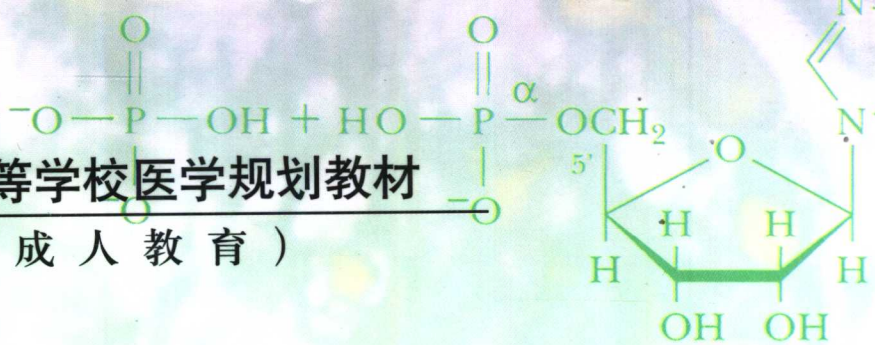


全国高等学校医学规划教材

(成人教育)



# 生物化学

主编 万福生



高等教育出版社  
Higher Education Press

全国高等学校医学规划教材

(成人教育)

# 生物化学

主 编 万福生  
副主编 陈 瑞 蔡文秀  
编 者 (以姓氏笔画为序)

万福生	江西医学院
田兴亚	昆明医学院
严 哲	温州医学院
张祖珣	首都医科大学
李斌元	南华大学医学院
陈华绪	川北医学院
陈 瑞	首都医科大学
龚文杰	江西医学院
蔡文秀	福建医科大学
裴秀英	宁夏医学院



高等教育出版社  
Higher Education Press

## 内容提要

本教材针对特定的培养目标和培养对象,为适应成人高等医学模式“宽基础、大专业”的改革要求,在选材上具有一定的深度和广度,参照国家教育部对有关生物化学的基本要求,结合各校在成人医学教学实践中的经验,编写了本教材。全书共 18 章,包括了生物大分子结构与功能,物质代谢及其调节,遗传信息传递,与临床密切相关的肝胆生化和基因诊断与治疗四大部分。与其他同类教材相比,本教材有以下特点:1) 更贴近成人学习特点,便于自学;2) 突出以人为本的指导思想;3) 强调实用、够用和会用;4) 注重生物化学与临床的联系。本书主要适用于医学院校成人教育的本科生,同时也可作为医师职业资格考试、自学考试及研究生入学考试复习或参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学 / 万福生主编. —北京:高等教育出版社, 2003.9

ISBN 7-04-013248-6

I. 生... II. 万... III. 生物化学-成人教育:高等教育-教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 069882 号

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总 机 010-82028899

购书热线 010-64054588

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 高等教育出版社印刷厂

开 本 850×1168 1/16

印 张 21

字 数 520 000

版 次 2003 年 9 月第 1 版

印 次 2003 年 9 月第 1 次印刷

定 价 33.10 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

# 序

记得在十多年前,我在原华西医科大学做呼吸专业教授,每每授课之余,我都在想这样的问题:教育究竟承载着怎样的重荷、责任?在我走上领导岗位后,从最初医科大学副校长、省卫生厅厅长、卫生部副部长,到现在的中国医师协会会长,虽从未主管过教学工作,但上述问题却时常萦绕着我,思考从未停止过,时至今日,答案越来越清晰,明确!那就是教育要发展,要进步,首先教育理念必须发生深刻的变革,教育的内涵必须大幅度外延,教学方式必须改革。具体到医学教育,我个人有几点看法:

在教学上:第一,医学是关系到生命、健康的科学,因此必须强调严谨性;第二,医学是一门边缘性科学,且发展很快,因此应强调教师知识不断更新,增强和接受新理论、新知识的能力,满足学生扩大知识面的需求;第三,医务工作除了治病救人外,还涉及伦理、道德、法律等一系列问题,因此,医学教育应增加大量社会科学知识,并加强培养医学生的人文关怀精神;第四,医学专业的形态学课程较多,学习时需要强记硬背,但实际运用时非常强调灵活性。因此,注意培养学生的形象思维与逻辑思维,即平时我们所说的临床思维能力,这一点尤为重要。

在教材上:第一,内容在强调“三基”的同时,应能及时反映疾病谱的变化及学科的发展;第二,内容在注重科学性的同时,应为所教学者着想,即将复杂、高深的知识,用最简单易懂的文字或图表表述出来;第三,教材应充分反映医学这门学科的特点,即形态学、方法学的内容较多。因此,应做到图文并茂,有些内容甚至可用视频来表达。

