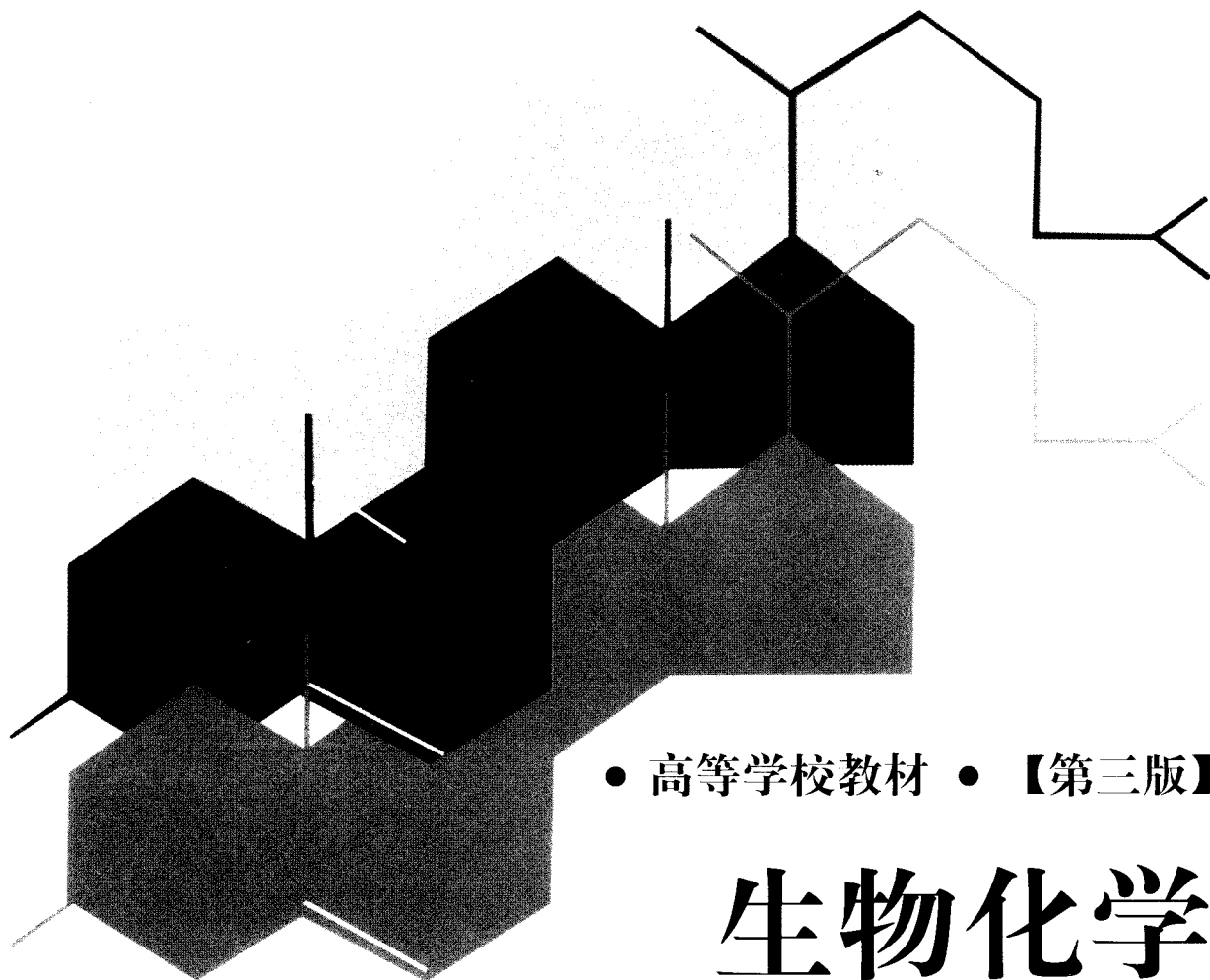


· SHENGWU HUAXUE JIANMING JIAOCHENG



• 高等学校教材 • 【第三版】

生物化学 简明教程

• 罗纪盛 张丽萍 杨建雄 秦德安 高天慧 颜卉君 鲁心安 合编

高等教育出版社

高等学校教材

生物化学简明教程

[第三版]

罗纪盛 张丽萍 杨建雄 秦德安
高天慧 颜卉君 鲁心安 合编

高等教育出版社

(京) 112 号

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学简明教程/颜卉君等编著. - 3 版. - 北京: 高等教育出版社, 1999
ISBN 7-04-007259-9

I. 生… II. 颜… III. 生物化学-高等学校-教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 01074 号

书 名 生物化学简明教程 (第三版)
作 者 颜卉君 等编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 化学工业出版社印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1981 年 12 月第 1 版

