

卫生部规划教材

全国医学高等专科学校教材
供临床医学专业用

生物化学

第四版

黄诒森 主编



人民卫生出版社

全国医学高等专科学校教材

供临床医学专业用

生 物 化 学

第 四 版

黄诒森 主编

编 者 (以姓氏笔画为序)

方家驹 (杭州医学高等专科学校)

刘 彬 (开封医学高等专科学校)

孙树秦 (解放军北京军医学院)

李 林 (解放军白求恩军医学院)

杨康成 (大连医科大学)

洪嘉玲 (武汉大学医学院)

郝顺祖 (镇江医学院)

黄诒森 (镇江医学院)

曾昭淳 (重庆医科大学)

程腊梅 (湖南医学高等专科学校)

人 民 卫 生 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

生物化学/黄诒森主编. 4 版. 北京:
人民卫生出版社, 2001

ISBN 7-117-04081-5

I. 生... II. 黄... III. 生物化学-教材 IV. Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 027911 号

生 物 化 学 第 四 版

主 编: 黄 诒 森

出版发行: 人民卫生出版社 (中继线 67616688)

地 址: (100078) 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

网 址: [http://www. pmph. com](http://www.pmph.com)

E - mail: [pmph@pmph. com](mailto:pmph@pmph.com)

印 刷: 北京市通县永乐印刷厂

经 销: 新华书店

开 本: 850×1168 1/16 印张: 19.25

字 数: 396 千字

版 次: 1980 年 11 月第 1 版 2002 年 1 月第 4 版第 37 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-04081-5 R·4082

定 价: 24.00 元

著作权所有, 请勿擅自用本书制作各类出版物, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

临床医学专科第四轮教材修订说明

为适应我国医学专科教育改革和基层卫生工作改革发展的需要,经卫生部临床医学专科教材评审委员会审议,卫生部教材办公室决定从 1998 年着手进行临床医学专科第四轮教材的修订编写工作。在总结第三轮教材使用情况的基础上,提出了第四轮教材的修订原则:对内容变动不大的《医用物理学》、《组织学和胚胎学》此次暂缓修订。为适应医学模式向生物医学-心理-社会模式的转变,增设一门《医学心理学》。遵循培养目标,这轮教材在内容上除强调“三基”、“五性”外,注重体现《面向 21 世纪教育振兴行动计划》培养高素质人才的要求。

全套教材共 22 种:

- | | | | |
|-------------------|-------|------------------|-------|
| 1.《医用物理学》第三版 | 明纪堂主编 | 12.《预防医学》第二版 | 李 德主编 |
| 2.《医用化学》第四版 | 庞茂林主编 | 13.《诊断学》第四版 | 邓长生主编 |
| 3.《人体解剖学》第四版 | 吴先国主编 | 14.《内科学》第四版 | 祝惠民主编 |
| 4.《组织学和胚胎学》第三版 | 刘贤钊主编 | 15.《外科学》第四版 | 段志泉主编 |
| 5.《生理学》第四版 | 钟国隆主编 | 16.《妇产科学》第四版 | 孙云桥主编 |
| 6.《生物化学》第四版 | 黄诒森主编 | 17.《儿科学》第四版 | 魏克伦主编 |
| 7.《医学微生物学和免疫学》第四版 | 张卓然主编 | 18.《传染病学》第二版 | 刘应麟主编 |
| 8.《人体寄生虫学》第四版 | 陈兴保主编 | 19.《眼耳鼻喉口腔科学》第四版 | 苏启明主编 |
| 9.《病理学》第四版 | 和瑞芝主编 | 20.《皮肤性病学》第四版 | 蔡中民主编 |
| 10.《药理学》第四版 | 丁全福主编 | 21.《中医学》第二版 | 程化奇主编 |
| 11.《医学遗传学基础》第二版 | 赵汝良主编 | 22.《医学心理学》 | 马存根主编 |

临床医学专科第二届教材评审委员会

顾 问 叶舜宾

主任委员 丁 频

副主任委员 钟国隆 祝惠民

委 员(以姓氏笔画为序)

