

高职高专医药类相关专业规划教材

◎ 供专科医学及相关专业用

SHENGWU HUAXUE

生物化学

主 编 / 朱 霖
副主编 / 戚良成 胡玲玲

APCTIME

时代出版传媒股份有限公司
安徽科学技术出版社

教育部高等学校生物化学与分子生物学专业教学指导委员会
规划教材

生物化学

第2版
王镜岩 主编



高职高专医药类相关专业规划教材

●供专科医学及相关专业用

SHENGWU HUAXUE
生物化学

■ 主 编 朱 霖
副主编 戚良成 胡玲玲
编 者 (以姓氏笔画为序)

闫 波 (安徽医学高等专科学校)
朱 霖 (安徽医学高等专科学校)
余元勋 (安徽医学高等专科学校)
吴晓健 (铜陵职业技术学院)
李 红 (安庆医药高等专科学校)
李建平 (安徽医学高等专科学校)
杜 江 (巢湖职业技术学院)
杨爱红 (淮北职业技术学院)
金灿灿 (淮北职业技术学院)
胡玲玲 (安徽医学高等专科学校)
戚良成 (安庆医药高等专科学校)

APCTIME
时代出版

时代出版传媒股份有限公司
安徽科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

生物化学/朱霖主编. —合肥:安徽科学技术出版社,
2009.9

ISBN 978-7-5337-4483-0

I. 生… II. 朱… III. 生物化学-高等学校:技术学
校-教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 131495 号

生物化学

朱 霖 主编

出 版 人:黄和平

责任编辑:何宗华 胡凌飞

封面设计:朱 婧

出版发行:安徽科学技术出版社(合肥市政务文化新区圣泉路 1118 号
出版传媒广场,邮编:230071)

电 话:(0551)3533330

网 址:www.ahstp.net

E-mail:yougoubu@sina.com

经 销:新华书店

排 版:安徽事达科技贸易有限公司

印 刷:合肥义兴印务有限责任公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:13

字 数:293 千

版 次:2009 年 9 月第 1 版 2009 年 9 月第 1 次印刷

定 价:26.00 元

(本书如有印装质量问题,影响阅读,请向本社市场营销部调换)

前 言

本书编写的指导思想是以专业培养目标为导向,以职业技能培养为根本,强调基本理论、基本知识和基本技能,强调思想性、科学性、先进性、启发性和适用性,力求体现高等卫生职业教育、医学高等专科学校教育的特色,以适应医药卫生高等技术应用型人才培养的需要。

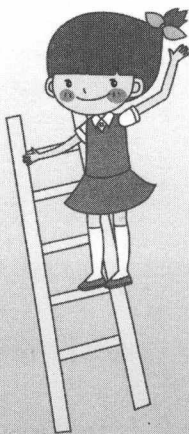
本书为高等职业教育护理专业及其他医学相关专业的生物化学教材,主要介绍生物化学的基本知识,以及某些与医学相关的生物化学进展。全书分四个部分,共 13 章。第一部分是生物大分子的结构与功能,包括蛋白质的结构与功能、核酸的结构与功能以及酶;第二部分是物质代谢,包括糖代谢、脂类代谢、生物氧化、氨基酸代谢、核苷酸代谢;第三部分是专题篇,包括肝的生物化学、水和无机盐代谢以及酸碱平衡;第四部分是基因信息的传递,包括 DNA 的复制、RNA 的转录、蛋白质的生物合成、基因表达的调控和基因工程。

本书在编写内容上突出了“必需、够用”的原则,着重介绍本学科的基本概念和基本理论,简要介绍了与本学科相关的医学科学中的新进展。在各章的最后都有“本章小结”和“复习思考题”,旨在帮助学生掌握各章的难点和重点。本书正文后附有主要参考资料,可供学生进一步学习。

本书由全省医学高等专科学校及高等职业技术学校的生物化学教师编写。在编写过程中,得到了有关学校领导的大力支持,在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限,加之时间仓促,本书的不足和遗漏在所难免。敬请同行专家和使用本书的师生给予批评指正。

