



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国医药高等学校规划教材

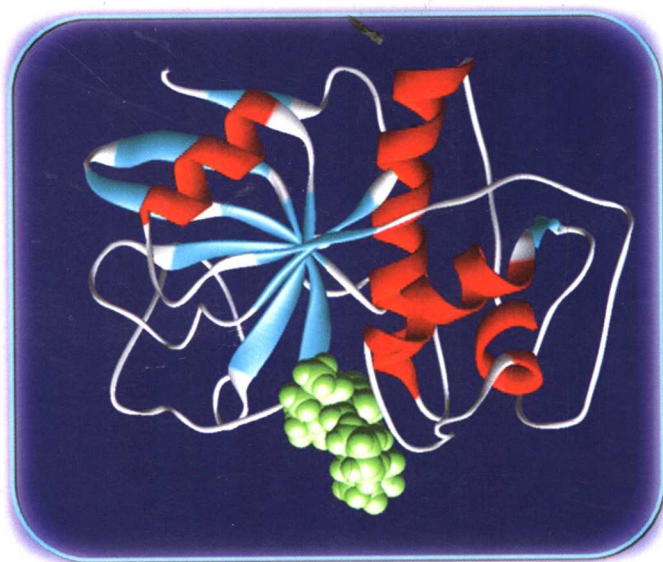
供高专、高职护理、涉外护理、助产、检验、药学、药剂、卫生保健、
康复、口腔医学、口腔工艺技术、医疗美容技术、社区医学、
眼视光、中医、中西医结合、影像技术等专业使用



生物化学

(第二版)

冯明功 主编



 科学出版社
www.sciencep.com

65/51

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
全国医药高等学校规划教材

供高专、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、医疗美容技术、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 冯明功

副主编 齐杰玉 费志宏 晁相蓉

编 委 (按姓氏汉语拼音排序)

晁相蓉	山东医学高等专科学校	聂书萍	信阳职业技术学院
崔和勤	华北煤炭医学院	齐杰玉	聊城职业技术学院
费志宏	赤峰学院医学院	孙文阁	赤峰学院医学院
冯明功	大连大学医学院	吴祥声	黄山卫生学校
郭善军	达州职业技术学院	祝晓梅	广州医学院护理学院
梁金香	宁夏医学院		

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材及全国医药高等学校规划教材。全书共 16 章,内容包括生物分子的化学组成、结构与功能,营养物质的体内代谢和代谢平衡的调节,遗传信息的传递通路,器官的正常代谢和细胞信息的传递等。

本书适用于高专、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、医疗美容技术、社区医学、眼视光、中医、中西医结合、影像技术等专业使用,也适用于同等学力人员的继续教育。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学 / 冯明功主编. —2 版. —北京:科学出版社,2008. 1
普通高等教育“十一五”国家级规划教材·全国医药高等学校规划教材
ISBN 978-7-03-020796-8

I. 生… II. 冯… III. 生物化学—高等学校—教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 206418 号

责任编辑:裴中惠 / 责任校对:赵燕珍

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>

铭浩彩色印装有限公司印刷

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

2008 年 1 月第 二 版 印张:12 1/2

2008 年 1 月第八次印刷 字数:336 000

印数:37 001—45 000

定价:24.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈明辉〉)

第二版前言

面向护理等医学高专、高职各专业的《生物化学》第一版于 2003 年出版以来,在国内几十所院校的大力支持下得到了推广使用。2006 年,本书被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。我们在征求部分使用单位广大师生意见的基础上,提出了再版的修改方案,该方案得到了教材建设指导委员会的认可。

在本次修订中,我们根据全国卫生职业教学新模式研究课题组的教学改革思想,首先对教学大纲进行了适当的调整和修改。在编写过程中为了使教材内容适应我国高等职业教育的发展需要,我们坚持教材内容“贴近学生、贴近社会、贴近岗位”的编写基本原则,注重教材的思想性、科学性、先进性、适用性、实用性和创新性的统一;在内容的选择和教材的结构上突出“医学”的特点,适当增加了各章节内容与医学知识的联系和应用;注重高等职业教育和本科教育在培养目标、知识结构、能力要求方面的共性和区别,适当弱化代谢过程的描述,同时加强了知识应用的叙述。尽力避免将教材编写成本科教材的缩写本,以适应 21 世纪医学高专、高职教育事业的发展和社会需要。

教材内容共 16 章,与第一版教材相比增加了酸碱平衡一章,同时增加了微量元素的有关内容。第 1 章为绪论,简单介绍了生物化学的研究内容和生物化学与医学的关系。第 2 ~ 5 章介绍了生物分子的化学组成、分子结构、生物学功能以及生物分子与医学的关系。第 6 ~ 10 章介绍了营养物质的体内代谢、代谢平衡与调节以及代谢紊乱与医学的关系。第 11 章介绍了遗传信息的传递通路以及蛋白质合成与医学的关系。第 12 ~ 15 章主要介绍了物质和器官的正常代谢以及代谢异常与临床疾病的关系。第 16 章介绍了细胞之间的信息传递,该部分作为拓展内容为学生深入学习各种生理功能平衡、疾病的发生发展及临床药物的作用机制等方面的知识奠定了基础。

本教材是按照护理专业人才的培养需求编写的,同时也兼顾了其他医学高专、高职各专业的教学需要。由于各学校人才培养的目标定位、课程体系、培养计划和本课程的学时安排的不同,所以本教材的教学基本要求仅供参考,各学校应该根据教学需要制定自己的教学大纲,对教学内容和教学顺序做适当的调整。

本版教材是在第一版教材的基础上修订、编写而成,尽管第一版教材的部分编委因工作等原因未能参加编写工作,但他们的严谨治学态度和学术造诣为本教材的修订、编写奠定了良好的基础,在此谨代表本版各位编委向他们表示深深的谢意。