印 张 20.25

1999 年 6 月第 3 版

字 数 490 000

印 次 1999 年 8 月第 2 次印刷

定 价 24.80 元

凡购买高等教育出版社图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

第三版前言

《生物化学简明教程》的第一版和第二版是由聂剑初、吴国利、张翼伸、杨绍钟、刘鸿铭、高天慧等同志编写和修改的。通过十多年在各级各类学校的使用，普遍认为本书是一本适用面广，实用性强，内容简明扼要，概念严密准确，科学性强，文字精炼，层次清楚，深受广大师生欢迎的教科书。

本书第二版于1988年出版，至今已达9年。在此期间，生物化学各个领域进展迅速，为适应学科发展，迎接21世纪的到来，满足基础教学的需要，迫切需要对本书作适当的修改和补充。为此，1996年12月在上海召开本书的修订小组编委会，确定了修订原则和各章修订细则。1997年5月在河北承德召开审稿会，吉林大学、河北师范大学、北京师范大学、华东师范大学、东北师范大学、陕西师范大学参加了审稿，并提出不少宝贵意见。

第三版中主要修改有：

1. 蛋白质一章增加了超二级结构、结构域，蛋白质功能分类等内容，充实了氨基酸化学反应和生理活性肽等内容。

2. 重新编写了核酸一章，增加了核酸变性复性的影响因素、分子杂交、各类RNA的结构和功能、核酸序列测定等内容。改写了核苷酸、DNA构象类型、超螺旋结构等内容。

3. 充实了糖类、脂类和生物膜生物学功能方面的内容。

4. 酶学一章补充了核酶、抗体酶、酶工程，底物过渡态等新概念。

5. 物质代谢部分增写了“代谢总论”一节，与“生物氧化”合为一章，置于糖代谢之前。增加了代谢研究方法，各条代谢途径的调控、个别氨基酸分解和合成代谢概况、苹果酸穿梭、柠檬酸穿梭等内容。

6. 核酸和蛋白质生物合成部分增加了真核生物DNA、RNA、蛋白质生物合成、PCR原理、第二套密码系统、多肽链折叠的辅助蛋白（分子伴侣）等内容。改写了RNA剪接、反转录作用、核糖体结构等内容。

7. 代谢调控部分增加了色氨酸操纵子、真核生物基因表达调控等内容。

8. 删除了一些不必要的内容，增加了生物化学的新进展，体现了先进性、科学性、系统性和简明性等特点。第三版的名词术语以全国自然科学名词审定委员会公布的《生物化学名词》1990年版为准。

修订过程中，高等教育出版社谭丽霞做了大量工作，热情地关心和帮助所有修订者，使第三版能顺利地在短时间内出版，对此，我们表示诚挚的谢意。第三版难免还会有些差错，恳请使用本教科书的师生和读者批评指正。

编者

1997年5月于河北承德

序 言

生物化学是利用化学的理论和方法研究生物的一门科学。因此，它不仅研究生物的物质组成、结构、性质、作用和变化（物质代谢），还要研究能量变化（能量代谢），乃至信息变化。旨在探索生长、发育、遗传、学习、记忆与思维等复杂生命现象的本质，以期改造自然、改善自己、增强生命力、造福于子孙万代。

19世纪末期以前，人们主要是通过生物体内的化学变化来认识生物体的生理机能；19世纪末期至20世纪初期，生物化学才成为一门独立的学科。随着对蛋白质、酶、核酸、糖类、脂类等生物大分子结构、性质、功能和代谢的不断阐释，越来越多的科学工作者被吸引着，越来越广的学科向其靠拢，使生物化学迅速地跨入了突飞猛进的时代。反之，生物化学的日新月异，不仅促使遗传学、细胞生物学、发育生物学、神经生物学等生命科学分支进入分子水平，冠以“分子”之姓；而且使动物、植物、微生物、人体、医学、工业、农业等生物相关领域也附以“生物化学”之名，使之显示了切实的作用；同时为物理学、化学、数学、计算机科学、信息科学、材料科学、国防科学等其他学科的发展带来了勃勃生机，大有促进整个自然科学发展、技术进步之势，乃至科学家们预测：21世纪将是生命科学的世纪。

生物化学研究的重大成果，对工业、农业、畜牧业、医疗卫生等行业的发展产生了越来越深广的影响，发挥着日益显著的作用。在工业上，生物化学不仅为食品、发酵、轻工、制药等工业生产提供可靠的科学依据，而且酶工程等生化技术创新产品、实现大规模生产的连续化、自动化成为可能。在农业上，抗寒、抗旱、耐肥、抗病虫害等新作物品种的培育离不开生物化学的理论根据和实验分析；一些作物品种的改良和创新，基因工程、蛋白质工程等生化技术正发挥着越来越大的作用。在畜牧业上，畜禽营养问题的解决，肉类、蛋类、乳类等产品的品质改善，以及人们所需的优良品种的克隆，无疑地也有赖于生物化学理论和技术。在医学上，一些生物化学分析方法已成为临床诊断的重要手段，癌症、艾滋病等威胁人类生存的疾病致病机理的研究、有效治疗药物的研制，有待于生物化学的进一步探索；改善营养、增强体质、提高人体抗病能力延缓衰老等方面的研究，生物化学也将发挥积极的作用。