编 者



目 录

第一章 绪 论	1
第一节 生物化学发展简史	1
第二节 生物化学的研究内容及意义	2
第三节 生物化学与医学	3
第二章 蛋白质化学	4
第一节 蛋白质的分子组成	4
第二节 蛋白质的结构与功能	10
第三节 蛋白质的理化性质	16
第四节 蛋白质的分类	20
本章小结	21
复习思考题	21
第三章 核酸化学	24
第一节 核酸的化学组成	24
第二节 核酸的结构与功能	29
第三节 DNA 的变性与复性	34
本章小结	35
复习思考题	36
第四章 酶	38
第一节 酶作用的特点	38
第二节 酶的分子组成	43
第三节 酶的结构和功能	44
第四节 影响酶促反应速率的因素	46
第五节 多酶体系的调节	51
第六节 酶与临床医学	53
本章小结	55
复习思考题	55
第五章 糖代谢	58
第一节 概述	58

第二节 糖的分解代谢	59
第三节 糖原的合成与分解	69
第四节 糖异生	73
第五节 血糖	75
本章小结	78
复习思考题	79

第六章 生物氧化	81
第一节 生物氧化的概念与特点	81
第二节 生物氧化中 CO_2 的生成	82
第三节 生物氧化与高能化合物的生成与利用	83
第四节 线粒体内氧化体系	84
第五节 其他氧化体系	91
本章小结	92
复习思考题	92

第七章 脂类代谢	93
第一节 概述	93
第二节 甘油三酯的代谢	94
第三节 磷脂代谢	102
第四节 胆固醇代谢	104
第五节 血脂	106
本章小结	110
复习思考题	110

第八章 蛋白质代谢	112
第一节 蛋白质的营养作用	112
第二节 氨基酸的一般代谢	114
第三节 氨的代谢	116
第四节 氨基酸的特殊代谢	120
本章小结	128
复习思考题	128

第九章 核苷酸代谢	130
第一节 核苷酸的合成代谢	130
第二节 核苷酸的分解代谢	136
本章小结	138

复习思考题	138
第十章 肝的生物化学	141
第一节 肝在物质代谢中的作用	141
第二节 肝的生物转化作用	143
第三节 胆汁酸代谢	144
第四节 血红素代谢	146
本章小结	150
复习思考题	151
第十一章 水和无机盐的代谢	155
第一节 体液	155
第二节 无机盐代谢	157
第三节 水代谢	159
第四节 水和无机盐代谢的调节	161
第五节 钙磷代谢	162
第六节 微量元素代谢	165
本章小结	168
复习思考题	169
第十二章 酸碱平衡	170
第一节 酸性和碱性物质的来源	170
第二节 酸碱平衡的调节	171
第三节 酸碱平衡失调	177
本章小结	179
复习思考题	179
第十三章 遗传信息的传递与表达	180
第一节 DNA 的生物合成	181
第二节 RNA 的生物合成(转录)	185
第三节 蛋白质的生物合成(翻译)	187
第四节 基因表达调控	192
第五节 基因工程	193
本章小结	196
复习思考题	197
参考文献	198

第一章 绪 论

生物化学就是生命的化学,是医学的重要基础,与人类的健康关系密切。

生物化学(biochemistry)是研究生物体化学组成、化学反应及其与生命现象关系的科学。它主要采用化学、物理和免疫学的方法和原理,从分子水平来探讨生命现象的规律和本质。

分子生物学是研究核酸、蛋白质等生物大分子的结构、功能及基因的结构、表达与调控。从广义上讲,分子生物学是生物化学的重要组成部分,也是生物化学的发展和延续。生物化学既是重要的基础医学学科,又与其他基础医学学科有着广泛的联系与交叉。近年来,分子生物学飞速发展,基础医学学科的研究也都深入到分子水平,并运用分子生物学的理论和技术去解决各自的学科问题。