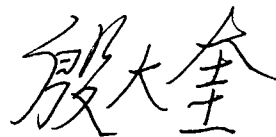
虽然自己对教学工作和教材建设有一些想法,但高等教育出版社请我来为这套医学教材做序时,倒使我十分为难。一是我离开教育、临床工作多年;二是先前我对其他很多专家邀请做序或跋拒绝多多,此次执笔搞不好会有厚此薄彼之嫌。但我细读此套教材的策划及部分章节后,眼前一亮,不禁释怀。

此套教材在内容、形式上有许多新颖之处:1. 基础学科教材注意了理论与临床紧密结合,删减了为使学科系统化而舍简求繁的内容,突出了为临床服务,打基础的特点;2. 临床学科教材则根据近些年来疾病谱的变化,突出重点地介绍了临床常见病、多发病的诊疗知识、技术手段,而且增加了近年来被公认、成熟的新知识、新技术;3. 这是一套真正意义的立体化教材,不但图文并茂,且配有学生用光盘及教师授课多媒体光盘。光盘中内容丰富,有大量彩图、病案分析、进展讲座、习题。大大丰富了教材内容,达到了医学教育应以视觉教学为主的目的;4. 本套教材作者队伍年轻化,主编平均年龄 50 余岁,多为留学归国人员,且为活跃在教学、临床一线的骨干。

更为可贵的是,本套教材由于策划得当,在丰富了教材内容、提高印刷质量的同时,却未增加篇幅、提高书价,减轻了学生经济负担。以《病理学》为例,全书彩色印刷,有近 500 幅彩图,并附学生用光盘,有病理报告库(内有 17 个 CPC)和图库(内有 302 幅较为罕见的彩图),而全书定价不过 60 元。作为教材,能有如此的印刷质量、定价,在我国也是少见的,为此,我深感

欣慰!

谨以此文,权当为序,有些提法不知当否,还请教育界、医学界有关同仁指正。

A handwritten signature in black ink, consisting of the characters '殷大奎' (Yan Daxin) in a cursive style.

中国医师协会会长  
2003年6月12日于北京

# 出版说明

为贯彻教育部关于“教材建设精品化,教材要适应多样化教学需要”(教高[2001]1号)的精神,在全国高等学校教学研究会、中国医师协会以及数十所高等医学院校大力支持下,经两千余名具有丰富教学经验的医学专家及学者的共同努力,高等教育出版社出版了全国高等学校医学规划教材。愿此凝聚着众多学者智慧与汗水的教科书,能给我国的医学教材建设注入活力,以推动医学教育改革加速发展。

**全国高等学校医学规划教材(供临床、基础、预防、护理、口腔、药学等专业用)**以全球医学教育最低基本要求及教育部“新世纪高等教育教学改革工程”重点项目——临床医学专业本科教学基本要求为准则;突出对学生创新意识、创新能力和批判性思维方式的培养;强调与医疗卫生的联系,囊括了国家执业医师考试所需的知识。整套教材中各学科相关内容有机衔接、循序渐进,既防止各学科之间脱节,又避免了重复,更为有特色的是书后配有包含信息库、习题库、案例库、图像库等内容的学生用光盘,部分学科还配有教师用光盘。全套教材论述严谨,语言流畅简洁,层次分明,编排格式新颖,图文并茂,并根据学科特点,采用了全彩色印刷或彩色插页,有些内容甚至用视频形式来表达。

**全国高等学校医学规划教材(成人教育)**针对成人医学教育特点而编写,主编及编写人员均是具有多年医学教育经验的专家和学者。与同类教材相比,此套教材在以下几方面进行了创新和探索:(1)在确定编写体系和选择教材内容时,注重对学生创新思维、分析解决问题能力以及综合素质的培养,尽量做到以问题为中心,与临床紧密结合,学以致用。(2)注重素质教育,加强对 学生伦理、道德素质和法制观念的培养。

建立面向现代化、面向世界、面向未来的立体化、系列化精品医学教材,是高等教育出版社追求的目标。尽管我们在出版教材的工作中力求尽善尽美,但仍避免不了存在这样或那样的不足和遗憾,恳请广大专家、教师及学生提出宝贵的意见和建议,为促进我国高等医学教育的进一步发展共同努力。

# 全国高等学校医学规划教材

(供临床、基础、预防、护理、口腔、药学等专业用)