丁全福 王祖武 王海江 左树凯 刘 森

苏启明 李 德 李 競 张万超 高君砺

评审委员会办公室主任 黄道初

第四版前言

卫生部医专临床医学专业教材评委会二届五次会议（1998年5月）确定开始医专临床医学专业规划教材第四版的修订、编写。会议指出教材建设要适应我国高等医学教育改革和发展的需要，紧密围绕医专临床医学专业培养目标，主要为县及县以下的卫生机构培养高级人才，适应21世纪社会进步和卫生事业发展的需求。

《生物化学》第三版是在1994年10月出版的，6年多来曾10次印刷，印数达数十万册，在全国范围的医学专科层次的各种教学班（全日制专科、成教、夜大、函授等）广泛使用，经受了教学实践的检验。为了这次第四版教材的修订、编写，卫生部教材办公室曾于1995年底以“函评”的方式组织了对第三版教材的质量评估，各使用院校根据在使用中的体会、遇到的问题提出了很多有创见的和中肯的建议。

《生物化学》第四版的修订、编写主要就是根据对第三版教材使用情况的反馈意见和教材评委会二届五次会议精神进行的。在修订时，力求做到内容精练，说理清楚；注意多联系临床实际，适当增加一些与临床学科有密切关系的较成熟的新进展，精简生物化学学科中一些纯理论方面的内容。

全书共十二章，有一定的系统性，第一、二、三章是生物大分子的结构和功能，包括蛋白质、核酸和酶。第四至第十章是物质代谢，其中第四至第八章是有机化合物代谢，包括糖代谢、脂类代谢、含氮化合物代谢和非营养物质代谢，三羧酸循环和氧化磷酸化单独成章，主要讨论伴随物质代谢过程发生的能量代谢；第九章、十章是无机物代谢。第十一章和十二章是从分子水平阐明遗传信息的传递和表达及细胞间信息传递的通路。

本版教材由9所高等医学院校的10名老、中、青教师参加，其中从事生化教学有40年以上的老教师3名，2名青年教师也都有近10年的教龄，都积累有丰富的教学经验，他们对本版教材的编写作风严谨、工作艰辛、全心奉献。但限于我的水平、能力和经验，在统稿中未能更好地提高全书的总体质量，书中也会出现一些差错和不妥之处，主要责任在我，恳请广大读者提出批评和宝贵意见。

本书从编写人员组成直至出书，始终是在卫生部教材办公室和教材评委会的指导和关怀下进行工作的，还得到镇江医学院领导的大力支持，镇江医学院医学检验系陈敏、钱晖、周丽萍、生秀梅等老师协助整理和校对稿件和部分绘图工作，在此一并致谢。

黄治森

2001年1月1日

目 录

第一章 蛋白质的结构与功能	1
第一节 蛋白质的组成及结构	1
一、蛋白质的基本组成单位——氨基酸	1
二、氨基酸在蛋白质分子中的连接方式	6
三、蛋白质的分子结构	7
第二节 蛋白质的分类	14
一、按组成分类	14
二、按分子形状分类	14
三、按功能分类	15
第三节 蛋白质的功能	15
一、组织细胞中主要蛋白质的功能	15
二、血浆蛋白质的主要功能	16
第四节 蛋白质结构与理化特性的关系	17
一、蛋白质的两性解离	18
二、蛋白质的高分子性质	18
三、蛋白质的沉淀	19
四、蛋白质的吸收光谱及几种重要呈色反应	20
第五节 蛋白质结构与功能的关系	21
一、构象决定生物学功能	21
二、一级结构决定构象	23
第二章 核酸化学	25
第一节 核酸的化学组成	25
一、戊糖	25
二、含氮碱	25
三、核苷	26
四、核苷酸	27
第二节 DNA 的分子结构	29
一、DNA 的一级结构	29
二、DNA 分子的空间结构	30
第三节 RNA 的分子结构	33

