容,介绍了水、无机盐代谢、血液、酸碱平衡及肝的生物化学。实践内容有生物化学实验基本知识、实验基本技能及实验方法。章前确立学习目标;在相关的正文中插入“案例”和“链接”,融知识性、趣味性、实用性于一体,并紧密联系临床实践;章后有小结及目标检测(选择题配有参考答案);书后附教学基本要求。此外,本书还配套课件。全书内容易学易懂,构思新颖,图文并茂,方便教学。

本教材适应于初中毕业起点五年制高职护理、涉外护理、助产、检验、药学、药剂、卫生保健、康复、口腔医学、口腔工艺技术、社区医学、眼视光、中医、中西医结合、影像技术等专业学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学 / 程伟主编. —2版. —北京:科学出版社,2007.12
教育部职业教育与成人教育司推荐教材·全国卫生职业院校规划教材
ISBN 978-7-03-020547-6

I. 生… II. 程… III. 生物化学-专业学校-教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 204783 号

责任编辑:李 婷 李 君 / 责任校对:刘小梅

责任印制:刘士平 / 封面设计:黄 超

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

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>

源海印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年8月第 一 版 开本:850×1168 1/16

2007年12月第 二 版 印张:16

2007年12月第八次印刷 字数:520 000

印数:42 001—47 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

技能型紧缺人才培养培训教材 全国卫生职业院校规划教材

五年制高职教材建设指导委员会委员名单

主任委员 刘 晨

委 员 (按姓氏汉语拼音排序)

曹海威	山西医科大学晋中学院	邱大石	潍坊卫生学校
陈锦治	无锡卫生高等职业技术学校	任传忠	信阳职业技术学院
程 伟	信阳职业技术学院	申惠鹏	遵义医药高等专科学校
池金凤	聊城职业技术学院	孙 菁	聊城职业技术学院
丁 玲	沧州医学高等专科学校	田桂莲	聊城职业技术学院
范志刚	临汾职业技术学院	田锁臣	聊城职业技术学院
方 勤	黄山卫生学校	王 懿	酒泉卫生学校
冯建疆	石河子卫生学校	王静颖	聊城职业技术学院
傅一明	玉林市卫生学校	王品琪	遵义医药高等专科学校
顾承麟	无锡卫生高等职业技术学校	王秀虎	邵阳医学高等专科学校
桂 勤	惠州卫生学校	文润玲	宁夏医学院高等职业技术学院
郭家林	遵义医药高等专科学校	吴世芬	广西医科大学护理学院
郭素侠	廊坊市卫生学校	肖守仁	潍坊卫生学校
何从军	陕西能源职业技术学院	谢 玲	遵义医药高等专科学校
姜妹娟	淄博科技职业学院	徐正田	潍坊卫生学校
李 峰	信阳职业技术学院	严鹏霄	无锡卫生高等职业技术学校
李 召	武威卫生学校	阳 晓	永州职业技术学院
李惠兰	贵阳护理职业学院	杨明武	安康职业技术学院
李胜利	沧州医学高等专科学校	杨如虹	大连大学医学院
李新春	开封市卫生学校	苑 迅	大连大学医学院
梁爱华	吕梁市卫生学校	张瑞兰	沧州医学高等专科学校
刘海波	潍坊卫生学校	张少云	廊坊市卫生学校
刘宗生	井冈山大学医学院	张新平	柳州市卫生学校
马小允	沧州医学高等专科学校	钟一萍	贵阳护理职业学院
马占林	大同市第二卫生学校	周进祝	上海职工医学院
孟章书	聊城职业技术学院	周梅芳	无锡卫生高等职业技术学校
潘传中	达州职业技术学院	周亚林	无锡卫生高等职业技术学校
齐贵胜	聊城职业技术学院	朱建宁	山西医科大学晋中学院
綦旭良	聊城职业技术学院		

第二版前言

本教材是“教育部职业教育与成人教育司推荐教材”暨“技能型紧缺人才培养培训教材”之一。教材供医学高职(五年制)各专业教学使用,也可作为国家执业资格考试、自学考试等学习用书。

