



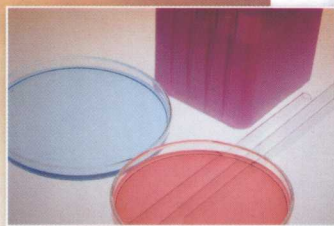
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
全国高等学校医学规划教材

(供临床医学、护理、药学、医学技术类专业使用)

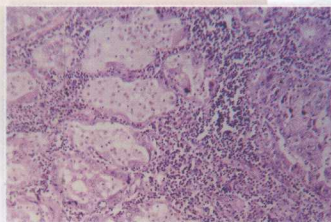
# 生物化学

(第二版)

主编 程牛亮



NLIC2970757888



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

全国高等学校医学规划教材

(供临床医学、护理、药学、医学技术类专业使用)

# 生物化学

Shengwu Huaxue

(第二版)

主 编 程牛亮

副主编 张祖珣 解 军

编 者 (以姓氏拼音为序)

蔡文秀 福建医科大学

程牛亮 山西医科大学

刘玉庆 济宁医学院

李旭姓 北华大学

孙 琦 浙江医学高等专科学校

吴耀生 广西医科大学

解 军 山西医科大学

于保锋 山西医科大学

张祖珣 首都医科大学

周素芳 广西医科大学



NLIC 2970757888



高等教育出版社·北京  
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

## 内容提要

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书共4篇17章。第一篇为生物大分子部分,介绍蛋白质、核酸及酶的结构与功能;第二篇为物质的代谢部分,介绍糖、脂质、氨基酸及核苷酸的代谢与调节以及物质代谢过程中能量产生的方式与过程;第三篇为信息传递部分,介绍基因信息传递以及细胞信号转导的分子基础、转导途径与作用;第四篇为专题篇,介绍与临床医学密切相关的血液生物化学、肝的生物化学、维生素、水和无机盐代谢、酸碱平衡以及分子生物学常用技术原理和应用。

本书可供临床医学、护理、药学、医学技术等专业专科生使用,亦可供与医学相关的四年制本科生使用。

## 图书在版编目(CIP)数据

生物化学/程牛亮主编. —2版. —北京:高等教育出版社,2011.1

供临床医学、护理、药学、医学技术类专业使用

ISBN 978-7-04-030914-0

I. ①生… II. ①程… III. ①生物化学-医学院校-教材 IV. ①Q5

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第221130号

策划编辑 夏宇 责任编辑 田军 封面设计 于涛  
责任绘图 尹莉 版式设计 马敬茹 责任校对 王效珍  
责任印制 刘思涵

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 100120

经销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印刷 北京人卫印刷厂

开本 787×1092 1/16  
印张 21.5  
字数 520 000

购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598  
网址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landracom.com>  
<http://www.landracom.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2005年7月第1版  
2011年1月第2版  
印次 2011年1月第1次印刷  
定价 34.00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

物料号 30914-00

## 第二版前言

生物化学是一门重要的医学基础课,近年来发展迅速,新知识、新技术不断涌现。为适应我国高等医学教育改革与发展的需要,培养符合我国卫生事业发展的医学人才,根据教育部对教育改革、教材更新提出的要求,针对高职高专医学教育培养的对象与培养目标,我们在第一版的基础上,增加最新进展内容,编写完成本教材,供临床医学、药学、护理学、医学影像、医学检验等专业的学生使用。

本教材共4篇17章。第一篇为生物大分子部分,介绍蛋白质、核酸及酶的结构与功能;第二篇为物质的代谢部分,介绍糖、脂质、氨基酸及核苷酸的代谢与调节,以及物质代谢过程中能量产生的方式与过程;第三篇为信息传递部分,介绍基因信息传递以及细胞信号转导的分子基础、转导途径与作用;第四篇为专题篇,介绍与临床医学密切相关的血液生物化学、肝的生物化学、维生素、水和无机盐代谢、酸碱平衡以及分子生物学常用技术原理和应用。

