




全国医药类高职高专“十二五”规划教材

简明生物化学教程

JIANMING SHENGWU HUAXUE JIAOCHENG

主编 罗永富

 第四军医大学出版社

全国医药类高职高专“十二五”规划教材

简明生物化学教程

主 编 罗永富

副主编 甘建华

编 者 (按姓氏笔画排序)

甘建华 (柳州医学高等专科学校)

张丽娟 (湖南岳阳职业技术学院)

罗永富 (湖南中医药高等专科学校)

欧阳翌国 (湖南中医药高等专科学校)

图书在版编目(CIP)数据

简明生物化学教程/罗永富主编. —西安:第四军医大学出版社,2011.8(2011.10重印)

ISBN 978-7-5662-0027-3

I. ①简… II. ①罗… III. ①生物化学-教材
IV. ①Q5

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第155961号

简明生物化学教程

主 编 罗永富
责任编辑 曹江涛 张永利
出版发行 第四军医大学出版社
地 址 西安市长乐西路17号(邮编:710032)
电 话 029-84776765
传 真 029-84776764
网 址 <http://press.fmmu.sn.cn>
印 刷 陕西天意印务有限责任公司
版 次 2011年8月第1版 2011年10月第2次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 9.5
字 数 200千字
书 号 ISBN 978-7-5662-0027-3/Q·44
定 价 20.00元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

前 言

本教材是全国医学高等专科学校和医学高等职业技术学院医学专业与医学相关专业的系列规划教材。适合于临床医学、中医学、护理、助产、药学、医学检验技术、医学影像技术、口腔医学技术、医学营养等医学相关专业《生物化学》的教学，也适合于成人高等教育专科层次医学类学员自学、复习之用。

遵照《教育部、卫生部关于加强医学教育工作，提高医学教育质量的若干意见》（教高〔2009〕4号）文件精神，作者结合多年的教学实践和各学校的教学经验，从医学专科层次的教育教学特点出发，针对教学对象的文化程度和生理、心理特点，确定了“体现现代教育观念，淡化课程意识，突出医学教育特征，把握专科教材特点，强调基础理论与基本知识够用、适度，精简扼要”等基本编写原则。力求内容丰富、重点突出、概念清晰、简明扼要、语言流畅、深入浅出，使教材体现出较强的科学性、逻辑性、可读性和实用性。重点讨论基础医学和临床实践所需要的生物化学基础理论和基本知识，同时对生物化学研究的新进展和新的理论、技术也作了简要介绍，为学生今后的继续教育奠定基础。

全书共设有“前言、正文和附录”三大部分。正文分为四大模块共十一章，第一模块（含三章内容）主要讨论生物分子的结构和功能；第二模块（含四章内容）主要讨论物质代谢或动态生化与临床；第三模块（含两章内容）主要讨论分子生物学中遗传信息的传递理论与应用；第四模块（含一章内容）主要讨论机能生化及与医学密切相关的内容。另一章为绪论。书后附有生物化学教学大纲。在教学中各学校可根据实际人才培养方案，对教学内容和学时分配进行适当调整。

教材分章编写，交叉审阅修改，全书最后由罗永富统稿。参加编写的学校和教师有湖南中医药高等专科学校罗永富、欧阳翌国，柳州医学高等专科学校甘建华和湖南岳阳职业技术学院张丽娟等。教材编写过程中得到第四军医大学出版社领导和编辑的关心与指导，得到了各参编院校的大力支持，在此一并表示衷心感谢。

生物化学是研究生物体的化学本质及规律，从分子水平探讨生命奥秘的科学。既然是一门科学，就有其自身完整的庞大知识结构、应用技术和理论体系。一个人一辈子只学生物化学，都有学不完的知识，解不开的谜。作为医学专科层次的教育，《生物化学》是医学及医学类各专业的一门重要的基础理论课程。作为医学专科层次的学生怎样运用本教材学习生物化学这门课程？在此同大家谈点个人的体会和感悟。

首先，必须明确生物化学对医学生来说是一门医学基础课程。这里强调的是“基础”！所谓基础有两层含义：第一层含义是医学生学习后续课程，尤其是专业课程的基础。也就是说，后续课程的学习必须有一定的生物化学知识和理论基础。为什么？我们先讨论什么是健康，什么是生病。从本质上说，健康就是人体内所有化学物质的