教材编写过程中力求贯彻科学性、实用性和创新性原则,并体现职业教育的3个“贴近”:贴近社会对教育和人才的需求;贴近岗位对专业人才知识、能力和培养要求的标准;贴近受教育者的心理取向和所具备的认知、情感前提。教材围绕培养目标,兼顾学生特点,内容以必需、够用为度。在每章节的内容之前列出学习目标,围绕学习目标组织教学内容。结合教材内容,设计“链接”和“案例”,对正文内容给予必要的引申和扩展。每节内容后有小结及目标检测题,以利于学习掌握主要内容。教材内还有实验指导、教学基本要求和学时分配建议,教师可根据专业、学时等实际情况选择使用。

本教材第一版出版至今已有四年,在全国医药卫生类院校得到广泛使用。此次在第一版基础上进行修订,整体格式、风格保留了第一版的优势,主要变动有:①对个别章节作了调整和补充。②补充了一些新概念。③增加了与生物化学相关的临床案例,加强基础与临床,理论与实践的联系,提高学生学习兴趣。④目标检测中增加和调整了题型,突出实践性和应用性,并与国家执业资格认证考试相衔接。⑤调整了部分实验内容。⑥制作了课件、光盘。

本教材编写是在全国卫生职业教学新模式研究课题组指导下进行的。各位编者以认真严谨的态度,科学扎实的作风,投入编写工作;信阳职业技术学院聂书萍、代林远老师在编写过程中做了大量工作;王利平老师协助整理了第二版教材文稿;在此一并深表谢意。

由于本人学识水平和能力有限,本教材存在诸多不足,敬请同行专家、学生和读者予以批评指正。

程 伟

2007年6月

第一版前言

《生物化学》是医药院校重要的基础课程,为阐述疾病发生、诊断、治疗和现代医疗技术原理奠定了基础。本教材是技能型紧缺人才培养培训工程教材之一。教材编写宗旨是提供教学内容的平台性模块,供卫生高等职业教育各专业教学共同使用,在此基础上相关专业进一步学习专业模块。

本教材包括理论和实验内容,理论部分共 12 章,主要有四部分:第一部分介绍生物大分子蛋白质、核酸及酶的结构与功能;第二部分为物质代谢和能量代谢,重点介绍糖、脂类、氨基酸、氧代谢;第三部分以遗传学中心法则为核心,阐述了复制、转录、翻译等遗传信息传递及表达的有关知识;第四部分属于与临床医学密切相关的生物化学内容,介绍了水、无机盐代谢、氢离子代谢及肝胆生化。实验部分包括实验基础知识和具体实验方法。

教材编写过程中力图贯彻思想性、科学性、适用性、实用性和创新性原则,并体现职业教育的三个“贴近”:贴近社会对教育和人才的需求;贴近岗位对专业知识人才知识、能力和培养要求的标准;贴近受教育者的心理取向和所具备的认识、情感前提。在每章节的内容之前列出学习目标,围绕学习目标组织教学内容。结合教学具体内容,设计“链接”,对正文内容给予必要的引申和扩展。每节内容后有小结及目标检测题,有助学生自己及时测评,也可供教师考核时参照。教材后附有实验指导、教学基本要求和学时分配建议,教师可根据专业、学时等实际情况选择使用。

教材编写是在全国卫生职业教学新模式研究课题组指导下进行的。各位编者以认真严谨的态度,科学扎实的作风,投入编写工作;信阳卫生学校聂书萍、代林远、易慧智、岑章建等老师协助整理文稿,制作部分插图;在此一并深表谢意。

由于本人学识水平有限,编写时间较短,本教材存在诸多不足,恳请广大师生和读者批评指正。

程 伟

2003 年 6 月

目 录

第1章 蛋白质的结构与功能	1
第1节 蛋白质的分子组成	1
第2节 蛋白质的结构与功能	6
第3节 蛋白质的理化性质	12
第4节 蛋白质的分类	17
第2章 核酸的结构和功能	20
第1节 核酸的分子组成	20
第2节 核酸的分子结构	23
第3节 核酸的理化性质	27
第3章 酶	30
第1节 酶的概念及作用特点	30
第2节 酶的分子组成	32
第3节 酶的结构与功能	35
第4节 影响酶促反应速度的因素	38
第5节 酶的命名与分类	43
第6节 酶在医学上的应用	44
第4章 糖代谢	46
第1节 糖的化学及生理功能	46
第2节 糖的分解代谢	49
第3节 糖原的合成与分解	57
第4节 血糖	60
第5章 生物氧化	64
第1节 概述	64
第2节 线粒体生物氧化体系	65
第3节 非线粒体氧化体系	74
第6章 脂类代谢	78
第1节 概述	78
第2节 三酰甘油的分解代谢	81
第3节 三酰甘油的合成代谢	86
第4节 甘油磷脂的代谢	89
第5节 胆固醇代谢	92
第6节 血脂及血浆脂蛋白	95
第7章 氨基酸代谢	101
第1节 蛋白质的营养作用	101
第2节 蛋白质的消化、吸收与腐败	103
第3节 氨基酸的一般代谢	105
第4节 氨的代谢	110



