

YIXUE GAODENG ZHIYE JIAOYU JIAOCAI

医学高等职业教育教材

生物化学

●●主编 查锡良

复旦大学出版社

475

Q5-43
Z2391

医学高等职业教育教材

生物化学

主 编 查锡良

编 者 (以姓氏笔画为序)

王丽影(复旦大学上海医学院)

王建华(山西医科大学汾阳学院)

申宗侯(复旦大学上海医学院)

卢 虹(复旦大学上海医学院)

孙 琦(浙江医学职业技术学院)

张 英(复旦大学上海医学院)

欧周罗(复旦大学上海医学院)

查锡良(复旦大学上海医学院)

赵筱萍(浙江医学职业技术学院)

殷嫦嫦(九江学院医学院)

复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

生物化学/查锡良主编. —上海:复旦大学出版社, 2002. 8
医学相关专业基础课程系列教材
ISBN 7-309-03288-8

I. 生… II. 查… 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(2002)第 052140 号

出版发行 复旦大学出版社

上海市国权路 579 号 200433

86-21-65118853(发行部) 86-21-65642892(编辑部)

fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

经销 新华书店上海发行所

印刷 复旦大学印刷厂

开本 787×1092 1/16

印张 14.25

字数 355 千

版次 2002 年 8 月第一版 2002 年 8 月第一次印刷

印数 1—3 100

定价 24.00 元

如有印装质量问题, 请向复旦大学出版社发行部调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本教材系复旦大学组织全国相关院校编写的医学高等职业教育基础课程系列教材之一,主要适用于医学高职教育各专业的生物化学教学。针对高职培养目标和培养对象,本教材以基础生物化学内容为中心,围绕医学高职各专业所需的生物化学知识点取材编写而成。本书在叙述基础理论知识时,注重理论联系实际,同时也注重反映本学科领域的新进展,为医学高职学生进一步学习相关医学专业课程奠定必需的生化基础。

本教材由十三章组成。第一章为绪论,使学生掌握生化学科的简明发展史、基本内容和与医学各学科的关系等基本概念。第二、三章分别阐述了蛋白质和生物催化剂——酶的结构和功能。第四、五、六、七章阐述了体内糖、脂类、氨基酸的代谢概况以及物质分解代谢过程中能量产生的方式和过程。第八、九章内容为作为遗传物质的核酸分子的结构与功能、遗传信息传递的过程及其调控。第十章介绍了体内细胞与细胞信号转导的分子基础及通路。第十一、十二和十三章分别阐述了与临床医学密切相关的肝脏的生物化学、酸碱平衡和钙、磷及铁代谢等内容。本书还附有专业英语词汇的英汉对照和汉英对照,以方便学生学习、查阅。

本教材由11位编者集体拟定编写大纲、分头执笔,主编审阅修改而成。本教材自组织编写至脱稿付印,时间仓促,加之编者学识水平有限,难免存在诸多不足之处,谨请使用本教材的广大师生提出宝贵意见。

查锡良
2002年7月

目 录

第一章 绪 论	1
一、生物化学的主要内容	1
二、生物化学与医学	2
第二章 蛋白质的结构与功能	4
第一节 蛋白质的分子结构	4
一、蛋白质的基本结构单位	4
二、蛋白质的一级结构	7
三、蛋白质的空间结构	9
第二节 蛋白质结构与功能的关系	12
一、蛋白质一级结构与功能的关系	12
二、蛋白质空间结构与功能的关系	13
三、蛋白质结构改变与疾病	14
第三节 蛋白质分类与理化性质	15
一、蛋白质的分类	15
二、蛋白质的理化性质	16
第四节 血浆蛋白的功能	17
一、血浆蛋白的组成与分类	17
二、血浆蛋白的功能	18
第三章 酶	20
第一节 概述	20
一、酶促反应的特点	20
二、酶促反应的机制	21
第二节 酶的结构与功能	21
一、酶的分子组成	21
二、辅酶与维生素	22
三、酶的必需基团和活性中心	27
四、酶活力的调节	27
五、酶原的激活	29