基础化学	主编 祁嘉义	内科学	主编 张 运
医用有机化学	主编 唐玉海	外科学	主编 郑树森
生物化学	主编 赵宝昌	妇产科学	主编 孔北华
医用物理学	主编 洪 洋	儿科学	主编 王卫平
临床医学导论(第2版)	主编 孙宝志	眼科学	主编 葛 坚
医学伦理学	主编 孙慕义	耳鼻咽喉头颈科学	主编 韩德民
系统解剖学	主编 钟世镇	口腔临床医学导论	主编 樊明文
局部解剖学	主编 王怀经	神经病学	主编 张淑琴
断层解剖学	主编 刘树伟	精神病学	主编 李凌江
组织学与胚胎学	主编 高英茂	传染病学	主编 李兰娟
医学微生物学	主编 黄汉菊	法医学	主编 侯一平
医学寄生虫学	主编 汪世平	中医学	主编 陆付耳
生理学	主编 王庭槐	循证医学	主编 李幼平
病理学	主编 王恩华	全科医学	主编 梁万年
病理生理学	主编 肖献忠	康复医学	主编 纪树荣
药理学	主编 颜光美	预防医学	主编 施 榕
诊断学	主编 张桂英	流行病学	主编 姜庆五
医学影像学	主编 孟俊非	医学统计学	主编 倪宗瓚
核医学	主编 黄 钢	医学信息检索	主编 徐一新

# 全国高等学校医学规划教材

(成人教育)

内科学	主编 刘远厚	生理学	主编 徐斯凡
外科学	主编 高居忠	生物化学	主编 万福生
妇产科学	主编 林仲秋	人体解剖学	主编 席焕久
儿科学	主编 黎海芪	药理学	主编 凌保东
病理学	主编 章宗籍	医学伦理学	主编 卜 平
医学免疫学	主编 张昌菊	预防医学	主编 钟才高
医学微生物学	主编 吴移谋		

# 前 言

生物化学是一门重要的医学基础理论课。近年来,这门学科知识内容更新极快,分子生物学学科发展迅猛。为了深化教育改革,以适应成人医学高等教育发展的需要,我们参照国家教育部对有关生物化学的基本要求,结合各校在教学中的实践经验,组织由江西医学院、首都医科大学、福建医科大学等8所院校具有丰富教学经验的生物化学教授参加编写本教材。全书内容共分18章,包括生物大分子蛋白质、核酸及酶的结构与功能,糖、脂类、氨基酸和核苷酸等物质代谢及其调节,基因信息和细胞信息传递与调控,与临床医学密切相关的肝胆生化等4部分内容。在编写过程中,本着重视基础理论,强调理论与实践相结合,并适当反映对医学发展有重要影响的新进展的原则,根据多年的教学实践经验,结合成人高等教育的特点和生物化学的发展趋势,对教材内容的深度和广度作了精心的安排。力求达到概念清晰、内容丰富、重点突出,使教材具有较强的系统性、逻辑性和实用性。

在本书编写过程中,得到江西医学院领导的指导和大力支持,同时也得到各参编单位领导的大力支持。为确保该书按时出版,还得到高等教育出版社的大力支持与协助。江西医学院生物化学与分子生物学教研室刘卓琦、余波、杨晓红参加了部分书稿的打印和校对工作,在此一并表示衷心感谢!

