

全国成人高等医学教育协作组本科教育规划教材

于秉治 / 主编

医用生物化学

供基础、临床、预防、口腔、检验、影像医学类专业用

- 卫生部科教司 教育部高教司“课程基本要求”接轨教材
- 国家执业医师资格考试“直通车”

中国协和医科大学出版社

全国成人高等医学教育协作组本科教育规划教材
供基础、临床、预防、口腔、检验、影像医学类专业用

全国成人高等医学教育协作组本科教育规划教材编写委员会

主任委员 郑树森

副主任委员 董崇田 袁 钟 张成兰 沈 彬

委 员 (按姓氏笔画为序)

于秉治 刘纯艳 吕敏芝 朱为民 余承高 吴 坤

张爱珍 李 敏 李玉林 杨世杰 陈金华 周胜利

胡品津 梁万年 熊宝珍 潘辉英 磨 琨

医用生物化学

于秉治 主 编

王 炜 副主编

编者 (以姓氏笔画为序)

于秉治 (中国医科大学)

于晓光 (哈尔滨医科大学)

王 炜 (华中科技大学同济医学院)

王西明 (华中科技大学同济医学院)

司维柯 (第三军医大学)

刘 莹 (中国医科大学)

孙黎光 (中国医科大学)

张 杰 (中国医科大学)

徐文弟 (哈尔滨医科大学)

覃甲仁 (广西医科大学)

中国协和医科大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

医用生物化学 / 于秉治主编. —北京: 中国协和医科大学出版社, 2004.3
全国成人高等医学教育协作组本科教育规划教材
ISBN 7-81072-493-2

I. 医… II. 于… III. 医用化学-生物化学-高等
学校-教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 004804 号

全国成人高等医学教育协作组本科教育规划教材

医用生物化学

供基础、临床、预防、口腔、检验、影像医学类专业用

主 编: 于秉治
责任编辑: 陈永生

出版发行: 中国协和医科大学出版社
(北京东单三条九号 邮编 100730 电话 65260378)

网 址: www.pumcp.com
经 销: 新华书店总店北京发行所
印 刷: 北京丽源印刷厂

开 本: 787×1092 毫米 1/16 开
印 张: 32.75
字 数: 800 千字
版 次: 2004 年 3 月第一版 2004 年 3 月第一次印刷
印 数: 1—5000
定 价: 55.00 元

ISBN 7-81072-493-2/R·488

(凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页及其他质量问题, 由本社发行部调换)

出版说明

为了确保全国高等医学教育专科起点本科的教育质量，落实教育部关于专升本的培养目标，全国成人高等医学教育协作组组织全国从事成人高等医学教育专家编写了本套教材。

在我国高等医学教育中，由于专升本教育对象有的从事过医学工作，有的尚未参加工作，但是均经过了专科培养。若按一般本科教育不仅会出现教学内容重复，也难以与医学实践教学相结合。因此，目前专升本教育仍在探索中。通过调查了解，学生愿意使用普通本科教育教材，以示自己在接受本科教育，但在具体学习过程中，学生很反感重复教学，希望学习到更多的新的实用知识和技能，尤其是结合临床实际的内容。针对专升本教育的这些问题，全国成人高等医学教育协作组在卫生部科教司的指导下，从2001年开始组织专家进行科学研究，广泛听取多年从事专升本教育教师的意见，总结出专升本教育的特点和培养目标的要求。通过反复讨论和修改，编写了医学专升本教育的课程基本要求。在此基础上，协作组又在2002年厦门会议上讨论决定编写专升本系列教材。根据卫生部科教司有关领导的指示精神，经征集专家的意见，确定了本套教材的特点和编写原则，即缩减本科与专科教学内容的重复，增加临床实践教学内容，并结合临床执业医师资格考试，力求全面覆盖执业医师资格考试内容，使这套教材成为专升本学生参加执业医师资格考试的“直通车”，必将受到广大专升本教师和学生的欢迎。

