

动物生物化学

——全国高等农林专科统编教材

张喜南 主编
畜牧 兽医专业用
高等教育出版社



全国高等农林专科统编教材

动物生物化学

畜牧 兽医专业用

张喜南 主编

高等教育出版社

(京)112号

主 编 张喜南 (河北农业大学)
副主编 张学舜 (西昌农业专科学校)
编 者 肖开进 (云南农业大学)
汪立甫 (豫西农业专科学校)
审稿人 齐顺章 (主审, 北京农业大学)
端木道 (四川农学院)
王百长 (吉林农垦特产专科学校)

全国高等农林专科统编教材

动物生物化学

畜牧 兽医专业用

张喜南 主编

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

北京印刷一厂印装

开本 787×1092 1/16 印张 17.25 字数 400 000

1992年7月第1版 1992年7月第1次印刷

印数 0001—2 820

ISBN 7-04 003710-6/Q·189

定价 4.55 元

出版说明

高等农林专科教育是高等农林教育体系中一个相对独立、不可缺少的层次。

我国高等农林专科教育,自进入80年代以来,有了长足发展,在校人数迅速增加,为适应发展的需要,改变教学多年来一直借用本科教材的局面,建设具有农林专科教育特色的教材体系,经国家教委批准,于1986年7月成立全国高等农林专科基础课程教材委员会,并在全国高等农林专科教育研究协作组制定的农林专科生培养基本要求和部分专业教学计划以及课程教学基本要素的基础上,首批组织统编了49门教材。

这批教材力求体现农林专科生培养基本要求,突出应用性,加强实践性,强调针对性,注意灵活性;遵循教学规律,具有科学性、系统性,由浅入深,循序渐进,理论联系实际;既具有广泛的适应性,又具有先进性和时代特征。

这批教材在适用农林专科教育的修业年限上,兼顾了二、三年制的需要,同时可供电大、函授等专科教育和中等专业学校教师,以及有关科技人员参考。

这批教材的编审出版是在国家教委高教司直接领导下进行的,并得到农业出版社、高等教育出版社、中国林业出版社、四川科学技术出版社、广西科学技术出版社、东北林业大学出版社的通力合作与大力支持,在此深致谢意。

本教材的编审出版,不仅是为了解决部分课程教学所用教材的有无问题,而更重要的是在新的历史条件下,为建设具有高等农林专科教育特色的教材体系探索路子,试图提供一些有益的尝试,故缺点错误在所难免,恳望各校在使用过程中提出宝贵意见,以便再版时作进一步修改。

全国高等农林专科基础课程
教材委员会

1990年

一、底物浓度对酶促反应速度的影响	49
二、酶浓度对酶促反应速度的影响	50
三、温度对酶促反应速度的影响	50
四、pH对酶促反应速度的影响	51
五、激活剂的影响	51
六、抑制剂的影响	51
第六节 酶的命名与分类	53
一、酶的命名	53
二、酶的分类	53
第七节 酶活力的测定和酶的应用	54
一、酶活力的测定	54
二、酶的应用	55
思考题	55

第四章 维生素与激素

第一节 维生素	56
一、脂溶性维生素	56
(一) 维生素A	56
(二) 维生素D	57
(三) 维生素E	58
(四) 维生素K	59
二、水溶性维生素	59
(一) 维生素B ₁ (硫胺素)	59
(二) 维生素B ₂ (核黄素)	60
(三) 泛酸	61
(四) 维生素PP	62
(五) 维生素B ₆	63
(六) 生物素	63
(七) 叶酸	64
(八) 维生素B ₁₂ (钴胺素)	64
(九) 维生素C(抗坏血酸)	65
第二节 激素	66
一、激素的概念	66
二、激素的分类	66
三、激素的合成、贮存、释放、转运与灭活	66
四、激素的作用机理	66
(一) 通过细胞膜受体的作用机理	68
(二) 通过细胞内受体的作用机理	69
思考题	70