共有 10 所院校的老师共同参与了本版教材的编写工作,在编写的过程中各学校的领导为本教材的编写提供了大力的支持和帮助。大连大学电教中心的刘洋老师承担了本教材部分图片的绘制工作,在此深表谢意。

尽管本版教材经过了多次的审校工作,但由于编者的水平有限,疏漏、不当,甚至错误之处难免,恳请同行专家、广大师生以及各位读者给予批评指正。

编 者

2007 年 6 月

第一版前言

本教材是在全国卫生职业教学新模式研究课题组的教学改革思想指导下组织编写的,在编写过程中我们力求适应我国高等职业教育的发展需要,根据高等职业教育和专科教育在培养目标、知识结构、能力要求方面的区别来组织内容,尽可能体现教材内容的科学性、适用性、实用性和创新性,以适应 21 世纪医疗卫生事业的发展和社会的需要。

本教材共 16 章,第 1 章为绪论,简单介绍了生物化学的研究内容和生物化学与医学的关系。第 2~5 章介绍了生物分子的化学组成、分子结构和生物学功能。第 6~10 章介绍了营养物质的体内代谢和机体的代谢平衡调节。第 11 章介绍了遗传信息的传递通路。第 12~15 章主要介绍物质和器官的正常代谢部分;尽管细胞之间的信息传递内容有一定的深度,但考虑到细胞之间的信息传递在机体的各种生理功能平衡、疾病的发生发展及临床药物的作用机制等方面具有极其重要的作用,所以把它作为选学的模块提供给读者。

本教材在编写过程中得到了聊城职业技术学院、赤峰学院、黄山卫生学校、晋中市卫生学校、井冈山医学高等专科学校及大连大学医学院的大力支持,在教材的后期编排、校对过程中得到了大连大学教务处多位老师的协助。大连大学教务处的段迎江老师承担了本教材部分图、表的绘制工作,在此深表谢意。

由于编者水平有限,编写时间较短,不当之处在所难免,恳请广大师生给予批评指正。

编 者

2003 年 6 月

技能型紧缺人才培养培训教材 全国医药高等学校规划教材

高专、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)

白洪海 深圳职业技术学院
曹励民 西安医学院
岑慧红 广州医学院护理学院
陈 杰 广西妇幼保健院
陈四清 岳阳职业技术学院
程凤英 聊城职业技术学院
代亚莉 新疆医科大学护理学院
杜彩素 大连大学医学院
范保兴 聊城职业技术学院
冯明功 大连大学医学院
甘泉涌 襄樊职业技术学院
贺 伟 新疆医科大学护理学院
胡圣尧 上海职工医学院
金玉忠 沧州医学高等专科学校
李 莘 广州医学院护理学院
李根源 嘉应学院医学院
李修明 三峡大学护理学院
李云端 邢台医学高等专科学校
刘德云 聊城职业技术学院
刘建喜 聊城职业技术学院
刘书铭 乐山职业技术学院
刘一鸣 安康职业技术学院
楼蓉蓉 大连大学附属中山医院
鹿怀兴 滨州职业学院
马 骥 淄博科技职业学院
茅幼霞 上海职工医学院
潘传中 达州职业技术学院
裴素霞 聊城职业技术学院
任玉波 聊城职业技术学院
沈曙红 三峡大学护理学院

孙 菁 聊城职业技术学院
唐建华 上海职工医学院
王 滨 大连医科大学高等职业技术学院
王慧玲 沧州医学高等专科学校
王丽霞 首都医科大学附属北京儿童医院
王守军 聊城职业技术学院
王同增 澍青医学高等专科学校
王卫中 赤峰学院附属医院
王娅莉 三峡大学护理学院
温树田 吉林大学通化医药学院
吴玉斌 三峡大学护理学院
徐纪平 赤峰学院医学院
徐龙海 聊城职业技术学院
徐树华 大连大学医学院
薛 萍 黄山医学高等专科学校
薛会君 上海职工医学院
杨宇辉 嘉应学院医学院
尹仕红 三峡大学护理学院
于静之 山东医学高等专科学校
于珺美 淄博科技职业学院
于三新 沧州医学高等专科学校
余剑珍 上海职工医学院
臧伟红 聊城职业技术学院
曾志励 广西医科大学护理学院
张冬梅 深圳职业技术学院
张介卿 广州医学院护理学院
张丽华 沧州医学高等专科学校
张少华 肇庆医学高等专科学校
周进祝 上海职工医学院
朱梅初 永州职业技术学院