一、转运 RNA	33
二、信使 RNA	34
三、核糖体 RNA	35
第四节 核酸的理化性质	36
一、一般性质	36
二、核酸的变性和复性	37
第三章 酶	39
第一节 酶的催化作用	39
一、酶与一般催化剂相同的性质	39
二、酶的催化特点	40
第二节 酶的分子组成与结构	41
一、酶的化学组成	41
二、B 族维生素与辅酶	43
三、酶的活性中心	49
四、酶原与酶原的激活	50
五、同工酶	51
第三节 影响酶促反应速度的因素	52
一、底物浓度的影响	53
二、酶浓度的影响	54
三、pH 的影响	55
四、温度的影响	56
五、激活剂的影响	56
六、抑制剂的影响	56
第四节 酶活性的调节	60
一、别构调节	61
二、共价修饰调节	62
第五节 酶的分类和命名	63
一、酶的分类	63
二、酶的命名	65
第六节 酶与医学的关系	65
一、酶的异常是疾病的病因	66
二、酶活性测定、酶试剂用于疾病的诊断	66
三、酶与疾病的治疗	66
第四章 三羧酸循环和氧化磷酸化	68
第一节 代谢途径的特点	69

第二节 生物体内能量载体 ATP	71
一、ATP 和其他高能化合物	71
二、ATP 的作用	73
三、ATP 的生成方式	75
第三节 三羧酸循环	75
一、三羧酸循环的底物 乙酰辅酶 A	76
二、三羧酸循环反应过程	77
三、三羧酸循环的特点	80
四、三羧酸循环的生理意义	81
第四节 氧化磷酸化	82
一、氧化还原反应	83
二、氧化磷酸化过程中的电子传递	84
三、线粒体中几种重要代谢物氧化时的电子传递链	89
四、线粒体外 NADH 的氧化磷酸化和 ADP、Pi 的转运	90
五、氧化与磷酸化偶联 ATP 生成	92
六、影响氧化磷酸化的因素	94
第五章 糖代谢	96
第一节 葡萄糖分解代谢	96
一、糖酵解	96
二、糖的有氧氧化	102
三、磷酸戊糖途径	105
四、其它单糖的分解代谢	107
第二节 糖的贮存与动员	108
一、糖原合成	108
二、糖原分解	112
三、糖异生	114
四、糖贮存与动员的生理意义	116
五、糖贮存与动员的调节	116
第三节 血糖	118
一、血糖的来源和去路	118
二、激素对血糖的调节	119
三、糖代谢障碍	120
第四节 糖复合物	120
一、糖蛋白	120
二、蛋白聚糖	123

第六章 脂类代谢	127
第一节 三脂酰甘油的代谢	127
一、三脂酰甘油的化学和生理功能	127
二、三脂酰甘油的分解代谢	128
三、三脂酰甘油的合成代谢	133
第二节 磷脂和鞘糖脂的代谢	139
一、磷脂的化学和生理功能	139
二、甘油磷脂的代谢	141
三、鞘磷脂的代谢	144
四、鞘糖脂的代谢	144
第三节 胆固醇代谢	145
一、胆固醇的化学和生理功能	145
二、胆固醇的合成	146
三、胆固醇在体内的变化与排泄	148
第四节 血浆脂蛋白代谢	152
一、血脂	152
二、血浆脂蛋白	154
三、高脂蛋白血症	156
第七章 含氮化合物代谢	158
第一节 氨基酸代谢	158
一、氨基酸的一般代谢	159
二、个别氨基酸的代谢	167
三、先天性氨基酸代谢缺陷	176
第二节 核苷酸代谢	176
一、核苷酸的合成代谢	176
二、核苷酸的分解代谢	182
第三节 血红素代谢	184
一、血红素的合成代谢	184
二、血红素的分解代谢	187
第八章 非营养物质的代谢	192
第一节 概述	192
第二节 非营养物质代谢的一般过程	192
一、第一相反应——氧化、还原、水解	193
二、第二相反应——结合反应	195
第三节 几种非营养物质的代谢	199