第一节 生物化学发展简史

生物化学是一门既古老又年轻的学科,有着悠久的发展历史。生物化学的起源在我国可追溯到公元前,在欧洲约为 200 年前。作为一门独立的学科是在 20 世纪中叶,许多重大的进展和突破主要发生在近 50 年(20 世纪后半叶)。

18 世纪中叶到 20 世纪初叶是生物化学的初级阶段,主要研究生物体的化学组成。在此期间人类系统地研究了脂质、糖类及氨基酸的性质;证实了连接氨基酸的肽键;发现了核酸;化学合成了简单的多肽;发现了酵母发酵过程中的“可溶性催化剂”,奠定了酶学的基础;对生物氧化进行了研究。

20 世纪上半叶,生物化学进入了蓬勃发展的阶段。发现了人类营养必需氨基酸、必需脂肪酸及多种维生素;在内分泌方面,发现了多种激素并将其分离合成;在酶学方面,获得了酶晶体;在物质代谢方面,基本确定了体内主要物质的代谢途径,包括糖代谢途径、脂肪酸 β -氧化、尿素合成途径及三羧酸循环等;揭示了蛋白质生物合成途径,确定了由合成代谢与分解代谢网络组成的“中间代谢”的概念。

20 世纪下半叶以来,发现了蛋白质的 α -螺旋的二级结构形式;完成了胰岛素的氨基酸全序列分析并人工合成了具有生物活性的胰岛素;提出了 DNA 双螺旋结构模型,为揭示遗传信息传递规律奠定了基础;深入研究了 DNA 的复制机制、RNA 的转录过程以及各种 RNA 在蛋白质合成中的作用;提出了“中心法则”;破译了遗传密码;建立了重组 DNA 技术并用于医药工业和农业的发展,成功建立了转基因动植物和基因剔除动物模型,基因诊断与基因治疗也在医学领域得到应用;核酶的发现是对生物催化剂认识的补充;发明了聚合酶链技术(PCR),使人们可以在体外高效率扩增 DNA。

20 世纪 90 年代开始启动了人类基因组计划(human genome project),这是人类生命科学领域有史以来最庞大的计划,确定人类基因组的全部序列以及人类基因的一级结构。2001 年 2 月公布了人类的基因组草图,它揭示了人类遗传学图谱的基本特点。在此基础上,



后基因组计划将进一步研究各种基因的功能与调节,这必将加深人们对生命本质的认识,并极大地推动医学的发展。

我国对生物化学发展的贡献是巨大的。早在欧洲之前,我国劳动人民在生产和生活中已开始应用了生物化学的技术。如公元前 21 世纪就己能酿酒,酿酒用的曲就是将谷物中糖类物质转化为酒的媒介物(酶);缺乏维生素 A 所致的夜盲症,古称雀目,公元 7 世纪就有孙思邈用猪肝治疗雀目的记载,猪肝富含维生素 A,可以补充维生素 A 的缺乏。

近代生物化学发展时期,我国生物化学家吴宪等在血液化学分析方面创立了血滤液的制备法和血糖测定法;在蛋白质研究中提出了蛋白质变性学说;在免疫化学方面,对抗原抗体反应机制的研究也有重要发现。新中国成立后,生物化学在我国得到蓬勃发展。1965 年我国科学家首先采用人工方法合成了具有生物活性的牛胰岛素,1981 年又成功合成了酵母丙氨酸 tRNA。近年来,我国在基因工程、蛋白质工程、新基因的克隆与功能、疾病相关基因的定位克隆及其功能等方面的研究均取得了重要的成果。值得一提的是,中国作为唯一的发展中国家,与美、英、德、日、法 5 国共同参与了人类生命科学史上最伟大的工程——人类基因组计划,完成了人类基因组序列草图的绘制。