目 录

第1章 绪论	(1)	第2节 线粒体生物氧化体系	(74)
第2章 蛋白质的结构与功能	(4)	第3节 生物氧化中能量的生成与转移	(78)
第1节 蛋白质的分子组成	(4)	第4节 非线粒体氧化体系	(80)
第2节 蛋白质的分子结构	(7)	第9章 含氮化合物的代谢	(83)
第3节 蛋白质结构与功能的关系	(10)	第1节 概述	(83)
第4节 蛋白质的理化性质	(11)	第2节 氨基酸的一般代谢	(84)
第3章 核酸的结构与功能	(14)	第3节 个别氨基酸的代谢	(89)
第1节 核酸的分子组成	(14)	第4节 核苷酸的代谢	(92)
第2节 DNA的分子结构	(16)	第10章 代谢调节	(99)
第3节 RNA的分子结构	(19)	第1节 物质代谢的特点	(99)
第4节 核酸的理化性质	(21)	第2节 物质代谢的调节	(99)
第5节 核酸酶	(22)	第11章 遗传信息的传递	(104)
第4章 维生素	(24)	第1节 DNA的生物合成	(104)
第1节 概述	(24)	第2节 RNA的生物合成	(108)
第2节 脂溶性维生素	(25)	第3节 蛋白质的生物合成	(112)
第3节 水溶性维生素	(27)	第12章 肝脏的生物化学	(121)
第5章 酶	(33)	第1节 肝脏在物质代谢中的作用	(121)
第1节 概述	(33)	第2节 肝脏的生物转化作用	(123)
第2节 酶的分子结构和功能	(35)	第3节 胆汁酸代谢	(126)
第3节 影响酶促反应速度的因素	(38)	第4节 胆色素代谢	(129)
第4节 酶与医学的关系	(40)	第13章 水和无机盐代谢	(135)
第6章 糖代谢	(44)	第1节 体液	(135)
第1节 概述	(44)	第2节 水代谢	(136)
第2节 糖的分解代谢	(45)	第3节 钠、钾、氯的代谢	(137)
第3节 糖原的合成与分解	(51)	第4节 钙磷的代谢	(139)
第4节 糖异生	(53)	第5节 微量元素的代谢	(142)
第5节 血糖及血糖浓度调节	(54)	第14章 血液的生物化学	(146)
第6节 糖代谢异常病	(56)	第1节 血液的化学组成	(146)
第7章 脂类代谢	(59)	第2节 血浆蛋白质	(146)
第1节 概述	(59)	第3节 红细胞的代谢	(148)
第2节 三酰甘油的代谢	(60)	第15章 酸碱平衡	(153)
第3节 磷脂的代谢	(65)	第1节 体内酸性和碱性物质的来源	(153)
第4节 胆固醇的代谢	(66)	第2节 酸碱平衡的调节	(154)
第5节 血脂与血浆脂蛋白	(68)	第3节 酸碱平衡紊乱	(160)
第6节 脂类代谢与疾病	(70)	第16章 细胞间信息传递	(165)
第8章 生物氧化	(73)	第1节 信息分子与受体	(165)
第1节 概述	(73)	第2节 受体介导的信息传递途径	(166)



第3节 信息传递与疾病.....	(170)	醇	(177)
实验指导.....	(173)	实验6 血清尿素测定——二乙酰-肟法 ...	(177)
实验1 蛋白质等电点的测定	(173)	实验7 血清蛋白质醋酸纤维素薄膜电泳 ...	(178)
实验2 双缩脲法测定血浆总蛋白质含量 ...	(173)	主要参考文献.....	(180)
实验3 葡萄糖氧化酶法测定血糖浓度.....	(174)	附录 汉英词汇对照.....	(181)
实验4 血清丙氨酸氨基转移酶测定	(175)	生物化学(高专、高职)教学基本要求	(185)
实验5 胆固醇氧化酶法测定血清总胆固		选择题参考答案.....	(191)

第1章 绪论

一、生物化学的概念

生物化学(biochemistry)即生命的化学,是主要运用化学的原理及方法在分子水平探讨生命奥秘的一门学科。主要探讨生物体的物质组成与结构的关系、物质在体内的代谢变化及其在生命活动中的作用的一门学科。在研究生命本质的过程中,除了应用化学的原理和方法外,也会应用到生物学、微生物学、生理学、细胞学、遗传学及物理学的方法和技术,因此,生物化学的研究手段和技术相当广泛,研究领域也相当广阔。无数的生物学家、遗传学家、微生物学家、生物物理学家、分子生物学家等都从事着生物化学方面的研究,并在生物化学的发展中树立了一个个里程碑。

二、生物化学的主要研究内容

生物化学是一门古老的学科,有着悠久的发展历史,但作为一门独立的学科是在 20 世纪初期形成的。生物化学的研究内容从饮食平衡与疾病预防到膳食疗法的成熟,从沈括的《沈存中良方》到李时珍的《本草纲目》,从必需氨基酸、必需脂肪酸及维生素缺乏症的发现到营养学的诞生等涉及生物体的所有方面。其间使人们认识到了糖、脂肪及氨基酸的性质及其在生物体的作用。肽和尿素人工合成的成功,改变了有机物必须在生物体内合成的错误观点。曲在制酒中的应用,酱的制作以及酵母发酵使人们初步认识了“可溶性催化剂”,脲酶提取和结晶的成功为人们进一步研究酶的生物学性质和功能奠定了基础。当物理学、化学分析技术和同位素示踪技术应用于物质在生物体内的变化研究时,才使我们真正认识到了物质在机体内的代谢变化过程。胰岛素的氨基酸序列分析和我国科学家首先完成的胰岛素人工合成使人们进一步认识到研究生物大分子的重要性。特别是 J. D. Watson 和 F. H. Crick 于 1953 年提出的 DNA 双螺旋结构模型,使人们进一步明确了遗传信息的传递规律,是人类研究工作进入分子生物学的重要标

吴宪(1893—1959),福建省福州市人(图 1-1)。中学毕业后去美国留学,先后在麻省理工学院和哈佛大学医学院学习化学和生物化学,1919 年获博士学位。1920 年回国,在北京协和医学院任教。他是我国杰出的生物化学家和营养学家,在国际上负有盛名。在临床化学,特别是血液分析、气体与电解质平衡、蛋白质的生物化学、免疫化学、氨基酸代谢和营养学等领域的研究工作,都是当时的先驱。吴宪在北京协和医学院任职期间为我国培养了不少生化人才,他在建立和发展医学院生物化学课程方面,亦有许多贡献。著有《营养概论》(1929 年)和《物理生物化学原理》(英文版,1934 年)。1941 年协和医学院停办,吴宪于 1945 年去美国考察。1959 年在美国病逝。