含量和结构正常，化学反应以最适宜人的生存和生长的状况进行着（最佳状态）。生病就有两个大的方面：一是人体内化学物质发生了改变，包括结构和含量的改变，或外来物质的入侵；二是体内化学反应发生了紊乱，包括异常的和不适合人生存和生长的反应。那么，治病就是采取各种手段、方法和药物以纠正体内异常的化学变化，使之回归到最佳状态。从根本上说，后续临床课程讲到的各种疾病的临床症状和体征都是体内化学改变的外在表现。而到了学习临床课程时，只能介绍这些症状和体征，主要是某种疾病的临床表现特征和简单的病理变化。如果没有生物化学的基础，学生就只能死记硬背或者说是知其然而不知其所以然。有了生物化学的理论基础，就知道这些临床表现的由来，明白“为什么会出现这些症状和体征”，并从理论上推测进一步的发展和转归，也明白采取相应措施的原理，学习当然就轻松多了。在此借用有关学者的一句话告诫各位同学：“没有生物化学知识和理论，成不了一名合格的现代医务工作者。”第二层含义是生物化学本身是一门独立的学科，有许多专门从事生物化学研究和应用的学者和科学家，而且追求永无止境。对于专科层次的医学生来说，在短短的几十个学时内是不可能掌握其全部精髓的，只能学习和掌握一些基本知识、基本理论。不可深究，决不能钻进去而出不来，主次不分，花了大量时间和精力还是只知道一点皮毛，反而影响其他课程和专业课程的学习。所以我要提醒同学们：生物化学不是我们的专业课，只是基础课。综上所述：对于专科层次的医学生来说，生物化学不可不学，也不能痴迷。本教材就是基于上述理念，精选与医学，尤其是临床密切的生物化学知识和理论作为教材的主体内容。

其次，必须明确生物化学是从分子水平揭示生命活动的真谛，探讨生命的奥秘。世界物质的构成由低级到高级依次是：原子→小分子→生物大分子→细胞→组织器官→系统→生物体。生物化学研究、探讨的对象是生物，医学生物化学的对象主要是人体，而切入点主要是生物大分子，当然也包含一些小分子化合物。这是我们学习生物化学理论之前必须明白的一个重要概念。本教材的主体内容就是生物大分子的组成、性质、结构、功能、代谢以及构件分子的代谢等方面的知识和理论。尽可能地强调与医学临床有关的内容，突出医学的特点。这是本教材的主线，同学们学习时也必须牢牢抓住这个主线，才会学有成效。

再次，必须明确生物化学在医学专业教育中的地位和作用。地位是基础地位。基础并不意味着不重要，没有基础又何谈上层建筑？说白了，就是后续课程的学习和今后的临床工作必须有生物化学的基础。同学们都知道，有的疾病为什么在下级医院束手无策，而到了高级医院在专家教授那里就迎刃而解了？就是因为这些专家教授有扎实的理论基础和过硬的技术，也包括扎实的生物化学理论知识。因为生物化学的作用是为临床各种疾病的预防、诊断、治疗、预后和康复等所采取一切行为提供科学的理论依据。没有理论基础的人只能称得上学徒，称不上学者。明确其地位和作用就要重视其学习。但生物化学知识浩瀚，我们要学习哪些内容？主要是学习基本知识、基础理论和概念。这些内容包括生物体的物质组成、结构、功能、代谢以及与临床密切相关的生物化学理论。如核酸的种类、分布、组成、结构、理化性质、功能和代谢，蛋白质的组成、结构、理化性质、营养作用、代谢和主要蛋白质的功能、临床应用等。

最后，必须掌握正确的学习方法。怎样学习生物化学？①明确学习目的，端正学习态度，从思想上重视和接受这门课程；②掌握基本概念、基本知识和基础理论，不可深究；③以本教材为蓝本，在教师的指导下逐章学习，逐章消化；④坚持理论联系实际，学会用生物化学知识和理论去观察、分析、解释、推论生活中所遇到或看到的事物和患者的病症。并用这些知识指导自己、家人和周围朋友的生活和保健行为。做到活学活用，学以至用。