本教材的主要特点是结合高职高专医学专业学生的学习和今后工作以及升学需要,所设章节涵盖的知识面较全,既注重基本知识和基本理论的传授,又适当地更新和增添新内容;抽象和繁杂的内容辅以简明的图表,每章文末附有全章小结和复习思考题,以利于学生学习掌握主要内容;书中语言力求精练易懂,不加大篇幅。

本教材由来自不同医学院校长期从事生物化学课程教学工作的10位编者参编,集体讨论并拟订编写大纲,按熟悉领域分工撰写,主编、副主编审阅修改而完成。限于编者学术水平有限,书中难免有错误和不足之处,敬请同行专家、学生和读者予以批评指正。

程牛亮

2010年10月

# 目 录

|          |   |
|----------|---|
| 绪论 ..... | 1 |
|----------|---|

## 第一篇 生物大分子

|                              |    |                        |    |
|------------------------------|----|------------------------|----|
| 第一章 蛋白质的结构与功能 .....          | 7  | 第三节 RNA 的分子结构与功能 ..... | 37 |
| 第一节 蛋白质的分子组成 .....           | 7  | 第四节 核酸的理化性质 .....      | 41 |
| 第二节 蛋白质的分子结构 .....           | 11 | 第五节 核酸酶 .....          | 42 |
| 第三节 蛋白质的结构与功能的<br>关系 .....   | 18 | 第六节 核酸序列分析 .....       | 43 |
| 第四节 蛋白质的理化性质及其<br>分离纯化 ..... | 22 | 第三章 酶 .....            | 46 |
| 第五节 蛋白质的分类 .....             | 27 | 第一节 酶是生物催化剂 .....      | 46 |
| 第二章 核酸的结构与功能 .....           | 31 | 第二节 酶的分子组成、结构与功能 ..... | 49 |
| 第一节 核酸的化学组成 .....            | 31 | 第三节 酶促反应动力学 .....      | 55 |
| 第二节 DNA 的分子结构与功能 .....       | 35 | 第四节 酶的命名与分类 .....      | 63 |
|                              |    | 第五节 酶在医学上的应用 .....     | 64 |

## 第二篇 代谢及其调节

|                    |     |                        |     |
|--------------------|-----|------------------------|-----|
| 第四章 糖代谢 .....      | 71  | 第二节 线粒体氧化体系 .....      | 127 |
| 第一节 概述 .....       | 71  | 第三节 ATP 的生成和储存利用 ..... | 133 |
| 第二节 糖类的分解代谢 .....  | 73  | 第四节 非线粒体氧化体系 .....     | 138 |
| 第三节 糖原的合成与分解 ..... | 84  | 第七章 蛋白质分解与氨基酸代谢 .....  | 141 |
| 第四节 糖异生作用 .....    | 88  | 第一节 蛋白质的营养作用 .....     | 141 |
| 第五节 血糖及其调节 .....   | 91  | 第二节 蛋白质的消化、吸收和腐败 ..... | 143 |
| 第五章 脂质代谢 .....     | 95  | 第三节 氨基酸的一般代谢 .....     | 145 |
| 第一节 概述 .....       | 95  | 第四节 氨的代谢 .....         | 150 |
| 第二节 甘油三酯的代谢 .....  | 96  | 第五节 个别氨基酸代谢 .....      | 154 |
| 第三节 磷脂的代谢 .....    | 107 | 第八章 核苷酸代谢 .....        | 163 |
| 第四节 胆固醇代谢 .....    | 112 | 第一节 核酸的消化与吸收 .....     | 163 |
| 第五节 血脂与血浆脂蛋白 ..... | 116 | 第二节 嘌呤核糖核苷酸的代谢 .....   | 164 |
| 第六章 生物氧化 .....     | 124 | 第三节 嘧啶核糖核苷酸的代谢 .....   | 169 |
| 第一节 概述 .....       | 124 | 第四节 脱氧核糖核苷酸的合成 .....   | 172 |

