

高等医药院校教材

生物化学

主编 赵伟康 副主编 齐治家

中国中医药出版社

33

学图书馆

D702/60
2001/12

高等医药院校教材

生物化学

主 编 赵伟康
副主编 齐治家
编写者 王 浩 王铁丹 冯群先
周梦圣 胡 霖 张立人
陆桂祥 顾文聪



R34-43
ZWK-1

中国中医药出版社



A1C01173580

(京)新登字025号

高等医药院校教材

生物化学

主编 赵伟康

中国中医药出版社出版

(北京市东城区新中街11号)

邮编: 100027 电话: 4652210 电挂: 3406

新华书店总店北京发行所发行

高碑店市劳动服务公司印刷厂

787×1092mm 16开本 26.125印张 670千字

1994年8月第1版 1994年8月第1次印刷

印数1—4000册

ISBN7-800 89-357-X/R·358 定价: 18.00元

编写说明

生物化学是研究生命的化学，它是运用化学的理论和方法，从分子水平来研究生物体的化学组成和生命活动中所进行的化学变化及其调控规律、代谢反应与生理机能的关系，从而阐明生命现象的本质，并把这些知识应用于社会实践和生产实践的一门科学。

本书在1988年编写出版的第一版教材基础上进行了全面的修订。在修订过程中曾广泛征求并吸取了有关使用单位的意见。内容力求做到少而精，理论联系实际。并能体现中药专业特点，使学生在较短时间内掌握生物化学的基本理论和基础知识，为进一步学习有关西医基础课和中药药理、中药药剂和植物生理等专业课打下良好基础。同时编入中药对代谢影响的研究资料，以扩大学生视野，启发学生思路。由于近年来生物化学的迅速发展，本教材尽可能反映出现代生物化学的新进展和新成就，如癌基因与抗癌基因、反义RNA、神经内分泌免疫网络等概念；真核生物基因调控以及基因工程、细胞工程在生产蛋白质类药物方面的应用等。超出教学大纲所要求的内容，均用小字排版，供学生参考用。

全书共十八章，以正常人体的生化基本代谢规律为主要内容。为了保持完整性，增加“维生素和辅酶”一章。考虑到中药化学、中药制剂和临床药理工作的需要，编写了“生物大分子物质的分离和提纯”、“中药生化成分和生化药物”及“药物的转运与代谢转化”各章；为了适应社会老龄化趋势和中医药在延缓衰老作用方面有其独特的优势，以及微量元素对机体的重要性，本书又撰写了“衰老生化概述”和“微量元素与中医药”两章。书后附有生化检验正常值表和英汉常用生化名词缩写表。

参加本版的编写人员与第一版稍有更动。编写分工如下：蛋白质化学、核酸化学、代谢调节由赵伟康编写；维生素和辅酶由张立人编写；酶由周梦圣编写；生物大分子物质的分离和提纯、中药生化成分与生化药物由胡霖编写；糖代谢、衰老生化由顾文聪编写；脂类代谢、生物氧化由王浩编写；蛋白质代谢，DNA、RNA及蛋白质的生物合成，微量元素与中医药由齐治家编写；核苷酸代谢、胆色素代谢由冯群先编写；水盐代谢与酸碱平衡由王铁丹、张立人编写；药物的运转和代谢转化由陆桂祥编写。

由于编写水平有限，时间匆促，缺点和错误在所难免，衷心欢迎广大师生和读者随时予以指正。

编者

1993年8月

目 录

第一章 蛋白质化学	1
第一节 蛋白质的分类	1
第二节 蛋白质的分子组成	2
一、蛋白质的元素组成	2
二、组成蛋白质的基本单位—— α -氨基酸	2
三、肽键和肽	12
第三节 蛋白质的分子结构	14
一、一级结构	15
二、二级结构	19
三、三级结构	21
四、四级结构	21
五、蛋白质分子中的次级键	21
第四节 蛋白质的结构与功能	22
*一、胰岛素	22
*二、血红蛋白	23
第五节 蛋白质的理化性质	25
一、蛋白质的分子大小和形状	25
二、蛋白质是高分子化合物	26
三、蛋白质分子的扩散与沉降	26
四、蛋白质的两性电离和等电点	27
五、蛋白质的沉淀	28
六、蛋白质的变性	29
七、蛋白质的免疫性	30
八、蛋白质的显色反应	31
*第六节 生物工程技术在蛋白质合成方面的应用	31
一、基因工程	32
二、细胞工程	32
第二章 核酸化学	33
第一节 核酸的概念与重要性	33
第二节 核酸的化学组成	34
一、核糖	34
二、碱基—嘧啶及嘌呤化合物	35
第三节 核苷和(单)核苷酸的结构	36
一、核苷的结构	36
二、核苷酸的结构	38
第四节 核酸的分子结构	39