由于我们水平有限，本教材在编写过程中，虽然经过反复修改，仍难免存在不妥甚至错漏之处，敬请同行专家、广大教师和学生多提宝贵意见。

罗永富

2011年6月

目 录

第一章 绪论	(1)
第二章 蛋白质	(5)
第一节 蛋白质的化学组成	(5)
第二节 蛋白质的分子结构	(8)
第三节 蛋白质结构与功能的关系	(13)
第四节 蛋白质的理化性质和分类	(14)
第三章 核酸	(16)
第一节 核酸分子的化学组成	(16)
第二节 核酸的一级结构	(19)
第三节 DNA 的空间结构与功能	(20)
第四节 RNA 的空间结构	(24)
第五节 核酸的主要理化性质	(26)
第六节 DNA 变性理论与应用	(27)
第四章 酶	(28)
第一节 概述	(28)
第二节 酶的分子结构与功能	(31)
第三节 影响酶促反应的因素	(36)
第四节 酶学与医学的关系	(40)
第五章 生物氧化	(42)
第一节 生物氧化过程中 CO ₂ 的生成	(42)
第二节 生物氧化过程中水的生成	(43)
第三节 ATP 的生成	(46)
第六章 糖代谢	(49)
第一节 糖原的合成与分解	(49)
第二节 糖的分解代谢	(52)
第三节 糖异生作用	(60)
第四节 血糖	(62)
第七章 脂类代谢	(64)
第一节 脂类的分布及生理功能	(64)
第二节 脂肪的分解代谢	(65)
第三节 脂肪的合成代谢	(69)
第四节 胆固醇的代谢	(71)

第五节 甘油磷脂的代谢	(73)
第六节 血脂与血浆脂蛋白	(74)
第七节 脂类代谢调控	(76)
第八节 脂类代谢紊乱引起的常见疾病	(77)
第八章 氨基酸代谢	(80)
第一节 蛋白质的营养作用	(80)
第二节 氨基酸的一般代谢	(82)
第三节 个别氨基酸的代谢	(89)
第四节 氨基酸、糖和脂肪在代谢上的联系	(93)
第九章 核酸代谢	(94)
第一节 核酸的分解代谢	(94)
第二节 核酸的合成代谢	(97)
第三节 核苷酸类抗代谢药物	(109)
第十章 蛋白质生物合成	(110)
第一节 RNA 在蛋白质生物合成中的作用	(110)
第二节 蛋白质生物合成的基本过程	(113)
第三节 蛋白质生物合成理论的临床应用	(116)
第十一章 肝的生物化学	(121)
第一节 肝的结构特点及其生物化学功能	(121)
第二节 肝的生物转化作用	(123)
第三节 胆汁酸代谢	(127)
第四节 胆色素代谢	(130)
第五节 肝功能实验室检查	(134)
附录1 《生物化学》教学大纲	(137)
附录2 临床生物化学检验常用缩写符号	(139)
参考文献	(143)

第一章 绪 论

生物化学是研究生物体的化学本质及规律,从分子水平探讨生命奥秘的科学,又称生命的化学。生物化学研究对象是生物体,包括动物、植物和微生物。因此,生物化学又分为动物生物化学、植物生物化学、微生物生物化学和普通生物化学等几大类。每个大类又分为许多分支学科,例如,微生物生物化学又分为细菌生物化学、病毒生物化学等等。医学生学习的是医学生物化学,主要包括人体生物化学和部分微生物生物化学。早期生物化学主要采用化学、物理和数学的理论和研究方法研究生物体的物质组成、分子性质、结构与功能、物质代谢变化规律等。随着研究的不断深入,运用了生理学、遗传学、免疫学、细胞生物学和生物信息学的理论和技术,使生物化学得到了蓬勃发展并成为生物科学中极为重要的学科。

生物化学是医学和医学类专业必修的专业基础课程。其他医学基础课程主要阐述人体正常与异常的结构和功能,临床医学各学科重点研究疾病发生、发展机制及诊断、治疗、预防等,生物化学则为医学各学科从分子水平探讨正常或疾病状态时人体的结构与功能、疾病的预防、诊断与治疗提供理论和技术。例如,近年来临床医学研究者运用生物化学的理论和方法,对代谢性疾病、免疫性疾病、心脑血管疾病、恶性肿瘤、神经系统疾病等进行的分子水平的研究,其研究成果促使人们对这些疾病的发生、发展规律的认识达到了新的理论高度,对这些疾病的预防、诊断与治疗有了新的突破。