本套教材的编写始终得到卫生部科教司的关怀与支持，在卫生部的直接指导下经过认真地推荐与评选，成立了以郑树森院士为主任委员的编委会，根据编委会拟定的严格条件，认真遴选了每个学科的主编、副主编和编者。在编写过程中认真参考了已有的各种教材，并要求每位主编及时写出本门教材的编写大纲和样章。本套教材经过充分准备、认真研讨、集思广益，总结了各类教材的经验教训，广泛征求了教学第一线的教师意见，准确把握专升本的教学内容，并做到能够与执业医师考试有机地结合。

值此2004年我们将本套教材奉献给广大教师和学生，使大家在成人高等医学教育中真正受益，既符合成人高等医学教育的需要，又充分反映了专升本医学生的普遍要求。

本套教材的编写尽管汇集了全体专家的智慧和经验，但不足之处在所难免，恳请各位同行与广大学生提出宝贵意见，批评指正。

全国成人高等医学教育协作组

二〇〇四年三月

前 言

随着我国医学教育的不断发展,不同层次的医学教育特点逐渐突出。为提高教育效果,必须对不同的对象使用不同的教材及不同的教学方法。“专升本”的学生主要来自通过助理医师资格考试的人员。这些同学具有一定的临床经验,具有一定的医学知识,但尚未达到医学本科水平,为使他们能够达到本科毕业水平,并能通过执业医师资格考试,需要进一步提高。针对这样一个群体,为达到上述目的,我们必须有一本更适合他们的教材。这本教材既不能照搬本科教材,也不能是本科教材的缩写本。我们编写组在全国医学成人教育协作组的领导下,经过认真讨论、研究,决定按以下特点编写一本教材:一.因为生物化学是与医学联系极为密切的学科,所以我们在每一章里都有一节“××章与医学”,并有一个典型病例。二.本着避免与本科教材重复过多,又要注意衔接与系统性的原则,我们对一些基本内容进行了简化,有的用表格形式,力求精练。三.为增加趣味性,我们在每一章都选编了一些诺贝尔奖获得者的小故事,拓宽同学们的视野。四.为跟上时代的步伐,我们力争尽量把一些新进展、新知识介绍给同学,如核糖体在蛋白质生物合成中的中心地位等。五.教材内容上涵盖攻读硕士学位所需内容,做好攻读硕士学位的知识衔接工作。六.每章配备一定量的复习思考题供同学们复习使用。七.为便于同学复习和通过执业医师考试,我们在光盘里附上了教学大纲和执业医师资格考试题。

该书在编辑定稿过程中,中国医科大学生物化学与分子生物学教研室魏金荣、王静舒作为编书秘书,做了大量的内容编写、文字校对修改和绘图等工作。此外惠答美也参与了十六章的编写修改工作,在此一并表示感谢。

总之,我们力争向同学们展现的是一本崭新的、适合医学生使用的、融知识性、科学性、趣味性为一体的好教材。为使教材进一步完善,欢迎提出反馈意见。

于秉治

2003年12月

目 录

绪 论	(1)
第一篇 生物大分子的结构与功能	(4)
第一章 蛋白质的结构与功能	(4)
第一节 蛋白质的分子组成	(5)
第二节 蛋白质的分子结构	(12)
第三节 蛋白质的理化性质	(20)
第四节 蛋白质结构与功能	(23)
第五节 蛋白质的分类	(28)
第六节 蛋白质结构与医学	(29)
第二章 核酸结构与功能	(34)
第一节 核酸的基本结构	(34)
第二节 DNA 的结构与功能	(38)
第三节 RNA 的结构与功能	(41)
第四节 核酸的理化性质及其应用	(44)
第五节 核酸结构与医学	(45)
第三章 酶	(49)
第一节 酶的结构与功能	(49)
第二节 酶促反应的特点及机制	(59)
第三节 酶促反应动力学	(64)
第四节 酶的命名与分类	(74)
第五节 酶与医学	(76)
第二篇 物质代谢及其调节	(81)
第四章 糖代谢	(81)
第一节 糖的生理功能及代谢概况	(82)
第二节 糖的无氧分解	(84)
第三节 糖的有氧氧化	(89)
第四节 磷酸戊糖途径	(98)
第五节 糖异生	(101)
第六节 糖原的合成与分解	(108)
第七节 血糖及其调节	(114)
第五章 脂类代谢	(121)