解放前，尽管长期闭关自守使中国不了解西方，乃至生物化学基础很薄弱，但是勤劳智慧的中国学者于二三十年代在蛋白质变性、免疫化学、血液分析和营养方面仍做出了一些很出色的工作。解放以后，我国的生物化学研究、生物化学教育和生物化学在工业、农业、医药和国防上的应用有了巨大发展，均取得了可喜的成绩，有一些工作已进入国际先进行列。诸如1965年结晶牛胰岛素人工合成的完成，是世界上公认的第一个具有全部生物活性的蛋白质人工合成，是一项划时代的贡献；猪胰岛素X射线晶体0.25nm及0.18nm的分析研究，表明我国生物大分子的X射线晶体结构分析跨入了世界先进行列；1981年我国又首先人工合成了具有

生物活性的酵母丙氨酸转移核糖核酸，从而使我国在该领域处于国际领先地位。然而，起步的时间差距，运作的条件限制，我国生物化学研究的水平在整体上仍和国际先进水平有很大差距。改革开放以来，成批的青年学者走出国门，大开眼界，学有所成，相继以切实的成果展示了中华儿女的才干，为祖国生物化学的发展展现了美好的前景。综观生物化学的历史和现状，迄今对癌症、艾滋病的挑战仍束手无策，对奇妙的人体生命现象仍需继续探讨，表明生物化学有其深入性，也有其局限性。对此，在浩瀚的生物化学知识海洋中，《生物化学简明教程》试图抛砖引玉，使有志于生命科学的未来工作者能够用较少的时间学到生物化学的基础知识，有更充裕的时间在多学科、多层次的联系、交叉、渗透中形成新思维，创立新概念，为生命科学的未来做出新成绩，为祖国的经济建设作出新贡献。

目 录

序言	1	一、核酸的概念和重要性	40
第一章 蛋白质化学	1	二、核酸的组成成分	41
一、蛋白质的生物学意义	1	(一) 核糖和脱氧核糖	41
二、蛋白质的元素组成	2	(二) 嘌呤碱和嘧啶碱	41
三、蛋白质的氨基酸组成	2	(三) 核苷	42
(一) 氨基酸的结构通式	3	(四) 核苷酸	43
(二) 氨基酸的分类	4	(五) 核苷酸的连接方式	45
(三) 氨基酸的重要理化性质	4	三、DNA 的结构	46
四、肽	13	(一) DNA 的一级结构	46
(一) 谷胱甘肽	14	(二) DNA 的双螺旋二级结构	47
(二) 催产素和升压素	14	(三) DNA 的三级结构	51
(三) 促肾上腺皮质激素 (ACTH)	15	四、DNA 和基因组	53
(四) 脑肽	15	(一) DNA 与基因	53
(五) 胆囊收缩素	16	(二) 原核生物基因组的特点	53
(六) 胰高血糖素	16	(三) 真核生物基因组的特点	54
五、蛋白质的结构	16	五、RNA 的结构与功能	56
(一) 蛋白质的一级结构	17	(一) tRNA	56
(二) 蛋白质的空间结构	19	(二) rRNA	59
(三) 蛋白质分子中的共价键与次级键	26	(三) mRNA 和 hnRNA	60
六、蛋白质分子结构与功能的关系	27	(四) snRNA 和 asRNA	60
(一) 蛋白质一级结构与功能的关系	27	(五) RNA 的其他功能	61
(二) 蛋白质构象与功能的关系	29	六、核酸的性质	61
七、蛋白质的性质	30	(一) 一般理化性质	61
(一) 蛋白质的相对分子质量	30	(二) 核酸的紫外吸收性质	61
(二) 蛋白质的两性电离及等电点	30	(三) 核酸结构的稳定性	62
(三) 蛋白质的胶体性质	32	(四) 核酸的变性	62
(四) 蛋白质的沉淀反应	33	(五) 核酸的复性	63
(五) 蛋白质的变性	34	(六) 分子杂交	64
(六) 蛋白质的颜色反应	35	七、核酸的序列测定	64
八、蛋白质的分类	36	第三章 糖类的结构与功能	67
(一) 简单蛋白质	36	一、糖类的概念与分类	67
(二) 结合蛋白质	36	二、单糖的构型、结构、构象	68
第二章 核酸的化学	40	(一) 单糖的构型	68
		(二) 单糖的结构	69