1917 年进哈佛大学医学院生物系,成为美国著名生物化学家福林(Otto Folin)教授的研究生,进行血液化学研究。他独自完成了改进血糖定量分析方法,该方法作为血糖测定的常规方法在国际上应用了半个多世纪,为糖代谢异常疾病的诊断做出了重大的贡献。吴宪先生的座右铭是“真知、真实、真理”,即求学问要真知,做实验要真实,为人要始终追求真理。



图 1-1 吴宪教授

接

链





志。中心法则的确立和拓展、基因重组技术的建立、PCR 技术的发明使人类研究生命过程的本质成为可能,人类基因组计划(human genome project)和后基因组计划的实施及其未来的成果,使人类看到了人类攻克肿瘤、艾滋病、高血压等疑难疾病的希望。

生物化学技术的研究为生物化学的临床应用奠定了基础。光谱技术、色谱技术、电泳技术、电化学技术等已经成为临床体液中生物化学成分定量、定性分析的主要技术。体液化学成分分析的结果成为疾病的诊断、治疗方案的制定、疾病的预防和预后分析的根据。现代分子生物学技术在临床疾病研究中的应用,使人类对更多的疾病有了更高水平的认识,为疾病的诊断和治疗提供了更加科学的依据。基因诊断技术在遗传性疾病、传染性疾病、肿瘤等分子疾病诊断中的应用,提高了疾病诊断的准确率。基因诊疗的研究为一些不治之症带来了新的曙光。

三、当代生物化学的研究热点

(一) 生物分子的结构与功能

机体的基本化学成分包括蛋白质、核酸、糖类、脂类等有机分子和无机盐、水等无机分子,其中,蛋白质、核酸、多糖等是体内的生物大分子。所谓生物大分子,指由某些基本结构单位按一定顺序和方式连接所形成的多聚体(polymer),相对分子质量一般大于 10^4 。例如,氨基酸通过肽键组成蛋白质,核苷酸通过磷酸二酯键组成核酸,单糖通过糖苷键聚合成多糖。生物大分子的重要特征之一是具有信息功能,由此也称之为生物信息分子。对生物大分子的研究,除了确定其一级结构外,更重要的是研究其空间结构及其与功能的关系。

(二) 物质代谢及其调节

新陈代谢是生命的基本特征,正常的物质代谢是生命过程的必要条件,而物质代谢的紊乱则会导致疾病的发生。目前,对生物体内的主要物质代谢途径虽已基本清楚,但仍有众多的问题有待探讨。例如,物质代谢有序性调节的分子机制尚需进一步阐明,细胞信息传递参与多种物质代谢及与其相关的生长、增殖、分化等生命过程的调节,细胞信息传递的机制及信息传递网络问题等都是近代生物化学研究的重要课题。

(三) 基因信息传递及其调控

基因信息传递涉及遗传、变异、生长、分化等诸多生命过程,也与遗传性疾病、恶性肿瘤、心血管疾病等多种疾病的发病机制有关。因此,基因信息的研究在生命科学中的作用越来越重要。当今,分子生物学除了进一步研究 DNA 的结构与功能外,更重要的是研究 DNA 复制、RNA 转录、蛋白质生物合成等基因信息传递过程的机制及基因表达调控的规律。

四、生物化学与医学的关系

生物化学作为一门边缘学科与基础医学的关系十分密切,其基本理论和基本技术已渗透到医学科学的各个研究领域。例如,在生理学、病原微生物学、免疫学、遗传学、药理学及病理学等基础医学的研究中,无一例外的要应用生物化学的理论与技术来解决各学科的问题,并由此产生了“分子免疫学”、“分子遗传学”、“分子药理学”、“分子病理学”等新兴的边缘学科。

生物化学与临床医学的关系也很密切。近代临床医学的发展离不开生物化学的理论和技術,在医院的检验科中,生物化学检验项目几乎占整个实验诊断内容的一半。而且许多疾病的发病机制也需要从分子水平加以探讨。由于生物化学与分子生物学的迅速发展,大大加深了人们对恶性肿瘤、心血管疾病、神经系统疾病、免疫性疾病等重大疾病本质的认识,并出现了许多新的诊断“金指标”。

因此,认真学习和掌握好生物化学的基本理论知识,对今后学好其他基础医学、临床医学、



预防医学等课程具有极其重要的作用。

五、生物化学的主要学习内容

本教材是相关医学类专业的基础课程教材,内容都与人体有密切关系,主要包括蛋白质、核酸、维生素、酶等叙述生物化学内容,也包括糖类、脂类、含氮化合物、水、离子等在体内的代谢变化过程和代谢平衡调节的动态生物化学部分,同时还有肝脏的生物转化等功能生物化学内容。

(冯明功)



第2章 蛋白质的结构与功能



学习目标

1. 记住蛋白质的元素组成、基本组成单位及其结构特征、蛋白质变性及应用
2. 描述蛋白质的分子结构、氨基酸、蛋白质的理化性质
3. 说出蛋白质结构与功能的关系、氨基酸和蛋白质的分类

蛋白质(protein)是组织细胞中含量最丰富、功能最多的高分子物质之一,是生命活动的主要体现者,生物体的生长、发育、繁殖、遗传等一切生命活动都与蛋白质有关。一个真核细胞中可有近千种蛋白质,其结构不同功能各异,结构决定其功能,所以,只有在深入了解蛋白质结构的基础上才能更透彻的了解蛋白质的功能。