一、黄曲霉毒素的代谢	200
二、非那西丁的代谢	200
三、肾上腺素和去甲肾上腺素的代谢	200
四、非营养物质代谢的若干特点	202
第九章 水和无机盐代谢	205
第一节 正常人体的体液	205
一、体液的分布和含量	205
二、体液的电解质组成	206
三、体液的交换	207
第二节 水和无机盐的功用	208
一、水的功用	208
二、无机盐的功用	209
第三节 水和钠、钾、氯的代谢	210
一、水的代谢	210
二、钠的代谢	212
三、钾的代谢	212
四、氯的代谢	214
五、水和钠、钾、氯代谢的调节	214
第四节 钙磷代谢	217
一、钙磷在体内的分布和生理功能	217
二、钙磷的吸收与排泄	219
三、钙、磷与骨的代谢	220
四、钙磷代谢的调节	222
第五节 微量元素	223
一、铁的代谢	224
二、锌的代谢	226
三、铜的代谢	227
四、硒的代谢	228
五、锰的代谢	229
六、碘的代谢	230
七、其它微量元素	231
第十章 氢离子的代谢	233
第一节 体内氢离子的来源	233
一、呼吸性氢离子	233
二、代谢性氢离子	234

第二节 体内氢离子浓度的调节	234
一、血液缓冲系统对体液氢离子浓度的调节作用	234
二、肺的呼吸功能对呼吸性成分的调节	237
三、肾脏对氢离子的调节作用	238
四、其它组织和细胞对氢离子代谢的调节	242
第三节 氢离子代谢与电解质平衡的关系	243
一、氢离子代谢与血钾浓度的关系	243
二、氢离子代谢与血氯浓度的关系	244
三、氢离子代谢与阴离子间隙	245
第四节 血气分析与氢离子代谢有关的血液测定指标	245
一、血气分析	245
二、与氢离子代谢有关的血液测定指标	246
第五节 氢离子代谢紊乱的分型	248
 第十一章 遗传信息的传递与表达	250
第一节 DNA 的生物合成	250
一、DNA 的复制	251
二、DNA 的修复合成	254
三、逆转录合成 DNA	256
第二节 RNA 的生物合成	257
一、转录的概念	257
二、RNA 聚合酶	258
三、转录的过程	259
四、转录后的加工和修饰	260
第三节 蛋白质的生物合成	262
一、参与翻译的物质	262
二、蛋白质生物合成的过程	264
三、蛋白质生物合成的调控	268
四、蛋白质生物合成与医学的关系	269
第四节 基因工程	271
一、DNA 重组中的工具酶	271
二、目的基因的来源	272
三、载体	273
四、基因工程的主要步骤	274
五、基因工程与医学的关系	275
 第十二章 细胞间信息传递	277

第一节 细胞通讯方式	277
一、直接通讯	277
二、间接通讯	278
第二节 信息分子与受体	278
一、信息分子	278
二、受体	280
三、信息分子与受体结合的特点	281
第三节 膜受体介导的信息传递途径	282
一、通道性受体的信息传递	282
二、G 蛋白偶联受体的信息传递	283
三、鸟苷酸环化酶信息传递通路	291
四、酪氨酸蛋白激酶信息传递通路	292
第四节 胞内受体介导的信息传递	295

第一章 蛋白质的结构与功能

蛋白质 (protein) 是由氨基酸组成的一类生物大分子, 它与核酸等其它生物大分子共同构成生命的物质基础。蛋白质是生命活动的主要承担者, 一切生命活动都与蛋白质有关。新陈代谢是生命的主要特征, 而构成新陈代谢的所有化学变化, 都是在酶的催化之下完成的, 酶的化学本质都是蛋白质。生物体的各种活动, 如生长、运动、呼吸、免疫、消化、光合作用, 以及对外界环境变化的感知和所作出的必要反应等, 都必须依靠蛋白质来实现。虽然遗传信息的携带者是核酸, 但遗传信息的传递和表达需要有酶的催化, 受到各种蛋白质的调节控制, 并通过编码蛋白质来实现。生物体内蛋白质的种类繁多, 单细胞的大肠杆菌就含有 3 000 余种。人体结构复杂, 含蛋白质种类多达 10 万余种, 占人体干重的 45%。各种蛋白质都有其特定的结构和功能, 蛋白质具有众多生物活性的基础就是其结构的多样性。要了解蛋白质的功能及其在生命活动中的重要性, 必须从了解它的结构入手。本章主要阐述蛋白质的基本结构特征和它们的主要功能, 并在此基础上简要地说明结构与性质、功能的关系。