第五章 生物氧化

第一节 新陈代谢的概念	71
--------------------	-----------

一、新陈代谢的一般概念	71
二、分解代谢与合成代谢	71
三、新陈代谢的特点	72
第二节 生物氧化的概述	72
一、生物氧化的概念	72
二、生物氧化的特点	72
第三节 生物氧化中CO₂的生成	73
一、单纯脱羧反应	73
二、氧化脱羧反应	73
第四节 水的生成及能量的释放	74
一、呼吸链	74
(一) 呼吸链的组成及其作用机理	74
(二) 机体内两种主要呼吸链	76
二、能量的释放与ATP的生成	77
(一) 呼吸链中ATP产生的部位	77
(二) 胞液内NADH+H ⁺ 的氧化	77
三、高能键及高能化合物	77
第五节 氧化磷酸化作用的机理	73
一、概述	78
二、氧化磷酸化作用的机制	79
三、氧化磷酸化的阻抑作用	80
四、氧化磷酸化的解偶联作用	80
第六节 能量的转移、贮存和利用	81
第七节 线粒体外的氧化体系	81
思考题	82

第六章 糖代谢

第一节 概述	83
一、概述	83
二、糖的生理功能	83
第二节 血糖	84
一、血糖的浓度及其恒定的意义	84
二、血糖的来源与去路	84
三、血糖浓度的调节	85
第三节 糖的无氧分解(糖酵解)	86
一、糖酵解的反应过程	86
二、糖酵解的生理意义	90
第四节 糖的有氧氧化	91
一、糖有氧氧化的反应过程	91
二、糖有氧氧化及三羧酸循环的生理意义	95

第五节 磷酸戊糖途径	95
一、磷酸戊糖途径的化学反应	96
二、磷酸戊糖途径的生理意义	97
第六节 糖原的合成与分解	97
一、糖原的合成	93
二、糖原的分解	99
第七节 糖的异生作用	101
一、糖异生的途径	101
二、糖异生作用的生理意义	102
思考题	102

第七章 脂类代谢

第一节 概述	103
一、脂类的概念及分类	103
二、脂类的生理功能	103
第二节 脂肪的代谢	103
一、脂肪的水解	103
二、甘油的代谢	104
三、脂肪酸的分解代谢	104
(一) 脂肪酸的 β -氧化	104
(二) 酮体的生成和利用	107
四、脂肪酸的合成	108
(一) 软脂酸的合成	108
(二) 软脂酸碳链的延长	111
五、脂肪的合成	111
(一) α -磷酸甘油途径	111
(二) 甘油一酯途径	112
第三节 磷脂的代谢	113
一、概述	113
二、磷脂的分解代谢	113
三、磷脂的合成代谢	113
第四节 胆固醇的代谢	114
一、概述	114
二、胆固醇的合成	114
三、胆固醇的转化与排泄	114
第五节 脂类在体内的运转、贮存与动员	116
一、概述	116
二、血脂	116
三、脂类的运输和血浆脂蛋白	116
四、脂肪的贮存与动员	117
思考题	118

第八章 氨基酸代谢

第一节 概述	119
一、氨基酸的生理功能	119
二、氨基酸代谢的主要途径	119
三、高等动物的必需氨基酸	120
第二节 氨基酸的一般代谢	120
一、脱氨基作用及其产物的代谢	120
(一) 氧化脱氨基作用	120
(二) 转氨基作用	121
(三) 联合脱氨基作用	121
(四) 脱氨基作用后产物的代谢	122
二、脱羧基作用及其产物的代谢	125
(一) 脱羧基作用	125
(二) 脱羧基产物的代谢	126
三、非必需氨基酸的合成	126
(一) α -酮酸的氨基化	126
(二) 转氨基作用	126
(三) 氨基酸之间的相互转变	126
第三节 某些个别氨基酸的代谢	127
一、一碳基团代谢及其生物学意义	127
二、色氨酸的分解代谢	129
三、苯丙氨酸和酪氨酸的分解代谢	130
第四节 糖、脂肪及氨基酸代谢的联系	130
一、糖代谢和脂肪代谢的相互联系	131
二、糖代谢与氨基酸代谢之间的联系	132
三、氨基酸代谢与脂肪代谢的联系	133
思考题	133

第九章 核酸代谢

第一节 核苷酸的代谢	135
一、核酸的降解	135
二、核苷酸的分解代谢	135
(一) 嘌呤的分解	135
(二) 嘧啶的分解	136
三、核苷酸的合成代谢	136
(一) 嘌呤核苷酸的生物合成	137
(二) 嘧啶核苷酸的生物合成	139
四、脱氧核苷酸的合成	141
五、胸苷酸的合成	141
第二节 DNA 的复制	142

