



面向21世纪系列特色教材

基础生物化学

主编：常桂英 杨国会

吉林人民出版社

面向 21 世纪系列特色教材

基础生物化学

主 编 常桂英 杨国会

吉 林 人 民 出 版 社

基础生物化学

主 编：常桂英 杨国会

责任编辑：贾淑文 封面设计：靳敏平 赵义涛 责任校对：常桂英

吉林人民出版社出版 发行（长春市人民大街7548号 邮政编码：130022）

印 刷：吉林市海阔工贸有限公司

开 本：787mm×1092mm 1/16

印 张：14.25 字数：316千字

标准书号：ISBN 7-206-03991-X

版 次：2006年1月第1版 印 次：2006年1月第1次印刷

印 数：1-1 000册 定 价：26.00元

如发现印装质量问题，影响阅读，请与印刷厂联系调换。

基础生物化学编委会

主 编 常桂英 杨国会

主 审 梁忠岩

副主编 金艳梅 邢 力 孙立梅

编 者 (按姓氏笔划为序)

王 霞 王秋竹 邢 力 孙立梅

金艳梅 杨国会 常桂英

前 言

生物化学是生物科学中最活跃的分支学科之一,是现代生物学和生物工程技术的重要基础。工业、农业、医药、食品、能源、环境科学等越来越多的研究领域都以生物化学理论为依据,以其实验技术为手段。基础生物化学是高等农业院校生物科学及农业科学各专业普遍开设的重要专业基础课程。打好坚实的生物化学基础,使学生对该学科的基本理论与基本研究技术的原理有较全面和清晰的理解,是学生对相关专业知识的学习和研究工作的共同需要。因此根据全国高等农业院校农学类专业《基础生物化学教学大纲》的要求,我们组织在教学第一线从事多年基础生物化学理论与实验教学、具有丰富工作经验的教师编写《基础生物化学》一书,在编写过程中,我们尽量实现教材内容的科学性、准确性、系统性和实用性。该书可供高等农业院校农业生物科学各专业生物化学课程的教材或参考书,也可供其他院校有关专业或农业专科学校的师生参考。

全书主要介绍生物化学的基本理论和基本实验,包括生命有机体内核酸、蛋白质、酶、糖类、脂类等生物大分子的结构、性质和功能;生物大分子前体的合成、分解代谢途径以及生物能量(ATP)的生成方式;遗传信息的储存、传递与表达。同时对生物化学的新进展,特别是有关分子生物学和基因工程、蛋白质工程、人类基因组计划及蛋白质组等一些新的基本知识和主要研究技术的原理等方面的内容作以简要概述。有些章节的教学内容因为篇幅所限,没有编入教材,如光合作用、生物膜的结构与功能等。

本教材由常桂英、杨国会主编。参加编写的教师有:杨国会(第一、三、六章)、邢力(第二、四、五章)、金艳梅(第七章、实验)、常桂英(第八、九、十、十一、十二章)、孙立梅(实验)、王霞(基因工程简介)、书中图表由常桂英、刘强共同绘制。本教材承蒙资深教授梁忠岩先生审阅并提出宝贵意见,为提高本教材的编写质量提供坚实保障。

限于编者水平有限,书中难免有错误和不足之处,敬请读者批评指正。

编 者

2005年1月

目 录

绪 论	(1)
第一章 蛋白质化学	(4)
第一节 蛋白质化学组成	(4)
一、蛋白质的元素组成	(4)
二、蛋白质的氨基酸组成	(4)
第二节 肽	(10)
一、谷胱甘肽	(10)
二、脑肽	(11)
第三节 蛋白质的结构	(11)
一、蛋白质的一级结构	(11)
二、蛋白质的空间结构	(12)
第四节 蛋白质的理化性质	(16)
一、蛋白质的两性解离和等电点	(16)
二、蛋白质的胶体性质	(16)
三、蛋白质的沉淀反应	(17)
四、蛋白质的变性	(17)
五、蛋白质的紫外吸收	(18)
六、蛋白质的颜色反应	(18)
七、蛋白质的分类	(18)
第二章 核酸化学	(21)
第一节 核酸的组成成分	(21)
一、核酸的元素组成	(21)
二、核酸的分子组成	(21)
三、核苷酸的衍生物	(23)
四、核苷酸的连接方式	(25)
第二节 核酸的分子结构	(25)
一、DNA 的分子结构	(25)
二、RNA 的分子结构	(27)