生物化学是生命科学中众多学科的共同语言。生命科学包括形态学、机能学、分类学、遗传学、生态学和生物化学等等。其中生物化学是当今最为热门的学科之一,不仅其自身的研究成果举世瞩目,而且由研究产生的理论和技术已经渗透到了生命科学的各个学科以及基础医学和临床医学的各个领域。在此基础上又产生了众多的新兴的边缘科学,如分子遗传学、分子免疫学、分子病理学、分子药理学、分子病毒学等。由此可见,目前生命科学的众多学科的深层次的研究成果都是用生物化学的语言在说话。

随着医学的发展,生物化学的理论和技术的越来越多地应用于疾病的预防、诊断和治疗,从分子水平探讨各种疾病的发生、发展和转归机制已成为当代医学研究的共同目标。因此,医学生学习和掌握生物化学理论和知识,不仅为后续医学各课程的学习打基础,也为今后的深造奠定良好的基础。

生物化学在生命科学的众多学科中是一门较为年轻的学科。生物化学的诞生并不是像人们想象的那样由有机化学衍生而来。虽说糖和氨基酸等底物与酶反应的产物都是通过有机化学的方法制备和鉴定,但早期生物化学是从农学院和医学院的生理系和营养系分离出来的。生理学和营养学研究发现,用化学的理论和方法研究生物的各种生命现象,如肌肉收缩、消化吸收、光合作用、发酵和视觉等的机制显得更为透彻。随着这方面研究成果的积累,理论知识的不断丰富,理论体系的逐渐完善,科学家发现生理学和营

养学已经不能包容这些理论体系,德国化学家纽堡(Carl Neuberg)于1903年正式提出“生物化学”这一名称,随后生物化学成为一门独立的学科。生物化学从诞生发展到今天登峰造极的地步经历非同寻常的过程,其发展史可分为三个阶段。

(一) 叙述生物化学阶段

18世纪中至19世纪末为生物化学的初期阶段,即叙述生物化学阶段。在此阶段主要研究生物体,尤其是人体的化学物质的组成、组成生物体的化学物质的性质、结构等。在此阶段值得人们永远记忆的科学家有德国药师舍勒(K. Scheele)、法国化学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier)和微生物学家巴斯德(Louis Pasteur)。舍勒于18世纪下半叶首次从动植物材料中分离出乳酸、柠檬酸、酒石酸、苹果酸、尿酸和甘油等物质。拉瓦锡通过实验证明有机体的呼吸与蜡烛的燃烧同样是碳氢化合物的氧化。在氧化过程中,消耗了氧气生成水和二氧化碳,同时放出热量。巴斯德1847年在巴黎大学获得博士学位,此后他开始潜心研究发酵,证明了是酵母细胞导致了酒精发酵,即蔗糖在厌氧条件下转变为乙醇和二氧化碳。1897年布克奈(Buchner)证明无细胞酵母提取液也引起发酵。此阶段的重要贡献有以下几方面:①对糖类、脂类及氨基酸的性质进行了较为系统的研究;②发现了核酸;③从血液中分离出了血红蛋白;④证实了相邻氨基酸之间肽键的形成;⑤化学合成了简单的多肽;⑥发现酵母发酵产生醇和二氧化碳,并为酶学的研究奠定了基础。经过此阶段的研究,使人们清楚地认识到人体的基本化学组成成分有核酸、蛋白质、脂类、糖类、小分子有机化合物(如维生素、核苷酸、葡萄糖等)、水和无机盐。人体内含量最多的是水,占体重的55%~60%,其次是蛋白质,占体重的15%~18%。脂类占体重的10%~15%,无机盐占体重的3%~4%。体内糖类含量较少,占体重的1%~2%。除水和无机盐外,其他物质为生物体内所特有,故称为生物分子。其中小分子有机化合物如维生素、核苷酸等为生物小分子;核酸、蛋白质、脂类和糖类等为生物大分子。生物大分子结构复杂、种类繁多,是体现各种生命现象最基本的物质基础,如繁殖、物质代谢、遗传、兴奋、肌肉收缩、生物信息传导、记忆等无不与生物大分子特有的结构和功能有关。