第一节	脂类的分布及生理功用	(121)
第二节	脂类的消化吸收	(122)
第三节	甘油三酯代谢	(123)
第四节	磷脂的代谢	(137)
第五节	胆固醇代谢	(142)
第六节	血浆脂蛋白	(146)
第七节	脂类代谢与医学	(154)
第六章	生物氧化	(159)
第一节	概述	(159)
第二节	ATP 与其他高能化合物	(163)
第三节	氧化磷酸化	(166)
第四节	其他生物氧化体系	(175)
第五节	二氧化碳的生成	(177)
第六节	生物氧化与医学	(177)
第七章	氨基酸代谢	(181)
第一节	氨基酸的重要生物学功能	(181)
第二节	蛋白质的营养作用	(181)
第三节	蛋白质的消化吸收与腐败作用	(183)
第四节	氨基酸的一般代谢	(184)
第五节	氨的代谢	(187)
第六节	个别氨基酸的代谢	(191)
第七节	氨基酸代谢与医学	(196)
第八章	核苷酸代谢	(200)
第一节	嘌呤核苷酸代谢	(200)
第二节	嘧啶核苷酸代谢	(205)
第三节	脱氧核苷酸的生成	(208)
第四节	核苷酸代谢与医学	(209)
第九章	血液生物化学	(216)
第一节	血浆蛋白	(216)
第二节	红细胞代谢	(219)
第三节	白细胞的代谢	(226)
第四节	血液生化与医学	(227)
第十章	肝脏生物化学	(232)
第一节	肝脏的结构及特点	(232)
第二节	肝脏在物质代谢中的作用	(234)
第三节	肝脏的生物转化作用	(236)
第四节	胆汁酸代谢	(241)
第五节	胆红素代谢	(245)

第六节	肝脏生化与医学	(251)
第十一章	无机盐代谢	(257)
第一节	钙磷代谢	(257)
第二节	镁的代谢	(262)
第三节	微量元素	(263)
第四节	无机盐代谢与医学	(267)
第三篇	基因信息传递	(270)
第十二章	DNA 生物合成——复制	(271)
第一节	DNA 复制方式	(271)
第二节	DNA 复制的酶学	(273)
第三节	DNA 复制过程	(278)
第四节	反转录合成 DNA	(282)
第五节	DNA 损伤与修复	(283)
第六节	DNA 生物合成与医学	(286)
第十三章	RNA 生物合成——转录	(290)
第一节	模板和酶	(290)
第二节	转录过程	(291)
第三节	真核转录后加工	(296)
第四节	RNA 合成与医学	(301)
第十四章	蛋白质的生物合成——翻译	(304)
第一节	蛋白质生物合成中三种 RNA 的作用	(304)
第二节	蛋白质生物合成的过程	(308)
第三节	蛋白质生物合成后的修饰	(313)
第四节	蛋白质生物合成与医学	(314)
第十五章	基因表达调控	(319)
第一节	基因表达调控基本概念与原理	(319)
第二节	原核生物基因表达的调控	(323)
第三节	真核生物基因表达的调控	(329)
第四节	人类基因组计划和后基因组研究	(334)
第五节	基因表达调控与医学	(336)
第十六章	基因工程、基因工程技术与应用	(341)
第一节	自然界的基因重组	(341)
第二节	基因重组技术相关概念	(343)
第三节	基因重组技术的基本过程	(346)
第四节	基因重组与医学	(351)
第十七章	癌基因、抑癌基因与生长因子	(359)
第一节	癌基因	(359)

4 医用生物化学

第二节	抑癌基因·····	(363)
第三节	生长因子·····	(366)
第四节	癌基因、抑癌基因、生长因子与医学·····	(367)
第十八章	细胞信号转导·····	(372)
第一节	信息物质·····	(372)
第二节	受体·····	(373)
第三节	主要的信息传递途径·····	(374)
第四节	信号转导与医学·····	(387)
第十九章	糖蛋白、蛋白聚糖和细胞外基质·····	(391)
第一节	糖蛋白·····	(391)
第二节	蛋白聚糖·····	(398)
第三节	细胞外基质·····	(402)
附录	复习大纲、复习思考题及国家执业医师资格考试应试参考题·····	(412)
	汉英对照名词·····	(503)

