

简明生物化学

主 编 乔秀丽
副主编 赵大伟 聂春红



哈尔滨地图出版社

简明生物化学

JIANMING SHENGWU HUAXUE

主 编 乔秀丽

副主编 赵大伟 聂春红

· 哈尔滨地图出版社 ·

· 哈尔滨 ·

图书在版编目(CIP)数据

简明生物化学 / 乔秀丽主编. — 哈尔滨 : 哈尔滨
地图出版社, 2010.7

ISBN 978 - 7 - 5465 - 0307 - 3

I. ①简… II. ①乔… III. ①生物化学 - 高等学校 -
教材 IV. ①Q5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 136056 号

哈尔滨地图出版社出版发行

(地址:哈尔滨市南岗区测绘路2号 邮政编码:150086)

哈尔滨太平洋彩印有限公司印刷

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16 印张:12.25 字数:314 千字

ISBN 978 - 7 - 5465 - 0307 - 3

2010 年 07 月第 1 版 2010 年 07 月第 1 次印刷

印数:1 ~ 1 000 定价:28.00 元

前 言

生物化学被称为生命的化学,其旨在研究生物体的化学组成及生命活动的化学变化规律。近年来,生物化学的发展已成为工业生产领域实现创新与突破的重要理论与实践源泉,是应用性工科专业人才培养的现实需求。

目前,工科专业生物化学课程主要选用生物专业通用的生物化学教材,该类教材虽然内容丰富,系统性强,但由于学生知识体系的差异,难以满足专业需要,所以编写一本适合非生物专业的生物化学教材是十分必要的。

本书适用于制药工程、化学工程和应用化学等专业,由多年从事一线教学的骨干教师编写。本书考虑专业特点和课时等因素,编写时着重体现了简洁、生动的特点,在深入浅出的基础上侧重生物化学的基本原理的阐述,既保证学生对生物化学的总体把握,又满足学生专业知识的需求。本书包括十一章,其内容有蛋白质、核酸、糖类、脂类、酶等生物分子的结构、性质和功能等;物质代谢和能量代谢的一般规律及调控机制;蛋白质、糖类和脂类等生物大分子的代谢过程及调控;生物信息的传递及蛋白质的生物合成。

教师参与编写的情况如下:乔秀丽编写第一、第二、第四、第六、第七章;赵大伟编第五、第十、第十一章;聂春红编写第三、第八、第九章。

在本书的编写过程中,作者参阅并引用了一些书籍、杂志中的材料,在此对有关资料的原作者深表感谢。

由于编者水平和经验有限,在编写过程中难免会有错误和疏漏,恳请专家和读者提出宝贵的意见和建议。

编 者

2010年7月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 生物化学的概念、研究对象和内容	1
1.2 生物化学的发展简史	2
1.3 生物化学的学习方法	3
第2章 蛋白质化学	5
2.1 蛋白质——生物体内重要的生物大分子	5
2.2 蛋白质的组成	6
2.3 肽	12
2.4 蛋白质分子结构	13
2.5 蛋白质一级结构研究	21
2.6 蛋白质结构与功能的关系	25
2.7 蛋白质的重要性质	27
2.8 蛋白质的重要颜色反应	29
2.9 蛋白质含量测定	30
2.10 蛋白质的分类	30
2.11 蛋白质的分离纯化	31
第3章 酶学	33
3.1 概述	33
3.2 酶的命名与分类	35
3.3 酶的结构	37
3.4 酶促反应机理	38
3.5 酶促反应动力学	40
3.6 生物体内几类重要的酶——别构酶、同工酶及诱导酶	49
3.7 维生素	51
第4章 核酸化学	61
4.1 核酸——重要的遗传物质	61
4.2 核酸的分类、功能种类与分布	62
4.3 核酸的化学组成	63
4.4 脱氧核糖核酸的分子结构	66
4.5 核糖核酸的结构	70
4.6 核酸的性质	72
4.7 染色体结构	76
4.8 核酸的分离纯化	78
第5章 生物氧化	80
5.1 生物氧化概述	80
5.2 电子传递链	82

5.3	氧化磷酸化作用	89
5.4	一些非呼吸链的末端氧化酶体系	97
第6章	糖化学及糖类代谢	99
6.1	糖化学概述	99
6.2	糖的酶促降解	104
6.3	糖酵解	107
6.4	三羧酸循环	112
6.5	磷酸戊糖途径	120
6.6	糖的合成代谢	123
第7章	脂类代谢	127
7.1	脂类化学概述	127
7.2	脂肪的分解代谢	129
7.3	脂肪的生物合成	135
7.4	类脂的降解与合成代谢	141
第8章	蛋白质降解与氨基酸代谢	145
8.1	蛋白质的酶促降解	145
8.2	氨基酸的降解与转化	146
8.3	氨基酸的生物合成	153
第9章	代谢调节	155
9.1	代谢网络	155
9.2	代谢调控总论	156
第10章	核酸的生物合成	162
10.1	DNA 复制的一般规律	162
10.2	参与 DNA 合成的酶	163
10.3	DNA 的复制过程	166
10.4	逆转录	168
10.5	DNA 的突变	168
10.6	DNA 的损伤与修复	168
10.7	RNA 的生物合成	172
第11章	蛋白质的生物合成	178
11.1	蛋白质生物合成体系的组成	178
11.2	蛋白质生物合成的过程	182
参考文献		189