一、分子遗传学的中心法则	142
二、DNA 的复制原则	143
三、DNA 的复制过程	143
(一) 复制的起点和方向	143
(二) DNA 双链的打开	143
(三) RNA 引物的合成	144
(四) 引导链与滞后链的合成	144
(五) 复制忠实性的保证	145
四、DNA 复制系统	145
五、RNA 指导下 DNA 的合成(反转录)	147
第三节 转录	148
一、转录的基本概念	148
二、RNA 聚合酶(RNPase)	148
三、转录过程	149
四、RNA 转录后的加工过程	151
五、RNA 的复制	151
思考题	152

第十章 蛋白质的生物合成

第一节 遗传密码	153
一、遗传密码的破译	153
二、密码子的主要性质	153
(一) 无标点符号	153
(二) 简并性	154
(三) 通用性与例外	154
(四) 摇摆假说	154
(五) 起始密码与终止密码	154
第二节 核糖体	155
一、核糖体的组成	156
二、核糖体的立体结构	156
三、核糖体的活性部位	157
四、多(聚)核糖体	157
第三节 蛋白质生物合成的过程	157
一、氨基酸的活化	157
二、核糖体循环	159
(一) 起始阶段	159
(二) 延长阶段	159
(三) 终止阶段	163
三、肽链合成后的加工与修饰	163
思考题	164

第十一章 代谢调节

第一节 概述	165
第二节 细胞水平的代谢调节	165
一、酶在细胞内的隔离分布	165
二、限速酶和反馈调节的概念	166
(一) 限速酶	166
(二) 反馈调节	167
三、已有酶活力的调节	167
(一) 变构调节	167
(二) 酶促化学修饰调节	169
四、酶含量的调节	170
(一) 酶蛋白的诱导与阻遏	170
(二) 酶分子降解的调节	172
第二节 激素水平的调节	172
第三节 神经水平的调节	172
思考题	173

第十二章 水、无机盐代谢与酸碱平衡

第一节 体液	174
一、体液的含量与分布	174
二、体液的电解质含量及其分布特点	175
三、体液间的交换	177
第二节 水的代谢	177
一、水的生理功能	177
二、水的摄入与排出	177
第三节 无机盐的代谢	178
一、无机盐的分布及生理功能	178
二、钠、钾的代谢	179
第四节 体液平衡的调节	180
一、抗利尿激素(ADH)	180
二、醛固酮	180
第五节 钙与无机磷及铁的代谢	181
一、钙、磷的分布与生理功能	181
二、钙、磷的吸收与排泄	181
三、血钙与血磷	182
四、钙、磷在骨中的沉积与动员	182
五、血浆中钙、磷浓度恒定的调节机制	184
六、铁的代谢	185
第六节 酸碱平衡	186

一、体内酸性或碱性物质的来源	186	第三节 肉的生化	216
二、体液酸碱平衡的调节	187	一、肉的概念及化学组成	216
思考题	191	二、肉在屠宰后和保藏过程中的变化	216
		思考题	224
第十三章 血液与肝脏生化		实验	
第一节 血液生化	192	实验一 生化实验样品的制备	225
一、血液的主要化学成分	192	实验二 薄层色谱(薄层层析)	229
二、血浆蛋白质	192	实验三 血红蛋白的两性解离	231
三、红细胞的代谢	193	实验四 动物组织中核酸的提取与鉴定	232
第二节 肝脏生化	199	实验五 温度、pH、激活剂和抑制剂对酶活性的影响	235
一、生物转化作用的概念	199	实验六 维生素 C 的定量测定	237
二、生物转化的反应	200	实验七 血液葡萄糖的测定(福林-吴宪法)	238
思考题	202	实验八 血清葡萄糖的测定(邻甲苯胺法)	241
		实验九 血清总脂的测定	243
第十四章 畜产品生化		实验十 血液非蛋白氮的测定	245
第一节 乳的生化	203	实验十一 血清总蛋白、白蛋白、球蛋白的测定(微量凯氏定氮法)	246
一、乳的化学成分	203	实验十二 氨基移换反应(转氨酶活性的测定)	248
二、乳的生物合成	206	实验十三 血清无机磷的测定	251
第二节 蛋的生化	210	实验十四 肌肉中肌糖原含量的测定	253
一、蛋黄的成分及其合成	210	实验十五 转氨基作用	255
二、蛋清的化学成分及其形成	212	实验十六 血清蛋白醋酸纤维薄膜电泳	256
三、蛋壳膜的生成	214	附录 试剂的配制	259
四、蛋壳的形成与骨钙的关系	214		