(三) 单糖的构象	69	(一) 酶的催化作用、过渡态、分子活化能	100
三、自然界存在的重要单糖及其衍生物	70	(二) 中间产物学说	101
四、寡糖	71	(三) 诱导契合学说	102
五、多糖	72	(四) 酶与反应的过渡态互补	102
六、多糖代表物的简要介绍	73	(五) 抗体酶	103
(一) 淀粉与糖原	73	(六) 使酶具有高催化效率的因素	103
(二) 纤维素与半纤维素	75	七、酶促反应的速度和影响酶促反应速度的因素	104
(三) 壳多糖(几丁质)	76	(一) 酶反应速度的测量	104
(四) 葡聚糖	76	(二) 酶浓度对酶作用的影响	105
(五) 糖胺聚糖	77	(三) 底物浓度对酶作用的影响	107
七、糖复合物	77	(四) pH 对酶作用的影响	110
(一) 糖蛋白与蛋白多糖	77	(五) 温度对酶作用的影响	111
(二) 糖脂与脂多糖	78	(六) 激活剂对酶作用的影响	111
第四章 脂类和生物膜	81	(七) 抑制剂对酶作用的影响	112
一、脂类	81	(八) 酶的别构(变构)效应	116
(一) 三酰甘油	81	八、酶活力的测定	118
(二) 甘油磷酸酯类	82	九、酶的制备	119
(三) 鞘脂类	84	十、酶的应用	120
(四) 固醇类	84	第六章 维生素和辅酶	123
二、生物膜	85	一、维生素 B ₁ 和羧化辅酶	123
(一) 细胞中的膜系统	85	二、维生素 B ₂ 和黄素辅酶	125
(二) 膜的化学组成	85	三、泛酸和辅酶 A	126
(三) 膜的结构	87	四、维生素 PP 和辅酶 I、辅酶 II	127
(四) 膜的功能	88	五、维生素 B ₆ 和磷酸吡哆醛	129
第五章 酶	90	六、生物素	130
一、酶的概念	90	七、叶酸和叶酸辅酶	130
二、酶的分类与命名	91	八、维生素 B ₁₂ 和 B ₁₂ 辅酶	132
(一) 酶的分类	91	九、维生素 C (抗坏血酸)	133
(二) 酶的命名	92	十、维生素 A	134
三、酶的化学本质	92	十一、维生素 D	135
(一) 大多数酶是蛋白质	92	十二、维生素 E	136
(二) 酶的辅因子	93	十三、维生素 K	136
(三) 单体酶、寡聚酶和多酶复合物	94	第七章 新陈代谢总论与生物氧化	140
四、酶的结构与功能的关系	95	一、新陈代谢总论	140
(一) 活性部位和必需基团	95	(一) 新陈代谢的概念	140
(二) 酶原的激活	96	(二) 新陈代谢的研究方法	141
(三) 同工酶	97	(三) 生物体内能量代谢的基本规律	142
五、酶作用的专一性	98	(四) 高能化合物与 ATP 的作用	144
(一) 结构专一性	99	二、生物氧化	146
(二) 立体异构专一性	99		
六、酶的作用机制	100		

(一) 生物氧化的特点	146	(三) 氨基酸与某些重要生物活性物质的 合成	227
(二) 生物氧化中二氧化碳的生成	147	第十一章 核苷酸代谢	231
(三) 生物氧化中水的生成	147	一、核酸的酶促降解	231
(四) 氧化磷酸化作用	153	二、嘌呤和嘧啶的分解	231
第八章 糖代谢	159	(一) 嘌呤的分解	231
一、多糖和低聚糖的酶促降解	159	(二) 嘧啶的分解	233
二、糖的分解代谢	160	三、核苷酸的生物合成	234
(一) 糖的无氧酵解	161	(一) 核苷酸生物合成的基本途径	234
(二) 糖的有氧分解	168	(二) 嘌呤核苷酸的从头合成	234
(三) 乙醛酸循环——三羧酸循环支路	175	(三) 嘧啶核苷酸的合成	239
(四) 戊糖磷酸途径	176	(四) 核苷酸转化成核苷三磷酸	241
三、糖的合成代谢	182	(五) 脱氧核苷酸的合成	241
(一) 蔗糖的合成	182	(六) 胸苷酸的合成	242
(二) 淀粉的合成	183	(七) 核苷酸从头合成的调节	242
(三) 糖原的合成	184	(八) 核苷酸从头合成的抗代谢物	242
(四) 糖原的异生作用	185	(九) 核苷酸的补救合成	244
第九章 脂类的代谢	189	第十二章 核酸的生物合成	246
一、脂类的酶促水解	189	一、DNA 的生物合成	246
二、脂肪的分解代谢	190	(一) DNA 的半保留复制	246
(一) 甘油的氧化	190	(二) DNA 复制的起始点和方向	247
(二) 脂肪酸的 β -氧化作用	191	(三) 原核细胞 DNA 的复制 (DNA 指导下 的 DNA 合成)	248
(三) 脂肪酸氧化的其他途径	194	(四) 真核细胞 DNA 的复制 (DNA 指导下 的 DNA 合成)	253
(四) 酮体的生成和利用	195	(五) 反转录作用 (RNA 指导下的 DNA 合成)	255
三、脂肪的合成代谢	197	(六) DNA 的损伤与修复	256
(一) 甘油- α -磷酸的生物合成	197	(七) 细菌的限制-修饰系统	257
(二) 脂肪酸的生物合成	197	(八) 基因重组与 DNA “克隆”	259
(三) 脂肪的合成	201	(九) 聚合酶链式反应 (PCR) 技术与 DNA 扩增	260
四、磷脂的代谢	202	二、RNA 的生物合成	260
五、胆固醇的代谢	203	(一) 转录 (DNA 指导下的 RNA 合成)	260
(一) 胆固醇的合成	203	(二) RNA 复制 (RNA 指导的 RNA 合成)	269
(二) 胆固醇的转化	206	(三) 多核苷酸磷酸化酶 (无模板的 RNA 合成)	269
(三) 胆固醇的排泄	206	第十三章 蛋白质的生物合成	271
第十章 氨基酸代谢	207	一、遗传密码	272
一、蛋白质的酶促降解	207	二、核糖体	274
二、氨基酸的一般代谢	209		
(一) 脱氨基作用	209		
(二) 脱羧基作用	214		
(三) 氨基酸分解产物的代谢	215		
三、氨基酸合成代谢概况	221		
(一) 氨基酸合成途径的类型	221		
(二) 氨基酸与一碳单位	225		