绪 论

生物化学是研究构成生物体细胞的各种分子及它们进行的化学反应的科学，实际上，就是从化学的角度，在分子水平上研究生命物质基础的一门学科。在正常生理情况下，这些分子非常规律、有序、协调地进行代谢反应。一旦分子的结构、功能、组成、数量、存在状态、部位或者是它们所进行的反应或反应过程等发生异常，便会导致机体罹病。可见学习生物化学对医学生十分重要。

生物化学是一门有趣的科学

人体好似一个小宇宙。正如人们对宇宙的认识没有穷尽一样，人们对人体的认识也不会有穷尽。在深入研究生物化学的过程中，人们发现了许多有趣的现象。例如，宇宙大概有一百多万种生物，不论是高等动物，还是低等动物，它们合成乳酸时所需要的酶及生成过程是一样的。此外，从细菌到人类，有关合成蛋白质所需的密码都是相同的。构成动物及微生物的蛋白质也都由 20 种编码氨基酸所组成。这些有趣的现象很可能和生命的起源有某种联系。有关生命的起源的研究也是生物化学的一个重要内容。有关生命的起源主要有三个学说：第一，认为生命来自超自然的力量，这当然是神、上帝。第二，认为是地球上的化学物质进化的结果。第三，外星球起源说。第一和第三不是我们讨论的范围。就第二种学说而言，以 Oparin 为代表。他主张 46 亿年前在地球诞生之后，地球表面有许多物质如甲烷、氨、氢、水等，这些物质很可能自发的进行反应，生成原始分子，如氨基酸等。这些有机化合物再溶于海洋，在这种原始的“汤”中，氨基酸再进一步化合成蛋白质。这些分子再形成团聚体滴 (coacervate droplet)，由此发展成原始细胞，再逐渐演化成生命。也有人主张地球上先产生的应是核酸。但在生命的起源上到底是先有蛋白质还是先有核酸，就好像是鸡和蛋的关系，目前还没有人能说清楚。然而，就 RNA 和 DNA 来说，先生成的应是 RNA，主要的依据是：①在 DNA 复制时必须要有 RNA 为引物；②核酶 (ribozyme) 的发现；③端粒酶合成端粒是以自身的 RNA 为模板进行 DNA 的合成；④反转录是以 RNA 为模板进行 DNA 的合成。因而，越来越多的证据证明从进化的角度认为先有 RNA，而后来又有了 DNA。

在生物化学的发展过程中，有许多年轻的科学家功不可没。就生物化学的发展、研究工作而言，绝对需要的是年轻。青年人朝气蓬勃，勇于钻研，少有保守思想，在生化的发展过程中，也证明了这一点。24 岁的 Watson 和 36 岁的 Crick 合作，划时代地发现了 DNA 双螺旋结构。Krebs 在 32 岁发现了鸟氨酸循环，37 岁发现 TCA 循环。Krebs 治学严谨，一丝不苟，他发现的 TCA 循环到目前为止还没有人能改动一笔。1868 年 Miescher 发现核酸时才 24 岁 (1844 年出生)。当时他在研究日记中是这样描述的：“根据目前了解的细胞化学的数据来分析，我们分离的物质一定是细胞核，所以实际上我正在分离的是一种核物质。”在科学发展的征途上，青年人朝气蓬勃，好像早晨八九点钟的太阳。

生物化学是一门与医学密不可分的科学

体内的化学反应是生命存在的基础，没有反应就没有生命。反应停止也意味着生命的停

止。有序、协调、规律地进行反应是机体健康的基础。因此，构成生物体的生物分子的结构、功能、数量、存在部位等的异常，一些重要的生化反应或过程的紊乱与某些疾病有密切的关联（简表）。