本书的主要适用对象是医学院校成人教育的本科生。同时本书也可供医师职业资格考试、自学考试及研究生入学考试复习或参考之用。

本书在编写过程中,虽经反复审阅和修改,但由于编写时间仓促,学识水平有限,书中定有诸多欠妥甚至错漏之处,望广大教师和学生多提宝贵意见。

编 者

2003年6月10日



# 目 录

第一章 绪论 .....	1	第二节 脂肪酸 .....	102
第二章 蛋白质的结构与功能 .....	3	第三节 脂类的消化与吸收 .....	104
第一节 蛋白质的化学组成 .....	3	第四节 甘油三酯代谢 .....	105
第二节 蛋白质的分子结构 .....	8	第五节 磷脂的代谢 .....	115
第三节 蛋白质结构与功能的关系 .....	12	第六节 胆固醇的代谢 .....	118
第四节 蛋白质的理化性质 .....	15	第七节 血脂与血浆脂蛋白代谢 .....	123
第五节 蛋白质的分离纯化 .....	17	小结 .....	128
小结 .....	19	复习思考题 .....	129
复习思考题 .....	19	第七章 生物氧化 .....	130
第三章 核酸的结构与功能 .....	21	第一节 呼吸链与水的生成 .....	130
第一节 核酸的化学组成 .....	21	第二节 氧化磷酸化与 ATP 的生成 .....	137
第二节 核酸的一级结构 .....	26	第三节 其他氧化体系 .....	141
第三节 DNA 的空间结构与功能 .....	28	小结 .....	144
第四节 RNA 的空间结构与功能 .....	32	复习思考题 .....	145
第五节 核酸的理化性质 .....	36	第八章 氨基酸代谢 .....	146
小结 .....	38	第一节 蛋白质的营养作用 .....	146
复习思考题 .....	39	第二节 蛋白质的消化、吸收与腐败 .....	147
第四章 酶 .....	40	第三节 氨基酸的一般代谢 .....	150
第一节 概述 .....	40	第四节 氨的代谢 .....	155
第二节 酶的结构与功能 .....	42	第五节 个别氨基酸的代谢 .....	161
第三节 酶促反应动力学 .....	50	小结 .....	169
第四节 酶的命名、分类及其活力单位 .....	61	复习思考题 .....	170
第五节 酶与医学的关系 .....	63	第九章 核苷酸代谢 .....	171
小结 .....	64	第一节 嘌呤核苷酸的代谢 .....	172
复习思考题 .....	65	第二节 嘧啶核苷酸的代谢 .....	178
第五章 糖代谢 .....	66	小结 .....	183
第一节 糖在体内的代谢动态 .....	66	复习思考题 .....	183
第二节 糖酵解 .....	70	第十章 物质代谢的联系与调节 .....	185
第三节 糖的有氧氧化 .....	76	第一节 概述 .....	185
第四节 磷酸戊糖途径 .....	84	第二节 物质代谢的相互联系 .....	185
第五节 糖原的合成与分解 .....	86	第三节 物质代谢的调节 .....	187
第六节 糖异生 .....	92	小结 .....	194
第七节 糖代谢障碍 .....	97	复习思考题 .....	195
小结 .....	98	第十一章 DNA 的生物合成 .....	196
复习思考题 .....	98	第一节 DNA 的复制 .....	196
第六章 脂类代谢 .....	101	第二节 DNA 的修复合成 .....	204
第一节 脂类在体内的分布及生理功能 .....	101	第三节 逆转录作用 .....	206

小结 .....	208	第二节 基因工程 .....	251
复习思考题 .....	209	小结 .....	262
<b>第十二章 RNA 的生物合成</b> .....	210	复习思考题 .....	262
第一节 转录作用 .....	210	<b>第十六章 基因诊断与基因治疗</b> .....	264
第二节 转录后的加工过程 .....	214	第一节 基因诊断 .....	264
第三节 RNA 复制 .....	217	第二节 基因治疗 .....	269
小结 .....	217	小结 .....	273
复习思考题 .....	218	复习思考题 .....	274
<b>第十三章 蛋白质的生物合成</b> .....	219	<b>第十七章 细胞信息传递</b> .....	275
第一节 蛋白质的生物合成体系 .....	219	第一节 信息物质与受体 .....	275
第二节 蛋白质生物合成过程 .....	223	第二节 主要信息传递途径 .....	279
第三节 翻译后的加工 .....	228	小结 .....	286
第四节 蛋白质合成与医学的关系 .....	231	复习思考题 .....	286
小结 .....	232	<b>第十八章 肝胆的生物化学</b> .....	288
复习思考题 .....	233	第一节 肝在物质代谢中的作用 .....	288
<b>第十四章 基因表达的调控</b> .....	234	第二节 肝的生物转化作用 .....	290
第一节 概述 .....	235	第三节 胆汁与胆汁酸的代谢 .....	297
第二节 原核生物的基因转录调控 .....	236	第四节 胆色素的代谢 .....	300
第三节 真核生物的基因调控 .....	242	小结 .....	306
小结 .....	248	复习思考题 .....	307
复习思考题 .....	248	<b>参考文献</b> .....	308
<b>第十五章 基因重组与基因工程</b> .....	249	<b>索引</b> .....	309
第一节 自然界的基因重组 .....	249		

# 第一章 绪 论

生物化学(biochemistry)是一门研究生物体的化学组成和生命活动过程中的化学变化及其规律的学科。它既是一门化学又是生物学与物理学之间的边缘学科。生物化学的主要任务是从分子水平上阐述各种生命现象,也就是研究生物体的化学组成、生物分子的结构与功能、物质代谢及其调控,揭示生命现象的本质,从而为人类健康生活及生产服务。因此,生物化学不仅需要各种化学的理论和方法,而且已融入物理学、生物学、遗传学及微生物学等的理论和技术,以适应生物化学飞速发展的需要。医学生学习的生物化学是以人体为研究对象,故也叫人体生物化学。