(一) 核糖体是蛋白质合成的部位	274
(二) 核糖体的组成和结构	275
(三) 核糖体的功能	275
三、转移 RNA 的功能	277
四、蛋白质生物合成的分子机制	278
(一) 氨基酸的激活	279
(二) 在核糖体上合成多肽	279
(三) 肽链合成后的“加工处理”	282
(四) 蛋白质合成所需的能量	285
(五) 活性肽合成的特征	285
五、真核生物与原核生物蛋白质合成的 差异	286
第十四章 物质代谢的相互联系和	

调节控制	290
一、物质代谢的相互联系	290
(一) 糖代谢与脂肪代谢的相互关系	290
(二) 糖代谢与蛋白质代谢的相互关系	291
(三) 脂肪代谢与蛋白质代谢的相互关系	291
(四) 核酸和其他物质代谢的相互关系	292
二、代谢的调节	293
(一) 酶水平的调节	293
(二) 酶在细胞内的集中存在与隔离分布	301
(三) 激素对代谢的调节	302
(四) 神经系统对代谢的调节	307
附录 常用生物化学名词的缩写	308

第一章

蛋白质化学

蛋白质是由许多不同的 α -氨基酸按一定的序列通过酰胺键（蛋白质化学中专称为肽键）缩合而成的，具有较稳定的构象并具有一定生物功能的生物大分子。

一、蛋白质的生物学意义

生命是物质运动的高级形式，这种运动形式是通过蛋白质来实现的。因此，蛋白质有着极其重要的生物学意义。

生物体的各组成部分的自我更新是生命活动的本质，而构成新陈代谢的所有化学反应，几乎都是在一类特殊的生物大分子——酶催化下进行的，目前已发现的酶绝大多数是蛋白质。

生命活动所需要的许多小分子物质和离子，它们的运输均由蛋白质来完成。

生物的运动也离不开蛋白质。如高等动物的肌肉主要成分是蛋白质，肌肉收缩是由肌球蛋白和肌动蛋白的相对滑动来实现的。

生物体的防御体系，用以防御致病微生物或病毒侵害而产生的抗体，就是一类高度专一性的蛋白质。它能识别病毒、细菌以及其他机体的细胞，并与之相结合，消除它们的病理作用，从而起着保护机体的作用。

此外，还发现蛋白质以干扰素形式存在于细胞内以消灭在抗体作用下“漏网”的入侵病毒。

近代分子生物学的研究还表明蛋白质在遗传信息的控制、细胞膜的通透性，以及高等动物的记忆、识别机构等方面都起着重要的作用。

蛋白质是一切生物体的细胞和组织的主要组成成分，也是生物体形态结构的物质基础。

总之蛋白质是生物体的主要组成成分，是生命活动所依赖的物质基础。

正是由于蛋白质本身的重要性，所以对它的研究一直受到人们的重视，但是又由于它的分子巨大、结构复杂，使得蛋白质的理论研究及其应用受到限制。近年来在重组 DNA 技术基础上发展起来的蛋白质工程为解决这方面的问题提供了最大的可能性。蛋白质工程可改变蛋白质的生物活性，改变蛋白质的稳定性，改变受体蛋白质的特性。通过蛋白质工程可深入地研究蛋白质的结构与功能的相互关系。我们相信，随着蛋白质工程的发展，一定会创造出许多对人类有用的新蛋白质，实现生物学家梦寐以求的目标。