第5节 个别氨基酸的代谢	114
第8章 核苷酸代谢	122
第1节 核苷酸的合成代谢	122
第2节 核苷酸的分解代谢	125
第9章 物质代谢的调节	128
第1节 细胞水平的调节	128
第2节 激素水平和整体水平的调节	131
第10章 基因信息的传递	140
第1节 DNA的生物合成	140
第2节 RNA的生物合成	144
第3节 蛋白质的生物合成	147
第4节 基因表达调控	153
第5节 基因重组与基因工程	156
第11章 血液	161
第1节 血液的化学组成	161
第2节 血浆蛋白质	163
第3节 红细胞的代谢	166
第12章 肝的生物化学	172
第1节 肝的结构和化学组成特点	172
第2节 肝在物质代谢中的作用	173
第3节 胆汁酸代谢	175
第4节 胆色素代谢	178
第5节 肝的生物转化作用	182
第13章 水和无机盐的代谢	187
第1节 体液	187
第2节 水代谢	189
第3节 无机盐代谢	191
第4节 钙、磷及镁代谢	195
第5节 微量元素的代谢	199
第14章 酸碱平衡	204
第1节 体内酸碱物质的来源	204
第2节 酸碱平衡的调节	206
第3节 酸碱平衡失调	211
生物化学实验指导	219
实验一 生物化学实验基本技能	219
实验二 血清蛋白质醋酸纤维素薄膜电泳	225
实验三 核酸的提取及含量测定	227
实验四 酶的专一性及影响酶促反应速度的因素	228
实验五 胡萝卜素的柱层析分离法	230
实验六 血糖测定(氧化酶法)	231
实验七 胰岛素对血糖浓度的影响(邻甲苯胺法)	232
实验八 肝中酮体的生成作用	233
实验九 琥珀酸脱氢酶的作用及其竞争性抑制	234



实验十 转氨基作用	234
实验十一 血清丙氨酸氨基转移酶(ALT)活性测定(赖氏法)	235
实验十二 血清钙测定(甲基百里酚蓝比色法)	237
参考文献	238
生物化学(五年制)教学基本要求	239
目标检测选择题参考答案	244

第1章 蛋白质的结构与功能

——蛋白质是生命的物质基础,没有蛋白质就没有生命。

蛋白质(protein)是由氨基酸构成的生物大分子,是细胞结构的最基本成分,与核酸等其他生物大分子共同构成生命的物质基础。生物体内蛋白质的种类繁多,单细胞生物大肠杆菌就含有蛋白质 3000 多种,人体含蛋白质的种类达 10 万余种。人体内各种蛋白质都具有一定的生物学功能,如血红蛋白运输 O_2 和 CO_2 、抗体参与体液免疫、肌动蛋白和肌球蛋白参与肌肉收缩、胶原蛋白参与结缔组织的组成、凝血因子促进血液凝固、酶催化细胞内各种代谢反应、蛋白及多肽类激素调节物质代谢等等。人类的繁衍、遗传、生长、发育、进化等各种生命现象,无不与蛋白质的功能密切相关。蛋白质参与了生命活动的全过程,可以说没有蛋白质就没有生命。蛋白质具有如此众多的生物学功能,这是与蛋白质分子的组成与结构的多样性分不开的。

生命是蛋白质的天地

自然界的生命是在氨基酸产生以后才诞生、进化的。人体内的 20 种氨基酸以不同的比例和排列方式构成千百万种功能各异的蛋白质。在人体的血液、毛发、肌肉、皮肤、韧带和指甲等组织,蛋白质的存在无处不在。人体肌肉的发达、身材的增高、人类基因的遗传、神秘的生育育女、精细的代谢调控、高度的识别与记忆能力等无一不与蛋白质的功能密切相关。无数事实充分证明:生命是蛋白质的天地,没有蛋白质就没有生命。