第三节 核酸的理化性质及其应用	(29)
一、核酸的一般性质	(29)
二、核酸的紫外吸收性质	(29)
三、核酸的变性、复性和分子杂交	(30)
第三章 糖和脂	(32)
第一节 糖类	(32)
一、概述	(32)
二、单糖	(33)
三、寡糖	(38)
四、多糖	(40)
五、结合糖	(43)
第二节 脂类	(44)
一、概述	(44)
二、单纯脂类	(45)
三、结合脂类	(47)
四、衍生脂类	(49)
第四章 酶	(50)
第一节 概述	(50)
一、酶的概念及化学本质	(50)
二、酶催化作用的特点	(50)
三、酶的分子组成	(51)
第二节 酶结构与功能的关系	(51)
一、酶的活性中心与必需基团	(51)
二、酶原的激活	(52)
第三节 酶的作用机理	(53)
一、酶催化作用与分子活化能	(53)
二、中间产物学说	(53)
三、诱导契合学说	(54)
四、酶具有高催化效率的因素	(54)
第四节 影响酶促反应速度的因素	(55)
一、底物浓度对酶作用的影响	(55)
二、酶浓度对酶作用的影响	(56)

三、温度对酶作用的影响·····	(56)
四、pH 对酶作用的影响·····	(57)
五、激活剂对酶作用的影响·····	(58)
六、抑制剂对酶作用的影响·····	(58)
第五节 酶在体内存在的几种形式·····	(60)
一、单体酶、寡聚酶、多酶复合体·····	(60)
二、同工酶·····	(60)
三、别构酶与修饰酶·····	(61)
四、结构酶与诱导酶·····	(62)
五、抗体酶·····	(62)
第六节 酶工程简介·····	(62)
一、化学酶工程·····	(63)
二、生物酶工程·····	(63)
第七节 酶的分类和命名·····	(63)
一、酶的分类·····	(63)
二、酶的命名·····	(64)
第五章 维生素和辅酶·····	(65)
第一节 概述·····	(65)
一、维生素的概念·····	(65)
二、维生素的分类与命名·····	(65)
第二节 水溶性维生素·····	(65)
一、维生素 B ₁ 和羧化辅酶·····	(65)
二、维生素 B ₂ 和黄素辅酶·····	(66)
三、维生素 PP 和辅酶 I , 辅酶 II ·····	(67)
四、维生素 B ₆ ·····	(68)
五、泛酸和辅酶 A ·····	(69)
六、叶酸和四氢叶酸·····	(70)
七、维生素 B ₁₂ 和辅酶 B ₁₂ ·····	(70)
八、生物素·····	(71)
九、维生素 C ·····	(71)
第三节 脂溶性维生素·····	(73)
一、维生素 A ·····	(73)

二、维生素 D	(74)
三、维生素 E	(75)
四、维生素 K	(75)
第六章 生物氧化	(77)
第一节 生物氧化概述	(77)
一、生物氧化的概念	(77)
二、生物氧化的特点	(77)
三、生物氧化的方式	(77)
四、氧化还原电位及自由能	(78)
五、高能化合物	(81)
第二节 生物氧化体系——呼吸链	(83)
一、呼吸链	(84)
二、呼吸链的组成	(84)
三、呼吸链中传递体的排列顺序	(87)
四、呼吸链中电子传递抑制剂	(87)
第三节 氧化磷酸化作用	(88)
一、ATP 的生成	(88)
二、氧化磷酸化的作用机理	(89)
三、氧化磷酸化的解偶联剂与抑制剂	(91)
四、线粒体的穿梭系统	(92)
第七章 糖代谢	(94)
第一节 糖类的消化与吸收	(94)
第二节 糖的分解代谢	(95)
一、糖的无氧酵解	(95)
二、糖的有氧分解	(100)
三、乙醛酸循环——三羧酸循环支路	(106)
四、戊糖磷酸途径	(107)
第三节 糖的合成代谢	(111)
一、蔗糖的合成	(111)
二、淀粉的合成	(111)
三、糖原的合成	(112)
四、糖原的异生作用	(113)