简表 生化紊乱与疾病

生化紊乱	疾 病
血脂升高	高脂血症
尿酸增加	痛风、结石
甲状腺素分泌增加	甲状腺功能亢进
糖原升高	糖原贮积症
维生素 D 缺乏	佝偻病
苯丙氨酸羟化酶缺乏	苯丙酮尿症
蛋白质缺乏	红皮病
胰岛素分泌不足	糖尿病
DNA 结构改变	镰状细胞贫血
RNA 结构改变	地中海贫血
蛋白质结构改变	镰状细胞贫血

不仅在正常情况下机体的组成与生物化学反应是生命的基础，就是在发生疾病的情况下，疾病的发展速度、转归也与引起疾病的生物化学反应速度直接相关。例如，氰化物对细胞色素氧化酶的抑制作用，数分钟内可置人于死地。又如，霍乱，水样腹泻可大量丢失水和电解质，若不及时补充可在数小时内导致死亡。许多慢性疾病则是由于引起疾病的生物化学反应慢，因而病理变化自然要慢。

总之，所有的疾病都是构成人体的物质以及它们之间进行的反应和反应过程的异常所致。只有学好生物化学才能更好地认识疾病，通过对疾病的研究也能促进生物化学的发展。例如，通过对疯牛病的研究，人们发现了蛋白粒子病，改变了只有细菌和病毒的核酸才能传染疾病的观点，从而认识到蛋白质也能传染疾病。

学习生物化学也有利于对疾病的诊断、治疗。许多疾病的诊断离不开生物化学的手段和技术，如酶学检测技术、色谱技术、电泳技术、DNA 和 RNA 测定、PCR 等等。一些先进的生物化学和分子生物学技术的应用不仅提高了疾病诊断的速度，而且提高了诊断的敏感性和特异性。基因治疗研究已经取得可喜进展，预计用于临床实践将为期不远。

总之，从发病机制到诊断、治疗，生物化学都是与医学联系十分密切的学科。

生物化学的所有理论都是通过实验来证明的

科学的理论来自科学的实验。生物化学的发展离不开实验技术、手段、方法的进步，同样，实验手段的更新又极大地推动了生化理论的发展。一些非常重要的理论，因为巧妙地设计而得以发现，如 DNA 半保留复制的发现奠定了现代分子生物学遗传学的基础。这样一个重要的发现就是通过利用 N^{14} 、 N^{15} 而说明子一代 DNA 双链中，一股来自于亲代，另一股则是

完全新合成的，从而取得了历史性的突破。

生物化学技术的发展也极大地推动了生化理论的研究。例如，基因重组技术的发展带来了蛋白质化学的革命，人们以惊人的速度破译了大量有关蛋白质氨基酸序列的信息。随着生物化学的进步，在不久的将来，有关衰老、学习、记忆、癌症等的认识都会有很大的突破。生物化学的发展也必将极大地推动整个生命科学的研究和发展，推动医学的进步。可见，学好生物化学对有志从事医学事业的各层次人员都是必不可少的。

(于秉治)

第一篇 生物大分子的结构与功能

生物体是由数以亿千计的分子量大小不同的分子组成的。这些分子包括生物大分子和一些小的分子和离子。生物大分子是由某些基本结构单位按一定顺序和方式连接所形成的多聚体。例如，以氨基酸为基本组成单位，通过肽键相连而成的多肽链即蛋白质；以核苷酸为基本单位，通过磷酸二酯键形成的多核苷酸链即核酸；由共价键相连的蛋白质和糖构成糖蛋白或聚糖。生物大分子不仅参与机体的构成而且是完成各种生命活动的物质基础及调控因素。蛋白质是生物大分子中最基本的也是最重要的，核酸行使复制、转录和翻译等功能也需要蛋白质，聚糖的功能也与蛋白质密切相关。酶是蛋白质，是生命活动中物质代谢必需的生物催化剂。核酸是生物遗传信息传递的最根本的物质基础。聚糖不仅影响糖蛋白肽链的折叠、聚合、溶解和降解，还参与糖蛋白的分拣和投送等，更重要的功能是参与分子的识别和细胞的识别，这些功能是蛋白质和核酸不能取代的。