第1节 蛋白质的分子组成



学习目标

1. 解释氨基酸等电点、氨基酸残基、肽键、多肽链的概念
2. 叙述蛋白质的元素组成特点、基本组成单位及其结构特点
3. 比较不同的 pH 环境对氨基酸解离的影响
4. 说出氨基酸的理化性质

一、蛋白质的元素组成

根据蛋白质元素分析结果表明,蛋白质主要由碳(50%~55%)、氢(6%~8%)、氧(19%~24%)、氮(13%~19%)、硫(0%~4%)等元素组成。有的蛋白质还含有少量的磷、铁、铜、锌、锰、钴、钼等,个别蛋白质还含有碘。生物体内蛋白质的元素组成特点是各种蛋白质的含氮量十分接近,平均为 16%(即每克氮相当于 6.25g 蛋白质)。因为生物组织中的含氮物以蛋白质为主,其他物质含氮很少,因此通过测定生物样品中的含氮量可推算出样品中蛋白质的大致含量。

$$\text{样品中蛋白质含量(g)} = \text{样品中含氮量(g)} \times 6.25$$

二、蛋白质的构件分子——氨基酸

蛋白质在酸、碱或蛋白酶的作用下水解,最终产物都是氨基酸(amino acid),说明氨基酸是

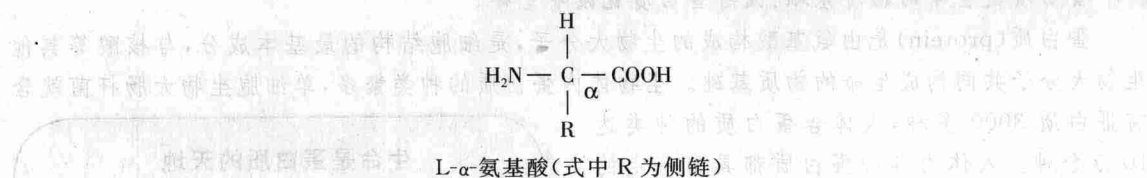




蛋白质的构件分子(building-block molecule),即蛋白质的基本组成单位。

(一) 氨基酸的结构特点

氨基酸是带有氨基的有机酸。组成天然蛋白质的氨基酸有 20 种,分子组成各不相同,但都有共同的结构特征,即 α -碳原子上都含有氨基($-\text{NH}_2$,脯氨酸为亚氨基),所以称为 α -氨基酸。除甘氨酸外, α -碳原子都是不对称碳原子,具有旋光异构现象。组成人体蛋白质的氨基酸均属 L- α -氨基酸(甘氨酸除外),其结构通式如下:



R 为氨基酸的侧链基团,不同的氨基酸,其 R 基各异。

(二) 氨基酸的分类

根据 R 基团的结构和理化性质不同,可将氨基酸分为四类:非极性疏水性氨基酸、极性中性氨基酸、酸性氨基酸和碱性氨基酸(见表 1-1)。

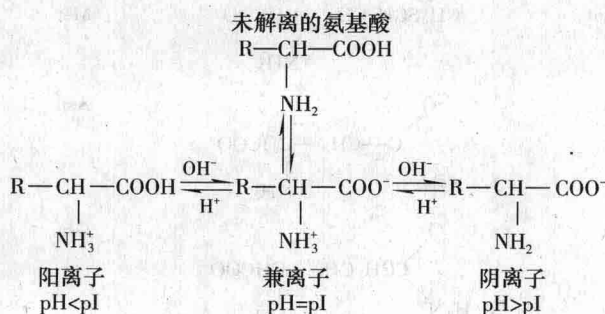
表 1-1 组成蛋白质的 20 种氨基酸

中文名	英文名	结构式	三字符号	一字符号	等电点(PI)
1. 非极性氨基酸					
甘氨酸	glycine	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CHCOO}^- \\ \\ +\text{NH}_3 \end{array}$	Gly	G	5.97
丙氨酸	alanine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CHCOO}^- \\ \\ +\text{NH}_3 \end{array}$	Ala	A	6.00
缬氨酸	valine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad +\text{NH}_3 \end{array}$	Val	V	5.96
亮氨酸	leucine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad +\text{NH}_3 \end{array}$	Leu	L	5.98
异亮氨酸	isoleucine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad +\text{NH}_3 \end{array}$	He	I	6.02
苯丙氨酸	phenylalanine	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ +\text{NH}_3 \end{array}$	Phe	F	5.48
脯氨酸	proline	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \quad \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CHCOO}^- \\ \quad \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH}^+ \end{array}$	Pro	P	6.30
2. 极性中性氨基酸					
色氨酸	tryptophan	$\begin{array}{c} \text{C}_8\text{H}_6\text{N}_2-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ +\text{NH}_3 \end{array}$	Trp	W	5.89
丝氨酸	serine	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ +\text{NH}_3 \end{array}$	Ser	S	5.68
酪氨酸	tyrosine	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ +\text{NH}_3 \end{array}$	Tyr	Y	5.66