第二节 生物化学的研究内容及意义

一、人体的物质组成

组成人体的基本单位是细胞,并由此形成组织、器官、系统及统一的整体。每个细胞有许多细胞器,细胞器又由许多种生物分子组成。地球上已发现的 92 种化学元素,在人体中发现存在其中的 90 种。所有这些元素在生命体内以两大类形式存在:一类是无机物,一类是有机物。无机物主要是水和无机盐,有机物主要是糖类、脂类、蛋白质、核酸等生物大分子和生物小分子化合物。根据测定,人体的物质组成中含水 55%~67%,无机盐 3%~4%、糖类 1%~2%、脂类 10%~15%、蛋白质 15%~18%,此外还有核酸及多种具有生物活性的小分子化合物,如维生素、激素等。在这些化学物质中,有的直接来自体外(如水、无机盐和维生素),大部分是利用食物经消化吸收后的物质在体内重新合成。通常,生物化学家称水、无机盐、糖类、脂类、蛋白质、维生素以及空气中的氧气为维持生命的七大营养要素,即必须从外界或食物中获得。这里需要强调,尽管核酸是生命活动中的重要物质基础,但是它可以通过其他营养物质在体内转化合成而来,所以核酸不是必须从外界直接获得的营养要素。

二、生物分子的结构和功能

生物化学研究的最终目的是在分子水平揭示生命活动的本质,以及致病机制和治疗原理。蛋白质分离、X 线衍射及蛋白质(多肽链)氨基酸序列分析、DNA 序列分析技术的发展为生物大分子结构研究奠定了基础。20 世纪 50 年代,蛋白质 α -螺旋结构、DNA 双螺旋结构的发现开创了结构与功能研究的先河。由于不断发现不同类型的 DNA 突变,已经观察到单个基因或多个基因突变可以产生突变蛋白质和引起遗传性疾病(已确定 6 000 种以上)。70 年代分子克隆结合 PCR 技术使科学家能通过定点突变改变基因产物,研究分子功能;通过基因转移结合同源重组可以实现特异基因的敲除(knock-out)和敲入(knock-in),而后通



过细胞或个体的形态、功能表型改变分析目标分子的功能和生物学意义;20 世纪末出现的 RNA 干扰(RNA interference, RNAi)技术更给目标分子的功能研究增添了活力。90 年代基因组学和生物信息学的崛起和发展,使科学家利用信息库序列资料结合计算机分子模型,演绎分子结构与功能的关系,使分子生物学的研究发生了前所未有的突破。尤其是结合临床实践,如分子病或分子构象病的研究,更能说明这一研究领域具有重大的实际意义。

三、物质代谢及其调节

细胞内各种物质分子的合成代谢和分解代谢途径组成复杂的网络。在一个正常的机体中,每条代谢途径必须有条不紊,互不干扰;必须衔接有序,消长一致,以维持细胞内外稳态和细胞的正常功能,这就需要细胞或个体具有高度的、精细的自动调节能力。这种自动调节能力往往建立在多个级别水平上。首先,在分子水平,代谢途径的调节依赖酶和具有调节功能的蛋白质固有的结构、水平及其变化,依赖这些调节分子与分子之间的相互作用。在多细胞生物细胞内代谢的稳定进行又需要细胞与细胞之间的协调,这就需要神经和体液的调节。在神经、体液的统一控制下,通过复杂的细胞信号传导网络,最终通过改变基因表达水平,或者蛋白质的分子结构,控制代谢途径。这里涉及很多调控理论,如别构调节、化学修饰、级联反应、反馈学说和物质分子在细胞内的空间隔离分布等。

四、基因信息传递与调控

基因信息的流动方向主要是 DNA→RNA→蛋白质,这就是中心法则。中心法则的建立及调控机制的研究,使人们明确了基因 DNA 的复制、表达的规律,这些将决定细胞内的生命活动形式及对外界环境的反应,决定细胞产生所需的蛋白质(酶),实现细胞生命活动的调整。从 DNA、RNA 和蛋白质入手,通过生物化学研究,可以发现相关疾病的基因和蛋白质,从而为疾病的诊断、分型和治疗开辟新的途径。