绪 论

一、生物化学的概念与内容

生物化学是生命的化学。动物生物化学则是生物化学的一个分支。它是以动物为对象,应用物理、化学和生物学的理论与方法,研究生命活动过程中化学变化与生理功能关系的科学。

生物化学研究的内容大致可以分为下列几个方面:

1. 研究生物体的物质组成、化学结构与功能的关系。例如,动物体的主要成分有糖类、脂类、蛋白质、核酸、水和无机盐等,这些成分按一定的方式构成了生物体的多种结构。蛋白质、核酸和多糖是生物体内的生物大分子物质,它们是体现生命现象的主要物质基础。如动物的生长、发育、繁殖、遗传、神经活动和肌肉收缩等生命现象,均依赖于这些生物大分子特有的结构与功能。

2. 新陈代谢是生命现象的基本特征,生物体不断地与外界环境进行物质交换,摄取为其生存所必需的营养物质,同时又不断地向周围环境排出废物和热量。在整个物质转变的过程中,伴有能量的产生、贮存、转移和利用。因此,研究有机体的物质代谢和能量代谢是生物化学的重要任务之一。

3. 研究生物体内各种物质的结构、代谢和生物学功能与生命现象之间的关系。

研究生物化学的目的不只是限于了解和认识生命现象,而是利用这些知识去改造自然,使其更好地为社会主义建设服务。

二、生物化学发展简史

生物化学与其他学科一样,也是随着生产实践和科学实验的发展而发展起来的。我国是世界文明古国之一,对人类文化科学的发展作出过巨大贡献。我国古代劳动人民对生物化学的认识和应用,早于其他国家。例如,公元前 22 世纪已知酿酒(据《战国策》记载,公元前 23 世纪夏禹时仪狄造酒)。公元前 12 世纪,我国《周礼》即有造酱的记载;《诗经》有饴的记载,而《周礼》记载饴为五味之一;公元前 597 年,《左传》载有麦曲(酵母)治疗腹疾的对话。

公元 4 世纪葛洪著《肘后百一方》载有海藻酒防治瘰疬病(即甲状腺肿大)。公元 7 世纪孙思邈(581—682)对脚气病已有记载,并提出用车前子、防风、杏仁、大豆、槟榔等治疗。经近代化学分析已知其富含维生素 B_1 。这比荷兰医生埃克曼(Eijkman)发现维生素 B_1 (1897年)早一千多年。同时孙思邈还首先用猪肝治疗雀目(夜盲症)。由此可见,我国古代人民早已具有一定的生化实践知识,而且对生物化学的发展作出了重大的贡献。

近代生物化学的发展始于欧洲。18世纪中叶居住在瑞典的德国药剂师谢利(K. Scheel, 1742—1786)分析生物体各种组织化学成分的工作为近代生物化学奠定了基础。随后法国著名化

学家拉瓦锡 (Attoine-Laurent Lavoisier, 1724—1794) 阐明了呼吸过程的本质及其与氧化作用的关系, 这可以看作是生物氧化和能量代谢研究的开端。1828年魏乐 (F. Wöhler) 用化学方法将氰酸铵转变成尿素, 从而打破了有机物只能在生物体内合成的错误观念。不但为有机化学扫清了障碍, 也为生物化学的发展开辟了道路。此时李比希 (Justus Von Liebig, 1803—1873) 在生物物质的定量分析方面作出了重要贡献。李比希认为, 酶是化学物质, 而巴斯德 (Loais Pasteur, 1822—1895) 则认为酶的作用必须有活细胞的存在。1897年布克奈 (H. Buchner, E. Buchner) 两兄弟用磨碎的酵母细胞提取液, 在无细胞体系中成功的使糖发酵产生酒精和 CO_2 , 打破了“活体酶”的错误观点, 建立了发酵作用和发酵酶的正确概念。这一发现被认为是动态生物化学的开端。1903年纽伯格 (Neuberg) 提出“生物化学”一词, 从此生物化学才成为一门独立的科学。