为兼性离子(zwitterion),净电荷为零,在电场中不移动,此时溶液的 pH 称为该氨基酸的等电点(isoelectric point, pI)。当溶液的 $\text{pH} > \text{pI}$ 时,氨基酸的氨基解离受抑制,羧基解离带负电荷,在电场中向阳极移动。当溶液的 $\text{pH} < \text{pI}$ 时,氨基酸的羧基解离受抑制,氨基解离带正电荷,在电场中向阴极移动。



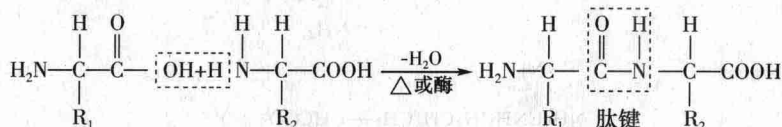
2. 呈色反应 氨基酸与茚三酮在微酸性溶液中共同加热,生成蓝紫色化合物,此化合物在 570nm 波长处有一最大吸收峰。利用茚三酮呈色反应,可对氨基酸进行定性或定量测定。

3. 紫外吸收性质 色氨酸、酪氨酸和苯丙氨酸等芳香族氨基酸在 280nm 波长附近有一特征性吸收峰。由于多数蛋白质含有酪氨酸和色氨酸残基,所以这一特性可用作蛋白质的含量测定。

三、蛋白质分子中氨基酸的连接方式

在蛋白质分子中,氨基酸之间通过肽键相互连接形成多肽链。

1. 肽键 肽键(peptide bond)是由一个氨基酸的 α -羧基($-\text{COOH}$)与另一个氨基酸的 α -氨基($-\text{NH}_2$)脱水缩合所形成的酰胺键($-\text{CO}-\text{NH}-$)。



肽键是蛋白质分子中的主要共价键,由于肽键中 $\text{C}-\text{N}$ 键长介于单键和双键之间,具有部分双键的性质,不能自由旋转。这样,参与组成肽键的 6 个原子($\text{C}_{\alpha 1}-\text{CO}-\text{NH}-\text{C}_{\alpha 2}$)在空间上位于同一刚性平面,故称为肽键平面(图 1-1)。而与 α -碳原子相邻的 N 与 C 是典型的单键,可以自由旋转,这是多肽链形成各种空间构象的结构基础。

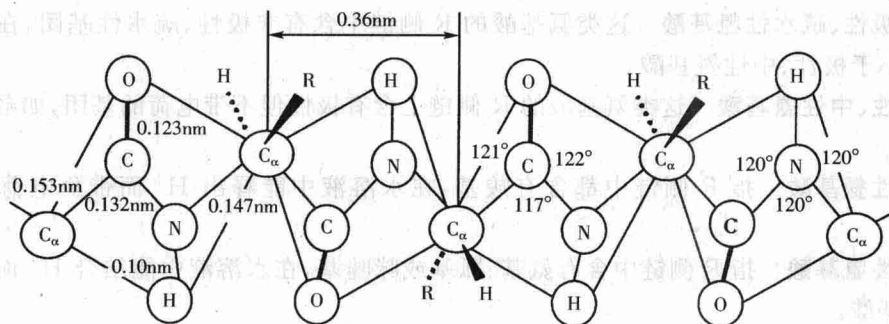


图 1-1 肽键平面示意图

2. 肽 氨基酸通过肽键连接形成的化合物称为肽。两个氨基酸以肽键连接形成的肽称为二肽,三个氨基酸以肽键连接形成的称为三肽,多个氨基酸通过肽键连接成链状化合物,称为多肽链(polypeptide chain)。多肽链的骨架是由 α -碳原子与两侧不能转动的肽键连接而成。由于多肽链中的氨基酸在形成肽键时分子变得稍有残缺,故称为氨基酸残基(residue)。通常将 10