各种生物体种类繁多，形态和生活史千差万别，但从分子水平研究又十分相近，生物大分子的结构和功能几乎完全一致。因此，从分子水平上研究生命现象是阐明生命奥秘的关键，是当今生命科学研究的热点。

对生物大分子的研究包括确定其一级结构，更重要的是研究其空间结构与功能的关系。生物大分子的结构是其功能的基础，其功能又是其结构的体现。各种生物大分子之间通过分子之间相互识别、相互作用和相互影响而在生命过程中发挥相应的作用。

本篇主要介绍蛋白质、核酸、酶和糖蛋白、聚糖的结构和功能，为深入了解生命现象、探索生命的奥秘奠定基础。

第一章 蛋白质的结构与功能

蛋白质 (protein) 是生物体内含量最丰富的，功能最复杂的一类生物大分子。蛋白质分布广泛，几乎所有的器官组织都含有蛋白质，其含量约占人体干重的 45%。一个真核细胞可有近千种蛋白质，如酶、抗体、多肽激素、转运蛋白、收缩蛋白及细胞骨架等，它们的结构不同，并各具其特殊功能。不同种类生物各有其一套独特且不同的蛋白质组成，如人体由约 10 万种不同蛋白质组成。蛋白质不仅是细胞组织的结构成分，而且参与生物体的几乎所有生理生化过程。蛋白质在物质代谢、血液凝固、机体防御、肌肉收缩、细胞信号转导、组织修复、个体生长发育、繁衍后代等方面，起着不可替代的关键性作用，因此蛋白质是生命的物质基础，当之无愧。

蛋白质的生物学功能主要表现在以下几个方面：

1. 催化作用 生物体内新陈代谢的一系列复杂的化学反应几乎都是由酶催化的。酶是一类蛋白质。酶的存在及其活性调节，是生物体能进行物质代谢和生命活动的必要条件。

2. 调节作用 某些激素与生长因子是蛋白质或多肽，具有调节机体功能的作用，如胰岛素 (insulin)、胰高血糖素等——调节糖代谢；促甲状腺素、促生长素、促黄体生长激素等——与生长和生殖有关；一些蛋白质还参与细胞信号转导及基因表达调节，如 G 蛋白介导一些胞外信号分子的胞内信号转导；一些转录、翻译调节蛋白，可以阻遏或增强基因的表达。

3. 转运作用 一些蛋白质具有运载功能，在血液循环中、不同组织间转运各种物质，如血红蛋白是转运氧和二氧化碳的工具；血浆中脂蛋白运输脂类等。

4. 收缩或运动作用 一些蛋白质具有细胞和器官收缩能力，可使其改变形状或运动，如骨骼肌收缩依赖于肌动蛋白 (actin) 和肌球蛋白 (myosin) 的作用；微管可与鞭毛及纤毛中的动力蛋白 (dynein) 协同作用推动细胞运动，微管是由微管蛋白构建的。

5. 防御作用 有些蛋白质有保护或防御功能。例如，抗体或免疫球蛋白可对抗外来的有害物质；血液中凝血酶与纤维蛋白原参与血液凝固，防止机体出血。

6. 结构作用 许多蛋白质是构筑机体的重要成分。例如，胶原蛋白 (collagen) 是构成肌腱、软骨的主要成分；不溶性角蛋白 (keratin) 构成毛发、指 (趾) 甲、皮肤；纤维蛋白 (fibrin) 构成蚕丝和蜘蛛网等；弹性蛋白构成某些昆虫的翅膀。上述蛋白质不仅作为机体的主要组成成分，而且还赋予这些组织器官的特殊功能，如胶原蛋白具有很高的抗张强度，才使肌腱和软骨具有其特殊功能。

7. 营养和储存作用 蛋类中的卵清蛋白和牛奶中的酪蛋白及小麦种子中的麦醇溶蛋白是提供氨基酸的储存蛋白，可用作机体、幼体及胚胎生长发育的原料。在某些植物、细菌和动物组织中铁蛋白可储存铁。