(二) 动态生物化学阶段

从20世纪初期开始,生物化学得到了蓬勃发展,进入了动态生物化学阶段。在此阶段主要研究生物体内物质代谢与调节。在此阶段作出了突出贡献的科学家有德国化学家费歇(E. Fischer)、克雷布斯(H. A. Krebs)和我国生物化学家吴宪等。吴宪教授在临床生物化学,尤其是血液分析、气体与电解质平衡、蛋白质的生物化学,特别是蛋白质变性理论、氨基酸代谢和营养学等领域研究工作在当时属先导者。此阶段的重要贡献有以下几方面:①发现了人类必需氨基酸、必需脂肪酸及多种维生素;②发现并分离出了多种激素,有的激素获得了人工合成;③认识了酶的化学本质是蛋白质,结晶体制备获得成功;④用分析化学和同位素示踪技术基本确定了体内主要物质的代谢途径,如糖代谢途径的酶促反应过程、尿素的合成途径、三羧酸循环和脂肪酸 β 氧化过程等;⑤提出了生物能量代谢过程中的ATP循环学说。经过此阶段的研究,使人们对人体内物质代谢的概念和代谢状况有了更清楚的认识,并确立了“中间代谢”概念。据推测人活到60岁时就与外界环境交换了约60 000kg的水,消耗了10 000kg的糖类,1600kg的蛋白质,

1000kg 的脂类。这些物质的代谢一方面保证了生物体的繁殖、生长、发育、修复等一系列生命活动进行生物合成所需要的原材料;另一方面也为生物体的各种生命活动提供了巨大的能源物质。

(三) 分子生物学时期

20 世纪末期,物质代谢途径的研究不断深入,合成代谢与代谢调节成为代谢研究重点的同时,生物大分子的结构与功能的研究进入了崭新的阶段,从而催生了分子生物学迅速崛起。自然界的物质的构成由简单到复杂分为五级:一级是原子;二级是分子,最小的分子是氢分子,最大的分子是生物大分子;三级是分子聚合物,由相同的分子或不同的分子结合构成分子聚合物,其形状不像分子;四级是细胞,由不同分子聚合相结合而成为有形的物质单位,其形态常可用显微镜观察;五级是生物体,生物体由简单到复杂的顺序是:病毒→单细胞原核生物→多细胞生物。最简单的生物是病毒颗粒,最复杂的生物是动物,尤其是人体。生物大分子是生物的各种生命现象的物质基础,如核酸是生物遗传的物质基础;蛋白质是生命活动的物质基础或称为生命现象体现的物质基础。结构决定功能,而功能是结构的体现。因此,生物化学发展到第三个阶段时主要研究生物大分子的结构与功能。生物大分子是由许许多多的结构简单的生物小分子聚合而成的,构成生物大分子的相应小分子通常称为构件分子或基本组成单位。如核酸的构件分子是核苷酸;蛋白质的构件分子是氨基酸;糖原的构件分子是葡萄糖;脂肪的构件分子是甘油和脂肪酸等。由构件分子首先构成生物大分子的一级结构,一级结构既是生物大分子高级结构的基础,也是生物大分子的功能基础。生物大分子在一级结构的基础上,以盘旋、折叠、聚合等方式形成具有一定空间构象的分子才能发挥其相应的生物学功能。因此,一级结构的改变或空间构象的破坏都会导致生物学功能的改变甚至消失。在此阶段最具影响力的科学家是沃森(J. D. Watson)和克里克(F. H. Crick)。此阶段发生的重大事件太多,最具代表性的重大事件是以下三个方面:

1. 蛋白质与核酸空间结构的发现 20 世纪 50 年代初期发现了蛋白质的 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等。1953 年沃森和克里克提出的 DNA 双螺旋结构模型,为揭示遗传信息传递规律奠定了基础,是生物化学发展进入分子生物学时期的重要标志,从而给整个生命科学乃至整个人类社会带来了一场革命。随后,广大科学家对 DNA 的复制机制、RNA 的转录过程以及各种 RNA 在蛋白质生物合成中的作用等方面进行了深入研究和探讨,提出了遗传信息传递的中心法则,破译了 mRNA 分子中的遗传密码等。20 世纪 50 年代后期揭示了蛋白质生物合成途径。