六、同工酶	29
第三节 酶促反应动力学	30
一、酶活力的测定与酶活性单位	30
二、底物浓度对酶促反应速度的影响	30
三、温度对酶促反应速度的影响	32
四、pH 对酶促反应速度的影响	32
五、抑制剂对酶促反应速度的影响	33
六、激活剂对酶促反应速度的影响	36
第四节 酶的分类与命名	37
一、酶的分类	37
二、酶的命名	37
第五节 酶学研究在医学及科研中的应用	38
一、酶与疾病的关系	38
二、酶与疾病的诊断	38
三、酶与疾病的治疗	39
四、酶学研究的新进展	40
第四章 糖代谢	41
第一节 概述	41
一、糖的生理功能	41
二、糖的消化吸收	41
三、糖代谢的概况	42
第二节 糖的分解代谢	42
一、糖的无氧分解	42
二、糖的有氧氧化	45
三、磷酸戊糖途径	49
第三节 糖原的合成与分解	50
一、糖原的合成代谢	50
二、糖原的分解代谢	51
第四节 糖异生	52
一、糖异生途径	52
二、甘油和乳酸的糖异生途径	53
三、糖异生的生理意义	53
第五节 血糖	54
一、血糖	54
二、血糖浓度的调节	55
三、高血糖与低血糖	56
第五章 生物氧化	57

第一节 概述	57
一、生物氧化的特点	57
二、体内物质氧化的方式	57
第二节 ATP 与能量代谢	58
一、ATP	58
二、ATP 的生成方式	58
三、ATP 循环	59
四、高能键的转移和贮存	59
第三节 呼吸链	60
一、呼吸链的组成	60
二、2 条呼吸链中电子传递体的排列顺序	63
三、胞液中 NADH 的氧化	63
四、氧化磷酸化的偶联	64
第六章 脂类代谢	68
第一节 脂类的分布和生理功能	68
一、脂肪的分布和生理功能	68
二、类脂的分布和生理功能	68
第二节 脂类的消化和吸收	69
第三节 三酰甘油的分解代谢	69
一、脂肪动员	69
二、甘油的代谢	70
三、脂肪酸的 β -氧化	70
四、酮体的生成和利用	72
第四节 三酰甘油的合成代谢	73
一、磷酸甘油的合成	73
二、脂肪酸的生物合成	73
三、三酰甘油的合成	76
第五节 磷脂的代谢	76
一、甘油磷脂的生物合成	77
二、甘油磷脂的降解	78
第六节 胆固醇代谢	78
一、胆固醇的合成	79
二、胆固醇合成的调节	80
三、胆固醇在体内的转变与排泄	80
第七节 血脂和血浆脂蛋白代谢	80
一、血脂的组成和含量	80
二、血浆脂蛋白的分类、组成及结构	81
三、血浆脂蛋白的代谢	82

第八节 脂类代谢紊乱及疾病	83
一、酮血症	83
二、脂肪肝	83
三、高脂血症	83
第七章 氨基酸的代谢	84
第一节 蛋白质的营养作用	84
一、蛋白质的需要量	84
二、蛋白质的营养价值	85
第二节 蛋白质的消化、吸收与腐败	86
一、蛋白质的消化	86
二、氨基酸的吸收	86
三、蛋白质的腐败	86
第三节 氨基酸的一般代谢	87
一、氨基酸的脱氨基作用	87
二、氨的代谢	89
三、 α -酮酸的代谢	92
第四节 氨基酸的特殊代谢	92
一、氨基酸的脱羧基作用	92
二、一碳单位的代谢	94
三、含硫氨基酸的代谢	96
四、芳香族氨基酸的代谢	98
第八章 核酸的结构、功能与核苷酸的代谢	101
第一节 核酸的化学组成	101
一、碱基	101
二、戊糖	102
三、核苷	102
四、核苷酸	103
第二节 核酸的结构与功能	103
一、核酸的一级结构	103
二、DNA 的空间结构	104
三、RNA 的结构与功能	106
第三节 核酸的性质	108
一、核酸的一般性质	108
二、核酸的紫外吸收	108
三、核酸的变性、复性与杂交	108
第四节 核苷酸的代谢	109
一、嘌呤核苷酸的代谢	109