## 第三篇 基因信息的传递

|                     |     |
|---------------------|-----|
| 第九章 基因信息的传递 .....   | 177 |
| 第一节 概述 .....        | 177 |
| 第二节 DNA 的生物合成 ..... | 178 |
| 第三节 DNA 突变与修复 ..... | 184 |
| 第四节 RNA 的生物合成 ..... | 188 |
| 第五节 蛋白质的生物合成 .....  | 194 |
| 第六节 基因表达的调控 .....   | 203 |
| 第七节 基因工程 .....      | 209 |
| 第十章 癌基因与抑癌基因 .....  | 218 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第一节 原癌基因与癌基因 .....    | 218 |
| 第二节 抑癌基因 .....        | 221 |
| 第三节 生长因子 .....        | 223 |
| 第十一章 细胞信号转导 .....     | 226 |
| 第一节 细胞外化学信号 .....     | 226 |
| 第二节 受体 .....          | 228 |
| 第三节 细胞内信号转导相关分子 ..... | 231 |
| 第四节 主要信号转导途径 .....    | 232 |
| 第五节 细胞信号转导异常与疾病 ..... | 237 |

## 第四篇 专 题 篇

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第十二章 血液生物化学 .....     | 241 |
| 第一节 概述 .....          | 241 |
| 第二节 血浆的组成成分 .....     | 241 |
| 第三节 红细胞的代谢 .....      | 244 |
| 第十三章 肝的生物化学 .....     | 248 |
| 第一节 肝的物质代谢特点 .....    | 248 |
| 第二节 肝的生物转化作用 .....    | 250 |
| 第三节 胆汁与胆汁酸的代谢 .....   | 256 |
| 第四节 胆色素的代谢 .....      | 259 |
| 第十四章 维生素 .....        | 266 |
| 第一节 概述 .....          | 266 |
| 第二节 脂溶性维生素 .....      | 267 |
| 第三节 水溶性维生素 .....      | 272 |
| 第十五章 水和无机盐代谢 .....    | 283 |
| 第一节 体液 .....          | 283 |
| 第二节 水和无机盐的生理功能 .....  | 285 |
| 第三节 水和无机盐的代谢及调节 ..... | 287 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第四节 钙磷代谢 .....            | 290 |
| 第五节 微量元素 .....            | 292 |
| 第十六章 酸碱平衡 .....           | 299 |
| 第一节 体内酸性和碱性物质的来源 .....    | 299 |
| 第二节 酸碱平衡的调节 .....         | 300 |
| 第三节 酸碱平衡紊乱 .....          | 307 |
| 第十七章 分子生物学常用技术原理及应用 ..... | 312 |
| 第一节 分子杂交与印迹技术 .....       | 312 |
| 第二节 聚合酶链反应 .....          | 315 |
| 第三节 酵母双杂交技术 .....         | 318 |
| 第四节 RNA 干扰技术 .....        | 320 |
| 第五节 基因打靶技术 .....          | 321 |
| 第六节 生物芯片技术 .....          | 323 |
| 第七节 基因诊断与基因治疗 .....       | 324 |

|              |     |
|--------------|-----|
| 主要参考资料 ..... | 328 |
| 英汉名词对照 ..... | 330 |

# 绪 论

生物化学(biochemistry)是研究生物体的化学组成和生命活动过程中化学变化规律的一门学科,并从分子水平揭示各种生命现象的本质。生物化学主要研究生物大分子的结构与功能、物质代谢与调节以及生物信息传递的物质基础和调控规律,其研究主要采用各种化学的理论与方法,但也融入了物理学、生物学、微生物学、遗传学及免疫学等理论和技术,而且与其他医学学科有着广泛的联系与交叉。

## 一、生物化学研究的主要内容

### (一) 生物大分子的结构与功能

生物体是由许多复杂的化学成分按一定规律和方式组成的。组成生物体的化学成分包括无机物、小分子有机物和生物大分子。无机物包括钾、钠、氯、钙、磷、铁、镁、铜等元素。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。生物大分子主要指蛋白质、酶、核酸以及多糖等。

体内的生物大分子种类多,结构复杂,而且功能各异,相对分子质量一般都在  $10^4$  以上。其基本结构具有一定的规律性,都是由基本组成单位按一定顺序和方式连接形成。例如,蛋白质的基本结构是由其基本组成单位氨基酸通过肽键连接形成;核酸的基本结构是由其基本组成单位核苷酸通过磷酸二酯键连接形成。生物大分子是当代生物化学研究的重点内容之一,除了对其结构进行研究外,更重要的是研究其结构与功能的关系及大分子间的相互识别和相互作用。