二、蛋白质的元素组成

经元素分析，蛋白质一般含碳 50%~55%，氢 6%~8%，氧 20%~23%，氮 15%~18%，硫 0%~4%。有些蛋白质还含有微量的磷、铁、锌、铜、钼、碘等元素。其中氮的含量在各种蛋白质中都比较接近，平均为 16%。因此，一般可由测定生物样品中的氮，粗略地计算出其中蛋白质的含量（每 1g 氮相当于 6.25g 的蛋白质）。

三、蛋白质的氨基酸组成

蛋白质是一类含氮的生物大分子，相对分子质量大，结构复杂，但如用酸或蛋白酶处理，使其彻底水解，最后可以得到各种氨基酸。实验证明氨基酸是蛋白质的基本组成单位。

氨基酸是指含有氨基的羧酸。蛋白质是由 20 种氨基酸组成的，除脯氨酸外，均为 α -氨基酸，即羧酸分子中 α -碳原子上的一个氢原子被氨基取代而成的化合物。各种蛋白质所含的氨基酸的数目和种类都各不相同，如表 1-1 所示。

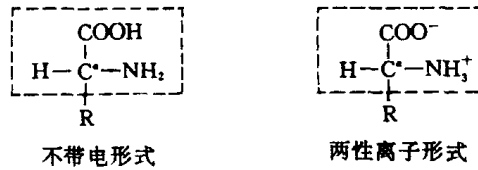
表 1-1 几种蛋白质的氨基酸组成

氨基酸	清蛋白 (人)	酪蛋白	肌红蛋白 (牛)	胶原蛋白 (牛)	细胞色素 c	胰岛素	核糖核酸 酶(牛)	麦醇溶 蛋白	鱼精 蛋白	胃蛋 白酶
丙氨酸	—	3.0	10.1	10.3	7.9	4.5	6.1	2.1	3.6	4.5
精氨酸	6.2	4.1	1.9	8.2	2.2	3.1	4.0	2.7	66.2	1.0
天冬酰胺	—	—	1.7	—	4.8	—	8.0	—	0.0	—
天冬氨酸	10.4	7.1	4.7	7.0	3.6	6.8	4.5	1.7	0.0	16.6
半胱氨酸	5.6	0.4	0.0	—	2.0	12.5	6.4	2.6	0.0	1.5
谷氨酰胺	—	—	2.8	—	3.3	—	6.4	—	0.0	—
谷氨酸	17.4	23.3	8.3	11.2	5.9	18.6	3.7	45.7	0.0	11.3
甘氨酸	1.6	2.7	8.7	26.2	12.2	4.3	4.0	<0.5	4.1	8.1
组氨酸	3.5	3.1	7.5	0.7	2.5	4.9	3.7	2.3	0.0	0.5
羟脯氨酸*	—	—	—	12.8	—	—	—	—	—	—
异亮氨酸	1.7	6.1	5.2	1.9	4.8	2.8	3.2	5.4	0.9	10.0
亮氨酸	11.9	9.2	11.4	3.7	6.2	13.2	1.9	6.5	0.0	10.4
赖氨酸	12.3	8.2	12.8	4.0	15.2	2.5	7.7	1.1	0.0	0.4
甲硫氨酸	1.3	3.4	1.5	1.0	1.7	0.3	3.5	1.7	0.0	2.1
苯丙氨酸	7.8	5.0	4.7	2.4	3.8	8.1	2.4	6.9	0.0	6.7
脯氨酸	5.1	11.3	2.5	14.4	4.2	2.5	4.8	13.4	8.1	4.9
丝氨酸	3.7	7.7	3.9	4.3	3.0	3.2	12.3	4.9	10.8	13.2
苏氨酸	5.0	4.9	3.4	2.3	7.2	2.1	6.9	2.1	1.4	9.5
色氨酸	0.2	1.2	1.3	—	1.0	0.3	0.0	0.6	0.0	3.5
酪氨酸	4.7	6.3	1.3	1.0	4.4	13.0	3.7	3.2	0.0	9.4
缬氨酸	7.7	7.2	4.6	2.5	3.6	7.8	6.7	2.7	5.0	7.1

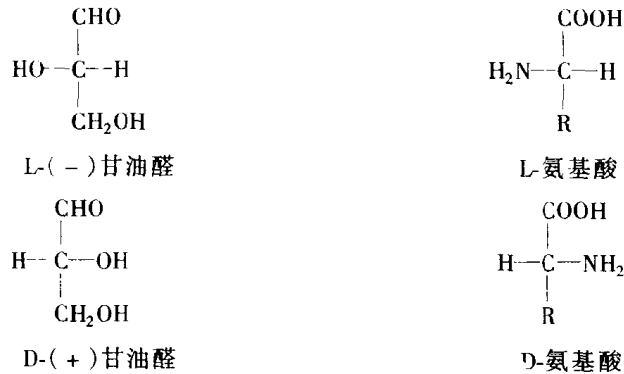
* 羟脯氨酸是在蛋白质生物合成以后经酶的作用羟化而成，因此不列入 20 种基本氨基酸内。