二、嘧啶核苷酸的代谢	114
三、抗核苷酸代谢的类似物	116
第九章 基因信息的传递	118
第一节 DNA 的生物合成(复制)	118
一、DNA 复制的特征	118
二、DNA 复制的酶学	120
三、DNA 的复制过程	123
四、逆转录合成 DNA	124
五、DNA 的损伤与修复	124
第二节 RNA 的生物合成(转录)	127
一、模板和酶	127
二、转录过程	128
三、真核转录后加工	131
第三节 蛋白质的生物合成	133
一、遗传密码	133
二、蛋白质生物合成体系	135
三、蛋白质的生物合成过程	136
四、翻译后加工	139
五、蛋白质生物合成与医学的关系	140
第四节 基因结构、基因表达调控及人类基因组计划	141
一、基因结构	141
二、基因表达的调控	141
三、基因组及人类基因组计划	144
第五节 基因工程	145
一、基本概念	145
二、DNA 克隆的基本步骤	146
三、基因工程中使用的重要技术	146
四、基因工程的应用	148
第六节 小结	148
第十章 细胞信息传递	150
第一节 信号分子	150
一、信号分子的含义	150
二、信号分子的化学特点与分类	150
三、信号分子的作用特点	151
第二节 受体	152
一、受体的概念	152
二、信号分子与受体结合的特点	152

三、受体的结构与功能	153
第三节 主要信号转导途径	155
一、cAMP-蛋白激酶途径	155
二、Ca ²⁺ -磷脂依赖性蛋白激酶途径	157
三、Ca ²⁺ -钙调蛋白依赖性蛋白激酶(Ca ²⁺ -CaM-PK)途径	158
四、cGMP-蛋白激酶途径	158
五、酪氨酸蛋白激酶途径	158
六、NF- κ B 途径	160
七、胞内受体介导的信号转导途径	161
第四节 信号转导异常与疾病	162
第十一章 肝脏的生物化学	163
第一节 肝脏在物质代谢中的作用	163
一、肝脏在糖代谢中的作用	163
二、肝脏在脂类代谢中的作用	163
三、肝脏在蛋白质代谢中的作用	164
四、肝脏在维生素代谢中的作用	164
五、肝脏在激素代谢中的作用	164
第二节 肝脏在生物转化过程中的作用	165
一、肝脏生物转化的概述	165
二、生物转化反应类型	165
三、生物转化的生理意义	167
第三节 胆汁酸代谢	167
一、胆汁	167
二、胆汁酸的代谢与生理功能	168
第四节 胆色素代谢	170
一、胆色素的正常代谢	170
二、血清胆红素与黄疸	172
第五节 常用肝功能试验的临床意义	173
一、血浆蛋白质的检测	174
二、血清酶的测定	174
三、胆色素代谢试验	174
第十二章 酸碱平衡	175
第一节 体内的酸性和碱性物质的来源	175
一、酸性物质的来源	175
二、碱性物质的来源	176
第二节 酸碱平衡的调节	176
一、血液的缓冲作用	176

二、肺对酸碱平衡的调节	178
三、肾脏对酸碱平衡的调节	179
第三节 酸碱平衡紊乱	181
一、酸碱平衡失常的基本类型	181
二、判断酸碱平衡的几项生化指标	183
 第十三章 钙、磷及铁代谢	185
第一节 钙、磷代谢	185
一、钙、磷的体内过程	185
二、钙、磷代谢及其调节	186
三、钙、磷与骨	188
四、钙、磷的其他生理作用	189
第二节 铁的代谢	190
一、铁的体内过程	190
二、铁的生理作用	191
 附录 1 专业词汇英汉对照	192
附录 2 专业词汇汉英对照	202

第一章 绪 论

生物化学(biochemistry)是一门医学专业学生必修的医学基础课程,也是学习其他医学基础课程和医学临床课程的必备知识。作为研究生物体内化学分子及化学反应的基础生命科学,生物化学的主要任务是从分子水平与化学变化的本质上阐述各种生命现象。生物化学的研究内容包括生物体细胞化学成分的组成、分子结构及其功能;体内的各种化学反应、代谢途径及其调节、遗传信息传递等复杂的问题。为了适应当今生命科学飞速发展的需要,生物化学的研究手段除了各种经典的化学理论与方法外,还采纳了大量先进的物理学、生物学、微生物学、免疫学以及遗传学等理论和技术,更为重要的是已广泛应用的分子生物学理论和技术,使生物化学学科的内涵越来越丰富。