以上列举了我国古代和欧洲早期的发明创造, 均可看作是生物化学的萌芽时期, 这一时期主要是分析和研究生物体的成分和生物体的分泌物与排泄物。因此, 一般认为这一时期是叙述(或静态)生物化学阶段。

从 20 世纪 20 年代开始, 生物化学进入了一个迅猛发展的时期, 在许多方面取得了显著的成绩。1926年, 萨姆纳 (J. B. Sumner) 从刀豆中分离出脲酶, 并制得结晶, 证明了酶的化学本质是蛋白质, 并推动了新陈代谢的研究。由于同位素示踪法的应用, 促进了生物体内化学变化的研究。如糖酵解、三羧酸循环、磷酸戊糖旁路、脂肪代谢和氧化磷酸化等重要代谢途径相继被阐明。著名生物化学家如瓦布格 (Warburg)、凯林 (Keilin)、迈尔豪夫 (Meyerhof)、克雷布斯 (Krebs)、利普曼 (Lipmann) 等作出了重大贡献。这个时期解决了生物体内主要物质代谢转变的过程, 因此称为动态生物化学阶段。

进入 50 年代后, 生物化学得到了空前的发展, 桑格 (Sanger)、鲍林 (Pauling)、柯瑞 (Corey)、肯特鲁 (Kendrew) 和佩鲁兹 (Perutz) 等在蛋白质一、二、三、四级结构的研究中取得了重大突破。

1953年沃森 (Watson) 和克里克 (Crick) 提出 DNA 的双螺旋模型。进入 60 和 70 年代相继阐明了遗传密码, 并测定了 RNA 和 DNA 的一、二、三级结构。从而确定了它们在遗传和蛋白质生物合成中的作用。在这个时期研究了生物大分子的结构与功能以及它们与生理功能之间的关系, 这无疑是当前生物化学的主要任务。因此, 可以认为生物化学已进入了机能生物化学阶段。

这三个阶段是生物化学发展的自然规律, 但又不能截然分开。只是在某一阶段的发展中某一方面更为突出而已。

自 50 年代中期桑格、鲍林、肯特鲁和佩鲁兹等对蛋白质结构的研究工作, 和沃森与克里克 1953年建立 DNA 分子的双螺旋模型以来, 使生物化学发展到了一个新阶段, 诞生了一门新学科——分子生物学。所谓分子生物学是在分子水平上研究生命现象的科学。分子生物学的内容主要包括四个方面: (1) 蛋白质(包括酶)的结构与功能; (2) 核酸的结构与功能; (3) 生物膜的结构与功能; (4) 遗传工程。分子生物学的发展使我们对生命现象的认识更加深入, 而且可以利用分子生物学的理论和方法去改造生命和创造新生命。

我国近代生物化学的发展起步较晚。从本世纪 20 年代开始, 我国老一辈生物化学家做了许多工作。例如, 我国生物化学家吴宪提出的蛋白质变性学说和他建立的无蛋白血滤液的制备及

血糖的测定方法等,至今仍然有效;在免疫学上,首先采用定量分析法研究抗原-抗体反应的机理等方面也做出了重大贡献。1949年中华人民共和国成立后,我国在生物化学方面有了长足的进展,在一些重要领域中取得了世界水平的成就。例如,1965年我国首次人工合成了有生物活性的蛋白质——牛胰岛素;1972年用X射线衍射法研究猪胰岛素的结构,取得比国外更精确的结果,分辨率达0.18 nm;1981年又成功地人工合成了具有生物活性的酵母丙氨酸转运核糖核酸,为人工合成生物大分子的研究工作开辟了广阔的途径。80年代后,我国在遗传工程研究中也取得了可喜的成果,如完成了干扰素、人生长激素、猪生长激素以及乙型肝炎疫苗等的高效表达。可以预料,今后我国生物化学的研究工作,将会取得更大的发展。