第1节 蛋白质的分子组成

组成蛋白质的元素主要有碳、氢、氧、氮,有些蛋白质还有少量的硫、磷和其他金属元素,各种蛋白质平均含氮量为16%,即1g氮相当于6.25g蛋白质,因此通过测定蛋白质样品中氮的含量可按下式推算出蛋白质的含量。

$$\text{样品蛋白质含量}(\%) = \text{样品中氮含量}(\text{g/g}) \times 6.25 \times 100$$

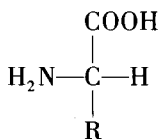
一、蛋白质的基本单位——氨基酸

人体内的蛋白质大约十万多种,但作为组成蛋白质的基本单位——氨基酸(amino acid),仅有20种。

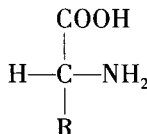
(一) 氨基酸的分子结构特点

(1) 氨基酸的氨基($-\text{NH}_2$)或亚氨基($=\text{NH}$)都与邻接羧基($-\text{COOH}$)的 α -碳原子相连接,故它们都属于 α -氨基酸(脯氨酸为 α -亚氨酸)。

(2) 不同氨基酸在于侧链R的不同。除了R为H的甘氨酸外,其他氨基酸(包括脯氨酸)的 α -碳原子都是手性碳原子(碳原子所连接的4个原子或基团互不相同),因而每种氨基酸都有D型和L型两种构型,人体内的氨基酸均为L- α -氨基酸。