第三节 生物化学与医学

生物化学是一门基础医学的必修课程,讲述正常人体的生物化学以及疾病过程中的生物化学相关问题,与医学有着紧密的联系。生物化学又是生命科学的重要基础学科,它的理论和技术已渗透到基础医学和临床医学的各个领域,生理学、微生物免疫学、病理学、药理学及遗传学等基础医学的研究都已深入到分子水平,由此产生了许多新兴的交叉学科——分子生理学、分子病理学、分子免疫学和分子遗传学。因此,疾病的预防、诊断、治疗和护理都离不开生物化学,疾病的发病机制也需要从分子水平上进行探究,通过从分子水平对恶性肿瘤、心脑血管疾病、神经系统疾病和代谢性疾病进行研究,加深了人们对疾病本质的认识,从而提高了人们的防病能力和诊疗水平。近年来,疾病相关基因克隆、基因芯片和蛋白质芯片在诊断和治疗中的应用,已经给临床医学的诊断和治疗带来了全新的理念。

作为医学生,掌握生物化学的基本知识和技术不仅有利于了解生命的本质与人体正常生理过程的分子机制,更重要的是为进一步学习基础医学的其他课程和临床医学打下扎实的生物化学基础。

(余元勋)

第二章 蛋白质化学

学习目标



■ 掌握	蛋白质的元素组成特点、基本结构单位,组成蛋白质常见氨基酸的基本结构;蛋白质的一级结构、二级结构、三级结构和四级结构的概念以及肽键和多肽链的概念;蛋白质一级结构、空间结构与功能的关系。
■ 熟悉	蛋白质的重要理化性质:两性电离及等电点,变性、沉淀等概念。
■ 了解	蛋白质是生命活动物质基础的含义,掌握蛋白质的重要生理功能。

蛋白质(protein)是由许多氨基酸(amino acids)通过肽键(peptide bond)相连形成的大分子含氮化合物,是生物体重要组成成分,具有多种多样的重要的生物学功能。

蛋白质是组成生物体的主要成分之一。从简单的生物到人类,蛋白质都是其重要组成物质。蛋白质在人体内分布广,所有器官、组织都含有蛋白质,每个细胞中都有成千上万种蛋白质,细胞的各个部分都含有蛋白质;蛋白质占人体干重的45%,是细胞内最丰富的有机分子,某些组织例如脾、肺及横纹肌等含量高达80%;人体约有10万种以上不同的蛋白质,每一种蛋白质都有其特殊的结构和功能。具有复杂空间结构的蛋白质担负着完成生物体各种生理功能的重任,如催化功能(酶)、代谢调节功能(蛋白质多肽类激素)、免疫保护功能(凝血酶原和免疫球蛋白)、物质的转运和存储功能(血红蛋白)、收缩和运动功能(肌肉蛋白)以及生长、发育、繁殖和遗传等,此外还可氧化供能。可见,蛋白质是生命的物质基础,没有蛋白质就没有生命。

第一节 蛋白质的分子组成

尽管蛋白质的种类繁多、结构各异,但元素组成却相似,主要有碳(50%~55%)、氢(6%~8%)、氧(19%~24%)、氮(13%~19%),大部分蛋白质还含有硫(0~4%),有的还含有少量磷或金属元素铁、铜、锌、锰、钴、钼,个别蛋白质还含有碘。

蛋白质元素组成的特点,就是各种蛋白质的含氮量很接近,平均含氮量为16%左右。由于体内的含氮物质以蛋白质为主,因此,测定生物样品中的含氮量,就可以根据以下公式推



算出蛋白质的大致含量:

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

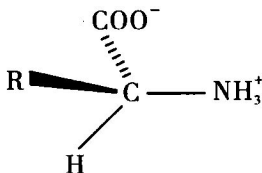
一、蛋白质的构件分子(基本单位)——氨基酸

蛋白质经酸、碱或蛋白酶作用水解后产生各种氨基酸,说明氨基酸是蛋白质的构件分子。

(一)氨基酸的结构

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。这 20 种氨基酸在结构上有一个共同点,即在其 α -碳原子上(与羧基相邻的碳原子)都结合有氨基($-\text{NH}_2$)或亚氨基($-\text{NH}$),故称为 α -氨基酸,且均属 L- α -氨基酸(甘氨酸除外)。