### (二) 物质代谢与调控

新陈代谢是生物体生命活动的基本特征,也是生物化学研究最基本、最重要的内容。生物体在生命活动过程中,要与外界环境进行物质交换,不断摄取营养物质,如葡萄糖、脂质、氨基酸、维生素及无机盐等,与此同时,体内的固有成分又不断分解成代谢废物,如  $\text{CO}_2$ 、尿酸、尿素等排出体外。因此,正常的物质代谢是正常生命过程的必要条件,如果物质代谢发生紊乱则可引起疾病。体内几乎所有的代谢过程都是在酶的催化下进行的,酶结构和酶含量的变化对物质代谢的调节起着重要的作用。物质代谢的调节十分复杂,不仅具有细胞水平的调节,而且具有激素和神经系统水平的调节。

### (三) 生物信息的传递与调控

生物大分子的重要特征之一是具有信息功能,DNA 是遗传信息的储存者,基因是 DNA 分子中具有生物学功能的片段;RNA 是遗传信息的传递者,转录了 DNA 分子上基因的指令;蛋白质则是基因表达的产物,是遗传信息的体现者。研究遗传物质的复制、转录和翻译机制及基因表达的调控规律,不仅对于认识遗传、变异、生长、分化等诸多生命过程重要,而且对于揭示遗传病、恶性肿瘤、心血管病、免疫系统疾病等发病机制也具有重要价值。在分子水平上研究疾病与基因或其表达产物的关系及有关药物的作用机制是当前医学生物化学研究的重要内容。

## 二、生物化学的发展简史

生物化学是一门比较年轻的学科,直到 20 世纪初才发展成为一门独立的学科。1903 年德国化学家 Carl Neuberg 首先提出“生物化学”这一名词。从此生物化学脱离有机化学和生理学的范畴。虽然对生物化学的研究可追溯至 18 世纪或更遥远的时代,但重大进展和突破主要是近 50 年取得的。

我国古代劳动人民为生物化学的诞生做出了积极的贡献。早在公元前 21 世纪,我国人民已能造酒。公元 12 世纪,已能制酱、制醋,这些都是用“曲”做媒(即酶)用于饮食加工的实践。公元 9~10 世纪,古人已知道用蛋白质沉淀的方法制豆腐。在医药方面,春秋战国时期已利用神曲治疗消化道疾病,现已知神曲中含有淀粉酶和丰富的维生素 B<sub>1</sub>。晋代已用含碘丰富的海带、海藻、紫菜治疗“瘰”,即地方性甲状腺肿。唐期的孙思邈用富含维生素 A 的动物肝治疗夜盲症。明朝李时珍的《本草纲目》中,不仅记载了 1 800 多种药物,还详细记载了人体的血液、精液及尿液等代谢及排泄物的性质。

近代生物化学的发展,欧洲处于领先地位。18 世纪中叶至 20 世纪初主要研究了生物体内的化学组成。对糖、脂质、氨基酸的组成及其性质进行了较为系统的研究,而且发现了核酸,确定了蛋白质是由小分子的氨基酸通过肽键连接。通过对发酵过程的研究,认识到酶的催化作用,奠定了酶学的基础。

20 世纪前半叶生物化学蓬勃发展。期间最重要的贡献包括确定了糖酵解过程、脂肪酸  $\beta$ -氧化、三羧酸循环和尿素合成途径,发现了多种维生素、多种激素及必需脂肪酸和必需氨基酸,制备了结晶脲酶并首次证实酶的化学本质是蛋白质。20 世纪后半叶生物化学发展的特征是分子生物学的崛起。1951 年 Pauling 提出蛋白质的  $\alpha$ -螺旋二级结构;1953 年 Sanger 完成了牛胰岛素的全部氨基酸序列分析,更具里程碑意义的是 Watson 和 Crick 于 1953 年提出的 DNA 双螺旋结构模型,为揭示遗传信息的传递规律奠定了基础。1958 年 Messelson 和 Stahl 证实了 DNA 的合成过程为半保留复制。1965 年我国生物化学工作者采用人工合成法首次合成了具有生物活性的蛋白质——结晶牛胰岛素。70 年代重组 DNA 技术的建立不仅促进了对基因表达调控机制的研究,而且使人们主动改造生物体成为可能,使基因工程产品,如人胰岛素、干扰素、生长因子等不断问世,并用于临床。基因诊断与基因治疗也是重组 DNA 技术在医学领域应用的重要方面。1996 年克隆绵羊 Dolley 的降生,为其他哺乳动物和组织与器官的克隆开拓了广阔前景。2000 年由我国和美、英、法、德、日六国共同参与的人类基因组结构草图的完成,标志着人类对自身遗传、变异、生长、衰老、疾病和死亡的认识发生了质的飞跃。