L- α -氨基酸



D- α -氨基酸

(二) 氨基酸的分类

氨基酸的分类方法有多种,根据氨基酸侧链的结构和理化性质可分成4类(图2-1)。

(1) 非极性氨基酸:侧链R基团为非极性疏水基团。





(2) 极性中性氨基酸:侧链 R 基团有极性,但在中性溶剂中不解离。

(3) 酸性氨基酸:侧链 R 基团含有羧基,能解离出 H^+ 而带负电荷。

(4) 碱性氨基酸:侧链 R 基团含有氨基、胍基、咪唑基,能结合 H^+ 而带正电荷。

上述 20 种氨基酸均为编码氨基酸,蛋白质中还有羟脯氨酸、羟赖氨酸等是在蛋白质合成中或合成后由相应的编码氨基酸经酶促反应加工、修饰而成,为非编码氨基酸。

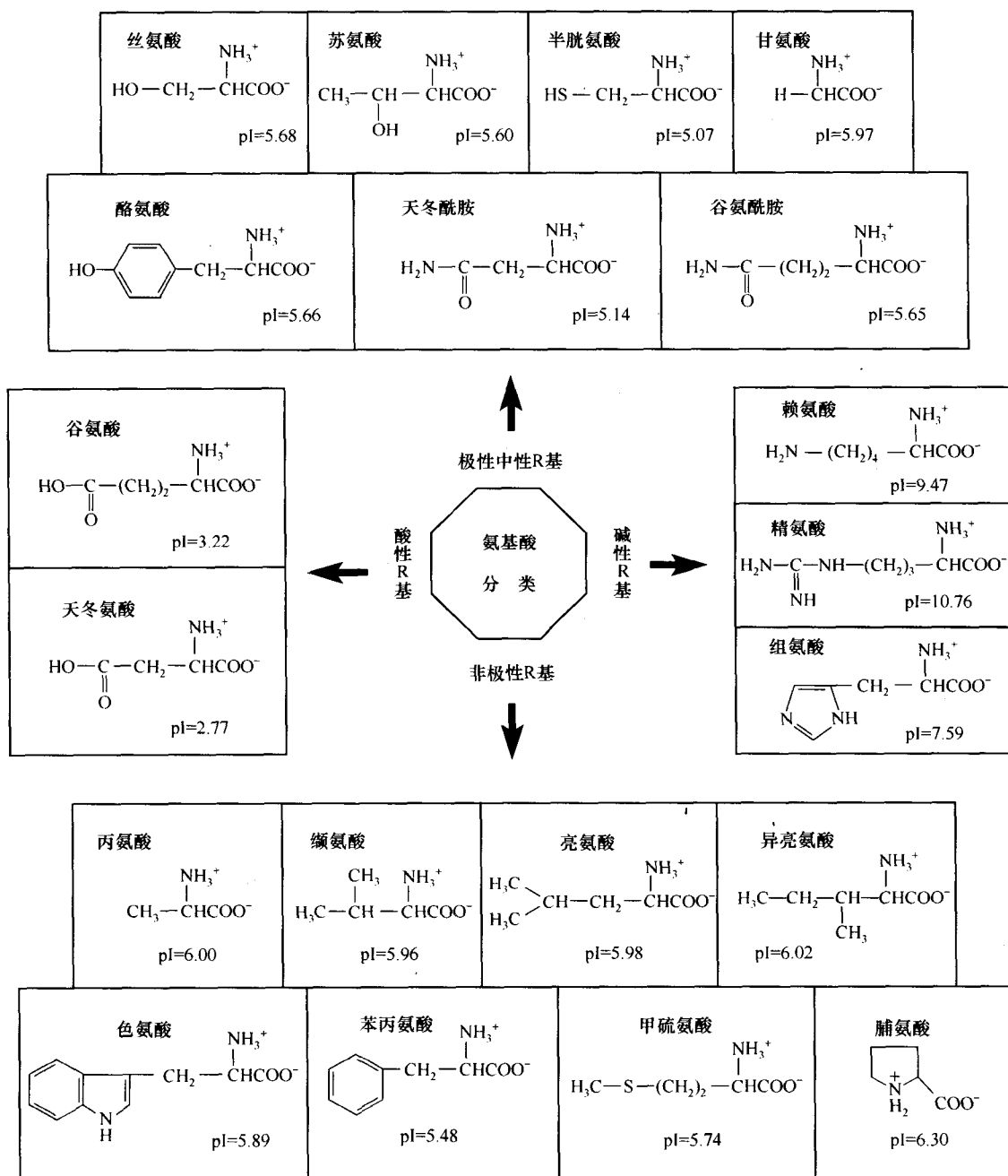


图 2-1 氨基酸分类

(三) 氨基酸的主要理化性质

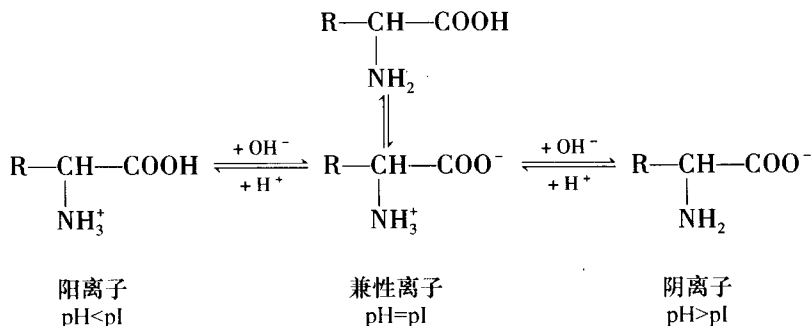
1. 氨基酸的一般性质 氨基酸呈无色结晶,各自有特殊的晶形,熔点高 ($>200^\circ\text{C}$),在水中的溶解度各不相同,易溶于酸碱,一般不溶于有机溶剂。





2. 氨基酸的两性电离与等电点 氨基酸分子既含碱性的氨基(或亚氨基),又含酸性的羧基。氨基酸的羧基可解离释放 H^+ , 其自身变为 $-COO^-$, 氨基酸的氨基能接受 H^+ , 形成 $-NH_3^+$, 具有两性电离的特性, 因而氨基酸是两性电解质, 其解离的方式取决于其所处溶液的酸碱度。

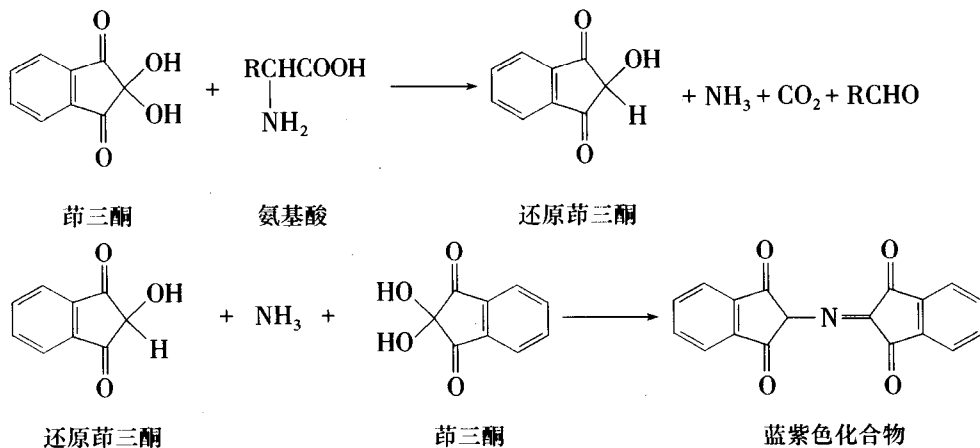
在一定的 pH 溶液中, 氨基酸的羧基与氨基的解离程度相等, 氨基酸分子呈电中性, 又称为兼性离子, 此时, 溶液的 pH 称为该氨基酸的等电点(isoelectric point, pI)。



各种氨基酸的 pI 之所以不同, 是由于各种氨基酸分子中所含氨基、羧基等基团数目以及 R 基团的解离程度不同所致。如 R 基团为酸性, 则等电点小; R 基团为碱性, 则等电点大。由于羧基解离 H^+ 的能力强于氨基接受 H^+ 的能力, 故一般氨基酸的等电点偏酸性。各种氨基酸的 pI 见图 2-1。

3. 茚三酮反应 α -氨基酸与水合茚三酮试剂共同加热可以生成一种蓝紫色的化合物, 该化合物的最大吸收峰是 570nm 波长, 此吸收峰值的大小与溶液中氨基酸的含量呈正比, 因此, 该反应可作为 α -氨基酸定量分析的依据。

脯氨酸、羟脯氨酸与茚三酮反应生成的是黄色化合物。



二、蛋白质的分类

(一) 根据组成成分分类

1. 单纯蛋白质 完全由氨基酸组成。

2. 结合蛋白质 由蛋白质和非蛋白质两部分结合而成, 为蛋白质的生物活性或代谢所依赖。其中, 非蛋白质部分称为辅基, 大部分辅基通过共价键方式与蛋白质部分相连。根据辅基不同又可将结合蛋白分为核蛋白(辅基为核酸)、糖蛋白(辅基为糖类)、脂蛋白(辅基为脂类)、色蛋白(辅基为色素)、磷蛋白(辅基为磷酸)、金属蛋白(辅基为金属离子)等。





(二) 根据分子形状分类

1. **球状蛋白质** 分子近似球形或椭圆形,多数可溶于水,许多具有生理活性的蛋白质如酶、血红蛋白、免疫球蛋白、蛋白类激素等都属于球状蛋白质。

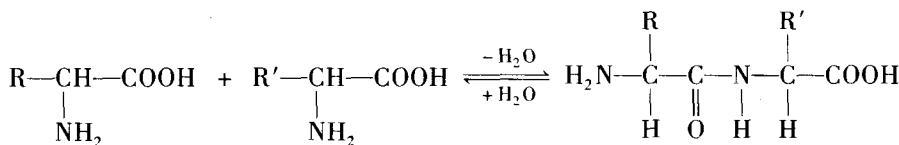
2. **纤维状蛋白质** 形似纤维状,难溶于水,多属结构蛋白质。如骨、皮肤、结缔组织中的胶原蛋白,毛发、指甲中的角蛋白,血管壁的弹性蛋白等。