三、名词解释

1. 氨基酸等电点 2. 氨基酸残基 3. 肽键 4. 多肽链 5. N-末端

四、思考题

试述氨基酸的结构特点及分类。

第2节 蛋白质的结构与功能



学习目标

1. 解释 α -螺旋、 β -折叠、蛋白质一级结构、二级结构、三级结构、四级结构的概念
2. 比较蛋白质分子各级结构的主要化学键,说出蛋白质二级结构的主要形式
3. 说出蛋白质各级结构的主要特征
4. 简述蛋白质的结构与功能的关系

蛋白质是具有三维空间结构的高分子物质。虽然组成蛋白质的氨基酸只有 20 种,但在不同的蛋白质分子中,氨基酸的数量可由数十乃至数千个不等,它们通过肽键连接形成一条或多条肽链,并在此基础上形成蛋白质分子复杂的空间结构。

一、蛋白质的基本结构

在蛋白质分子中,各种氨基酸是在遗传基因控制下按严格顺序排列的。这种氨基酸在蛋白质多肽链中的排列顺序称为蛋白质的一级结构(primary structure)。一级结构是蛋白质分子的基本结构,肽键是一级结构的主要结构键(主键)。在某些蛋白质的一级结构中尚含有二硫键($-S-S-$),例如胰岛素(insulin)。胰岛素的一级结构由两条多肽链构成,A 链含 21 个氨基酸残基,B 链含 30 个氨基酸残基,两条肽链之间通过 2 个二硫键连接(图 1-2)。蛋白质的一级结构是蛋白质各种空间结构及生物学功能的基础。

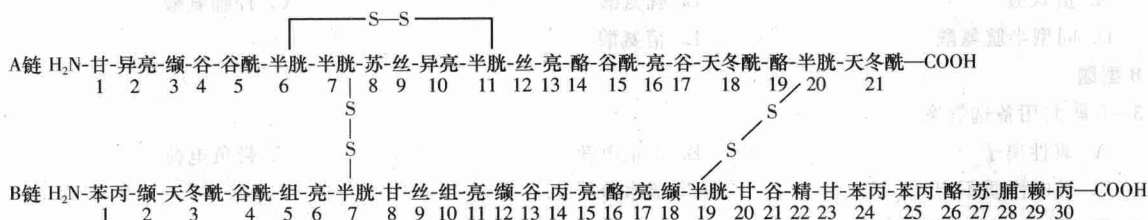


图 1-2 胰岛素的一级结构

二、蛋白质的空间结构

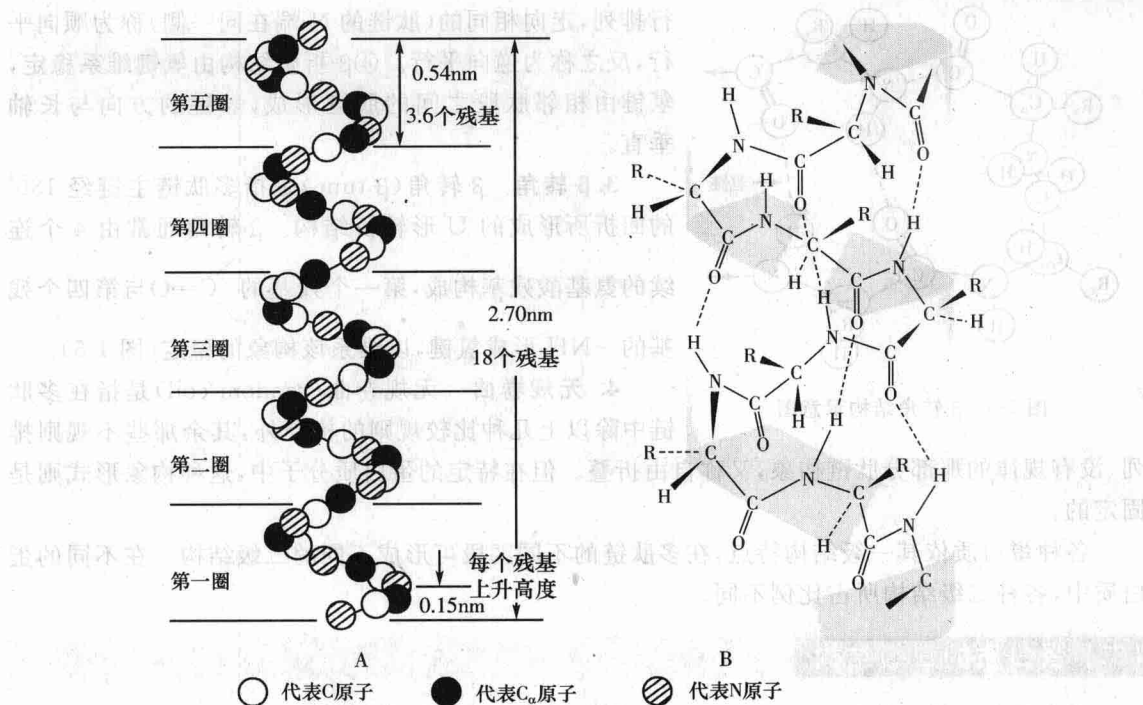
蛋白质的空间结构是指蛋白质在一级结构的基础上,进行盘曲、折叠形成的特定的空间构象(conformation)。蛋白质的空间结构按其肽链盘曲、折叠的复杂程度,分为二级、三级和四级结构。