2. DNA 克隆获得成功 20 世纪 70 年代,随着限制性核酸内切酶的发现,基因分离、鉴定和操作技术的不断进步,DNA 克隆获得成功。由此而产生的重组 DNA 技术不仅促进了对基因表达调控机制的研究,也使人们对基因操作并主动改造生物体变得可能,这就是人们常说的基因工程。基因工程的基本原理是应用人工方法分离生物体的遗传物质(DNA);或通过化学方法合成出人工的遗传物质,在体外进行切割、拼接和重组,再将其导入某种宿主(微生物、动物、植物细胞或动物个体),使后者获得新的遗传系统,新的遗传信息在宿主内大量表达,以获得基因产物,如多肽、蛋白质或其他物质。基因诊断与基因治疗也是基因工程在医学领域应用的重要方面。20 世纪 80 年代,核酶的发现为人

类对生物催化剂的认识开拓了新的视野。聚合酶链反应(PCR)技术的发明,使人们能在体外高效率扩增 DNA。

3. 基因组学的诞生 人类基因组中蕴藏着人的生、老、病、死的遗传密码,破译这些信息将为诊断各种疾病、研制新药和新的有效疗法带来一场革命。因此,人类基因组计划(human genome project,HGP)与“曼哈顿”计划和“阿波罗”计划并列为 20 世纪的三大科技计划。1990 年成立了国际 HGP 组织,由美国、英国、日本、法国、德国和中国 6 个国家的科学家共同承担人类基因组的测序工作。经过各国科学家的努力,于 2001 年 6 月 26 日提前绘制出了人类基因组框架图。人类基因组框架图获得后,后基因组时代或功能基因组时代也随即到来。后基因组时代研究工作的重点是注释基因及调控顺序的功能,特别是其编码的蛋白质的结构与功能,为阐明生命活动过程中生理和病理现象的发生、发展机制,重大疾病的诊断、预防,发现和确定新的药物靶点,研制更为有效的治疗用药等奠定基础。

近代生物化学史上也有我们中国人的贡献。新中国成立后我国生物化学也得到迅速发展。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 年又成功地合成了酵母丙氨酸 tRNA。我国科学家参与了人类基因组计划。

(罗永富)

第二章 蛋白质

蛋白质是生命的重要物质基础,是生物体细胞的重要组成成分,各种生命活动都离不开蛋白质。蛋白质的主要生理功能表现为以下几个方面:①维持组织的生长、更新和修补。正常成人体内每天约有3%的蛋白质更新,在组织受创伤时,则须供给更多的蛋白质作为修补的原料。为保证儿童的健康成长,对生长发育期的儿童、孕妇提供足够量优质的蛋白质尤为重要。②是重要生理功能的物质基础。体内重要的生理活动都是由蛋白质来完成的,例如,参与机体防御功能的抗体,催化代谢反应的酶;调节物质代谢和生理活动的某些激素和神经递质,有的是蛋白质或多肽类物质,有的是氨基酸转变的产物;此外,肌肉收缩、血液凝固、物质的运输等生理功能也是由蛋白质来实现的。因此,蛋白质是生命活动的重要物质基础。③氧化供能。食物蛋白质也是能量的一种来源,每克蛋白质在体内氧化分解可产生17.9kJ(4.3kcal)能量。一般成人每日约有18%的能量来自蛋白质。但糖与脂肪可以代替蛋白质提供能量,故氧化供能是蛋白质的次要生理功能。饥饿时,组织蛋白分解增加,每输入100g葡萄糖约节约50g蛋白质的消耗,因此,对不能进食的消耗性疾病患者应注意葡萄糖的补充,以减少组织蛋白的消耗。正因为蛋白质在生命中扮演如此重要的角色,深入了解蛋白质的结构、性质、功能有关知识是认识生命本质的关键之一。

