

全国高职高专医药院校工学结合“十二五”规划教材
供临床医学、护理、助产、药学、检验、口腔、影像等专业使用

生 物 化 学

主 编 吕文华 肖智勇

华中科技大学出版社
中国·武汉



全国高职高专医药院校工学结合“十二五”规划教材
供临床医学、护理、助产、药学、检验、口腔、影像等专业使用

生物化学

主编 吕文华 肖智勇

副主编 赵瑞巧 兴 华 孙厚良

编 委 (以姓氏拼音为序)

吉书敏 河北省邢台市第三医院

吕文华 邢台医学高等专科学校

关 纶 郑州铁路职业技术学院

兴 华 郑州铁路职业技术学院

孙厚良 重庆三峡医药高等专科学校

杜丽敏 邢台医学高等专科学校

李俊敏 河北医科大学第三医院

肖智勇 重庆三峡医药高等专科学校

张凤英 菏泽医学专科学校

赵瑞巧 邢台医学高等专科学校

蒋 飞 重庆三峡医药高等专科学校

韩忠敏 郑州铁路职业技术学院

华中科技大学出版社
中国·武汉

内 容 简 介

本书是全国高职高专医药院校工学结合“十二五”规划教材,是一本供高职高专医学类学生使用的必修课教材。本书是在对多所医学高职高专院校进行广泛调研的基础上,按照教育部对生物化学的基本要求,集各院校编者多年教学教改经验编写而成。全书共十七个项目,包括了生物大分子的结构与功能、物质代谢及其调节、遗传信息传递与基因工程、重要组织器官的生物化学、操作与训练五部分内容。与其他同类教材相比,本教材有以下特点:①突出以人为本的指导思想;②强调应用、够用、实用的目的;③注重生物化学与临床的联系;④删减了与其他学科重叠的内容,增加了学科领域的新进展。本书主要适用于医学类高中起点三年制专科学生,同时也可作为五年一贯制、职业医师资格考试、自学考试学生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

生物化学/吕文华 肖智勇 主编.—武汉: 华中科技大学出版社, 2010. 8
ISBN 978-7-5609-6231-3

I . 生 II . ①吕… ②肖… 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(2010)第 091892 号

生物化学

吕文华 肖智勇 主编

策划编辑: 陈 鹏

责任编辑: 史燕丽

封面设计: 陈 静

责任校对: 周 娟

责任监印: 周治超

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027) 87557437

录 排: 武汉佳年华科技有限公司

印 刷: 华中科技大学印刷厂

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 19.75

字 数: 441 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 33.00 元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换

全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务

版权所有 侵权必究



前

言

i

前言

Qianyan

本书是华中科技大学出版社启动的全国高职高专医药院校工学结合“十二五”规划教材。生物化学是一门重要的医学基础课程,近年来,生物化学学科知识更新极快,发展迅猛。作为工学结合“十二五”规划教材,有着它的特殊使命和特点。在教材编写过程中,编者坚持以“应用”为主旨,力求使学生掌握必需的基础理论,具备较强的应用能力,以适应21世纪医学教育改革及卫生事业发展的需要,以达到培养综合素质高、知识面广、动手能力强的高等技术应用型专门人才的目的。

本教材结合医学专科教育的特点,既不同于中等专科教材,也不同于本科教材,紧紧围绕“三基”(基本知识、基本理论、基本技能),坚持“五性”(思想性、科学性、先进性、启发性和实用性),注重全书的整体结构体系及编写的标准化、规范化,力求使教材既具专业针对性,又方便师生的教与学。

在编写本教材过程中,我们尽可能顾及到本学科长期积累形成的知识结构体系,又根据专科教育的特点,对其中某些章节和顺序进行了调整与整合。结合多所院校在教学中的实践经验,组织由邢台医学高等专科学校、重庆三峡医药高等专科学校、郑州铁路职业技术学院、菏泽医学高等专科学校、河北医科大学第三医院、河北省邢台市第三医院六所学校或医院的十二位具有丰富教学经验及临床经验的老师编写。为突出“工学结合”特点,将全书内容划分为五大模块。模块一,生物大分子的结构与功能;模块二,物质代谢及其调节;模块三,遗传信息传递与基因工程;模块四,重要组织器官的生物化学;模块五,操作与训练。原来的章和节,被项目和任务取代,实训取代了实验。全书共分十七个教学项目,十个实训项目。绪论、项目七氨基酸代谢、实验三蛋白质的沉淀与凝固由邢台医学高等专科学校的吕文华老师编写;项目一蛋白质的结构与功能、实验九血清总胆固醇的测定由重庆三峡医药高等专科学校的孙厚良老师编写;项目二核酸的结构和功能、项目八核苷酸代谢、实验五乳酸脱氢酶及其辅酶I的应用由郑州铁路职业技术学院的关颖老师编写;项目三酶、项目十一基因工程、实验二