## 三、生物化学与医学的关系

生物化学与医学的关系非常密切,其理论和技术涉及基础医学与临床医学的各个学科。例如,生理学、药理学、遗传学、免疫学及病理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各学科的问题,由此产生了“分子药理学”、“分子遗传学”、“分子免疫学”、“分子病理学”等新学科。

随着现代医学的发展,越来越多地将生物化学的理论和技术应用于疾病的诊断、治疗和预防,而且许多疾病的发病机制需要从分子水平加以探讨。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。由于基因突变,导致遗传性酶缺陷或酶结构和酶活性异常而造成代谢障碍或紊乱的疾病,称先天性代谢缺陷病。如白化病是因缺乏酪氨酸酶所致,苯丙酮酸尿症是因缺乏苯丙氨酸羟化酶所致。癌基因的发现,证明它在正常情况下并不引起细胞癌变,只有在某些理化因素或病毒等因素的作用下,才被激活而导致细胞癌变,这为最终根治恶性肿瘤奠定了基础。基因工程药物的研究开发和大量生产,在疾病的治疗和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都具有重要而深远的意义。



# 第一篇

## 生物大分子



# 第一章 蛋白质的结构与功能

生物体的主要构件成分——蛋白质(protein),是极其重要的生物大分子,其含量几乎占细胞干重的一半。蛋白质分子是生物体内一切生命活动的物质基础。在物质的体内分解与合成、物质的运输、肌肉收缩、抵御病原体的侵袭、生物信息的传递、基因的表达与调控等各种生命活动中,蛋白质分子无不起着十分重要的作用。由此可见,蛋白质在生物体的生长、发育、衰老及死亡等各种生命过程中都是必不可少的。

蛋白质的种类繁多,一个真核细胞有数千种蛋白质,但他们的功能又各自不同。蛋白质的功能是由其结构决定的,要切实了解蛋白质的功能,首先必须深入研究其结构。本章首先介绍蛋白质的分子组成,进而讨论其平面与空间结构,最后阐述蛋白质结构与功能的关系及蛋白质的主要理化性质等。

## 第一节 蛋白质的分子组成

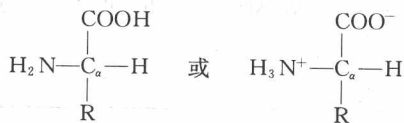
### 一、蛋白质的元素组成

组成蛋白质分子的主要化学元素有 C(50%~55%)、O(19%~24%)、N(13%~19%)、H(6%~8%)和 S(0~4%)。另外有些蛋白质还含有少量的 P、I、Fe、Zn、Cu、Mn、Mo、Co 等。无论何种生物,各种蛋白质中所含的氮都很接近,平均约为 16%。由于蛋白质是各种生物体内的主要含氮物,蛋白质以外的其他含氮物质,其含氮量都很低,可忽略不计,因此,只要测定生物样品中含氮量,就可以估算出该样品中蛋白质的含量。在食品营养成分分析中,蛋白质含量习惯上以每 100 g 样品中蛋白质的质量(g)来表示。

蛋白质含量(g/100 g 样品)=每克样品含氮质量(g)×6.25×100

### 二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸

蛋白质水解的最终产物为氨基酸(amino acid, AA)。可见氨基酸是蛋白质的基本组成单位。生物界中天然存在的氨基酸不下 300 种,但构成人体蛋白质的氨基酸只有 20 种,除甘氨酸外,都属于 L- $\alpha$ -氨基酸,其结构通式为:



式中与—COOH 相连的碳原子称为  $\alpha$ -碳原子。20 种氨基酸中除甘氨酸外,其他氨基酸的

$\alpha$ -碳原子都是不对称碳原子;除脯氨酸外,在 $\alpha$ -碳原子上都连有一个氨基,而脯氨酸 $\alpha$ -碳原子上连结的是亚氨基,故脯氨酸被称为亚氨基酸。20种氨基酸的侧链基团(称R基)互不相同,这也是它们的理化性质差异所在。

生物界中亦存在D-氨基酸。不过,其来源较局限,数量也不多。D-氨基酸大都存在于细菌细胞壁、某些微生物产生的抗生素及某些植物的生物碱中。

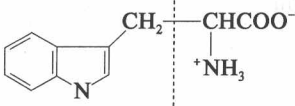
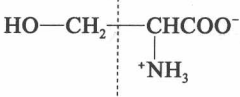
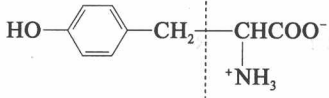
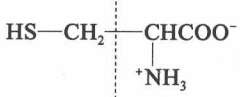
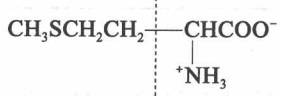
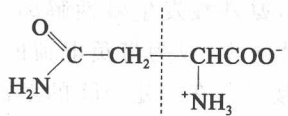
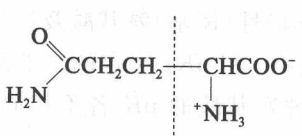
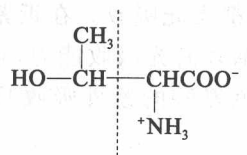
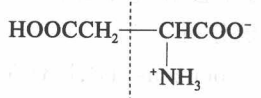
### (一) 氨基酸的分类

根据氨基酸侧链基团的结构和理化性质,可将20种氨基酸分为四类:①非极性疏水性氨基酸,②极性中性氨基酸,③酸性氨基酸,④碱性氨基酸(表1-1)。

表1-1 氨基酸分类

| 结构式(虚线左侧为R基)                                                                                                                                                  | 中文名  | 英文名           | 三字符号 | 一字符号 | 等电点(pI) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|------|------|---------|
| 1. 非极性疏水性氨基酸                                                                                                                                                  |      |               |      |      |         |
| $\begin{array}{c} \text{H} - \text{CHCOO}^- \\   \\ \text{+NH}_3 \end{array}$                                                                                 | 甘氨酸  | glycine       | Gly  | G    | 5.97    |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CHCOO}^- \\   \\ \text{+NH}_3 \end{array}$                                                                              | 丙氨酸  | alanine       | Ala  | A    | 6.00    |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CHCOO}^- \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{+NH}_3 \end{array}$                                        | 缬氨酸  | valine        | Val  | V    | 5.96    |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{CHCOO}^- \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{+NH}_3 \end{array}$                          | 亮氨酸  | leucine       | Leu  | L    | 5.98    |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CHCOO}^- \\   \quad   \\ \text{CH}_3 \quad \text{+NH}_3 \end{array}$                          | 异亮氨酸 | isoleucine    | Ile  | I    | 6.02    |
| $\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}_2 - \text{CHCOO}^- \\   \\ \text{+NH}_3 \end{array}$                                                       | 苯丙氨酸 | phenylalanine | Phe  | F    | 5.48    |
| $\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ / \quad \backslash \\ \text{CH}_2 \quad \text{CHCOO}^- \\ \backslash \quad / \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH}_2^+ \end{array}$ | 脯氨酸  | proline       | Pro  | P    | 6.30    |