## 一、生物化学的发展

生物化学是 19 世纪末 20 世纪初才作为一门独立学科发展起来的,是一门比较年轻的学科。但在我国,其发展可追溯到远古时期。

早在 18 世纪中期,瑞典化学家 Scheele 就研究了生物体(动物和植物)各种组织的化学组成。1828 年德国化学家 Wöhler 在实验室里,用无机物氰酸铵合成了有机物尿素。另一位德国著名化学家 Fisher 应用有机化学方法对生物体内的糖类、脂类及蛋白质等化合物进行了比较详尽的研究,并确定了蛋白质是由小分子的氨基酸通过肽键连接而成。我国古代劳动人民在饮食营养及医药等方面的发明和创造,也为生物化学的诞生作出了积极贡献。如明朝李时珍所著的《本草纲目》中,不仅记载了 1 800 余种药物,还详细记载了人体的血液、乳汁、精液及尿液等代谢物及排泄物的性质。综上所述,此阶段主要是客观地描述生物体的化学组成,故习惯称之为叙述生物化学阶段。20 世纪 20 年代,Summer 从刀豆中提纯了脲酶,并首次证明酶的化学本质为蛋白质,随后 Krebs 又公布了三羧酸循环的研究成果,这是糖、脂类及氨基酸氧化分解的多酶反应途径。接着,脂肪酸和核苷酸代谢等途径也相继被阐明。在此时期,我国生物化学家吴宪提出了蛋白质变性学说,创立了无蛋白血滤液的制备及血糖测定方法。纵观 20 世纪上半叶,人体内多种主要物质的代谢途径均已基本阐明,因此,将这一时期称为动态生物化学时期。20 世纪 40 年代,遗传学研究的突飞猛进,继而 50 年代初 DNA 分子双螺旋结构模型的提出及 60 年代遗传学中心法则的确定,可以认为生物化学已跨入机能生物化学阶段。而 70 年代重组 DNA 技术的诞生又是生物化学发展的更高阶段——分子生物学。目前,生物化学已成为一门重要的基础医学主干学科,并对临床医学产生越来越重要的影响。

## 二、生物化学的主要研究内容

### (一) 生物体的化学组成、结构与功能

生物体是由一定的物质成分按严格的规律和方式组织而成,即生物体由各种组织、器官和系统构成,细胞是组成各种组织和器官的基本单位。每个细胞又由成千上万种化学物质组成,其中包括无机物、小分子有机物和生物大分子等。小分子有机物主要包括氨基酸、有机酸、核苷酸、单糖及维生素等与体内物质代谢、能量代谢等密切相关的物质。生物大分子主要指蛋白质(包括

酶)、核酸、多糖及蛋白聚糖等,其相对分子质量大、结构复杂、种类多、功能各异。

## (二) 物质代谢及其调控

生命的基本特征为新陈代谢,又称物质代谢。人体内的物质代谢主要包括糖、脂类、蛋白质和无机盐等的代谢。物质代谢也包括机体与环境不断进行物质交换的过程。体内各种物质代谢都能按一定规律有条不紊地进行,各种代谢途径之间相互协调,同时也受到体内外环境多种因素的影响,随时调节以达到动态平衡。体内物质代谢的调节主要包括细胞水平的调节、激素的调节及神经-体液的调节等,使机体适应内外环境。

## (三) 遗传信息的储存与表达

生命现象的另一个重要特征就是生物体在繁衍个体的过程中,其遗传信息代代相传。DNA是生物遗传的物质基础,人体的遗传信息以基因为单位储存于DNA分子中。DNA通过复制、转录和翻译,分子中的遗传信息在细胞内合成各种功能蛋白质,此过程就是基因表达。从受精卵增殖、胚胎发育到个体成熟等过程都伴随细胞分裂增殖过程。而每一次细胞增殖都涉及DNA复制、转录和翻译及其调控。当今,生物化学的重点就是研究DNA复制、RNA转录及蛋白质生物合成等遗传信息传递过程的机制及基因表达时调控的规律。DNA重组、转基因及人类基因组计划等的发展,将极大推动这一领域的发展。