生物化学的研究可追溯到 18 世纪,但作为一门独立学科,19 世纪末 20 世纪初才逐渐形成和旺盛发展。早年有机化学的崛起,为生物化学的诞生奠定了基础。而生物学朝着化学研究方向发展的同时,才形成“生理化学”并逐步从颇具物理学特征的生理学中分离出来,成为延续至今的生物化学。20 世纪 30 年代医学的发展,使许多物质代谢的重要途径(鸟氨酸循环、三羧酸循环等)相继被阐明。20 世纪 40 年代,遗传学研究突飞猛进,继而 50 年代初期发现了蛋白质 α 螺旋的二级结构,更为重要的是 1953 年 J. D. Watson 和 F. H. Crick 提出 DNA 的双螺旋结构模型,这是生物化学进入分子生物学时代的重要标志。60 年代中期初步确立了遗传信息的中心法则,70 年代建立核酸重组技术。正由于生物化学融入了崭新的分子生物学内容,才得到了进一步的发展。经过 1 个多世纪无数科学家的努力,生物体的化学成分、生物大分子结构及功能、物质代谢、能量代谢、代谢调节、遗传信息传递、基因表达调控和细胞间信息传递等方面的研究都已经取得极其丰硕的成果,大大丰富了生物化学的知识内容。因此,生物化学已成为一门重要的基础医学主干学科,并对临床医学产生越来越大的影响。

一、生物化学的主要内容

(一) 生物体的化学组成、分子结构及其功能

了解生物体的各种分子结构与功能是阐述完整生命现象的基础。已知生物体的结构十分复杂,可逐级分为系统、器官、组织、细胞等,而细胞是组成各种组织和器官的基本单位。每个细胞又由成千上万种化学物质组成。这些化学成分不外乎为无机物、有机小分子和生物大分子等。水和钾、钠、氯、钙、磷、镁等元素以及若干体内含量甚微的微量元素所组成的化合物,均为人体正常结构与功能所必需的。有机小分子主要包括各种有机酸、有机胺、氨基酸、核苷酸、单糖、维生素等,参与体内物质代谢、能量代谢等。生物大分子主要指蛋白质、酶、糖蛋白、蛋白聚糖、复合脂类和核酸等。生物大分子种类繁多,结构复杂,功能各异,而且

结构与功能之间关系密切。同时,生物大分子之间的相互识别和相互作用是产生生理作用的主要方式。因此生物大分子结构与功能是医学生的生物化学课程重点内容之一。

(二) 生物体的物质代谢及其调控

在了解生物体内的各种分子结构及其功能以后,即可进一步理解各种分子参与的物质代谢过程。众所周知,生命的基本特征为新陈代谢。体内每时每刻都在进行着新陈代谢,陈旧的化学物质不断被新的化学物质所替代,从而使个体得以生长发育,生命得以延续。供给各种生命活动所需的能量,来自于体内糖、蛋白质、脂肪等能源物质在分解代谢过程中所释放的能量。物质代谢还包括机体与环境不断进行物质交换的过程,即个体从外环境中摄取氧气和营养物质,排出二氧化碳和其他代谢产物的过程。体内的各种物质代谢途径之间存在密切的关系,需要进行互相协调,以达到动态平衡,从而适应内外环境。为了使各种物质代谢途径都能按一定规律有条不紊地进行,需要体内神经、激素等整体性精细准确的调节来完成。随着酶学、放射性核素技术和分子生物学技术等的应用,对体内各种物质代谢的过程及其调节的了解也已日臻清楚。物质代谢调节的种类、方式、过程十分复杂。近年来,信号分子之间相互调节和信号传导过程的研究成绩斐然,为深入了解机体内物质代谢调控的分子网络机制奠定了基础。