第一节 蛋白质的化学组成

一、蛋白质的元素组成

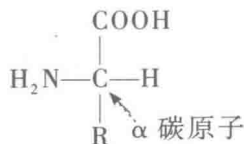
蛋白质是一类含氮有机化合物,除含有碳、氢、氧外,还有氮和少量的硫。某些蛋白质还含有其他一些元素,如磷、铁、碘、锌和铜等。这些元素在蛋白质中的组成百分比为:碳(C)50%~55%,氮(N)13%~19%,氢(H)6.0%~7.3%,氧(O)19%~24%,硫(S)0~4%。蛋白质的含氮量相对恒定,占生物组织中所有含氮物质的绝大部分。因此,可以将生物组织的含氮量近似地看做蛋白质的含氮量。由于大多数蛋白质的含氮量接近于16%,所以,可以根据生物样品中的含氮量来计算蛋白质的大概含量:蛋白质含量(克/克)=每克生物样品中含氮的克数 \times 6.25。6.25称为蛋白质系数。测定含氮量的方法很多,常用的有凯氏定氮法、亚硝酸法等。

二、蛋白质的基本组成单位——氨基酸

(一)氨基酸的结构

氨基酸是具有氨基($-\text{NH}_2$)或亚氨基和羧基($-\text{COOH}$)的有机分子。氨基酸种类

很多,自然界中存在 300 多种氨基酸,但参与人体蛋白质构成且具有遗传密码的氨基酸只有 20 种,结构通式如下:



除了甘氨酸以外,其余 19 种氨基酸的 C_α 均是不对称碳原子(手性碳原子),可形成 L 型和 D 型两种空间构型,构成人体蛋白质的氨基酸均为 L 型,故称 L-型 α -氨基酸。甘氨酸的侧链基团(R)是 H, C_α 是非手性碳原子,因此只有一种空间构型。脯氨酸则属 L- α 亚氨基酸。

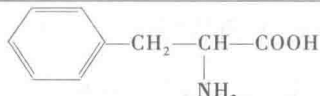
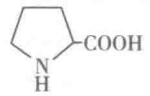
(二) 氨基酸的分类(表 2-1)

由于侧链 R 不同,形成了不同的氨基酸。

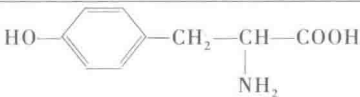
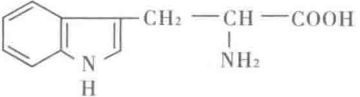
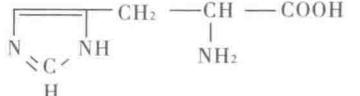
1. 根据氨基酸侧链基团有无极性,分为极性侧链氨基酸和非极性侧链氨基酸。

2. 根据分子中所含氨基和羧基的数目不同,分为酸性氨基酸、碱性氨基酸和中性氨基酸三类,其中酸性氨基酸含 2 个羧基和 1 个氨基,碱性氨基酸含 2 个或 2 个以上碱性基团和一个羧基,它们都属于含有可解离基团的极性氨基酸。而中性氨基酸只含有 1 个羧基和 1 个氨基,在形成蛋白质分子时参与了肽键的形成。因此根据氨基酸侧链有无极性,中性氨基酸又可分为非极性中性侧链氨基酸和极性中性侧链氨基酸。

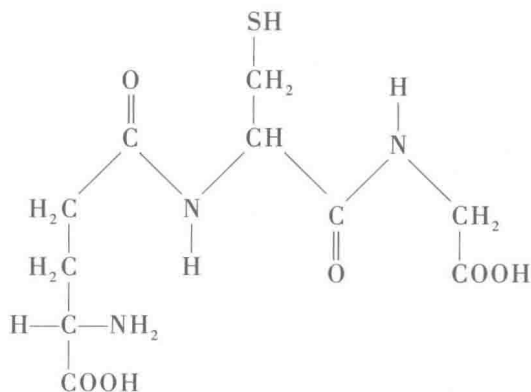
表 2-1 组成蛋白质的氨基酸的结构和分类

类别	俗名与	缩写符	化学结构简式	pI
非极性 中性侧链 氨基酸	甘氨酸	Gly, G	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.97
	丙氨酸	Ala, A	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	6.02
	缬氨酸	Val, V	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_2 \end{array}$	5.97
	亮氨酸	Leu, L	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	5.98
	异亮氨酸	Ile, I	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COOH} \\ \quad \quad \\ \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_2 \end{array}$	6.02
	苯丙氨酸	Phe, F		5.48
	脯氨酸	Pro, P		6.48