第一节 蛋白质的组成及结构

一、蛋白质的基本组成单位——氨基酸

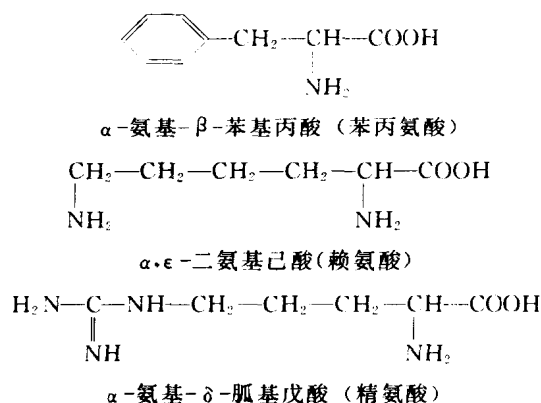
元素分析结果表明, 所有蛋白质分子都含有碳 (50%~55%)、氢 (6%~8%)、氧 (19%~24%)、氮 (13%~19%)、硫 (0%~4%)。除此之外, 有些蛋白质还含有少量磷、硒或金属元素铁、铜、锌、锰、钴、钼等, 个别蛋白质还含有碘。蛋白质的含氮量十分接近, 平均约为 16%, 此值在生物样品中蛋白质含量的测定上极为有用, 因为动植物组织内的含氮物质以蛋白质为主, 其它物质含氮很少且不均衡。因此, 只要测出样品中含氮克数, 再乘以系数 6.25 (100/16), 即可得出所测样品中蛋白质的大致含量。

蛋白质是高分子化合物, 可以受酸、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, 其碳原子的位次以阿拉伯数字表示, 也可用希腊字母 α 、 β 、 γ ……标示。氨基酸命名除系统命名外, 更常用通俗名称, 例如:

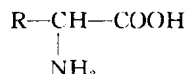




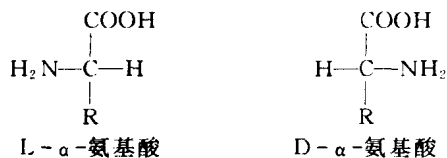
(二) 蛋白质氨基酸的结构特点

组成蛋白质的氨基酸，其结构有共同的特点。

1. 蛋白质水解所得到的氨基酸都是 α -氨基酸（脯氨酸为 α -亚氨酸），氨基都连接在 α 碳原子上，它可以用下面的结构通式表示，R 称为氨基酸的侧链基团。



2. 不同氨基酸在于 R 不同 除了 R 为 H 的甘氨酸外，其它氨基酸的 α 碳原子都是手性碳原子，故它们具有旋光异构现象，存在 D-型和 L-型两种异构体。组成天然蛋白质的氨基酸均为 L-型。为什么生物体在进化过程中选择了 L-氨基酸而不是 D-氨基酸，是自然界留给人类的难解之谜。



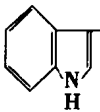
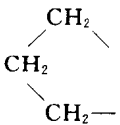
(三) 氨基酸的分类

自然界存在的氨基酸约有 300 种，但构成蛋白质的氨基酸主要有 20 种（见表 1-1），这 20 种氨基酸都具有特异的遗传密码，故称为编码氨基酸。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 种氨基酸分为 4 类：

表 1-1 组成蛋白质的 20 种编码氨基酸

氨基酸名称	简写符号	结 构 式		等电点 (pI)
		侧链 R 基团	共同部分	
非极性侧链氨基酸 1. 甘氨酸	甘, Gly, G	H—	$ \begin{array}{c} \text{—CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array} $	5.97