(三) 遗传信息的贮存、传递与表达

已知 DNA 是遗传信息的携带者。生物体通过 DNA 的复制将遗传信息准确无误地传递给后代。这种生物体在繁衍过程中,遗传信息代代相传的现象,是生命的又一重要特征。受精卵增殖分化、胚胎发育、个体成熟等都伴随着无数次细胞分裂增殖过程。每一次细胞分裂增殖都包含着细胞核内遗传物质的复制、遗传信息的传递和表达。个体的遗传信息以基因为基本单位贮存于 DNA 分子中。随着人类基因组计划的最终完成,人体细胞内数以万计的基因在染色体上的定位及其核苷酸序列将得以阐明。

体内一刻不停地进行的物质代谢及其产生的作用也是细胞核内基因信息最终表达的结果。这涉及核酸、蛋白质的生物合成及其调控。核酸和蛋白质的合成是一个复杂的过程,均由模板指导合成,整个过程受到机体的严格调控。

20 世纪 70 年代后逐渐发展起来的基因工程(genetic engineering)技术,使人们能按照人为设计对基因进行人工操作,使基因得以改造,然后达到基因扩增和表达的目的。运用基因工程技术,人们可以从细菌的数千个基因或哺乳类动物的数万个基因中分离某一个基因,在特定细胞内成功地进行表达,产生有特殊生物学意义的蛋白质。目前许多基因工程产品也已应用于人类疾病的诊断和治疗。应用基因工程技术,还可将某一基因导入患者体内,以纠正错误基因或替代缺失基因,从而达到治疗疾病的目的。这种基因治疗为临床治疗学提供了崭新的途径。总之,经过科学家们近 30 年的不懈努力,如今基因工程已成为重要的生物技术,为医学领域乃至工农业生产的发展开辟了广阔的前景。

二、生物化学与医学

综观医学发展史,可清楚地发现生物化学与医学的发展密切相关,并且相互促进。生物化学的理论和技术的早已渗透至基础医学和临床医学的各个领域,用以从分子机制层次解决医学各门学科中存在的问题。掌握生物化学知识,为进一步学习免疫机制、微生物作用机制、基本病理过程、药物体内代谢过程及其作用机制、疾病发生发展的机制和临床检验、诊

断、治疗等在理论和技术上打下良好的基础。随着新知识不断涌现以及学科间的相互渗透,逐步出现了一批交叉学科,如分子免疫学、分子病理学、分子药理学、分子病毒学等。生物化学学科的发展,又促进了许多长期危害人类健康的疾病如肿瘤、遗传性疾病、代谢异常疾病(如糖尿病)、免疫缺陷性疾病等病因、诊断、治疗的研究,同时也取得了不少重大进展。因此,掌握生物化学的基本知识,可为深入学习其他基础课程、临床医学课程、预防医学课程、药学课程乃至毕业后接受继续教育,奠定厚实的基础。

(查锡良)

第二章 蛋白质的结构与功能

蛋白质(protein)是生命与非生命化学成分的根本区别之一。人体内蛋白质约占固体成分的45%,约有10万余种,它们参与并完成了以复杂的物质代谢为基础的各种生命活动。生物体内的酶、若干凝血因子、抗体、肽类激素、转运蛋白和肌肉收缩蛋白等的本质都是蛋白质,尽管它们相互间的结构、功能截然不同,但均在各种生理活动中发挥着不可替代的重要作用。

经化学元素分析,证明蛋白质分子主要含有碳、氢、氧和氮元素,大部分蛋白质还含硫,有的还含少量的磷、铁、碘、硒等元素。蛋白质的含氮量十分接近,约为16%。因此,计算生物样品中蛋白质的含量,可通过测其氮含量而推算得出:

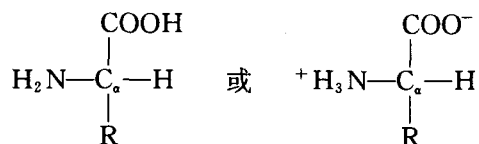
$$\text{每克样品中蛋白质含量(g)} = \text{每克样品中含氮量} \times 6.25$$

第一节 蛋白质的分子结构

一、蛋白质的基本结构单位

(一) 蛋白质的基本结构单位——氨基酸

蛋白质经酸、碱或蛋白水解酶作用后,可水解成各种氨基酸(amino acid),氨基酸是蛋白质的基本结构单位。组成天然蛋白质的氨基酸共有20种,除甘氨酸外,都为L- α -氨基酸。 α -氨基酸的基本结构特征为: α 碳原子连有4个基团或原子,分别为氨基(或亚氨基)、羧基、侧链基团和氢。由于各种氨基酸的侧链结构存在差异,就形成了物理化学性质各异的20种氨基酸。L- α -氨基酸通式可用下式表示(R为侧链):