(一) 氨基酸的结构通式

α -氨基酸的结构，可用下式表示。式中 R 为 α -氨基酸的侧链，方框内的基团为各种氨基酸的共同结构。



从结构通式可以看出，除 R 为氢原子（即甘氨酸）外，所有 α -氨基酸分子中的 α -碳原子都为不对称碳原子。因此，第一，氨基酸都具有旋光性，能使偏振光平面向左或向右旋转，左旋者通常用 (-) 表示，右旋者用 (+) 表示；第二，每一种氨基酸都有 D-型和 L-型两种立体异构体，这取决于 α -碳原子上氨基的位置。书写时将羧基写在 α -碳原子的上端，则氨基在左边的为 L-型，氨基在右的为 D-型，这是与甘油醛的构型相比较后确定的。



必须指出，构型与旋光方向二者没有直接对应的关系。各种 L-型氨基酸中有的为左旋有的为右旋，即使同一种 L-型氨基酸，在不同溶剂中测定时，其比旋光值和旋光方向也会不同。表 1-2 列举出 L-氨基酸的比旋光度，供参考：

表 1-2 常见 L-型氨基酸的比旋光度

名称	M_r	$[\alpha]_D$ (H_2O)	$[\alpha]_D$ (5mol/L HCl)	名称	M_r	$[\alpha]_D$ (H_2O)	$[\alpha]_D$ (5mol/L HCl)
甘氨酸	75.05	—	—	天冬氨酸	133.6	+ 5.0	+ 25.4
丙氨酸	89.06	+ 1.8	+ 14.6	天冬酰胺	132.6	- 5.3	+ 33.2
缬氨酸	117.09	+ 5.6	+ 28.3				(3mol/L HCl)
亮氨酸	131.11	- 11.0	+ 16.0	谷氨酸	147.08	+ 12.0	+ 31.8
异亮氨酸	131.11	+ 12.4	+ 39.5	谷氨酰胺	146.08	+ 6.3	+ 31.8
丝氨酸	105.06	- 7.5	+ 15.1				(1mol/L HCl)
苏氨酸	119.18	- 28.5	- 15.0	精氨酸	174.4	+ 12.5	+ 27.6

续表

名称	M_r	$[\alpha]_D$ (H ₂ O)	$[\alpha]_D$ (5mol/L HCl)	名称	M_r	$[\alpha]_D$ (H ₂ O)	$[\alpha]_D$ (5mol/L HCl)
赖氨酸	146.13	+ 13.5	+ 26.0	酪氨酸	181.09	—	- 10.0
组氨酸	155.09	- 38.5	+ 11.8	色氨酸	204.11	- 33.7	+ 2.8
胱氨酸	240.33	—	- 232				(1mol/L HCl)
半胱氨酸	121.12	- 16.5	+ 6.5	脯氨酸	115.08	- 86.2	- 60.4
甲硫氨酸	149.15	- 10.0	+ 23.2	羟脯氨酸	131.08	- 76.0	- 50.5
苯丙氨酸	165.09	- 34.5	- 4.5				

从蛋白质水解得到的 α -氨基酸（除甘氨酸外）都属于 L-型的，所以习惯上书写氨基酸都不标明构型和旋光方向。虽然蛋白质组成成分中没有 D-型氨基酸，但在生物界存在着 D-型氨基酸，如某些细菌产生的抗菌素就含有 D-氨基酸。

(二) 氨基酸的分类

根据组成蛋白质的 20 种氨基酸的侧链 R 基的化学结构，可将它们分为 4 大类：

1. 脂肪族氨基酸（一氨基—羧基氨基酸）：一甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、甲硫氨酸、半胱氨酸、丝氨酸、苏氨酸；（一氨基二羧基氨基酸及其酰胺）：谷氨酸、谷氨酰胺、天冬氨酸、天冬酰胺（二氨基—羧基氨基酸）：赖氨酸、精氨酸。
2. 芳香族氨基酸：苯丙氨酸、酪氨酸。
3. 杂环氨基酸：组氨酸、色氨酸。
4. 杂环亚氨基酸：脯氨酸。

按照氨基酸侧链 R 基团的不同，还可把 20 种氨基酸分为两大类：极性氨基酸和非极性氨基酸。

极性氨基酸又根据它们在 pH 6~7 范围内是否带电，区分为：(1) 极性不带电荷：有丝氨酸、苏氨酸、天冬酰胺、谷氨酰胺、酪氨酸、半胱氨酸；(2) 极性带负电荷：有天冬氨酸、谷氨酸；(3) 极性带正电荷：有组氨酸、赖氨酸、精氨酸。