续表

氨基酸名称	简写符号	结 构 式		等电点 (pI)
		侧链 R 基团	共同部分	
2. 丙氨酸	丙, Ala, A	$\text{CH}_3\text{---}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	6.00
3. 缬氨酸	缬, Val, V	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{---CH---} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.96
4. 亮氨酸	亮, Leu, L	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{---CH---CH}_2\text{---} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.98
5. 异亮氨酸	异, Ile, I	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{---CH}_2\text{---CH---} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	6.02
6. 苯丙氨酸	苯, Phe, F	 $\text{---CH}_2\text{---}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.48
7. 色氨酸	色, Trp, W	 $\text{---CH}_2\text{---}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.89
8. 蛋氨酸 (甲硫)	蛋, Met, M	$\text{CH}_3\text{---S---CH}_2\text{---CH}_2\text{---}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.74
9. 脯氨酸	脯, Pro, P		$\begin{array}{c} \text{COOH} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{N} \text{---H} \\ \\ \text{H} \end{array}$ 为亚氨基	6.30
非电离极性侧链氨基酸				
10. 丝氨酸	丝, Ser, S	$\text{HO---CH}_2\text{---}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.68
11. 苏氨酸	苏, Thr, T	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{---CH---} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.60
12. 酪氨酸	酪, Tyr, Y	HO---  $\text{---CH}_2\text{---}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.66
13. 半胱氨酸	半, Cys, C	$\text{HS---CH}_2\text{---}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.07
14. 天冬酰胺	天, Asn, N NH_2	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---C---CH}_2\text{---} \\ \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.41
15. 谷氨酰胺	谷, Gln, Q NH_2	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N---C---CH}_2\text{---CH}_2\text{---} \\ \\ \text{O} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{---CH---COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	5.65

续表

氨基酸名称	简写符号	结 构 式		等电点 (pI)
		侧链 R 基团	共同部分	
酸性侧链氨基酸				
16. 谷氨酸	谷, Glu, E	HOOC—CH ₂ —CH ₂ —	$\begin{array}{c} \text{—CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	3.22
17. 天冬氨酸	天, Asp, D	HOOC—CH ₂ —	$\begin{array}{c} \text{—CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	2.77
碱性侧链氨基酸				
18. 赖氨酸	赖, Lys, K	H ₂ N—CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —CH ₂ —	$\begin{array}{c} \text{—CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	9.74
19. 精氨酸	精, Arg, R	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N—C—NH—CH}_2\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—} \\ \\ \text{NH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{—CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	10.76
20. 组氨酸	组, His, H	$\begin{array}{c} \text{CH}=\text{C—CH}_2\text{—} \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{—CH—COOH} \\ \\ \text{NH}_2 \end{array}$	7.59

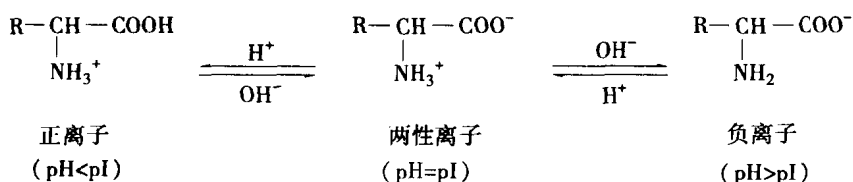
1. 非极性侧链氨基酸 其侧链为烃基、吡啶环或甲硫基等非极性疏水基团。
 2. 非电离极性侧链氨基酸 其侧链上有羟基、巯基或酰胺基等极性基团，这些基团有亲水性，在中性水溶液中不电离，但酚羟基和巯基在碱性溶液中可以电离出 H^+ 而带负电。
 3. 酸性侧链氨基酸 侧链上有羧基，在水溶液中能释出 H^+ 而带负电荷。
 4. 碱性侧链氨基酸 侧链上有氨基、胍基或咪唑基，在水溶液中能结合 H^+ 而带正电荷。
- 除上述 20 种氨基酸外，蛋白质分子中还有一些修饰氨基酸，如羟赖氨酸、羟脯氨酸、焦谷氨酸、碘代酪氨酸等，它们都是在蛋白质合成过程中或合成后从相应的编码氨基酸经酶促加工、修饰而成的，这些氨基酸在生物体内都没有相应的遗传密码。