(一) 蛋白质的二级结构

蛋白质的二级结构(secondary structure)是指多肽链中的主链(即若干个肽键平面)进行盘曲折叠形成的有规律的、重复出现的空间结构,但不涉及各 R 侧链的空间位置。由于肽键平面中两个 α -碳原子所连的两个单键可自由旋转,因此,可形成不同类型的二级结构,主要形式有 α -螺旋、 β -折叠、 β -转角和无规卷曲等。

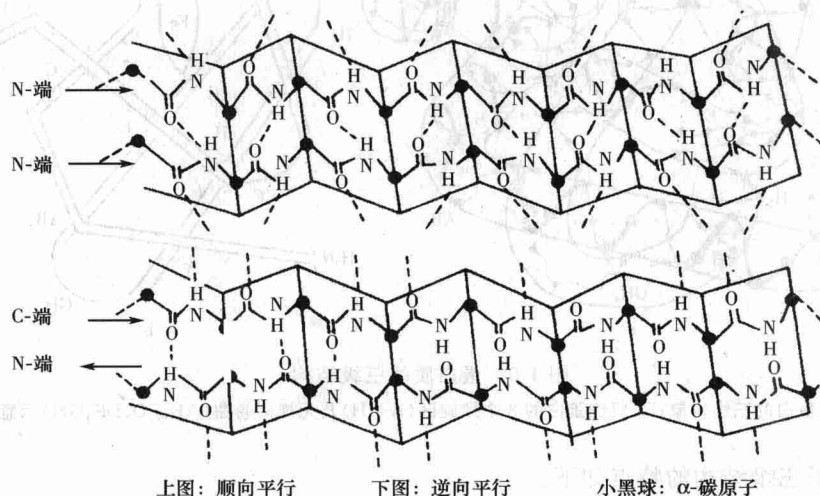
1. α -螺旋 α -螺旋(α -Helix)是指多肽链的主链沿其长轴方向绕同一中心轴盘曲形成的螺旋状结构(图 1-3)。



图 1-3 α 螺旋结构示意图

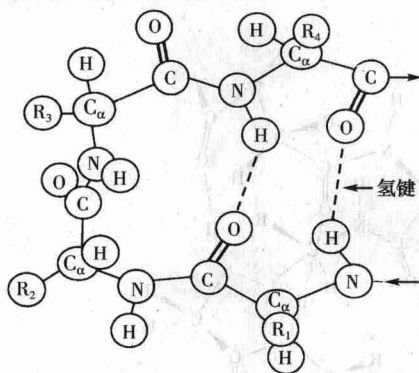
α -螺旋的结构特征是：① α -螺旋以肽键平面为单位，以 α -碳原子为转折，顺时针走向，盘曲成右手螺旋。②螺旋每 3.6 个氨基酸残基上升一圈，螺距为 0.54 nm。③主链原子构成螺旋的主体，外观似弹簧样棒状结构，R 基团均伸向螺旋的外侧。④相邻螺旋圈之间，通过肽键中的羰基($\text{C}=\text{O}$)与亚氨基($-\text{NH}$)形成氢键以稳固构象，氢键方向与螺旋长轴平行。由于 α -螺旋中所有肽键都参与形成氢键，所以 α -螺旋结构相当稳定。

2. β -折叠 β -折叠(β -pleated sheets)是指由多肽链主链形成的相对伸展的锯齿状(折纸状)结构(图 1-4)。此种结构常为两条或两条以上肽链侧向聚集在一起形成扇面状，故又称为 β -片层。