第2节 蛋白质的分子结构

一、蛋白质的基本结构

(一) 肽与肽键

氨基酸通过脱水缩合成的化合物称为肽(peptide)。两个氨基酸缩合成二肽,3个氨基酸缩合成三肽,以此类推,多个氨基酸缩合成多肽。多肽呈链状,因此称多肽链。连接两个氨基酸的酰胺键称为肽键。多肽链中的氨基酸因脱水缩合而稍有残缺,故称为氨基酸残基。



(二) 蛋白质的一级结构

多肽链中由肽键连接成的长链骨架称主链,各氨基酸残基的R基团统称侧链。多肽链有两个末端,其中有自由氨基者称为氨基末端(N末端),有自由羧基者,称为羧基末端(C末端)。书写多肽链简式时,N末端常用H—表示,写在左侧;C末端常用—OH表示,写在右侧。多肽链中氨基酸的排列顺序称为蛋白质的一级结构,它是蛋白质的基本结构,排列顺序编号从N端开始。维持蛋白质一级结构的主要化学键是肽键,有些蛋白质还包括二硫键。

胰岛素一级结构的确定

1953年,英国科学家F. Sanger第一次测出蛋白质激素——胰岛素的氨基酸顺序,包括3对二硫键的位置。这是世界上第一个被确定一级结构的蛋白质。因此,他获得了1958年诺贝尔化学奖。Sanger开创性的工作,打开了更复杂的蛋白质结构领域,促进了人们对重要蛋白质本质的深入了解,同时也为揭示和治疗某些疾病奠定了基础。

接 链

二、蛋白质的空间结构

组成蛋白质的多肽链在三维空间折叠和盘曲,构成特有的空间结构,也称构象。蛋白质的空间结构可分为二级、三级和四级结构。

(一) 蛋白质的二级结构

多肽链主链骨架原子在多个局部折叠、盘曲而形成的空间结构称为蛋白质的二级结构。

1. **二级结构的形成基础** 在多肽链中,肽键具有一定程度的双键性质,不能自由旋转,于是肽键上的4个原子和相邻的两个α-碳原子处在一个平面,称肽键平面(图2-2)。肽键平面两端的α-碳原子的单键可以旋转,因此,整个主链骨架的折叠、盘曲都是由此单键旋转形成的。



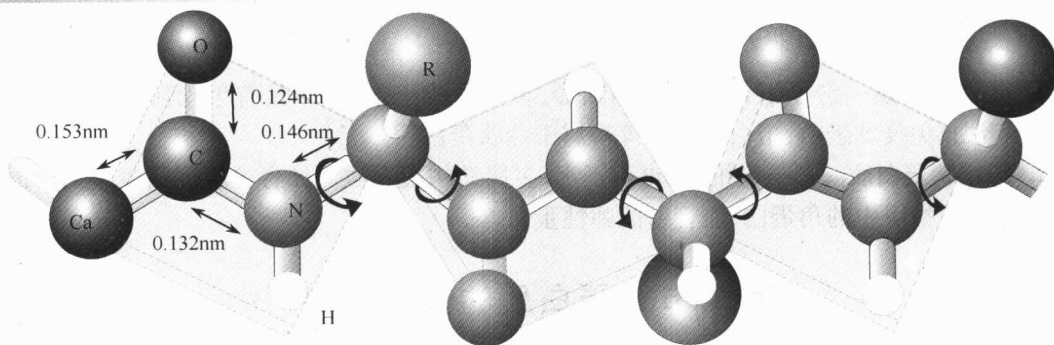
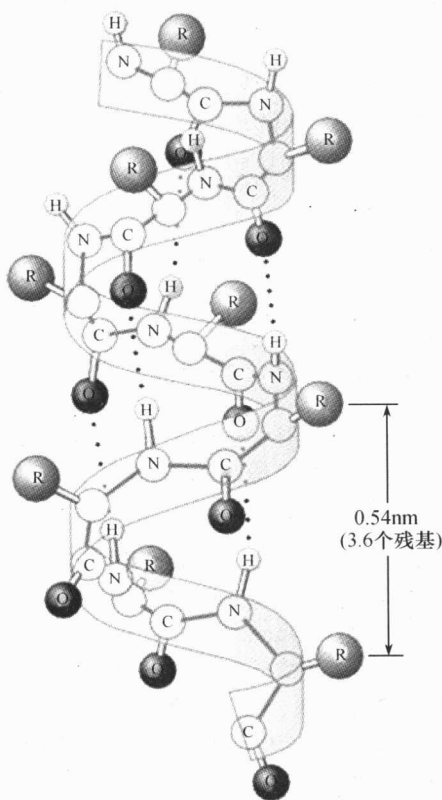


图 2-2 肽键平面结构示意图

图 2-3 α -螺旋

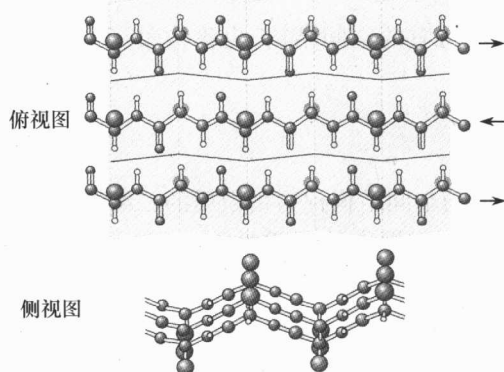
2. 二级结构的基本形式 1951 年,由美国科学家 Pauling 和 Corey 根据实验数据提出了肽链局部主链原子空间构象分子模型,称为 α -螺旋和 β -折叠,他们是蛋白质二级结构的主要形式。维持二级结构的主要化学键是氢键。