结构通式



与羧基相连的 α -碳原子为不对称原子(甘氨酸除外),连接有氨基(或亚氨基)、羧基、侧链(R)和氢原子,因此 α -碳原子又称手性碳原子。

(二)氨基酸的分类

根据氨基酸侧链 R 基团的结构和理化性质不同,可将 20 种氨基酸分为四类。

1. 非极性疏水性氨基酸

这类氨基酸的特征就是含有非极性的侧链,具有疏水性,但甘氨酸的侧链仅为氢原子,无疏水性。

2. 极性中性氨基酸

此类氨基酸的侧链带有羟基、巯基或酰胺基等极性基团,具有亲水性,但在中性水溶液中不电离。

3. 酸性氨基酸

其侧链都含有羧基,易解离出 H^+ 而具有酸性。

4. 碱性氨基酸

其侧链含有氨基、胍基或咪唑基,易于接受 H^+ 而具有碱性。

氨基酸基本的名称、结构及分类见表 2-1。

表 2-1 20 种氨基酸的中英文名称、结构及分类

氨基酸名称	简写符号	结构式	等电点(pI)
1. 非极性疏水性氨基酸			
甘氨酸(glycine)	甘(Gly)	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CHCOO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.97



续表

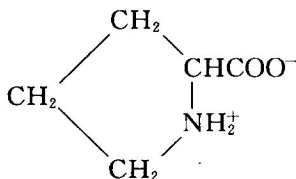
氨基酸名称	缩写符号	结构式	等电点(pI)
丙氨酸(alanine)	丙(Ala)	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	6.00
缬氨酸(valine)	缬(Val)	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.96
亮氨酸(leucine)	亮(Leu)	$\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.98
异亮氨酸(isoleucine)	异亮(Ile)	$\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	6.02
苯丙氨酸(phenylalanine)	苯丙(Phe)	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.48
脯氨酸(proline)	脯(Pro)	$\text{C}_5\text{H}_7\text{NO}_2$ (cyclic structure)	6.30
2. 极性中性氨基酸			
丝氨酸(serine)	丝(Ser)	$\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.68
色氨酸(tryptophan)	色(Trp)	$\text{C}_8\text{H}_6\text{N}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.89
蛋氨酸(methionine)	蛋(Met)	$\text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.74
苏氨酸(threonine)	苏(Thr)	$\text{HO}-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.60
酪氨酸(tyrosine)	酪(Tyr)	$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.66
半胱氨酸(cysteine)	半胱(Cys)	$\text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)\text{COO}^-$	5.07

续表

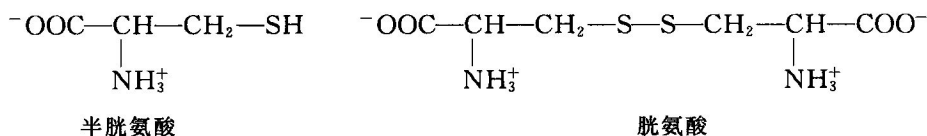
氨基酸名称	简写符号	结构式	等电点(pI)
天冬酰胺(asparagine)	天冬酰胺(Asn)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.41
谷氨酰胺(glutamine)	谷氨酰胺(Gln)	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.65
3. 酸性氨基酸			
谷氨酸(glutamic acid)	谷(Glu)	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	3.22
天冬氨酸(aspartic acid)	天(Asp)	$\begin{array}{c} \text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	2.97
4. 碱性氨基酸			
赖氨酸(lysine)	赖(Lys)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	9.74
精氨酸(arginine)	精(Arg)	$\begin{array}{c} \text{NH}_2\text{CNHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \parallel \qquad \\ \text{NH} \qquad \text{NH}_3^+ \end{array}$	10.76
组氨酸(histidine)	组(His)	$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \qquad \\ \text{N} \qquad \text{NH} \\ \backslash \qquad / \\ \text{CH} \end{array}$	7.59