血清蛋白质醋酸纤维素薄膜电泳、实验四酶的特异性及影响酶促反应速度的因素由郑州铁路职业技术学院的兴华老师编写;项目四生物氧化、项目九物质代谢的联系与调节、项目十遗传信息的传递与表达、实验一生物化学实验基本知识与操作由邢台医学高等专科学校的赵瑞巧老师编写;项目五糖代谢、实验八肝中酮体的生成作用由邢台医学高等专科学校的杜丽敏老师编写;项目六脂类代谢、实验七胰岛素和肾上腺素对血糖浓度的影响由重庆三峡医药高等专科学校的肖智勇老师编写;项目十二癌基因、抑癌基因与生长因子由河北医科大学第三医院的李俊敏老师编写;项目十三血液生物化学、实验十血清丙氨酸氨基转移酶(ALT)的测定由郑州铁路职业技术学院的韩忠敏老师编写;项目十四肝胆生物化学由河北省邢台市第三医院的吉书敏老师编写;项目十五水和无机盐代谢、项目十六酸碱平衡由重庆三峡医药高等专科学校的蒋飞老师编写;项目十七细胞信号转导、实验六血糖的测定(GOD法)由菏泽医学高等专科学校的张凤英老师编写。

编写本书的过程中写进了学科领域的新进展。为达到学生学有目标,培养学习兴趣及检验学习效果的目的,项目中插有“项目目标”、“知识链接”和“能力检测”。本着重视基础理论、强调理论与临床相结合、内容与应用相衔接的原则,对教学内容中占篇幅较大的数学推导、某些物质代谢的烦琐过程等内容进行了一定程度的删减,力求达到概念清晰、内容丰富且简练、重点突出,使教材具有较强的实用性。

参加本教材编写的老师都具有多年生物化学教学经验或临床工作经验,他们以严谨的态度和团队合作精神共同完成了全书的编写工作。在编写过程中,得到了参编单位的有关领导和许多专家教授的大力支持和帮助以及同行们的热心协助。在本书编校、图片处理、索引及目录标记编排工作中,邢台医学高等专科学校的苏亚丁同志做了大量工作,在此一并向他们表示衷心感谢!

本书在编校过程中尽管进行了反复审阅和修改,但由于编写时间仓促,编者学识水平有限,书中定有许多错误及不妥之处,敬请同行专家、使用本书的师生和其他读者多提宝贵意见,以便改进、修订。

吕文华 肖智勇
2010年6月



目录

■ Mulu

绪论	/1
模块一 生物大分子的结构与功能	/5
项目一 蛋白质的结构与功能	/7
任务一 蛋白质的分子组成	/7
任务二 蛋白质的分子结构	/12
任务三 蛋白质的理化性质	/18
任务四 蛋白质的分类	/21
项目二 核酸的结构和功能	/24
任务一 核酸的化学组成	/24
任务二 核酸的分子结构	/28
任务三 核酸的理化性质及应用	/34
项目三 酶	/37
任务一 概述	/37
任务二 酶的结构与功能	/40
任务三 酶促反应的机制	/48
任务四 影响酶促反应速度的因素	/49
任务五 酶在医药上的应用	/54
模块二 物质代谢及其调节	/57
项目四 生物氧化	/59
任务一 概述	/59
任务二 生物氧化中二氧化碳的生成	/61
任务三 生物氧化中水的生成	/62
任务四 ATP 的生成与能量的储存和利用	/64
任务五 非线粒体氧化体系	/68
项目五 糖代谢	/72
任务一 概述	/72
任务二 糖的分解代谢	/73