第四节 糖代谢紊乱的表现·····	(115)
一、高血糖与糖尿·····	(115)
二、低血糖与低血糖昏迷·····	(116)
第八章 脂类物质的代谢·····	(117)
第一节 脂类概述·····	(117)
第二节 脂肪的分解代谢·····	(118)
一、脂肪的降解·····	(118)
二、甘油的转化·····	(118)
三、脂肪酸的氧化分解·····	(119)
第三节 脂肪的合成代谢·····	(124)
一、磷酸甘油的生物合成·····	(124)
二、脂肪酸的生物合成·····	(124)
三、脂肪的合成·····	(127)
第四节 磷脂、胆固醇的代谢·····	(128)
一、磷脂的降解与合成·····	(128)
二、胆固醇的生物合成及转化·····	(129)
第九章 蛋白质的酶促降解与氨基酸代谢·····	(131)
第一节 蛋白质的酶促降解·····	(131)
一、肽酶·····	(131)
二、蛋白酶·····	(131)
第二节 氨基酸的分解代谢·····	(132)
一、脱氨基作用·····	(132)
二、脱羧基作用·····	(134)
三、氨基酸分解产物的转化·····	(135)
第三节 氨基酸合成代谢概况·····	(138)
第十章 核酸的酶促降解与核苷酸代谢·····	(140)
第一节 核酸的酶促降解·····	(140)
第二节 核苷酸的降解·····	(140)
一、嘌呤的分解·····	(141)
二、嘧啶的分解·····	(142)
第三节 核苷酸的生物合成·····	(143)
一、嘌呤核苷酸的从头合成·····	(143)

二、嘌呤核苷酸的补救合成途径·····	(144)
三、嘧啶核苷酸的从头合成·····	(145)
四、嘧啶核苷酸的补救途径·····	(146)
五、脱氧核糖核苷酸的生物合成·····	(146)
六、单核苷酸转变为核苷二磷酸和核苷三磷酸·····	(146)
第十一章 核酸和蛋白质的生物合成·····	(147)
第一节 DNA 的生物合成 ·····	(147)
一、DNA 的半保留复制 ·····	(147)
二、DNA 聚合酶及其作用 ·····	(148)
三、原核生物 DNA 复制过程 ·····	(150)
四、逆转录·····	(151)
五、基因突变与 DNA 的损伤修复 ·····	(152)
第二节 RNA 的生物合成 ·····	(154)
一、RNA 指导下的 RNA 聚合酶·····	(154)
二、RNA 的合成过程·····	(154)
三、转录后加工·····	(155)
四、RNA 的复制 ·····	(156)
第三节 基因工程简介·····	(156)
一、重组 DNA 技术的基础 ·····	(157)
二、基因工程操作的基本技术路线·····	(160)
三、基因工程的应用·····	(164)
第四节 蛋白质的生物合成·····	(166)
一、mRNA 与遗传密码·····	(166)
二、tRNA 与运载工具 ·····	(168)
三、rRNA 与蛋白质合成场所 ·····	(169)
四、原核生物蛋白质的合成过程·····	(170)
五、真核生物蛋白质的合成过程·····	(174)
六、肽链合成后的加工·····	(174)
第十二章 物质代谢的相互关系及调控·····	(175)
第一节 物质代谢的相互关系·····	(175)
一、糖代谢与脂类代谢的相互关系·····	(175)
二、糖代谢与蛋白质代谢的相互关系·····	(175)