一、核酸分子中核苷酸之间的联接方式及其简写式	39
二、核酸的分子结构	40
第五节 核酸的理化性质	48
第六节 体内重要的游离核苷酸	49
第三章 酶	52
第一节 酶的概念	52
一、酶是一类蛋白质	52
二、酶是在活细胞内合成的	53
三、酶是生物催化剂	53
第二节 酶的催化机理	55
一、酶的催化作用和活化能	55
二、酶的中间产物学说	56
三、酶的活性中心	56
四、酶的“诱导契合”学说	57
五、酶原及酶原致活	57
第三节 酶促反应动力学	59
一、酶浓度对酶促反应的影响	59
二、底物浓度对酶促反应的影响	60
三、温度对酶促反应的影响	65
四、pH对酶促反应的影响	66
五、抑制剂对酶促反应的影响	66
*六、激动剂对酶促反应的影响	73
第四节 酶的命名、分类和活性测定	73
*一、习惯命名法原则	73
*二、国际系统命名法	74
*三、国际系统分类编号	74
四、酶活性测定	75
第五节 酶与医药的关系	76
*一、酶与疾病的关系	76
二、酶制剂在医药上的应用	78
第四章 维生素和辅酶	80
第一节 维生素的基本概念	80
一、维生素的概念和特点	80
二、维生素的分类	80
三、过多症和缺乏症	81
第二节 水溶性维生素和辅酶	81
一、维生素C	81
二、B族维生素和辅酶	83
第三节 脂溶性维生素	88
一、维生素A	88
二、维生素D	89

三、维生素E	91
四、维生素K	91
第四节 维生素与中医药	92
第五章 生物大分子物质的分离和提纯	94
第一节 生物大分子物质分离与提纯的一般程序	94
第二节 材料的选择和处理	95
一、材料的选择	95
二、细胞的破碎	95
三、亚细胞结构的分离	96
四、生物大分子物质的抽提	97
第三节 分离和提纯各种生物大分子物质的原理和技术	99
一、利用溶解度进行分离和提纯	99
二、利用电荷进行分离和提纯	100
三、利用体积和比重进行分离和提纯	105
四、利用吸附力进行分离和提纯	108
第四节 分析与测定技术	111
一、紫外与可见光谱分析	111
二、激光拉曼光谱	112
三、放射免疫分析	112
四、酶活法	113
五、利用特殊功能特性进行纯度分析	114
六、化学结构分析	114
七、全染色剂染色法	115
第六章 糖代谢	116
第一节 概述	116
一、糖的生理功用	116
二、糖的分类	116
第二节 糖的消化吸收	119
一、糖的消化	119
二、糖的吸收	119
第三节 糖的氧化分解	120
一、糖酵解	120
二、糖的有氧氧化	124
三、磷酸戊糖通路	130
四、糖醛酸途径	131
第四节 糖原的合成与分解	133
一、糖原的合成	133
二、糖原的分解	135
第五节 糖异生作用	136
一、糖异生的途径	136
二、糖异生的生理意义	137