三、生物化学与各学科的关系

动物生物化学是农业院校动物性专业的重要专业基础课之一,它在动物性专业各学科中占有重要地位。生物化学起源于有机化学与生理学,故三者之间有极其密切的关系。例如,生物化学中有关代谢的部分是用化学语言描述的,必须掌握有机化学的知识才能学好生物化学;而生理机制的探讨已发展到分子水平,要学好生理学必须要掌握生物化学的知识。近年来微生物学、药理学和病理学的研究已深入到分子水平,它们正在应用生物化学的理论和方法,探讨和解决问题。例如,近代药理学研究药物对酶活性和代谢过程的影响,并已发展成为分子药理学。生物化学与兽医临床学科亦有密切的关系,在分子水平上研究疾病的病因、诊断和治疗都需要生物化学的理论和技術,尤其是临床化验更离不开生化技术。在畜牧方面,家畜的饲养管理,优良品种的培育,遗传性状的探讨,畜产品的加工和品质的检验等均需要应用生物化学的理论和方法。而分子遗传学与基因工程的建立,又为遗传、育种在分子水平上提供了理论基础,而且可以通过基因工程技术改造家畜的性状和创造生产性能更加优良的新品种。

第一章 蛋白质的结构与功能

第一节 蛋白质的生物学意义

一、蛋白质的重要性

蛋白质是生物体的主要组成成分,一切生命活动都是通过蛋白质来体现的。1839年荷兰化学家米尔代尔(Mulder)首先提出蛋白质(protein)一词,它来源于希腊字 protos,含意是“第一”和“最重要的”。同时提出了一个基本化学式 $C_{40}H_{62}O_{12}N_{10}$ 。数年后,德国有机化学家李比希(Liebig)证明,对于生命来说,蛋白质比碳水化合物和脂肪更重要。它不仅含有 C、H、O,而且还含有 N、S、P。

早在 1878 年,恩格斯在《反杜林论》中指出:“生命是蛋白体的存在方式,这种存在方式本质上就在于这些蛋白体的化学组成部分的不断的自我更新”。近百年来,随着科学的发展,人们对蛋白质的重要性认识得越来越深刻。蛋白质不仅是构成生物体的重要成分,而且也是生物体内催化反应、代谢调节、机体运动、物质运输、免疫防卫、遗传变异和记忆思维等许多生命现象的物质基础。

由于蛋白质在一切生命活动过程中起着极其重要的作用。因此,了解蛋白质的结构与功能的关系是当前生物化学研究中的重要课题之一。它不仅对阐明生命起源、生物进化、遗传变异、代谢调节等基础理论有重要意义,而且在工农业生产和医学方面也具有实际意义。

二、蛋白质的分类

天然蛋白质的种类繁多,估计在百万种以上。为了研究方便,必须进行分类。随着研究工作的进展,出现过许多分类方法。近年来,蛋白质研究工作已发展到结构与功能以及生物大分子相互作用的水平。下面介绍以蛋白质的生物学功能进行分类的方法,使大家可以扼要地了解各类蛋白质的名称及其生物学功能。

1. 酶:是具有催化功能的蛋白质,种类繁多。生物体内几乎所有的化学反应都是由酶催化的。
2. 激素蛋白:激素是调节机体各种代谢过程的物质,许多激素是蛋白质,其中也包括一些肽类。
3. 运输和贮存蛋白:在生物体内许多小分子化合物和离子是靠蛋白质运输的,如血红蛋白运输氧等。此外,许多物质在体内与蛋白质结合而贮存,如铁以铁蛋白的形式贮存。
4. 收缩蛋白:是负责生物体运动的蛋白质。如肌肉的收缩是靠肌球蛋白与肌动蛋白的相

互作用；又如精子的前进，染色体在有丝分裂时的移动等都是这类蛋白质的作用。

5. 防御蛋白：在此类蛋白质中有一类是负责使侵入体内的异物失去毒害作用的，如各种免疫球蛋白。防御病毒侵入后致病的干扰素也属此类。血纤维蛋白和它的前体是另一类起防御功能的蛋白质，它们的功能是防止体液大量损失和异物的侵入。