任务三 糖原的代谢	/85
任务四 糖异生	/89
任务五 血糖	/91
任务六 糖代谢异常	/93
项目六 脂类代谢	/96
任务一 概述	/96
任务二 甘油三酯的代谢	/98
任务三 磷脂代谢	/107
任务四 胆固醇代谢	/110
任务五 血脂及血浆脂蛋白	/113
项目七 氨基酸代谢	/119
任务一 蛋白质的营养作用	/119
任务二 蛋白质的消化、吸收与腐败	/121
任务三 氨基酸的一般代谢	/122
任务四 个别氨基酸的代谢	/130
项目八 核苷酸代谢	/140
任务一 核苷酸的合成代谢	/140
任务二 核苷酸的分解代谢	/149
项目九 物质代谢的联系与调节	/153
任务一 物质代谢的相互联系	/153
任务二 物质代谢的调节	/155
模块三 遗传信息传递与基因工程	/161
项目十 遗传信息的传递与表达	/163
任务一 DNA 的生物合成	/164
任务二 RNA 的生物合成	/170
任务三 蛋白质的生物合成	/174
项目十一 基因工程	/185
任务一 基因工程的相关概念	/185
任务二 基因工程基本原理	/187
任务三 聚合酶链反应	/189
任务四 基因工程与医学	/190
项目十二 癌基因、抑癌基因与生长因子	/195
任务一 癌基因	/195
任务二 抑癌基因	/197
任务三 生长因子	/198
模块四 重要组织器官的生物化学	/201
项目十三 血液生物化学	/203
任务一 血浆蛋白	/203



(目

录

(3)

任务二 血细胞代谢	/206
项目十四 肝胆生物化学	/213
任务一 肝在物质代谢中的作用	/213
任务二 肝的生物转化作用	/215
任务三 胆汁酸代谢	/218
任务四 胆红素代谢	/221
项目十五 水和无机盐代谢	/227
任务一 体液	/227
任务二 水代谢	/229
任务三 无机盐代谢	/230
项目十六 酸碱平衡	/239
任务一 体内酸性和碱性物质的来源	/239
任务二 酸碱平衡的调节	/240
任务三 酸碱平衡失常	/242
项目十七 细胞信号转导	/248
任务一 信号分子	/248
任务二 受体	/250
任务三 细胞信号转导途径	/253
任务四 细胞信号转导与医学	/259
模块五 操作与训练	/263
实验一 生物化学实验基本知识与操作	/265
实验二 血清蛋白质醋酸纤维素薄膜电泳	/274
实验三 蛋白质的沉淀与凝固	/276
实验四 酶的特异性及影响酶促反应速度的因素	/280
实验五 乳酸脱氢酶及其辅酶 I 的应用	/283
实验六 血糖的测定(GOD 法)	/285
实验七 胰岛素和肾上腺素对血糖浓度的影响	/287
实验八 肝中酮体的生成作用	/289
实验九 血清总胆固醇的测定	/291
实验十 血清丙氨酸氨基转移酶(ALT) 的测定	/293
中英文对照	/296
参考文献	/303

绪 论



【项目目标】

掌握:生物化学的概念。

熟悉:熟悉生物化学的研究内容。

了解:生物化学与医学的关系及生物化学的学习方法。

生物化学(biochemistry)是研究生物体的化学组成和生命过程中化学变化规律的科学。它主要采用化学以及物理学和免疫学的原理和方法,从分子水平探讨生命现象的化学本质,故又称为生命的化学。通常将生物大分子的结构、功能及其代谢调控等的研究,称为分子生物学(molecular biology)。可见分子生物学是生物化学的重要组成部分。

生物化学的研究对象是生物体,其研究范围涉及整个生物界。依据研究对象的不同,可将其分为动物生化、植物生化、微生物生化和人体生化等。为了方便,有时以研究的具体对象或课题来命名,如病毒生化、核酸生化、蛋白质生化等。

生物化学的研究始于18世纪,但到20世纪初才引入“生物化学”这一概念,并使其成为一门独立学科而蓬勃发展起来。生物化学的发展非常迅速,目前已成为生命科学领域的带头学科,而生物化学的原理和技术也已渗透到生命科学的各学科中。同样,生物化学的知识无不广泛应用于医学科学的各个领域。

我国古代劳动人民和学者在生物化学的发展方面作出了不可磨灭的贡献,但由于长期的封建统治,未能把他们的宝贵经验上升到理论高度。新中国成立后我国生物化学得到迅速发展,取得了许多可喜的成就。1965年,我国在世界上首次合成了具有生物活性的结晶牛胰岛素;1981年又成功合成了酵母丙氨酸-tRNA;2000年,我国生物化学工作者出色地完成了人类基因组计划中1%的测序工作,为世界人类基因组计划的完成贡献了力量。2002年,我国的生物化学工作者又率先完成了水稻的基因组精细图,为水稻的育种和防病奠定了基因基础。我国在生物化学的许多领域已达到国际先进水平,并正在与全世界的科技工作者一起,冲向生命科学的顶端。