(1) α -螺旋(图 2-3)结构特点:多肽链以肽键平面为单位,以 α -碳原子为转折,形成右手螺旋样结构;每 3.6 个氨基酸残基旋转一周,螺距为 0.54nm,上下两层螺旋之间形成 CO—HN 氢键,起稳定螺旋作用;氨基酸残基的 R 基团均伸向螺旋外侧,其形状、大小及电荷影响螺旋的形成。

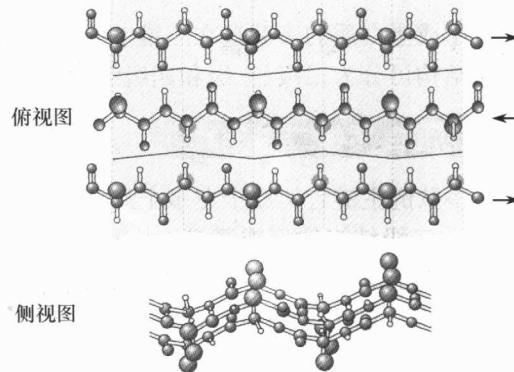
(2) β -折叠是一种相当伸展的肽链结构,其特点:肽键平面之间折叠成锯齿状,R 基团交错伸向锯齿状结构上下方;两条肽链或一条肽链内两个肽段间的 C=O 与 N—H 形成氢键,使结构稳定;若两段肽链走向相同,即 N 末端都在同一端,称为顺向平行[图 2-4(a)],反之为逆向平行[图 2-4(b)]。

除上述两种结构外,尚有 β -转角(图 2-5)和无规则卷曲等。

(a) 顺向平行



(b) 逆向平行

图 2-4 β -折叠结构示意图

(二) 蛋白质的三级结构

蛋白质的三级结构指整条肽链中全部氨基酸残基的相对空间位置,即整条肽链的三维空间构象。稳定三级结构的因素主要是R基团之间相互作用形成的各种次级键,如氢键、疏水作用、盐键以及范德华力;此外,二硫键也有重要作用(图2-6)。

由一条多肽链形成的蛋白质只有具备三级结构时,才有生物学功能,如肌红蛋白就是存在于红色肌肉组织中的具有三级结构的蛋白质。

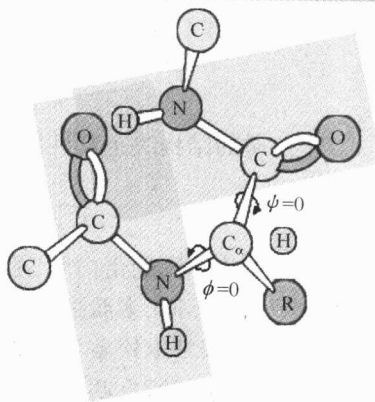


图2-5 β -转角结构示意图

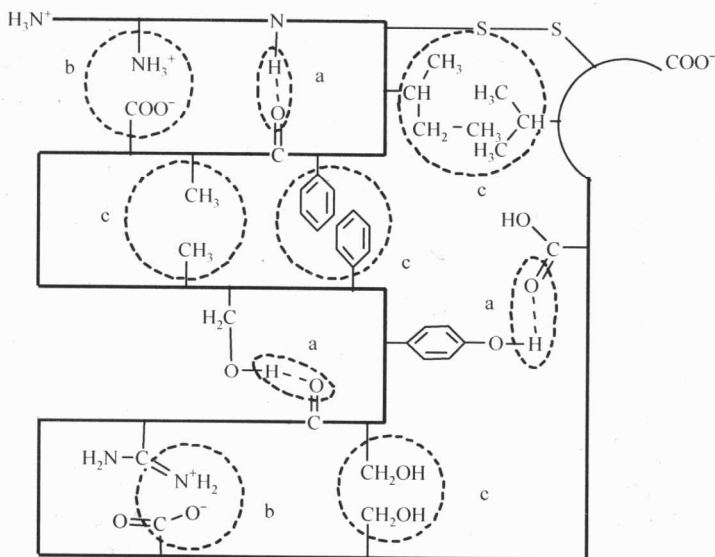


图2-6 维持蛋白质分子三维空间构象的化学键

a. 氢键; b. 盐键; c. 疏水作用

(三) 蛋白质的四级结构

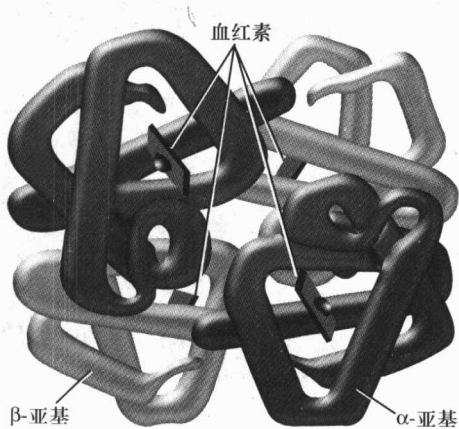


图2-7 蛋白质的四级结构——血红蛋白结构示意图

两个或两个以上具有独立三级结构的多肽链,通过非共价键缔合而成的空间结构称为蛋白质的四级结构。具有独立三级结构的多肽链称为亚基,亚基可以相同也可以不同。如Hb是由两个 α -亚基和两个 β -亚基聚合而成的具有四级结构的蛋白质。Hb的每个亚基均结合一个亚铁血红素,每个亚铁血红素上的 Fe^{2+} 能结合一分子的氧(图2-7)。四级结构中,亚基之间不含共价键,因此,由一条多肽链构成或由几条多肽链通过共价键相连而成的蛋白质无四级结构。