6. 受体蛋白：接受和传递信息的蛋白质。如一系列专一地接受各种激素的受体蛋白。

7. 控制生长与分化的蛋白质：参与生长和分化调节的各种蛋白质。如组蛋白、阻遏蛋白等；各种生长因子也属此类。

8. 毒蛋白：侵入动物体内引起各种中毒症状，甚至死亡的异物蛋白质。如细菌毒素、蛇毒及虫、蝎毒等毒蛋白归属此类。植物毒蛋白种类很多也属此类。

9. 胶原：是哺乳动物皮肤的主要成分，也是软骨和结缔组织的主要成分。

10. 角蛋白：是一类化学性质十分稳定含二硫键特别多的蛋白质。在一般条件下都不溶解。功能是保护或加强机械强度。包括毛发、羽毛、蹄、角等。

11. 弹性蛋白：存在于韧带、血管壁等处，性质与胶原类似。在机体中主要起支持与润滑作用。

12. 丝心蛋白：一般不溶解，含丝氨酸特别多。蚕丝去丝胶后的纤维就是丝心蛋白。

第二节 蛋白质的分子组成

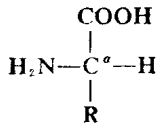
一、蛋白质的元素组成

蛋白质主要由 C、H、O、N 四种元素组成，其百分比为 C 50—55%、H 6—8%、O 19—24%、N 13—19%，含 N 量平均为 16%，即每克 N 相当于 6.25 克蛋白质 ($100 \div 16 = 6.25$)。因此，测定生物样品中的含氮量即可推算出样品中的蛋白质含量。此外，在蛋白质中还有少量的硫 (0—4%)。有的还有少量的磷或金属元素 Fe、Zn、Cu、Mo、等。

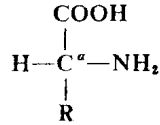
二、蛋白质的基本组成单位(氨基酸)

(一) 氨基酸的结构与分类

1. 氨基酸的结构 所有蛋白质都是以氨基酸作为单体，通过肽键聚合而成的生物高分子化合物。把蛋白质用酸、碱或酶彻底水解后，可得到大约 20 种不同的氨基酸。所以氨基酸是组成蛋白质的基本单位。氨基酸是两性化合物。在氨基酸分子中既含有氨基（或亚氨基），又含有羧基。氨基连接在与羧基相邻的碳原子（ α -碳原子）上，故称为 α -氨基酸。在 20 种氨基酸中，除脯氨酸外，都含有一部分共同结构，只有侧链“R”基团不同，除甘氨酸外，其余氨基酸的 α -碳原子都是不对称碳原子，具有 L 或 D 系两种异构体，并呈现旋光异构现象。目前发现组成天然蛋白质的 20 种氨基酸均为 L 系的 α -氨基酸，其通式如下：



L- α 氨基酸



D- α 氨基酸

必须说明,氨基酸的构型与其旋光方向没有直接关系。各种 L 系氨基酸中有的左旋,有的是右旋。同一种 L 系氨基酸,在不同溶剂中进行测定时,其比旋光值和旋光方向不相同。

2. 氨基酸的分类 组成蛋白质的氨基酸常见的有 20 种,但是蛋白质合成后分子中某些氨基酸的侧链可以进行化学变化,从而形成另一种氨基酸。例如,胶原蛋白中的脯氨酸和赖氨酸经羟化之后,分别形成羟脯氨酸和羟赖氨酸。两分子半胱氨酸脱氢后形成一分子胱氨酸。生物体中还有一些氨基酸不存在于蛋白质分子中,以游离形式存在。例如,氨基酸代谢的中间产物瓜氨酸、鸟氨酸等。某些 D 系氨基酸,如 D-谷氨酸,在细菌的细胞壁中含量较多。目前已知天然来源的氨基酸已达 175 种以上。

根据氨基酸侧链(R)基团的极性可以将常见的 20 种氨基酸分成四大类:(1)非极性或疏水性 R 基氨基酸;(2)极性 R 基但不带电荷的氨基酸;(3)带负电荷 R 基氨基酸;(4)带正电荷 R 基氨基酸。常见的 20 种氨基酸的分类见表 1-1。