三、脂类代谢与蛋白质代谢的相互关系·····	(175)
四、核酸与其它物质的代谢关系·····	(176)
第二节 代谢调节·····	(177)
一、酶含量的调节·····	(177)
二、酶活性的调节·····	(179)
三、酶原激活·····	(181)
四、酶定位的区域化·····	(181)
实 验·····	(182)
实验一 酵母 RNA 的制备、鉴定及含量测定·····	(182)
实验二 氨基酸的纸层析法分离氨基酸·····	(184)
实验三 蛋白质的沉淀反应·····	(186)
实验四 氨基酸和蛋白质的颜色反应·····	(187)
实验五 总氮量的测定——微量凯氏定氮·····	(190)
实验六 双缩脲法测定蛋白质的含量·····	(193)
实验七 醋酸纤维素膜电泳法分离血清蛋白质·····	(194)
实验八 油脂的酸价测定·····	(196)
实验九 氨基移换反应的定性鉴定·····	(197)
实验十 维生素 C 的提取与含量测定·····	(199)
实验十一 影响酶活性的因素·····	(201)
实验十二 SDS - 聚丙烯酰胺凝胶电泳法测定蛋白质的分子量·····	(204)
实验十三 植物过氧化物同工酶的聚丙烯酰胺凝胶电泳·····	(207)
实验十四 3, 5 - 一二硝基水杨酸比色法测定还原糖和总糖·····	(210)
实验十五 蒽酮比色法测定糖·····	(212)
参考文献·····	(214)

绪 论

一、生物化学的涵义

生物化学是关于生命的化学,它是以生物体为研究对象,运用化学的原理和方法在分子水平上研究生物体的化学本质及生命活动过程中化学变化规律的科学。

依据研究对象可将生物化学分为动物生物化学、植物生物化学和微生物生物化学,分别以动物、植物、微生物为研究对象。如果研究对象包括动物、植物和微生物三大类生物,则称之为普通生物化学。

依据研究目的将生物化学分为医学生物化学、工业生物化学、农业生物化学、食品生物化学等。

总之,生物化学已渗透到国民经济的和社会发展的各行各业,是介于生物学与化学之间的边缘学科,是物理、化学等理论与技术应用于生命科学研究领域所产生的交叉学科。

二、生物化学的研究内容

1、研究生物体的物质组成及其结构、性质和功能

生物体的基本组成成分是糖、脂、蛋白质、核酸、维生素、水和无机盐。其中,糖、脂类、蛋白质和核酸被称为生物化学中的四大营养物质;酶、维生素和激素被称为生物化学中的三大活性物质。它们由不同的结构单元按照一定的方式构成体现多种功能的生物结构。

(1) 20 种氨基酸 氨基酸是组成所有蛋白质分子的单位,也参与许多其它结构物质和活性物质的组成。

(2) 5 种芳香族碱基 2 种嘌呤和 3 种嘧啶分别参与核苷酸的组成。核苷酸是 DNA 和 RNA 分子的前体,也是核苷酸类的辅酶和高能磷酸化合物 ATP 等三磷酸核苷的前体。

(3) 2 种单糖 D-葡萄糖和 D-核糖,D-葡萄糖即是植物光合作用的主要产物,也是多糖化合物的主要单体分子;D-核糖是核苷酸的组成成分。

(4) 脂肪酸、甘油和胆碱 它们是脂肪和类脂质的组成成分。类脂质中,磷脂分子是组建生物膜双层脂质的基本物质。

2、研究生物体的物质代谢、能量代谢和代谢调控

新陈代谢是生命的基本特征。代谢是生物体与外界不断地进行物质和能量交换的过程。它包括生物体内全部的合成、分解和转化过程,这些过程几乎全是由酶催化,并按一定规律有条不紊地进行。

3、研究遗传信息的传递与表达

DNA 是遗传信息的载体,通过 DNA 分子半保留复制,将遗传信息传递给子代细胞,再通过蛋白质生物合成,将生物的遗传性状表达出来。

4、运用生物化学原理和方法,为农业、工业、食品、医药卫生、环境保护等实践服务

生物化学源于实践。根据生物化学的原理,利用生物化学技术开拓富有经济价值的生物

资源,研制生化制品。例如:酶制剂、药品、食品添加剂、农用杀虫剂和各种生物化学试剂。

由此可见,生物化学的任务就是通过对生物组成分子进行深入细致的分析,以说明这些生命物质的结构及其生物功能之间的关系;同时研究生物体内这些物质在酶催化下的分解、合成、能量转化过程;在此基础上阐明各种生命现象,如生长、发育、运动、遗传、变异的分子活动规律,并应用这些为农业、工业、食品、医药、环保等实践服务。