第六节 血糖	137
一、血糖的来源和去路	137
二、血糖浓度的调节	138
*第七节 糖代谢紊乱	139
一、低血糖	139
二、高血糖及糖尿	139
三、糖尿病	140
四、耐糖现象	140
五、糖原累积症	141
*第八节 某些中草药对糖代谢的影响	141
一、影响糖酵解的中草药	141
二、影响糖有氧氧化的中草药	142
三、影响糖原合成与分解的中草药	143
四、中药对血糖的影响	143
五、治疗糖尿病的中草药	144
第七章 脂类代谢	146
第一节 脂类的化学结构、分布和生理功用	146
*一、重要脂类的化学结构	146
二、脂类在体内的分布及生理功用	150
第二节 脂类的消化和吸收	151
一、脂类的消化	151
二、脂类的吸收	152
*三、脂类消化吸收的特点	152
第三节 血脂	153
一、血脂的成分和含量	153
二、血浆脂蛋白	153
第四节 甘油三酯的中间代谢	158
一、甘油三酯的分解代谢	158
二、甘油三酯的合成代谢	162
*第五节 多不饱和脂肪酸的重要衍生物—前列腺素、血栓素和白三烯	165
一、前列腺素、血栓素及白三烯的分类和命名	165
二、前列腺素、血栓素和白三烯的生物合成	167
三、前列腺素、血栓素和白三烯的生物学效应	168
第六节 磷脂和胆固醇的代谢	169
一、磷脂的代谢	169
二、胆固醇代谢	170
第七节 胆汁与胆汁酸代谢	173
一、胆汁的正常组成	173
二、胆汁酸代谢	173
*第八节 脂类代谢紊乱	175
一、高脂血症	175

二、动脉粥样硬化	176
三、脂肪肝	178
四、肥胖	178
第八章 生物氧化	180
第一节 概述	180
一、生物氧化的概念和生理意义	180
二、生物氧化的特点	180
第二节 二氧化碳的生成	180
第三节 水的生成——线粒体氧化体系	181
一、呼吸链的组成成分及其作用	181
二、体内重要的呼吸链	184
*三、呼吸链成分排列顺序的研究——氧化还原电位	185
第四节 能量的释放、转换、储存和利用	186
一、高能磷酸化合物	186
二、ATP的生成	187
三、能量的转移、储存和利用	190
第五节 非线粒体氧化体系	191
一、微粒体氧化体系	191
*二、氧化酶和需氧脱氢酶	192
*三、超氧化物歧化酶	192
*四、过氧化氢酶与过氧化物酶	193
*第六节 中草药对生物氧化的影响	194
第九章 蛋白质代谢	195
第一节 蛋白质在人体中的重要性	195
一、与记忆功能和思维能力有关的蛋白质	195
二、铁传递蛋白	195
三、钙调蛋白	195
四、糖化血红蛋白	195
五、干扰素	196
六、谷蛋白	196
第二节 氮平衡	196
一、氮总平衡	196
二、氮正平衡	196
三、氮负平衡	197
第三节 必需氨基酸与非必需氨基酸	197
*一、赖氨酸	197
*二、组氨酸	198
*三、动物性蛋白及植物性蛋白质	198
第四节 食物中蛋白质营养价值的估量及其互补作用	199
第五节 关于蛋白质需要量	201
第六节 关于氨基酸溶液补给问题	201

第七节 蛋白质的消化和腐败及氨基酸的吸收	202
一、蛋白质的消化	202
二、蛋白质在肠内的腐败	204
三、氨基酸的吸收	205
第八节 氨基酸分解代谢的一般途径	206
一、氨基酸的脱氨基作用	206
二、氨的代谢途径	209
三、酮酸的代谢途径	213
四、氨基酸脱羧基作用	213
五、个别氨基酸的代谢	215
第九节 激素对蛋白质代谢的调节	223
一、甲状腺激素	223
二、糖皮质激素	223
三、性激素	223
四、生长激素	224
五、胰岛素	224
第十章 核苷酸代谢	225
第一节 嘌呤核苷酸代谢	226
一、嘌呤核苷酸的合成	226
二、嘌呤核苷酸的分解	229
第二节 嘧啶核苷酸代谢	230
一、嘧啶核苷酸的合成	230
二、嘧啶核苷酸的分解	232
*第三节 核苷酸的抗代谢物	233
一、嘌呤核苷酸的抗代谢物	233
二、嘧啶核苷酸的抗代谢物	234
*第四节 中药对环核苷酸的影响	235
第十一章 DNA、RNA及蛋白质的生物合成	236
第一节 DNA的生物合成	236
一、半保留复制	236
二、参与DNA复制的主要酶类	237
三、DNA的复制过程	238
四、DNA损伤及修复	240
五、反向转录	240
*六、基因突变	241
七、基因重组	243
第二节 RNA的生物合成	244
一、参加转录的主要物质	244
二、RNA生物合成(转录)过程	244
第三节 蛋白质的生物合成	246
一、参加蛋白质合成的三种核糖核酸	247