(二) 氨基酸的理化性质

1. 一般物理性质 α -氨基酸为无色晶体,各有特殊晶形,熔点很高,一般在 200—300°C。各种氨基酸有不同的味感。例如,甘、丙、丝等有甜味;缬、亮、异亮等有苦味;天冬、谷有酸味。谷氨酸的单钠盐有鲜味,是味精的主要成分。除个别氨基酸外,一般能溶于水、稀酸或稀碱,但不溶于有机溶剂。通常可用酒精把氨基酸从溶液中沉淀析出。

2. 两性解离和等电点 氨基酸分子中既含有氨基又含有羧基,它们都是可以解离的基团。因此,氨基酸在水溶液中或晶体状态时都以两性离子($\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}-\text{COO}^-$)形式存在。所谓两性



离子是指在同一氨基酸分子中既含有能供出质子的($-\text{N}^+\text{H}_3$)正离子,又含有能接受质子的($-\text{COO}^-$)负离子。故氨基酸分子是一种两性电解质。

把两性离子的氨基酸溶于水中,其正、负离子均可解离,但其解离度的大小取决于溶液的 pH 值。如果向氨基酸溶液中加入酸时,两性离子中的负离子($-\text{COO}^-$)接受质子(H^+),本身变成正离子($\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}-\text{COOH}$),在电场中向阴极移动;若向氨基酸溶液中加入碱时,两性离子中的



正离子($-\text{N}^+\text{H}_3$)放出质子(H^+)与溶液中的 OH^- 结合,本身变成负离子($\text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COO}^-$),在



电场中向阳极移动。若调节氨基酸溶液的 pH 值,使氨基酸分子上的氨基($-\text{N}^+\text{H}_3$)与羧基($-\text{COO}^-$)的解离度相等,即氨基酸分子上所带的净电荷为零时,氨基酸分子在电场中既不向阳极移动,也不向阴极移动,这时溶液的 pH 值就是该氨基酸的等电点(pI)。

表 1-1 氨基酸的分类

极性状况	带电荷状况	名称	国际符号	中文缩写	结 构 式
极 性 氨 基	不 带 电 荷	甘氨酸	Gly, G	甘	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		丝氨酸	Ser, S	丝	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HO}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		苏氨酸	Thr, T	苏	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3-\text{CH}-\text{C}-\text{COO}^- \\ \quad \\ \text{OH} \quad \text{NH}_3^+ \end{array}$
		半胱氨酸	Cys, C	半胱	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{HS}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		酪氨酸	Tyr, Y	酪	$\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		天冬酰胺	Asn, N	天冬酰胺	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{C}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		谷氨酰胺	Gln, Q	谷酰胺	$\begin{array}{c} \text{H}_2\text{N} \\ \diagdown \\ \text{C}=\text{O} \\ \\ \text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
酸	带 负 电 荷	天冬氨酸	Asp, D	天冬	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$
		谷氨酸	Glu, E	谷	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ ^-\text{OOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}-\text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array}$

续表

极性状况	带电荷状况	名称	国际符号	中文缩写	结构式
极性氨基酸	带正电荷	组氨酸	His, H	组	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH} = \text{C} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \quad \quad \\ +\text{NH} \quad \text{NH} \quad \text{NH}_3^+ \\ \quad \quad \quad \\ \quad \quad \quad \text{H} \end{array} $
		精氨酸	Arg, R	精	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N} - \text{C} - \text{NH} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \quad \quad \quad \\ \text{NH}_3^+ \quad \quad \quad \text{NH}_3^+ \end{array} $
		赖氨酸	Lys, K	赖	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_3\text{N}^+ - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $
非极性氨基酸		丙氨酸	Ala, A	丙	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $
		缬氨酸	Val, V	缬	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH} - \text{C} - \text{COO}^- \\ / \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \\ \backslash \\ \text{CH}_3 \end{array} $
		亮氨酸	Leu, L	亮	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ / \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \\ \backslash \\ \text{CH}_3 \end{array} $
		异亮氨酸	Ile, I	异亮	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{C} - \text{COO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_3 \quad \text{NH}_3^+ \end{array} $
		脯氨酸	Pro, P	脯	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \quad \\ \text{CH}_2 \quad \text{NH}_2 \\ \backslash \\ \text{CH}_2 \end{array} $
		苯丙氨酸	Phe, F	苯丙	$ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 - \text{CH}_2 - \text{C} - \text{COO}^- \\ \\ \text{NH}_3^+ \end{array} $