三、生物化学与其它学科的关系

生物化学是介于生物学和化学之间的一门边缘学科,它与生物科学的许多分支学科均有密切关系。例如,植物生理学研究植物生命活动,其中光合作用与呼吸作用与生物化学密切相关;微生物的生理活动、病毒的本质、免疫的化学程序,抗体的生成机制都运用生物化学的原理和手段;遗传学更与核酸的结构、性质、功能息息相关。此外,食品科学、医药卫生及生态环境都需要生物化学作为基础。

四、生物化学的发展

生物化学的发展大致可分为三个阶段。一般把从古代劳动人民发明创造到法国著名化学家拉瓦锡阐明的呼吸过程的本质及其与氧化作用的关系,德国化学家李比希提出的酶是化学物质等生物化学的萌芽时期称为静态生物化学阶段。这一时期主要是分析和研究生物体的组成成分、性质和含量等。

从20世纪20年代到50年代,美国化学家萨姆纳, J.B.Sumner 首次分离出来脲酶,并证实为蛋白质后,推动了新陈代谢的研究。科学家们相继弄清了生物化学中物质代谢、能量代谢及维生素的作用,称此阶段为动态生物化学阶段。这一时期主要是研究生物体内主要物质的代谢转变过程以及酶、维生素、激素等在代谢中的作用。

20世纪50年代后,由于电泳、层析、同位素、高速离心、电镜等新技术的应用,使生物化学得到了空前发展。这一时期,主要研究生物大分子的结构、性质和功能,以及它们与生理功能之间的关系,这一时期被称为机能生物化学阶段。

上述生物化学发展的三个阶段是人为划分的,是生物化学发展的自然规律,并不是截然分开的。

从1953年沃森和克里克提出了DNA的双螺旋模型开始,到20世纪末整个生命科学领域的最大课题——人类基因组的解密,生物化学出现了惊人的进展,引起了学术界的普遍关注,特别是在破解“基因组”工作中,我国科学工作者仅用一年的时间完成了1%的工作,这说明我国已跻身于国际生物科学领域的前沿。为揭开生命的奥秘,“后基因组”即基因表达的全部蛋白质的整体研究及近年来发现的有着重要信息功能的糖链的研究等也已经兴起。生物科学的发展,也必将促进食品、医药卫生和农业的等高技术的迅猛发展。

五、生物化学的应用与发展前景

生物化学是对食品、农业、工业、医药卫生等领域进入深入研究的重要支柱学科之一。就农业而言,它既是重要的基础理论,又能在育种、栽培、病虫害防治、农产品加工和环境保护方面发挥重要的作用。可以运用生物化学的知识阐明各种作物在不同栽培条件下的新陈代谢变化,了解产物的积累途径和控制方式,以达到优质、高产、低耗的目的。生物化学理论可

以指导人们更深入地了解作物的品种特性,有目的地控制有利性状的传递。利用近代植物基因的克隆和表达研究的理论和实践,为人类有目的地改造物种开辟了广阔的前景。

生物化学的研究,也可以作为病虫害防治和植物保护的理论基础。生物化学在阐明杀菌剂、杀虫剂、除草剂的毒性机理发挥作用,为提高药效、寻求新的低毒高效农药提供理论依据。

生物化学也是医药科学、营养学及化学工业的基础。例如酿造、皮革、制糖、食品工业、制药等,都要应用生物化学的知识。

20 世纪 80 年代以来,新兴起的生物技术,作为新技术革命的优先发展领域,利用生物化学原理与技术可以生产新型的药、疫苗和诊断盒,对于疾病的治疗和维护人类的健康有十分重要的意义,发挥巨大的经济和社会效益。