二、蛋白质的合成过程·····	249
三、蛋白质生物合成后的加工·····	253
第四节 蛋白质、核酸的生物合成与医学的关系·····	254
一、分子病·····	254
二、蛋白质生物合成的阻断剂·····	255
第五节 中药对DNA、RNA及蛋白质合成的影响·····	255
一、柴胡皂甙·····	255
二、人参·····	256
三、大黄、黄连·····	257
四、几种具有抗癌作用的中药对核酸、蛋白质的影响·····	258
五、复方中药益气通络丹对核酸和蛋白质的影响·····	259
第十二章 代谢调节 ·····	260
第一节 糖、脂类和蛋白质代谢的相互关系·····	260
第二节 细胞水平的调节·····	261
一、酶活性的调控·····	261
二、基因表达的调控·····	267
第三节 激素水平的调节·····	270
一、作用于细胞膜受体的激素调节机理·····	271
二、作用于细胞内受体的激素调节机理·····	275
第四节 神经—体液调节·····	277
*第五节 神经内分泌免疫网络的概念·····	277
*第六节 中药对内分泌系统的调节作用·····	278
一、中药对下丘脑—垂体—肾上腺皮质轴的影响·····	278
二、中药对甲状腺激素的影响·····	279
三、中药对下丘脑—垂体—性腺轴的影响·····	280
四、中药对交感—肾上腺髓质系统的影响·····	280
第十三章 水盐代谢和酸碱平衡 ·····	282
第一节 体液的含量分布和交流·····	282
一、体液的分布·····	282
二、体液中的电解质·····	282
三、体液的交流·····	284
第二节 水的代谢·····	285
一、水的生理作用·····	285
二、水的平衡·····	286
第三节 钠、钾、氯的代谢·····	287
一、电解质的生理作用·····	287
二、钠和氯的代谢·····	287
三、钾的代谢·····	288
四、水盐代谢的调节·····	289
*五、水盐代谢的紊乱·····	290
第四节 钙、磷的代谢·····	291

一、体内钙、磷的含量、分布和生理功能	291
二、钙磷的吸收和排泄	291
三、血钙和血磷	293
*四、钙磷代谢的调节	293
*五、某些中草药对水盐代谢的影响	294
第五节 酸碱平衡	296
一、概述	296
二、体内酸性和碱性物质的来源	296
三、血液的缓冲作用	297
四、肺脏对酸碱平衡的调节作用	299
五、肾脏对酸碱平衡的调节作用	299
*六、酸碱平衡紊乱	302
*七、酸碱平衡的临床指标	303
*八、某些纠正酸碱平衡的药物	304
第十四章 药物的转运与代谢转化	305
第一节 生物膜结构与药物转运	305
一、生物膜概念	305
二、生物膜的化学组成及结构	305
三、药物转运	310
第二节 药物代谢	313
一、药物代谢反应进行的部位	313
二、药物代谢反应的类型	313
三、催化药物转化的酶系	320
第三节 影响药物代谢的因素	323
一、药物代谢酶的诱导	323
二、药物代谢酶的抑制	324
*三、药物代谢的双相作用	325
*四、年龄、性别、种属等因素的影响	325
第四节 药物代谢转化的意义	326
一、消除外来异物	326
二、改变药物的活性或毒性	327
三、对体内活性物质的灭活	327
四、药代研究在新药设计中的作用	327
第十五章 胆色素代谢	328
第一节 肝功能概述	328
第二节 胆红素的来源、形成及转运	329
一、胆红素的来源及形成	329
二、胆红素的转运	331
第三节 胆红素在肝、肠内的转变	331
一、肝细胞对胆红素的摄取和转化	331
二、胆红素在肠道内的转变	333