一、生物化学研究的内容

(一) 人体的化学组成

细胞是生物体的结构和功能单位,而细胞又是由成千上万种化学物质所组成,其

其中包括无机物、小分子有机物和生物大分子等。无机物主要是水和无机盐；小分子有机物主要包括各种有机酸、有机胺、维生素、单糖、氨基酸、核苷酸等；生物大分子主要包括蛋白质、核酸、多糖及复合脂类等，它们是生物体内存在的大而复杂的分子，它们与生命活动有着十分密切的联系，蛋白质是生命活动的物质基础，核酸是生物遗传信息贮存、传递与个体生命发生的物质基础。这些生物大分子在体内有序地运转，执行其特定的功能，从而构成特定的生命现象。研究这些生物大分子具有重要的理论意义和实践意义。无机元素在体内也有其独特的地位，许多无机元素与蛋白质、酶、核酸结合而发挥作用，无机元素还参与体内物质代谢、能量代谢和信息的传递与调控等。

（二）生物分子的结构与功能

结构是功能的基础，而功能则是结构的体现。自然界中结构决定功能的例子举不胜举。鸟有翅而能飞，兽有脚而善走，植物为了捕获光能而长叶，为了结果传代而开花，这些事实显而易见。生物体内生物大分子的种类繁多，结构复杂，功能各异，其结构与功能之间也有着密切的关系。人体是由生物分子按照一定的布局和严格的规律组合而成的。对生物分子的研究，重点是对生物大分子的研究，除了确定其一级结构外，更重要的是研究其三维空间结构及其与功能的关系。生物大分子的功能还可通过分子之间的相互识别和相互作用来实现。例如，蛋白质、核酸自身之间，以及蛋白质与核酸之间的相互作用在基因表达的调节中起着决定性的作用。所以，分子结构、分子识别和分子间的相互作用是执行生物分子功能的基本要素。目前，这一领域的研究是生物化学的热点之一。

（三）物质代谢及其调节

生命现象的基本特征是新陈代谢，即生物体与外环境的物质交换以及维持其内环境的相对稳定。它主要包括物质代谢和能量代谢，而物质代谢又包括合成代谢和分解代谢。合成代谢是指由小分子物质合成大分子物质的过程，往往需要消耗能量，也是在生物体内贮存能量的过程，通过合成代谢生物体摄取外环境中的营养物质并将其转化为自身的结构成分。分解代谢是复杂的大分子降解为简单分子并不断将代谢终产物排出体外的过程。营养物质的分解伴随着能量的释放和转移，产生的能量提供生命活动的需要，同时产生的代谢废物，经排泄器官排出体外。据估计，一个人在一生中（以 60 岁计算）与外环境交换的物质，约相当于 60 000 kg 水、10 000 kg 糖类、1 600 kg 蛋白质，以及 1 000 kg 脂类。其总量约为人体重量的 1 300 倍。除此之外，其他小分子物质和无机盐类也在不断交换中，但数量要少得多。外界物质进入机体后，一方面可作为机体生长、发育、修补、繁殖等需要的原料，进行合成代谢；另一方面又可作为机体生命活动所需的能源，进行分解代谢。

生物体内各种代谢均由一系列化学反应所组成，各种物质的代谢速度和方向之所以符合机体的生理需要，正是因为体内有完善的调节系统，一旦调节系统出现异常，即会引起物质代谢的紊乱，从而导致疾病的发生。因此，学习物质代谢及其调节，是生物化学的重要内容之一。

（四）遗传信息的传递及调控

生物体在繁衍后代的过程中，遗传信息代代相传。遗传信息传递包括遗传、变异、



生长、分化等众多生命过程。同时,它也与遗传性疾病、代谢异常性疾病、恶性肿瘤、免疫缺陷性疾病、心血管病等多种疾病的发生机制有关。DNA 是遗传的物质基础,基因即 DNA 分子中的各个功能片段。生物体的遗传信息以基因为基本单位储存于 DNA 分子中。DNA 的结构与功能、DNA 的复制、RNA 的转录、蛋白质的生物合成-翻译等基因信息的传递与表达过程及调控机制,都是现代生物化学研究的中心环节。随着基因工程技术的发展,许多基因工程产品将应用于人类疾病的诊断和治疗当中。DNA 重组、转基因、基因剔除、新基因克隆、人类基因组计划及功能基因组计划等的发展,将大大推动这一领域的研究进程,并已取得令世人瞩目的成就。