最近,生物化学与电子学结合,又产生新的边缘科学——分子生物电子学,研究生物芯片和生物传感器,预计不久的将来,生物化学在电子计算机的制造、生物模拟、医疗及理化测试等方面将有更大的突破。

第一章 蛋白质化学

蛋白质是由氨基酸组成的生物大分子。它是构成生物体的最基本物质之一。从简单的病毒到高等动物乃至人类,都含有蛋白质。它在生物体生长、发育、繁殖、遗传等生命活动中起着极其重要的作用,几乎所有的生命现象和生理功能都是通过蛋白质来实现的,因此说蛋白质是生命活动所依赖的物质基础,没有蛋白质就没有生命。

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重视。近年来在重组DNA技术基础上发展起来的蛋白质工程为深入地研究蛋白质的结构、功能及应用提供了更大的可能性。随着蛋白质工程的发展,我们可以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,也一定会创造出许多对人类有用的新蛋白质,实现前人的梦想。

第一节 蛋白质化学组成

一、蛋白质的元素组成

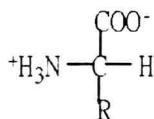
经元素分析,蛋白质一般含碳 50%-55%,氢 6%-8%,氧 20%-23%,氮 15%-18%,硫 0%-4%。有些蛋白质还含有微量的磷、铁、锌、铜、碘等元素。其中氮的含量在各种蛋白质中都比较接近,平均为 16%。因此,一般可由测定生物样品中的氮含量,粗略地计算出其中蛋白质的含量(每 1g 氮相当于 6.25g 的蛋白质)。

二、蛋白质的氨基酸组成

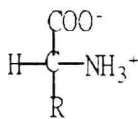
(一)氨基酸的结构

蛋白质在酸、碱或酶的作用下彻底水解生成的最终产物是氨基酸。因此,氨基酸是组成蛋白质基本单位。

氨基酸是指含有氨基的羧酸。自然界中蛋白质的种类虽然很多,但他们均是由 20 种氨基酸组成。除脯氨酸外,均为 α -氨基酸,可用一个通式表示。在 α -碳原子上都连接一个氨基,一个羧基, R 代表侧链,不同的氨基酸在结构上的差异主要是侧链的不同。除甘氨酸外,其余氨基酸的 α -碳原子接连的 4 个基团均不相同,为不对称碳原子,因而有 L-型和 D-型 2 种立体异构体。构成蛋白质的氨基酸都是 L-型氨基酸。



L-氨基酸



D-氨基酸

(二)氨基酸的分类

1、根据组成蛋白质的 20 种氨基酸的侧链基团的化学结构,可将其分为 3 大类:

(1) 脂肪族氨基酸: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、谷氨酸、谷氨酰胺、天冬氨酸、天冬酰胺、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、脯氨酸。

第一章 蛋白质化学

表 1-1 组成蛋白质的 20 种氨基酸

极性 状况	带电荷 状况	氨基酸名称	缩写符号 (三字)	等电点	化 学 结 构 式
极 性 氨 基 酸	不 带 电 荷	丝氨酸	Ser	5.68	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		苏氨酸	Thr	6.18	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
		天冬酰胺	Asn	5.41	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		谷氨酰胺	Gln	5.65	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		酪氨酸	Tyr	5.66	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		半胱氨酸	Cys	5.07	$\begin{array}{c} \text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	带 负 电 荷	天冬氨酸	Asp	2.77	$\begin{array}{c} ^- \text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		谷氨酸	Glu	3.22	$\begin{array}{c} ^- \text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
	带 正 电 荷	组氨酸	His	7.59	$\begin{array}{c} \text{HN} \quad \text{NH} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		赖氨酸	Lys	9.74	$\begin{array}{c} \text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		精氨酸	Arg	10.76	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N}-\text{C}-\text{NH}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}-\text{COO}^- \\ \qquad \qquad \\ \text{NH}_2 \qquad \qquad \text{NH}_3^+ \end{array}$
非 极 性 氨 基 酸		甘氨酸	Gly	5.97	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		丙氨酸	Ala	6.00	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		缬氨酸	Val	5.96	$\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$