8. 其他作用 有些蛋白质具有特异的功能，如蛋白质毒素 (白喉毒素、肉毒杆菌毒素、蛇毒、棉子毒等) 很少量就可引起高等动物产生强烈的毒性反应。病毒是核蛋白有致病作用；噬菌体也是核蛋白可寄生在细菌体内。

一些蛋白质还参与高级神经活动，如认知、学习、记忆等过程。

第一节 蛋白质的分子组成

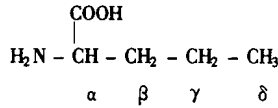
组成蛋白质的元素主要是碳 (50% ~ 55%)、氢 (6% ~ 7%)、氧 (19% ~ 24%)、氮 (13% ~ 19%) 和硫 (0% ~ 4%)。有些蛋白质还含有磷、硫、铜、铁、锌、锰、钴、钼等，个别蛋白质还含有碘。各种蛋白质含氮量平均值为 16%。蛋白质是生物体内主要含氮物，因此常用生物样品中含氮量推算其蛋白质含量。

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

一、氨基酸

蛋白质可在酸、碱或蛋白酶作用下水解成为其基本组成单位——氨基酸 (amino acid, AA)。蛋白质是由几十个乃至几百个以上的氨基酸组成的多聚体，其分子量大多上万。分子

量较小的蛋白质每分子由 50 ~ 100 个氨基酸组成，分子量大的蛋白质由 300 多个氨基酸组成。因此，氨基酸是蛋白质的基本结构单位。存在于自然界的氨基酸有 300 余种，但组成人体蛋白质的编码氨基酸仅有 20 种，均为 α-氨基酸，即其氨基及羧基都连在 α-碳原子上。氨基酸碳链一般以希腊字母表示。



该 α-碳原子是一个不对称碳原子（除甘氨酸外），因而具有旋光异构现象，有 D 系和 L 系两种（图 1-1）。

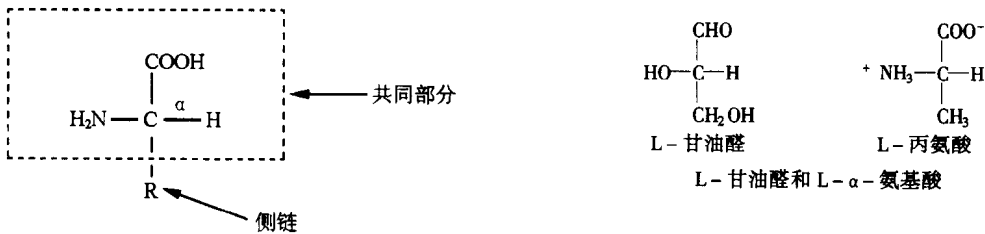


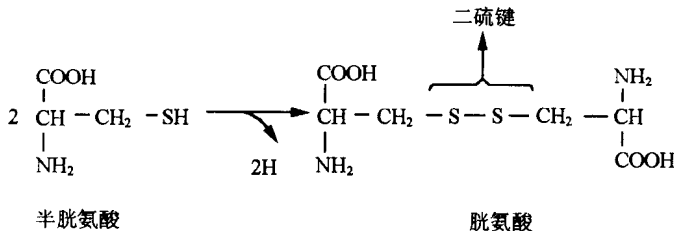
图 1-1 L-α-氨基酸通式

组成蛋白质的 20 种氨基酸均为 L-α-氨基酸。生物界中也有 D-氨基酸，主要存在于某些细菌产生的抗生素及个别植物的生物碱中。

(一) 氨基酸的分类

根据氨基酸的侧链结构和理化性质，可将组成蛋白质的 20 种编码氨基酸分为四类（表 1-1）：①非极性疏水性氨基酸，包括甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、脯氨酸。除甘氨酸外，这些氨基酸含有非极性侧链基团，其疏水性大小不一；②极性中性氨基酸，包括色氨酸、丝氨酸、苏氨酸、酪氨酸、蛋氨酸、天门冬氨酸、谷氨酸、半胱氨酸。这些氨基酸侧链含有巯基、羟基、酰胺基等极性基团，具亲水性，但在中性溶液中不电离；③酸性氨基酸，有两种：天门冬氨酸、谷氨酸。它们的侧链含有羧基，易解离出 H⁺ 而具酸性；④碱性氨基酸，有三种：组氨酸、赖氨酸、精氨酸。这些氨基酸的侧链带有易接受 H⁺ 的基团而具有碱性。