## 三、生物化学与医学的关系

生物化学是一门必修的基础医学课程,它的理论和技术已涉及基础医学及临床医学的各个学科,是现代医学发展的重要支柱。也是医学实践和医学研究的重要理论基础和技术手段。例如,生理学、病理学、药理学及遗传学等基础医学的研究均深入到分子水平,并应用生物化学的理论与技术解决了许多问题,由此产生了“分子病理学”、“分子药理学”、“分子遗传学”及“分子免疫学”等新学科。同样,临床医学的发展也经常运用生物化学的理论和技术来诊断、治疗疾病及探讨发病机制。生物化学的理论和技术大大加深了人们对心血管疾病、免疫性疾病及恶性肿瘤等重大疾病本质的认识。例如,通过测定血清酶及同工酶谱,分析血液化学成分,大大提高了疾病的诊断水平;尤其是基因诊断技术不仅用于遗传病的产前诊断,而且也用于一些感染性疾病的诊断及某些癌基因的检测等;一些生物药物和基因工程药物(如胰岛素)在治疗危害人类的新陈代谢病、抗病毒、抗肿瘤和疾病预防等方面都发挥了重要作用。因此,认真学好生物化学的基本知识,对今后深入学习其他基础医学、临床医学、预防医学及药学等课程,具有重要而深远的意义。

(万福生)

## 第二章 蛋白质的结构与功能

### 【学习目标】

1. 掌握蛋白质的分子组成、分子结构及其生理功能。
2. 熟悉组成蛋白质的基本单位——氨基酸的基本结构、分类及理化性质。
3. 掌握蛋白质的理化性质及分离纯化的常用方法。
4. 了解蛋白质结构与功能的关系。

蛋白质(protein)是生物体内含量最丰富、功能最多的生物大分子,它不仅是构成生物体的主要成分,也是各种生命活动的物质基础,几乎所有的生命现象都是蛋白质分子运动的结果。例如,生物体的重要特征——新陈代谢,离不开一大类具有催化活性的蛋白质——酶的催化;调节物质代谢的激素,多数是多肽或蛋白质;生物体内物质的运输和储存、协调运动、抵抗病原微生物的侵袭等功能都离不开蛋白质;在神经冲动的生成与传递,遗传信息的表达与调控等过程中,蛋白质也起到十分重要的作用。因此,在几乎所有的生命活动过程中,蛋白质都起着决定性的作用。

蛋白质的种类繁多,仅1个大肠杆菌内就有几千种蛋白质,在人体内约有10万种以上。这些蛋白质的结构各不相同,各有其特殊的功能,而蛋白质具有众多生物活性的基础就是结构的多样性。因此只有深入了解蛋白质的结构,才能更好地了解蛋白质的功能。本章主要介绍蛋白质的组成单位——氨基酸以及氨基酸如何构成蛋白质,蛋白质分子各种层次的结构,蛋白质结构与功能关系以及蛋白质理化性质,分离纯化的方法等。

### 第一节 蛋白质的化学组成

#### 一、蛋白质的元素组成

根据化学元素分析结果,证明组成蛋白质分子的元素主要有:碳(50%~55%)、氢(6%~8%)、氧(19%~24%)、氮(13%~19%)、硫(0%~4%)等。有的蛋白质还含少量的其他元素,如磷、铁、铜、锌、碘、硒等。

各种蛋白质中,氮元素的含量比较接近,平均为16%。因此,测出生物样品中氮元素的含量,再乘以16%的倒数6.25,即可求出蛋白质的大约含量:

$$\text{样品中蛋白质含量} = \text{样品含氮量} \times 6.25$$

#### 二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸

自然界所有蛋白质在酸、碱或蛋白酶的作用下,都可水解为各种氨基酸(amino acid),由此证

明蛋白质是由氨基酸构成的。组成人体蛋白质的基本氨基酸有 20 种,均属 L- $\alpha$ -氨基酸(甘氨酸除外),其结构通式为

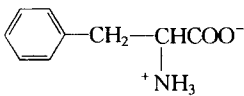
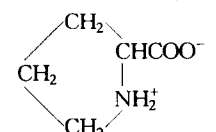
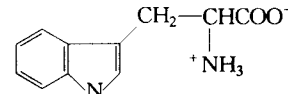
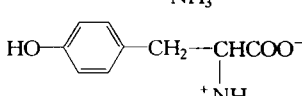


式中与—COOH 相连的为  $\alpha$ -碳原子,又称为不对称碳原子(甘氨酸除外)。连在  $\alpha$ -碳原子上的有  $\alpha$ -氨基、 $\alpha$ -羧基、R 基团和 H,不同氨基酸 R 侧链各异。

### (一) 氨基酸的分类

根据 R 基团的结构和理化性质的不同,将 20 种氨基酸分成四类(表 2-1)。

表 2-1 氨基酸分类

中文名	英文名	结构式	三字母符号	一字母符号	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	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\   \quad \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Ile	I	6.02
苯丙氨酸	phenylalanine		Phe	F	5.48
脯氨酸	proline		Pro	P	6.30
2. 极性中性氨基酸					
色氨酸	tryptophan		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		Tyr	Y	5.66