◆第四节 胆红素代谢异常与中医药	334
一、高胆红素血症和黄疸	334
二、中药的保肝作用	335
三、常用的利胆中药	335
◆第十六章 中药的生化成分与生化药物	337
第一节 中药的生化成分	337
一、研究中药生化成分的重要意义	337
二、中药的氨基酸、多肽、蛋白质类成分	338
三、中药的核酸和核苷酸类成分	341
四、中药的糖类成分	341
五、中药的有机酸类、脂类成分	345
六、中药的维生素和微量元素	348
七、影响中药生化成分的若干因素	349
第二节 生化药物	351
一、概述	351
二、生化药物的资源	352
三、氨基酸类药物	353
四、多肽和蛋白质类药物	355
五、酶类药物	356
六、核酸类药物	359
七、粘多糖类药物	360
八、脂类药物	360
◆第十七章 衰老生化概述	362
第一节 衰老机理的学说	362
一、神经—内分泌功能减退学说	362
二、交联学说	363
三、自由基学说	363
四、基因学说	364
五、免疫学说	364
第二节 衰老时机体的生化变化	365
一、衰老时代谢变化	365
二、衰老时细胞中酶的变化	367
三、衰老时免疫功能的变化	369
四、衰老时神经—内分泌的变化	370
五、衰老时胶原的改变	372
六、衰老时自由基诱导的有害变化	373
第三节 延缓衰老的中药与方剂	374
一、单味药的研究	374
二、复方的研究	374
◆第十八章 微量元素与中医药	376
第一节 微量元素的概念	376

一、微量元素在体内的分布及其存在形式·····	376
二、微量元素的吸收与排泄·····	376
三、微量元素的测定方法及其在实验中的污染·····	378
第二节 个别微量元素的生理作用 ·····	380
一、锌·····	380
二、铬·····	381
三、硒·····	382
四、铜·····	384
五、锰·····	385
六、氟·····	386
七、钴·····	387
八、钼·····	387
第三节 微量元素与中医临床 ·····	387
一、微量元素锌、锰与中医肾的关系·····	387
二、阴虚、阳虚患者血清中的微量元素·····	389
三、虚证(风湿病)的微量元素·····	389
四、中药的微量元素·····	390
五、寿命与微量元素·····	396
附录	
一、常用人体检验参考数值及新旧单位换算表·····	397
二、常用生化名词缩写表·····	399

第一章 蛋白质化学

蛋白质是生命的物质基础。据估计每个大肠杆菌约有 3,000 种不同结构的蛋白质分子,复杂的人体则有 100,000 种以上。正是依靠这些多种多样的蛋白质分子,生物体才能精确地完成各种复杂的生理功能。大量资料表明,催化生物体内一切化学反应的酶,调节新陈代谢的某些激素,运载 O_2 和 CO_2 的血红蛋白,在生物氧化过程中传递电子的细胞色素,运输脂类的血浆脂蛋白,协调机体运动的肌动蛋白和肌球蛋白,参与免疫的抗体,传递信息的受体,决定生物生长、繁殖和遗传、变异的核蛋白,控制和调节基因表达的组蛋白,眼视网膜上感光的视蛋白,味蕾上的味觉蛋白,参与凝血的纤维蛋白原等都是蛋白质,可见蛋白质和生命活动息息相关。

蛋白质功能的广泛性与其结构的多样性是密切相关的。近年来由于各种分析技术的飞速发展。如氨基酸的顺序分析、X-线衍射技术、核磁共振、各种层析、电泳、超速离心技术及电子显微镜等的应用,使我们对蛋白质等生物大分子的结构与功能的研究进入新的阶段,对探索生命活动的基本规律,防治疾病以及发展工农业生产均有重大意义。

第一节 蛋白质的分类

蛋白质的种类繁多,功能复杂,化学结构大多还不很清楚,因此蛋白质的分类仅能按其分子形状、组成和溶解度等差异粗略分类。

根据分子形状可分球状蛋白和纤维状蛋白。

(1) 球状蛋白:分子似球状,如红细胞中的血红蛋白,血清中的各种球蛋白等。生物界大多数蛋白质属球状蛋白。一般为可溶性。

(2) 纤维状蛋白:分子呈纤维状,如指甲、毛发、甲壳中的角蛋白,腱和韧带中的弹性蛋白和蚕丝中的丝心蛋白等。一般难溶于水。

根据组成成分可分单纯蛋白和结合蛋白。

(1) 单纯蛋白:蛋白质组分中只含 α -氨基酸。天然蛋白质大多属于此类。

(2) 结合蛋白:由单纯蛋白与非蛋白质物质结合组成。如核蛋白由蛋白质与核酸结合而成;脂蛋白由蛋白质与脂类结合;糖蛋白由蛋白质与糖类结合。上述非蛋白部分如核酸、脂类和糖类等统称辅基。