脯氨酸属于亚氨基酸，但此亚氨基仍能与另一氨基酸的羧基形成肽键，但因 N 在环中，移动自由度受限。当它在多肽链中时，肽键往往形成转角而改变主链方向。由于环的存在而



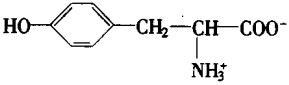
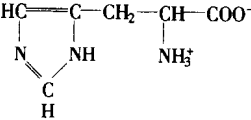
具有空间障碍，对蛋白质二级结构（ α 螺旋及 β 片层）的形成有破坏作用。2个半胱氨酸脱氢后可以经二硫键相连形成胱氨酸。

此外，在一些蛋白质中还含有某些特殊氨基酸，如胶原蛋白含有羟脯氨酸和羟赖氨酸；甲状腺球蛋白含有碘代酪氨酸。这些氨基酸是蛋白质合成后经修饰生成，在人体内没有相应的遗传密码。

表 1-1 氨基酸的分类

名称	结构式	三字符号	一字符号	等电点
1. 非极性氨基酸				
甘氨酸 glycine	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Gly	G	5.97
丙氨酸 alanine	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Ala	A	6.00
缬氨酸 valine	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ / \quad \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	Val	V	5.96
亮氨酸 leucine	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ / \quad \quad \\ \text{H}_3\text{C} \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	Leu	L	5.98
异亮氨酸 isoleucine	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ \diagdown \\ \text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \quad / \quad \\ \quad \quad \text{H}_3\text{C} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	Ile	I	6.02
苯丙氨酸 phenylalanine	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Phe	F	5.48
脯氨酸 proline	$\begin{array}{c} \text{COO}^- \\ \\ \text{H}_2\text{N}^+-\text{CH} \\ \quad \quad \\ \text{H}_2\text{C} \quad \quad \text{CH}_2 \\ \quad \quad \quad \diagdown \quad / \\ \quad \quad \quad \text{C} \\ \quad \quad \quad \text{H}_2 \end{array}$	Pro	P	6.30
2. 极性中性氨基酸				
色氨酸 tryptophane	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_4-\text{C}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{NH} \end{array}$	Trp	W	5.89
丝氨酸 serine	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	Ser	S	5.68

续 表

名称	结构式	三字符号	一字符号	等电点
酪氨酸 tyrosine		Tyr	Y	5.66
蛋氨酸 methionine	$\text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	Met	M	5.74
天冬酰胺 asparagine	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	Asn	N	5.41
谷氨酰胺 glutamine	$\text{H}_2\text{N}-\text{C}(=\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	Gln	Q	5.65
苏氨酸 threonine	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	Thr	T	5.60
半胱氨酸 cysteine	$\text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	cys	C	5.07
3. 酸性氨基酸				
天冬氨酸 aspartic acid	$^- \text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	Asp	D	2.97
谷氨酸 glutamic acid	$^- \text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	Glu	E	3.22
4. 碱性氨基酸				
赖氨酸 lysine	$\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	Lys	K	9.74
精氨酸 arginine	$\text{NH}_2\text{C}(\text{NH})\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	Arg	R	10.76
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 所有氨基酸都含有碱性的 α -氨基和酸性的 α -羧基, 因此 α -氨基可在酸性溶液中与质子 (H^+) 结合成带正电荷的阳离子 ($-\text{NH}_3^+$), α -羧基可在碱性溶液中与 OH^- 结合, 失去质子变成带负电荷的阴离子 (COO^-)。所以, 氨基酸是两性电解质, 具有两性解离的特性。氨基酸的两性解离方式取决于其所处溶液的酸碱度。在某一 pH 值溶液中, 氨基酸解离成阳离子和阴离子的趋势相等, 即成兼性离子 (Zwitterion), 此时溶液的 pH 值称为该氨基酸的等电点 (isoelectric point, pI)。