第1章 绪 论

1.1 生物化学的概念、研究对象和内容

1.1.1 生物化学的概念和研究对象

生物化学(biochemistry)即生命的化学,是在分子水平上运用化学原理和方法研究生物体的化学组成和生命过程中化学变化规律的科学。因此,生物化学就是研究生命活动的化学本质。其研究目标是从分子水平和化学角度揭示和探讨生命现象的奥秘,并将相关成果和理论应用到科学研究和工农业生产实践中去,从而实现改造和构建新的生物体,保障和服务人类健康。生物化学的研究对象是各类生物体,包括动物、植物和微生物,相应的根据研究对象和目标的不同生物化学可以分为微生物生物化学、药学生物化学、医学生物化学、古生物生物化学、农业生物化学、工业生物化学、营养生物化学等。

1.1.2 生物化学研究的具体内容

1. 生物体的化学物质组成及其结构、性质和功能

目前地球上生存的种类繁多的生物体,无论是微生物、植物、动物,还是人,尽管形态上千差万别,都具有相似的化学组成,均由C,H,O,N,P,S六种元素以及其他微量化学元素组成,这些元素组合构成生物体的水分、无机盐离子和各种有机化合物。有机化合物主要包括蛋白质、糖类、脂类和核酸等,由于这些有机化合物分子量很大,因此称为生物大分子。生物体内最重要的生物大分子是核酸和蛋白质,核酸是生物信息的携带者和传递者,它通过控制蛋白质的生物合成决定细胞的类型和功能,蛋白质是细胞结构的主要组成成分,也是细胞功能的主要体现者。生物体还含有可溶性糖、有机酸、维生素、激素、生物碱和天然肽类等多种组成成分。

2. 生物体内的物质代谢及能量利用

研究生物体内的物质代谢及能量利用是生物化学的重要研究内容,实质上就是进行生物体内的新陈代谢研究。生物体从外环境摄取营养物质和能量,通过体内的一系列化学变化合成自身的组成物质,与此同时,生物体内的化学组成物质经过一系列的化学变化可分解为不能利用的废物和热量排出到外环境,上述过程即构成了生物体的新陈代谢。通过新陈代谢,实现了生物体的组成的不断自我更新。新陈代谢是生命活动的物质基础和推动力,生物体的所有生命现象,都建立在生物的新陈代谢基础之上,在这些变化中,生物体内的酶起着决定性的作用,生物体内的各种代谢途径都是由一系列酶催化的化学变化所组成的。

在生物体内各类物质都有其各自的分解和合成途径,各种途径之间互不干扰,互相配合,彼此协调,互相转化,这得益于生物体内存在的高度精密、完善的调节控制系统。

生物体新陈代谢的物质转化同时伴随着能量转化。所有生物体内的最初能量来源都是太阳的辐射能。以绿色植物为主的光合生物通过光合作用捕获太阳能,并将太阳能转变为化学能贮存在有机物中。生命活动所需的能量不是直接来自于太阳能的,而需要通过生物氧化分解有机物才能获取。糖类是细胞结构物质和储藏物质,既是合成其他生物分子的碳源,又是生物界进行代谢活动的主要能源;脂类是生物膜的重要结构成分,可防止热量散发并且提供生物

体需要的能量。

3. 信息代谢

生命体能够进行精确的自我复制。生命体可以在细胞间和世代间保证准确的信息复制和信息传递。遗传信息传递的主要包括 DNA 的复制、RNA 的转录以及蛋白质的生物合成。

1.2 生物化学的发展简史

生物化学是 18 世纪 70 年代以后,伴随着近代化学和生理学的发展,开始逐步形成的一门独立的新兴边缘学科,至今只有 200 多年历史。

从 18 世纪起,很多化学学者开始涉足生化领域。例如,法国著名化学家 Lavoisier 1785 年经研究证实,动物呼吸与木柴的燃烧本质类似,在呼吸中发生的变化就是氧化反应,但这是缓慢和不发光的燃烧。