二、生物化学与医学

生物化学是医学的重要基础课程,可以说任何一种疾病的发生,都伴随着代谢的异常。生物化学的理论与技术已渗透到医学科学的各个领域,使人们对危害人类健康与生命的许多重大疾病,例如对遗传性疾病、恶性肿瘤、免疫缺陷性疾病、心血管疾病、代谢异常性疾病的认识提高到分子水平,从而奠定了包括疾病的发生、发展、转归、预防等方面分子基础。随着科学的发展、新知识的不断涌现、学科间的相互渗透,逐步出现了一批交叉学科,如分子遗传学、分子免疫学、分子病理学、分子药理学等。人类基因组和人类后基因组计划的启动与完成,将为本世纪医学的发展带来新的突破。掌握生物化学的基础理论、基本知识和基本技能必将为进一步学习其他基础医学、临床医学、预防医学、口腔医学和药学等专业课程,乃至为毕业后的继续医学教育奠定坚实的基础。生物化学已成为生命科学领域各学科之间相互联系的共同语言。

三、生物化学的学习方法

生物化学内容较复杂、抽象,化学结构式、反应式较多,初学者会感到有一定难度,因此掌握科学的学习方法是非常重要的。

(一) 抓特点、记要点

物质代谢涉及许多化学结构式、反应式,反应过程复杂。且各条代谢途径间相互交叉、相互联系,容易混淆。在学习这类问题时,应抓住特点、记住要点,注意比较化学反应前、后的变化,掌握反应特点、反应性质和条件,如细胞定位、限速酶、能量变化及生理意义等,不要把精力用于死记硬背反应结构式上。

(二) 抓纲目,多而不乱

生物化学内容较多,学习各章时应首先建立起知识框架,再填充内容,抓纲目,纲举目张,多而不乱。

(三) 前后联系,归纳对比

在学习过程中要经常复习、回顾前面所学的知识。要善于归纳、总结和对比,在理解的基础上加深记忆。例如:在学习糖的分解代谢时,归纳总结糖酵解的特点,比较糖的有氧氧化与糖酵解有何不同,经总结、对比分辨,知识点就容易记住。

(四) 抓预习,带着问题学

通过预习,掌握学习的主动权,提前发现问题,带着问题学,可取得事半功倍的效果。

果。同时,提高了自学能力,为毕业后的继续学习奠定基础。

能力检测

1. 什么是生物化学?
2. 生物化学的研究内容有哪些?
3. 生物化学与医学的关系是什么?
4. 你喜欢用什么样的方法学习生物化学?

模块一

生物大分子的结构与功能



SHENGWU DAFENZI DE JIEGOU YU GONGNENG



项目一

蛋白质的结构与功能



【项目目标】

掌握:蛋白质在生物体中的重要性、蛋白质的分子组成和结构特点。

熟悉:蛋白质结构与功能的关系及主要的理化性质。

了解:蛋白质的分类。

蛋白质(protein)是生物体的基本组成成分。在人体内蛋白质的含量很多,约占人体内固体成分的45%。它的分布很广,几乎所有的器官组织都含蛋白质,并且它又与所有的生命活动密切联系。例如,机体新陈代谢过程中的一系列化学反应几乎都依赖于生物催化剂——酶的作用,而酶的化学本质就是蛋白质;调节物质代谢的激素有许多也是蛋白质或它的衍生物;其他诸如肌肉的收缩,血液的凝固,免疫功能,组织修复以及生长、繁殖等主要功能无一不与蛋白质相关。近代分子生物学的研究表明,蛋白质在遗传信息的控制、细胞膜的通透性、神经冲动的发生和传导以及高等动物的记忆等方面都起着重要的作用。蛋白质的结构决定其所要执行的生物学功能,因此要了解蛋白质在生命活动中的作用,必须从了解它的结构入手。