人体内20种氨基酸的分类如表2-1所示。

表2-1中列出了组成蛋白质的20种氨基酸的侧链结构。根据氨基酸的侧链结构和性质,20种氨基酸可分成4类:

(1) 非极性疏水性氨基酸 此类氨基酸含有非极性的侧链,具有大小不一的疏水性。它们是甘氨酸、丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、苯丙氨酸和脯氨酸。甘氨酸侧链为氢原子,无疏水性。

表 2-1 人体内 20 种氨基酸的分类

中文名	英文名	结 构 式	三字符号	一字符号	等电点(pI)
1. 非极性氨基酸					
甘氨酸	glycine	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Gly	G	5.97
丙氨酸	alanine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Ala	A	6.00
缬氨酸	valine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Val	V	5.96
亮氨酸	leucine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Leu	L	5.98
异亮氨酸	isoleucine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Ile	I	6.02
苯丙氨酸	phenylalanine	$\begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Phe	F	5.48
脯氨酸	proline	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{CHCOO}^- \\ \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	Pro	P	6.30
2. 极性中性氨基酸					
色氨酸	tryptophan	$\begin{array}{c} \text{C}_8\text{H}_6\text{N}_2-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Trp	W	5.89
丝氨酸	serine	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Ser	S	5.68
酪氨酸	tyrosine	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Tyr	Y	5.66
半胱氨酸	cysteine	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Cys	C	5.07
甲硫(蛋)氨酸	methionine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3\text{SCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Met	M	5.74
天冬酰胺	asparagine	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Asn	N	5.41

(续 表)

中文名	英文名	结 构 式	三字符号	一字符号	等电点(pI)
谷氨酰胺	glutamine	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Gln	Q	5.65
苏氨酸	threonine	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{HO}-\text{CH}-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Thr	T	5.60
3. 酸性氨基酸					
天冬氨酸	aspartic acid	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Asp	D	2.97
谷氨酸	glutamic acid	$\begin{array}{c} \text{HOOCCH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Glu	E	3.22
4. 碱性氨基酸					
赖氨酸	lysine	$\begin{array}{c} \text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Lys	K	9.74
精氨酸	arginine	$\begin{array}{c} \text{NH} \\ \parallel \\ \text{NH}_2\text{CNHCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \\ ^+\text{NH}_3 \end{array}$	Arg	R	10.76
组氨酸	histidine	$\begin{array}{c} \text{HC}=\text{C}-\text{CH}_2-\text{CHCOO}^- \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{NH} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \\ \\ \text{H} \end{array} \quad ^+\text{NH}_3$	His	H	7.59

(2) 极性氨基酸 此类氨基酸的侧链带有羟基或巯基、酰胺基等极性基团,具有亲水性,但在中性水溶液中不电离。它们包括丝氨酸、苏氨酸、酪氨酸、半胱氨酸、甲硫氨酸(蛋氨酸)、天冬酰胺、谷氨酰胺和色氨酸等。

(3) 酸性氨基酸 此类氨基酸的侧链含有羧基,易解离出 H^+ 而具有酸性。它们是天冬氨酸和谷氨酸。

(4) 碱性氨基酸 此类氨基酸的侧链带有易接受 H^+ 的基团而具有碱性。它们是精氨酸、赖氨酸和组氨酸。

此外,20种氨基酸中有2种较为特殊的氨基酸,它们是脯氨酸和半胱氨酸。脯氨酸属亚氨基酸,可形成羟脯氨酸。半胱氨酸侧链末端为巯基,2个半胱氨酸通过2个巯基脱氢形成二硫键,从而连成1个胱氨酸。蛋白质分子中不少半胱氨酸以胱氨酸形式存在。

(二) 氨基酸的主要理化性质

1. 氨基酸的两性电离和等电点 氨基酸的结构特征为含有氨基和羧基。氨基可接受