根据溶解度可分可溶性蛋白、醇溶性蛋白和不溶性蛋白。

(1) 可溶性蛋白:指可溶于水、稀中性盐和稀酸溶液。如清蛋白、球蛋白、组蛋白和精蛋白等。

(2) 醇溶性蛋白:指不溶于水、稀盐,而溶于 70~80% 乙醇,如醇溶谷蛋白。

(3) 不溶性蛋白:指不溶于水、中性盐、稀酸、稀碱和一般有机溶剂等。如角蛋白、胶原蛋白等。

第二节 蛋白质的分子组成

一、蛋白质的元素组成

经元素分析，蛋白质除含氮 (N) 外，均含有碳 (C)、氢 (H)、氧 (O)。此外，多半含硫 (S)，有些还含磷 (P)、铁 (Fe)、锌 (Zn)、钴 (Co) 和碘 (I) 等。由于糖和脂肪一般不含 N，因此，N 是蛋白质的特征性元素。多数蛋白质含 N 量相当接近，约在 16% 左右。即任何生物样品，每含 1 克 N 约相当于 6.25 克蛋白质，故以蛋白质样品中含 N 量乘以 6.25 (100/16) 即得蛋白质大约含量。

二、组成蛋白质的基本单位— α -氨基酸

蛋白质的分子量约从 10,000 到几千万 (胰岛素例外)。蛋白质经酸、碱或蛋白酶完全水解可得到各种 α -氨基酸的混合物。组成胰岛素等蛋白质的氨基酸数目和分子量见表 1-1。

表 1-1

蛋白质	氨基酸数目	分子量
胰岛素	51	5,700
溶菌酶	119	14,400
肌红蛋白	153	17,600
胰蛋白酶	180	23,800

(一) 氨基酸的结构

氨基酸是蛋白质水解的最终产物，也是组成各种蛋白质的基本单位，主要有 20 种。除脯氨酸外，均属 α -氨基酸，即在羧基相邻的碳原子 (α -碳原子) 上连着一个氨基 ($-\text{NH}_2$)。不同侧链部分用 R 表示。除 $\text{R}=\text{H}$ 的甘氨酸外，它们的 α -碳原子都是手性碳原子，故有 D 型和 L 型两种构型。组成蛋白质的氨基酸大多属 L 型，某些细菌的细胞壁及抗生素中存在 D 型氨基酸。

L- α -氨基酸的通式如下



各种不同氨基酸的差异在于 R 基的不同，后者具有疏水性或亲水性，也可以是酸性、碱性或中性。20 种常见氨基酸的结构见表 1-2~1-5。

(二) 氨基酸分类

氨基酸有两种分类法，根据侧链 R 基的结构不同，氨基酸可分为脂肪族氨基酸、芳香族氨基酸和杂环氨基酸。脂肪族氨基酸又分含烷基侧链 (包括直链和支链)、含羟基侧链、含硫侧链、含羧基侧链、含氨基侧链和含酰胺侧链氨基酸等。

根据 R 基的极性又可将氨基酸分为四大类。

1. 含非极性R基团的氨基酸 (表 1-2)

表 1-2

名称及缩写	结构式	pI
丙氨酸 (α -氨基丙酸) (Ala; A)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	6.00
缬氨酸 (α -氨基- β -甲基丁酸) (Val; V)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3 \diagdown \text{CH} - \text{C} - \text{COO}^- \\ \text{CH}_3 \diagup \quad \\ \quad \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.96
亮氨酸 (α -氨基- γ -甲基戊酸) (Leu; L)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3 \diagdown \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \text{CH}_3 \diagup \quad \quad \\ \quad \quad \quad \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.98
异亮氨酸 (α -氨基- β -甲基戊酸) (Ile; I)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{C} - \text{COO}^- \\ \quad \quad \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{CH}_3 \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$	6.03
脯氨酸 (α -吡咯啉甲酸) (Pro; P)	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{C} - \text{C} \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{C} - \text{COO}^- \\ \quad \quad \quad / \quad \backslash \\ \quad \quad \quad \text{H}_2\text{C} \quad \text{N} / \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \quad \backslash \\ \quad \quad \quad \quad \quad \quad \text{H} \end{array}$	6.30
苯丙氨酸 (α -氨基- β -苯基丙酸) (Phe; F)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.48
色氨酸 (α -氨基- β -(3-吲哚基)丙酸) (Trp; W)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{Indole} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.89
甲硫氨酸(蛋氨酸) (α -氨基- γ -甲硫基丁酸) (Met; M)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{S} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$	5.74