任务一 蛋白质的分子组成

一、蛋白质的元素组成

尽管蛋白质的种类繁多,结构各异,但元素组成相似,主要有碳(50%~55%)、氢(6%~8%)、氧(19%~24%)、氮(13%~19%)和硫(0~4%)。有些蛋白质还含有少量磷、硒或金属元素铁、铜、锌、锰、钴、钼等,个别蛋白质还含有碘。各种蛋白质的含氮量很接近,平均为16%。由于蛋白质是体内的主要含氮物,因此,测定生物样品的含氮量就可按下式推算出蛋白质的大致含量。即

$$\text{每克样品中含氮克数} \times 6.25 \times 100 = 100 \text{ 克样品中蛋白质含量}$$

二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸

蛋白质是高分子化合物,可受酸、碱或蛋白酶作用水解为小分子物质。蛋白质彻底水解后,用化学分析方法可证明其基本组成单位为氨基酸(amino acid)。

(一) 氨基酸的命名

氨基酸的命名以羧酸为母体,其碳原子的位次常用希腊字母 α 、 β 、 γ ……表示。氨基酸命名除系统命名外,还有通俗名称,例如, α -氨基乙酸,俗称甘氨酸。

(二) 氨基酸的结构特点

组成蛋白质的氨基酸,其蛋白质的结构有以下两个共同特点。

(1) 蛋白质水解得到的氨基酸都是 α -氨基酸(脯氨酸为 α -亚氨基酸),即在连接羧基的 α 碳原子上还有一个氨基,它可用下面的结构通式表示,R为氨基酸的侧链基团(图 1-1)。

(2) 不同的氨基酸其侧链(R)不同,除了R为H的甘氨酸外,其他氨基酸中与 α 碳原子相连的4个原子或基团各不相同,即手性碳原子,故它们具有旋光异构现象,存在D型和L型两种异构体(图 1-2)。组成天然蛋白质的氨基酸均为L-氨基酸。生物界中已发现的D-氨基酸大都存在于某些细菌产生的抗生素及个别植物的生物碱中。

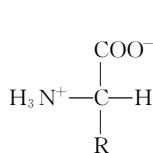


图 1-1 氨基酸结构通式

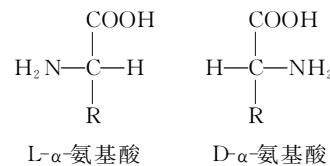
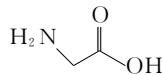
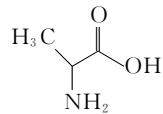
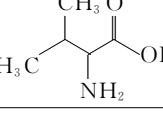
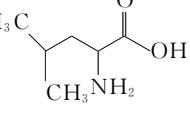


图 1-2 L-氨基酸和 D-氨基酸

(三) 氨基酸的分类

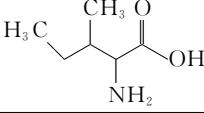
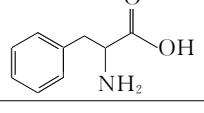
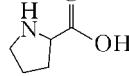
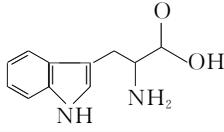
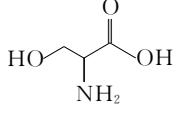
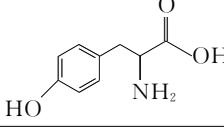
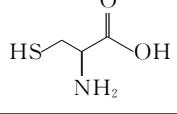
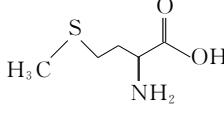
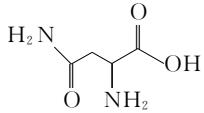
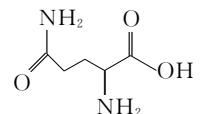
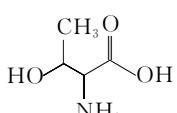
自然界存在的氨基酸约为300种,构成蛋白质的氨基酸已知的有20余种,其中,20种氨基酸都具有特异的遗传密码,故称为编码氨基酸(表 1-1)。在蛋白质分子结构中,氨基酸的侧链R基团在决定蛋白质性质、结构和功能上有重要作用,根据侧链基团的结构和性质可将20种编码氨基酸分为4类。

表 1-1 组成蛋白质的 20 种编码氨基酸

种类	结构式	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点 pI
非极性疏水性氨基酸		甘氨酸	glycine	Gly	G	5.97
		丙氨酸	alanine	Ala	A	6.00
		缬氨酸	valine	Val	V	5.96
		亮氨酸	leucine	Leu	L	5.98



续表

种类	结构式	中文名	英文名	三字符号	一字符号	等电点pI
非极性疏水性氨基酸		异亮氨酸	isoleucine	Ile	I	6.02
		苯丙氨酸	phenylalanine	Phe	F	5.48
		脯氨酸	proline	Pro	P	6.30
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
		蛋氨酸	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