(四) 氨基酸的理化性质

1. 物理性质 天然氨基酸都是 α -氨基酸，无色结晶，熔点较高（200～300℃），提示其晶格系由静电引力维持；溶于水后介电常数升高，提示为极化分子；氨基酸又是两性电解质，因此，氨基酸在晶体状态及纯水溶液中主要以两性离子（ $\text{R}-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$ ）存在。氨基酸在水中溶解度大小不一，除甘氨酸、丙氨酸及亮氨酸外都不溶于无水乙醇，几乎全不溶于乙醚。

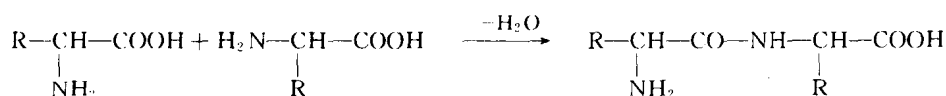
2. 化学性质

(1) 两性游离与等电点：氨基酸的同一分子中含有碱性的氨基 ($-\text{NH}_2$) 和酸性的羧基 ($-\text{COOH}$)，因此，它是两性电解质。在纯水溶液中以两性离子 (zwitterion) 存在，它的 $-\text{COOH}$ 可解离释放 H^+ ，其自身变为 $-\text{COO}^-$ ，系负离子，解离释出的 H^+ 离子与 $-\text{NH}_2$ 结合，而使 $-\text{NH}_2$ 变为 $-\text{NH}_3^+$ ，系正离子，这时氨基酸成为同一分子上带有正、负两种电荷的两性离子。氨基酸的羧基的解离度大于氨基的解离度，两者都受溶液 pH 的影响。故在氨基酸两性离子溶液中滴加酸，则它的 COO^- 接受 H^+ ，氨基酸变为正离子，向两性离子溶液滴加碱，它的 NH_3^+ 解离出一个 H^+ ，转变成中性氨基 ($-\text{NH}_2$)，氨基酸变为负离子。

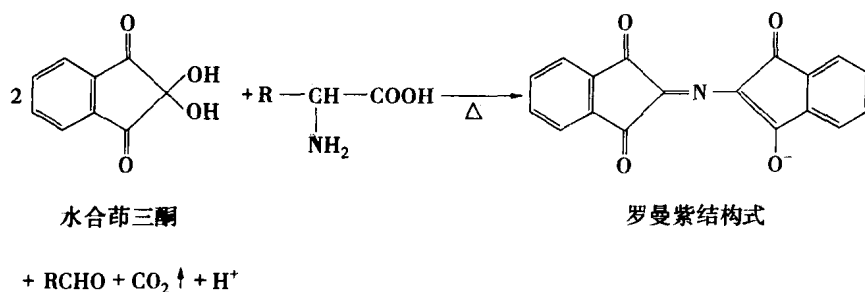


在一定 pH 值的溶液中，氨基酸带正、负电荷相等，净电荷为零，此时溶液的 pH 值称为该氨基酸的等电点 (见表 1-1)。酸性氨基酸的等电点 $\text{pI} < 4.0$ ，碱性氨基酸等电点 $\text{pI} > 7.5$ ，中性氨基酸等电点 $\text{pI} 5.0 \sim 6.5$ 。

(2) 氨基酸分子间脱水生成肽： α -氨基酸受热或酶的作用，一分子氨基酸的 α -氨基与另一分子氨基酸的 α -羧基脱水生成二肽 (氨基酸—氨基酸)。式中 “ $-\text{CO}-\text{NH}-$ ” 称为肽键，又称酰胺键，是多肽及蛋白质分子的主要化学键。



(3) 茚三酮反应： α -氨基酸与水合茚三酮于加热条件下生成一种称为罗曼染料的蓝紫色化合物，同时释出 CO_2 和 $\text{R}-\text{CHO}$ ，生成蓝紫色化合物的颜色深浅及释放出 CO_2 量的多少，均可用于氨基酸的定性及定量测定。



脯氨酸、羟脯氨酸与茚三酮反应生成黄色化合物，同时释出 CO_2 。