续表

| 结构式(虚线左侧为 R 基)                                                                      | 中文名  | 英文名           | 三字符号 | 一字符号 | 等电点 (pI) |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|------|------|----------|
| 2. 极性中性氨基酸                                                                          |      |               |      |      |          |
|    | 色氨酸  | tryptophan    | Trp  | W    | 5.89     |
|    | 丝氨酸  | serine        | Ser  | S    | 5.68     |
|    | 酪氨酸  | tyrosine      | Tyr  | Y    | 5.66     |
|    | 半胱氨酸 | cysteine      | Cys  | C    | 5.07     |
|   | 甲硫氨酸 | methionine    | Met  | M    | 5.74     |
|  | 天冬酰胺 | asparagine    | Asn  | N    | 5.41     |
|  | 谷氨酰胺 | glutamine     | Gln  | Q    | 5.65     |
|  | 苏氨酸  | threonine     | Thr  | T    | 5.60     |
| 3. 酸性氨基酸                                                                            |      |               |      |      |          |
|  | 天冬氨酸 | aspartic acid | Asp  | D    | 2.97     |

续表

| 结构式(虚线左侧为 R 基)                                                                                                                                                                                                                         | 中文名 | 英文名           | 三字符号 | 一字符号 | 等电点 (pI) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|---------------|------|------|----------|
| $\text{HOOCCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^-$ $\quad \quad \quad  $ $\quad \quad \quad \text{NH}_3^+$                                                                                                                                    | 谷氨酸 | glutamic acid | Glu  | E    | 3.22     |
| 4. 碱性氨基酸                                                                                                                                                                                                                               |     |               |      |      |          |
| $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^-$ $\quad \quad \quad  $ $\quad \quad \quad \text{NH}_3^+$                                                                                                       | 赖氨酸 | lysine        | Lys  | K    | 9.74     |
| $\begin{array}{c} \text{NH} \\    \\ \text{NH}_2\text{CNHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2- \end{array} \text{CHCOO}^-$ $\quad \quad \quad  $ $\quad \quad \quad \text{NH}_3^+$                                                              | 精氨酸 | arginine      | Arg  | R    | 10.76    |
| $\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2- \\   \quad   \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \\   \\ \text{H} \end{array} \text{CHCOO}^-$ $\quad \quad \quad  $ $\quad \quad \quad \text{NH}_3^+$ | 组氨酸 | histidine     | His  | H    | 7.59     |

## (二) 氨基酸的理化性质

1. 两性解离及等电点 20 种氨基酸都含有能释放  $\text{H}^+$  的  $\alpha$ -羧基和能接受  $\text{H}^+$  的  $\alpha$ -氨基, 因此它们都是两性电解质, 具有两性解离的特性。在酸性溶液中, 氨基酸发生碱性解离, 成为带正电荷的氨基酸阳离子。相反, 在碱性溶液中, 氨基酸则进行酸性解离, 成为带负电荷的氨基酸阴离子。氨基酸解离方式和解离度大小取决于其所处溶液的酸碱度。在一定 pH 的溶液中, 某种氨基酸酸性解离和碱性解离趋势和程度相等, 成为兼性离子, 氨基酸分子所带的净电荷为零, 此时溶液的 pH 称为该氨基酸的等电点(isoelectric point, pI)。非极性(R 基)氨基酸及极性中性(R 基)氨基酸的 pI 是由  $\alpha$ -羧基和  $\alpha$ -氨基的解离常数的负对数  $\text{p}K_1$  和  $\text{p}K_2$  决定的。而酸性氨基酸和碱性氨基酸, 其 pI 的大小分别取决于  $\text{p}K_1$ 、 $\text{p}K_2$ 。由于各种氨基酸的  $\text{p}K$  各不相同, 所以氨基酸的 pI 也不相同。

2. 紫外吸收性质 组成蛋白质的 20 种氨基酸, 在可见光区都无光吸收。在近紫外区( $\lambda = 220 \sim 300 \text{ nm}$ ), 只有具共轭双键结构的酪氨酸、色氨酸和苯丙氨酸才有光吸收能力, 它们的最大吸收波长( $\lambda_{\text{max}}$ )分别是 278 nm、279 nm 和 259 nm。酪氨酸和色氨酸的紫外吸收特性( $\lambda_{\text{max}} \approx 280 \text{ nm}$ )是紫外分光光度法测定蛋白质浓度的依据。

3. 呈色反应  $\alpha$ -氨基酸能与水合茚三酮反应生成紫色化合物。脯氨酸和羟脯氨酸与水合茚三酮反应形成黄色化合物。利用这一呈色反应可对氨基酸进行定性和定量分析。此外, 酪氨酸与酚试剂反应生成蓝色化合物, 也常常用于蛋白质的定性或定量分析。