续表

类别	俗名与	缩写符	化学结构简式	pI
极性中性侧链氨基酸	半胱氨酸	Cys, C	$\text{HS}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	5.07
	蛋氨酸	Met, M	$\text{CH}_3\text{S}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	5.75
	丝氨酸	Ser, S	$\text{HO}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	5.68
	苏氨酸	Thr, T	$\text{H}_3\text{C}-\underset{\text{OH}}{\text{CH}}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	5.87
	酪氨酸	Tyr, Y		5.66
	天冬酰胺	Asn, N	$\text{O}=\text{C}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}_2}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	5.41
	谷氨酰胺	Gln, Q	$\text{O}=\text{C}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}_2\text{CH}_2}-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	5.65
	色氨酸	Trp, W		5.89
酸性氨基酸	天冬氨酸	Asp, D	$\text{HOOC}-\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	2.77
	谷氨酸	Glu, E	$\text{HOOC}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	3.22
碱性氨基酸	赖氨酸	Lys, K	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	9.74
	精氨酸	Arg, R	$\text{H}_2\text{N}-\underset{\text{NH}}{\text{C}}-\text{NH}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\underset{\text{NH}_2}{\text{CH}}-\text{COOH}$	10.76
	组氨酸	His, H		7.59

有些肽虽然分子量比较小,也具有重要的生理功能。如谷胱甘肽,它是由谷氨酸、半胱氨酸与甘氨酸缩合而成的三肽。在各种多肽中,谷胱甘肽的结构比较特殊,分子中谷氨酸是以其 γ -羧基与半胱氨酸的 α -氨基脱水缩合生成肽键的,且它在细胞中能进行可逆的氧化还原反应,因此有还原型与氧化型两种谷胱甘肽。其结构式如下:



谷胱甘肽在红细胞中含量丰富,具有保护细胞膜结构及使细胞内酶蛋白处于还原、活性状态的功能。还有一些小分子肽也常用作食物的调味剂。如 Aspartame 就是天冬氨酰苯丙氨酸的甲基酯。它的甜度是蔗糖的 200 倍,成为食品的常用添加剂。

(二) 蛋白质的基本结构

蛋白质多肽链中氨基酸的排列顺序,称为蛋白质的基本结构,即一级结构。蛋白质的基本结构是其空间结构和特异生物学功能的基础。维持蛋白质基本结构的主要化学键是肽键。

首先被确定基本结构的蛋白质是胰岛素,英国化学家 F. Sanger 于 1953 年首次完成了牛胰岛素氨基酸序列的测定。它由两条多肽链 51 个氨基酸残基构成。其中 A 链含 21 个氨基酸残基, B 链含 30 个氨基酸残基。随后其他动物和人胰岛素的基本结构相继被确定。人胰岛素的一级结构见图 2-1。

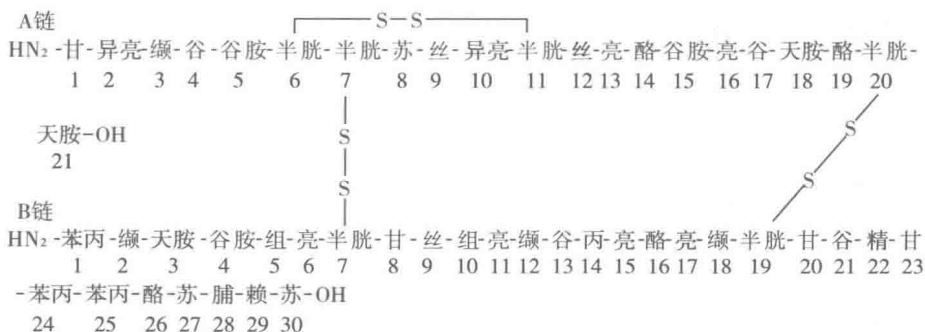


图 2-1 人胰岛素的一级结构

二、蛋白质的空间结构

蛋白质是由多肽链构成的,可以把多肽链的主链看成是由一系列的平面所组成。肽键的 C-N 键具有部分的双键性质,不能自由旋转,肽键的 C 及 N 周围三个键角之和均为 360° ,说明都处于一个平面上,也就是说六个原子同处于一个平面。肽键上的 C、