续表

中文名	英文名	结构式	三字母符号	一字母符号	等电点 (pI)
半胱氨酸	cysteine	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Cys	C	5.07
蛋氨酸	methionine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Met	M	5.74
天冬酰胺	asparagine	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Asn	N	5.41
谷氨酰胺	glutamine	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Gln	Q	5.65
苏氨酸	threonine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ \text{HO}-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Thr	T	5.60
3. 酸性氨基酸					
天冬氨酸	aspartic acid	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Asp	D	2.97
谷氨酸	glutamic acid	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Glu	E	3.22
4. 碱性氨基酸					
赖氨酸	lysine	$\begin{array}{c} \text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Lys	K	9.74
精氨酸	arginine	$\begin{array}{c} \text{NH} \\    \\ \text{NH}_2\text{CNHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Arg	R	10.76
组氨酸	histidine	$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\   \quad   \\ \text{N} \quad \text{NH} \\   \\ \text{C} \\   \\ \text{H} \end{array}$	His	H	7.59

1. 非极性氨基酸 此类氨基酸的 R 基团无极性,在水溶液中受到水分子排斥,可形成疏水键,这些 R 基团相互靠拢时有一种疏水作用使它们相互聚集。

甘氨酸的 R 侧链为 H, 无疏水性; 脯氨酸为亚氨基酸, 它的  $\alpha$ -氨基与 R 侧链末端碳原子形成环状, 但其亚氨基仍能与另一羟基形成肽键。

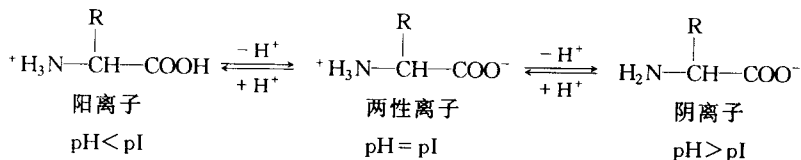
2. 极性中性氨基酸 此类氨基酸的 R 侧链为极性基团, 具有亲水性, 可与水形成氢键。但在生理条件下, 不能解离, 属于中性氨基酸。

3. 酸性氨基酸 此类氨基酸包含天冬氨酸和谷氨酸, 它们的侧链含有羧基, 在生理 pH 条件下, 能解离释放出  $H^+$  而带负电荷, 带负电荷的  $-COO^-$  可与带正电的离子或基团之间形成离子键。

4. 碱性氨基酸 此类氨基酸有 3 种。它们的侧链带有易接受  $H^+$  的基团而带上正电荷, 带正电荷的 R 基团可与带负电的离子或基团之间形成离子键。

## (二) 氨基酸的理化性质

1. 两性解离性质和等电点 所有氨基酸都含有碱性的  $\alpha$ -氨基和酸性的  $\alpha$ -羧基, 在酸性溶液中可与  $H^+$  结合成带正电荷的阳离子 ( $-NH_3^+$ ), 在碱性溶液中, 可与  $OH^-$  结合失去质子而成带负电荷的阴离子 ( $-COO^-$ ), 因此氨基酸为两性电解质。在一定 pH 条件下, 氨基酸解离成阴、阳离子趋势相等, 成为兼性离子, 净电荷为零, 此时溶液的 pH 称为该氨基酸的等电点 (isoelectric point, pI)。

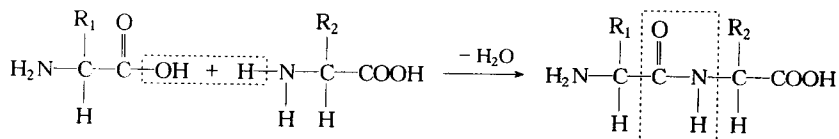


2. 紫外吸收性质 酪氨酸、色氨酸等芳香族氨基酸因含有带苯环的共轭双键系统, 在紫外波长 280 nm 附近有特征性吸收峰。蛋白质分子中含有这几种氨基酸, 所以蛋白质也具有紫外吸收性质。可以利用分光光度法测出蛋白质溶液在 280 nm 波长处的吸光度, 计算出溶液中蛋白质的含量。

3. 呈色反应 多数  $\alpha$ -氨基酸能与水合茚三酮共热生成蓝紫色化合物, 此化合物最大吸收峰在 570 nm 波长处, 不同氨基酸其紫色深浅不同; 脯氨酸则与茚三酮反应生成黄色化合物。可利用这一反应对氨基酸进行定性和定量分析。