20 种氨基酸中,脯氨酸和半胱氨酸较为特殊。

脯氨酸 属于亚氨基酸,其亚氨基仍能够与另一羧基形成肽键。



半胱氨酸 两个半胱氨酸通过脱氢后以二硫键相结合,形成胱氨酸。蛋白质中不少半胱氨酸都是以胱氨酸形式存在。



蛋白质分子中的氨基酸残基还可以进行甲基化、甲酰化、乙酰化和磷酸化等修饰,从而



改变蛋白质的溶解度、稳定性、细胞内定位等。除上述 20 种氨基酸外,蛋白质分子中还有羟脯氨酸、羟赖氨酸、焦谷氨酸等,它们都是在蛋白质合成后经加工修饰而成。

二、氨基酸在蛋白质分子中的连接方式

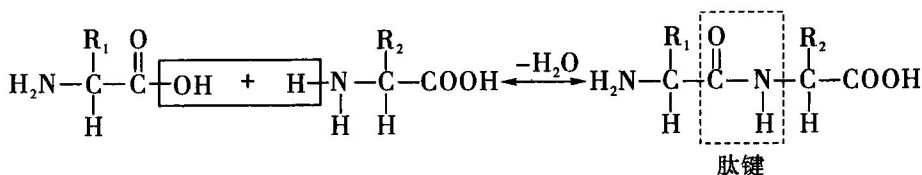
蛋白质是由氨基酸聚合而成的高分子化合物。在蛋白质分子中,各氨基酸间是通过肽键连接的。

(一) 肽键和肽

1. 肽键

一个氨基酸的 α -羧基与另一个氨基酸的 α -氨基脱水缩合而形成的化学键($-\text{CO}-\text{NH}-$)叫肽键,又称酰胺键。

知识链接 氨基酸分子中的 α -氨基、 α -羧基和非 α -羧基都可参与肽键的构成,但天然蛋白质分子中的肽键都是由 α -羧基和 α -氨基脱水缩合而成的。



2. 肽

氨基酸之间通过肽键相互连接而成的化合物称为肽。两分子氨基酸脱水缩合形成二肽,三分子氨基酸脱水缩合则形成三肽。

依此类推,由 10 个以内氨基酸相连而成的肽称为寡肽(oligopeptide),由 10 个以上的氨基酸相连形成的肽称为多肽(polypeptide)。

3. 多肽链

多肽是链状化合物,也称为多肽链(polypeptide chain)(图 2-1)。

肽链中的氨基酸分子因为脱水缩合导致结构不完整,被称为氨基酸残基。

一条多肽链通常有两个游离末端:多肽链中未参与肽键形成的 α -氨基端,简称 N 端,用“ H^+ ”表示;多肽链中未参与肽键形成的 α -羧基端,简称 C 端,用“ OH^- ”表示。

多肽链书写方式:N-末端写在最左侧,C-末端写在最右侧,从左至右依次将各氨基酸的中文或英文缩写符号列出,如 $\text{H}_2\text{N}-\text{甘}-\text{异}\cdots\cdots\text{天}-\text{COOH}$ 。每条多肽链中氨基酸残基的顺序编号都从 N-端开始。肽的命名也是从 N-端开始指向 C-端,如从 N-端到 C-端依次为谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸组成的三肽称为谷氨酰半胱氨酰甘氨酸,简称谷胱甘肽(GSH)。

肽键是多肽链的主键,由肽键连接各氨基酸残基形成的长链骨架结构称为多肽主链,而连接于各 α -碳原子上的 R 侧链统称为多肽侧链。

(二) 几种生物活性肽

生物活性肽是指具有生物活性的小分子肽,可以是寡肽,也可以是多肽,是生物体内重要的信息分子,在代谢调节、神经传导和生长发育方面起重要作用。

1. 谷胱甘肽(glutathione, GSH)