氨基酸分子的  $\alpha$ -氨基与 2,4-二硝基氟苯(2,4-dinitrofluorobenzene, DNFB)在弱碱性溶液中作用生成黄色的二硝基苯基氨基酸(DNP 氨基酸)。这一呈色反应可用来鉴定多肽或蛋白

质的末端氨基,因而可用于多肽或蛋白质中氨基酸序列测定。

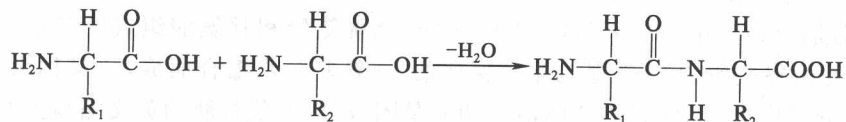
## 第二节 蛋白质的分子结构

许多氨基酸通过特定的共价键——肽键连接而成的链状大分子,称为多肽链。蛋白质分子由一条或多条多肽链构成。天然蛋白质分子不是走向随机、结构松散的线性肽链,而是有序的具有不同层次的三维空间结构(构象)。只有具有一定空间构象的蛋白质,才有生物活性和生理功能。

### 一、肽键与肽

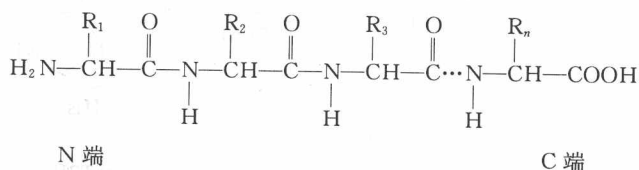
#### (一) 肽键与肽

蛋白质分子中氨基酸连接的基本方式是肽键(peptide bond): $-\text{CO}-\text{NH}-$ 。这是由一个 $\alpha$ -氨基酸的 $\alpha$ -羧基和另一个 $\alpha$ -氨基酸的 $\alpha$ -氨基脱去一分子水缩合形成的键。



肽键与一般酰胺键一样,具有高度稳定性,但在键长和电离性等性质上又不同于一般的酰胺键。在肽键中, $\text{C}-\text{N}$ 单键具有部分(约40%)双键的性质, $\text{C}=\text{O}$ 双键具有部分(约40%)单键性质。因而,导致两个重要结果的产生:① 肽键中的亚氨基( $-\text{NH}-$ )在所有的pH范围内(pH 0~14),没有明显的解离和质子化倾向;② 肽键中的 $\text{C}-\text{N}$ 键具有双键性质,不能自由旋转。这些性质对于刚性的肽键平面的形成和肽链折叠成空间结构(构象)都是非常重要的。

氨基酸之间借肽键连接而成的化合物称为肽(peptide)。最简单的肽是二肽,它由两个氨基酸组成,其中包含一个肽键。依此类推,含有三个、四个、五个等氨基酸组成的肽分别称为三肽、四肽、五肽等。由10个以下氨基酸连接而成的肽称为寡肽(oligopeptide),由更多的氨基酸连接而成的肽称为多肽(polypeptide)。蛋白质和多肽二者没有严格的区别,它们都是氨基酸的高分子聚合物,很难在分子量上划出明确界限。在实际应用中,习惯上,将含有51个氨基酸残基相对分子质量为5700的胰岛素称为蛋白质,而把含少于51个氨基酸残基的氨基酸聚合物称为多肽。例如,含有39个氨基酸残基的促肾上腺皮质激素就常常被称为多肽,而不叫做蛋白质。多肽分子因其形状像一条链,故亦称为多肽链。多肽链是蛋白质分子最基本的结构。由 $n$ 个氨基酸组成的多肽,其简略结构式可表示为:



氨基酸脱水形成肽链时已不再是完整的分子,故称为氨基酸残基(amino acid residue)。在书写肽链时,习惯上将含有自由 $\alpha$ -氨基的一端即氨基末端(简称N端)写在左边;将含有自由 $\alpha$ -