图 1-4 β 折叠结构示意图

β -折叠结构的特征是：①多肽链几乎完全呈伸展状态，相邻的肽键平面彼此折叠成锯齿状(110° 夹角)。②氨基酸残基的侧链交错位于锯齿状结构的上下方。③两个以上的 β -折叠呈平



图 1-5 β -转角结构示意图

行排列,走向相同的(肽链的N-端在同一侧)称为顺向平行,反之称为逆向平行。④ β -折叠结构由氢键维系稳定,氢键由相邻肽段之间的肽键形成,氢键的方向与长轴垂直。

3. β -转角 β -转角(β -turn)是指多肽链主链经 180° 的回折所形成的U形转折结构。 β -转角通常由4个连续的氨基酸残基构成,第一个残基的C=O与第四个残基的—NH形成氢键,以维系该构象的稳定(图1-5)。

4. 无规卷曲 无规卷曲(random coil)是指在多肽链中除以上几种比较规则的构象外,其余那些不规则排列、没有规律的那部分肽链构象,又称自由折叠。但在特定的蛋白质分子中,这种构象形式则是固定的。

各种蛋白质依其一级结构特点,在多肽链的不同区段可形成不同的二级结构。在不同的蛋白质中,各种二级结构所占比例不同。

(二) 蛋白质的三级结构

蛋白质的三级结构(tertiary structure)是指多肽链在二级结构的基础上,由于R基团的相互作用,再进一步盘曲、折叠而形成的空间结构,包括主、侧链中所有原子和基团在三维空间的整体排布(图1-6)。在三级结构的形成过程中,肽链中邻近的二级结构可折叠成一个或数个较为紧密、相对独立、有特定构象、承担不同功能的区域,称为结构域(domain),如免疫球蛋白分子中的补体结合部位和抗原结合部位。某些蛋白质中,二硫键参与三级结构的形成与稳定。三级结构一般为球形或椭圆形。

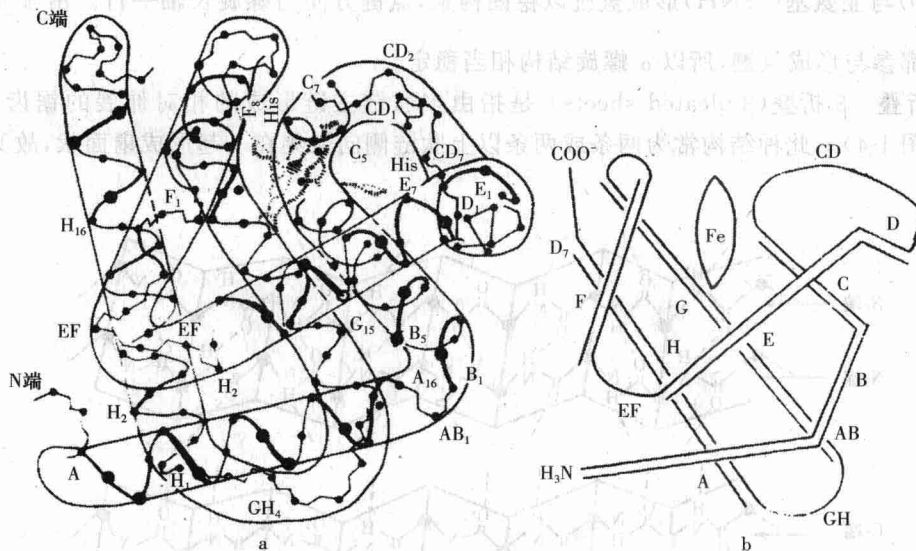


图 1-6 蛋白质的三级结构

a. 肌红蛋白的三维构象; b. 肌红蛋白的8个螺旋区(A→H)及无规则卷曲(AB、CD、DE、FG)示意图

蛋白质分子三级结构的特点如下:

- (1) 疏水基团多积聚在分子内部,亲水基团则多分布在分子表面。
- (2) 在分子表面或局部,可形成具有特定构象(多呈“口袋”、“洞穴”、或“裂缝”状)、能发挥生物学功能的特殊区域,如肌红蛋白分子中嵌入血红素的部位、酶的活性中心部位等。
- (3) 依靠R基团之间形成的次级键亦称副键维系稳定,次级键主要包括疏水键、离子键(盐