非极性氨基酸：有甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸、甲硫氨酸、脯氨酸、色氨酸共 9 种氨基酸。其中甘氨酸按理属于极性氨基酸，因 α -碳上的氢受到易解离的 α -氨基和 α -羧基的影响，体现不出它的极性，故列于非极性这一大类。氨基酸的分类，列于表 1-3。

(三) 氨基酸的重要理化性质

1. 一般物理性质

α -氨基酸为无色晶体，熔点极高，一般在 200℃ 以上。其味随不同氨基酸有所不同，有的无味、有的味甜、有的味苦，谷氨酸的单钠盐有鲜味，是味精的主要成分。

各种氨基酸在水中的溶解度差别很大，并能溶解于稀酸或稀碱中，但不能溶解于有机溶剂。通常酒精能把氨基酸从其溶液中沉淀析出。

表 1-3 氨基酸分类表 *

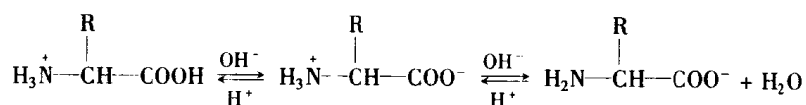
极性状况	带电荷状况	氨基酸名称	缩写符号 (三字)	单字符号	化学结构式
极性氨基酸	不带电荷	丝氨酸	Ser	S	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		苏氨酸	Thr	T	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
		天冬酰胺	Asn	N	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		谷氨酰胺	Gln	Q	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		酪氨酸	Tyr	Y	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		半胱氨酸**	Cys	C	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	带负电荷	天冬氨酸	Asp	D	$\begin{array}{c} \text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		谷氨酸	Glu	E	$\begin{array}{c} \text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		组氨酸	His	H	$\begin{array}{c} \text{HN} \quad \text{NH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	带正电荷	赖氨酸	Lys	K	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		精氨酸	Arg	R	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{NH}_2 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
	非极性氨基酸	甘氨酸	Gly	G	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
丙氨酸		Ala	A	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	
缬氨酸		Val	V	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	

当两性离子氨基酸溶解于水时，其正负离子都能解离，但解离度与溶液的 pH 有关，向氨基酸溶液加酸时，其两性离子的一COO⁻ 负离子接受质子，自身成为正离子

($\text{H}_3\text{N}^+-\overset{\text{R}}{\text{C}}\text{H}-\text{COOH}$)，在电场中向阴极移动。加入碱时，其两性离子的一NH₃⁺ 正离子解离放

出质子（与 OH⁻ 结合成水），其自身成为负离子 ($\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{R}}{\text{C}}\text{H}-\text{COO}^-$)，在电场中向阳极移动。

当调节氨基酸溶液的 pH，使氨基酸分子上的一NH₃⁺ 基和一COO⁻ 基的解离度完全相等时，即氨基酸所带净电荷为零，在电场中既不向阴极移动也不向阳极移动，此时氨基酸所处溶液的 pH 值称为该氨基酸的等电点，以符号 pI 表示。上述情况如下式所示：



在酸性溶液中的氨基酸 在晶体状态或水溶液 在碱性溶液中的氨基酸
中的氨基酸

由于静电作用，在等电点时，氨基酸的溶解度最小，容易沉淀。利用这一性质可以分离制备某些氨基酸。例如谷氨酸的生产，就是将微生物发酵液的 pH 值调节到 3.22（谷氨酸的等电点）而使谷氨酸沉淀析出。利用各种氨基酸的等电点不同，可以通过电泳法、离子交换法等实验室或工业生产上进行混合氨基酸的分离或制备。氨基酸的等电点可由其分子上解离基团的解离常数来确定。各种氨基酸的解离常数 pK 和等电点 pI 的近似值列于表 1-4。

表 1-4 各种氨基酸在 25℃ 时 pK 和 pI 的近似值

氨基酸名称	pK ₁ (α-COOH)	pK ₂	pK ₃	pI
甘氨酸	2.34	9.60		5.97
丙氨酸	2.34	9.69		6.0
缬氨酸	2.32	9.62		5.96
亮氨酸	2.36	9.60		5.98
异亮氨酸	2.36	9.68		6.02
丝氨酸	2.21	9.15		5.68
苏氨酸	2.71	9.62		6.18
半胱氨酸(30℃)	1.96	8.18(SH)	10.28(NH ₃ ⁺)	5.07
胱氨酸(30℃)	1.00	1.7(COOH)	7.48 和 9.02	4.60
甲硫氨酸	2.28	9.21		5.74
天冬氨酸	1.88	3.65(β-COO ⁻)	9.60(NH ₃ ⁺)	2.77
谷氨酸	2.19	4.25(γ-COO ⁻)	9.67(NH ₃ ⁺)	3.22
天冬酰胺	2.02	8.80		5.41
谷氨酰胺	2.17	9.13		5.65
赖氨酸	2.18	8.95(α-NH ₃ ⁺)	10.53(ε-NH ₃ ⁺)	9.74