## (三) 肽键与肽

1. 肽键 蛋白质分子中的氨基酸通过肽键相连。一个氨基酸的  $\alpha$ -羧基与另一个氨基酸的  $\alpha$ -氨基通过缩合脱去一分子水形成的键称为肽键 (peptide bond)。



肽键为共价键, 参与组成肽键的 6 个原子位于同一平面, 称肽键平面, 又叫肽单元 (图 2-1)。肽键 (C-N) 的键长为 0.132 nm, 介于单键长 (0.149 nm) 和双键长 (0.127 nm) 之间, 因此具有部分双键性质, 不能自由旋转。而与  $\alpha$ -碳原子相连的 N 和 C 所形成的化学键都是典型的单键, 可以自由旋转, 这是产生蛋白质空间结构的基础。

2. 肽 氨基酸通过肽键相连形成的化合物称为肽 (peptide)。由两个氨基酸生成的肽为二肽, 二肽再与另一分子氨基酸缩合生成三肽, 由此类推可生成四肽、五肽等。一般来说, 由十个以



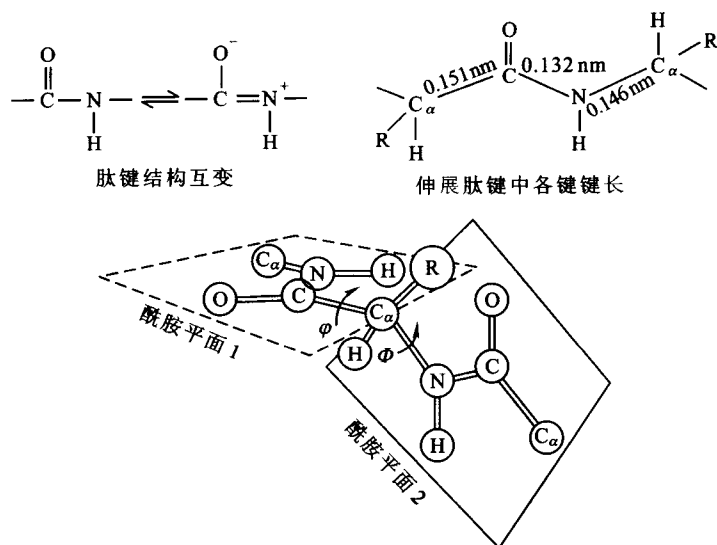


图 2-1 酰胺平面

内氨基酸相连而成的肽称为寡肽；十个以上氨基酸连成的肽称为多肽。在肽链中，氨基酸在形成肽键时丢失了一分子水，成为不完全的氨基酸，称为氨基酸残基。蛋白质是由许多氨基酸残基组成的多肽链。在实际应用中，蛋白质和多肽没有明确界线。通常把由 39 个氨基酸残基组成的促肾上腺皮质激素称为多肽，把含有 51 个氨基酸残基的胰岛素称为蛋白质。肽链中含游离  $\alpha$ -氨基的一端称为氨基末端(N 端)，含有游离  $\alpha$ -羧基的一端称为羧基末端(C 端)。书写时，习惯上把 N 端写在左侧，C 端写在右侧，氨基酸编号依次从 N 端向 C 端排列，即肽链的方向为 N→C。

3. 生物活性肽 在人体内存在一些具有重要生理功能的小分子肽，称为生物活性肽，如谷胱甘肽、促甲状腺素释放激素(TRH)等。

谷胱甘肽(glutathione, GSH)是由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸组成的三肽。第一个肽键是通过谷氨酸的  $\gamma$ -羧基与半胱氨酸的  $\alpha$ -氨基形成，与一般肽键不同(图 2-2)。分子中含有一个 -SH 基，是重要的功能基团。GSH 是体内重要的还原剂，可中和体内产生的过多的  $H_2O_2$  和体外来源的氧化剂，保护蛋白质分子中的 -SH 免遭氧化，使蛋白质或酶处于活性状态；GSH 分子中的巯基还有嗜核特征，它能给出电子与外源的嗜电子毒物如致癌剂或药物等结合，从而避免这些化合物与 DNA, RNA 和蛋白质结合，以保护机体免遭毒物损害。

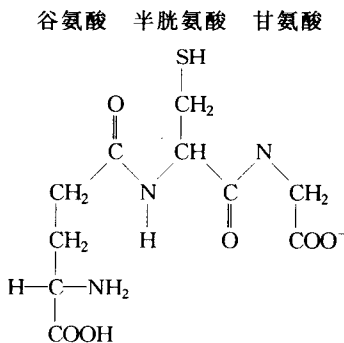


图 2-2 谷胱甘肽