一种不典型的三肽,谷氨酸通过 γ -羧基与半胱氨酸的 α -氨基形成酰胺键。分子中半

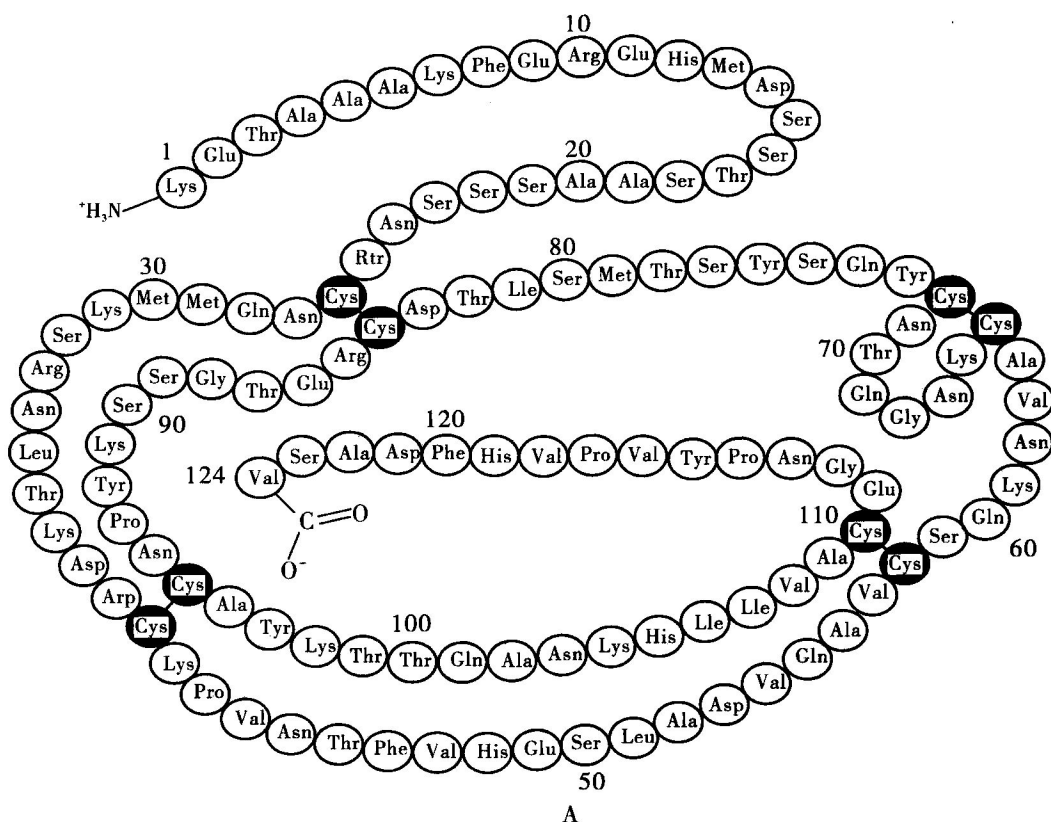
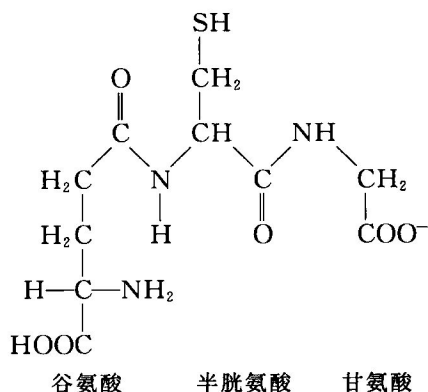


图 2-1 牛核糖核酸酶

胱氨酸的巯基是该化合物的主要功能基团,具有还原性。谷胱甘肽是体内重要的还原剂,可还原细胞内产生的 H_2O_2 ,使其变成 H_2O ,保护体内蛋白质或酶分子中巯基免遭氧化,使蛋白质或酶处在活性状态。临床上可作为解毒、抗辐射和治疗肝病的药物。结构式如下:



2. 多肽类激素

体内有许多激素属寡肽或多肽,例如属于下丘脑-垂体-肾上腺皮质轴的促甲状腺素释放激素是 3 肽,神经垂体分泌的促肾上腺皮质激素是 39 肽。它们在代谢调节、生长发育和繁殖等方面起重要作用。