1828 年武勒由氰酸氨合成尿素,证明了有机物的人工合成。打破了无机物与有机物间的鸿沟,促进了有机化学的发展,也为生物化学的建立奠定了坚实的基础。

1840 年德国科学家 Liebig 在出版的《有机化学在农业和生理学中的应用》一书中系统地阐明了动物、植物和微生物在物质和能量方面相互依赖和循环的关系。

19 世纪法国著名微生物学家巴斯德通过对乳酸发酵和酒精发酵进行了深入的研究,指出发酵是由微生物所引起的。巴斯德的发现为发酵及物质代谢的理论研究做了奠基性的工作。

1896 年 Eduard 和 Buchner 证明破碎酵母细胞的抽提液仍能使糖发酵,从而使生化学者意识到了生物催化剂——酶的存在,为酶学和动态生化的研究奠定了基础。随后人们对很多酶进行了分离提纯。

1926 年,Sumner 首次将脲酶制成结晶,证明了酶的化学本质是蛋白质。

1911 年,Funk 结晶出抗神经炎维生素,即复合维生素 B,并提出 Vitamine 一词。

1902 年,Abel 分离出肾上腺素并制成结晶。

1905 年,Starling 提出激素一词。1926 年,Went 从燕麦胚芽鞘首次分离出植物激素——生长素。

酶、维生素和激素的发现和研究表明促进了生物化学的发展,确立了生物化学作为生命科学重要基础的地位。

20 世纪 30 年代以后,生物化学进入了动态生物化学发展时期,在研究生物体的新陈代谢及其调控机制方面取得了重大进展。在 1940 年前后,基本上阐明了各类生物大分子的主要代谢途径:糖酵解、三羧酸循环、氧化磷酸化、磷酸戊糖途径、脂肪代谢和光合磷酸化等。

德国的 Embden, Meyerhof 和 Parnas 阐明了糖酵解反应途径;英国生物化学家 Krebs 阐明了尿素循环和三羧酸循环;美国 Lipmann 发现了 ATP 在能量传递循环中的中心作用;美国人 Calvin 和 Benson 证明了光合碳代谢途径,等等。

从 20 世纪 50 年代开始,生物化学以更快的速度发展,研究了许多先进技术和方法。其中同位素、电子显微镜、X-射线衍射、层析、电泳、超速离心等技术手段应用于生物化学研究中,逐步实现了从整体水平到细胞、细胞器,直至分子水平来探究生物分子的结构与功能。例如,将放射性同位素示踪法应用于代谢途径的研究;层析法应用于分离和鉴定各种化合物;超速离心法用于分离大分子;用氨基酸自动分析仪测定氨基酸的组成及排列顺序;用 X-衍射等方法测定蛋白质的空间结构。有些科学家的工作为生物化学研究作出了突出贡献,为生物化学的

发展奠定了基础。

1945 ~1955 年, Sanger 在世界上首次完成了蛋白质(牛胰岛素)一级结构的分析, Sanger 的研究成果为蛋白质一级结构的测定奠定了基础, 具有划时代的意义。

1965 年我国首先完成了结晶牛胰岛素的人工合成。

20 世纪 50 年代中期, Kendrew 和 Perutz 首次采用 X - 光衍射法阐明了两种蛋白质的空间结构即鲸肌红蛋白和马血红蛋白的三维空间结构。

1953 年, Watson 和 Crick 提出了 DNA 分子的双螺旋结构的模型, 这是生化学界首次认识到基因的结构, 为 DNA 复制机制的研究打下了坚实基础, 从分子水平上揭示遗传现象的本质, 拉开了分子生物学时代的序幕。

1973 年, Cohen 建立了体外重组 DNA 的方法, 成为生物工程技术的开端。

1977 年, Sanger 首次完成了噬菌体 Φ X - 174 的 DNA 一级结构的分析, 该 DNA 是由 5375 个核苷酸组成。

1979 年中国在世界上首先人工合成了酵母丙氨酸转移核糖核酸。

2000 年人类基因组工作框架图完成。

2001 年正式绘制人类基因组序列图。

现代生物化学正处于全面发展的时期, 它的基本理论和实验技术在分子学水平上探讨和解决包括生物的生长、发育、繁殖、遗传、变异、生理、病理、生命起源、生物进化等众多生命现象的重大问题方面取得了突飞猛进的进展和巨大成就; 生物化学已成为生命科学领域最重要的基础学科之一。生物化学的理论、实验技术、研究方法等不仅极大地促进了生物领域各学科的发展, 同时也不断催生出许多的新兴边缘学科, 如分子生物学、分子遗传学、量子生物学、结构生物学、生物工程学等。

现代生物化学的研究已从分子水平扩展到细胞组织器官和生物体整体的研究层次, 各类生物大分子的组成结构功能, 发育生物学中的生化研究, 蛋白质降解机制, 细胞凋亡及结构变化等是当代生物化学发展的主要方向。

生物化学除了在生物学领域具有基础地位外, 对于现代工业、现代农业、医学等领域的发展与进步发挥了巨大的推动和促进作用, 如利用新型的基因工程和蛋白质工程实现了传统制药工业的新的突跃, 以往昂贵的胰岛素、生长激素等药物可以实现工业化生产; 酶工程技术的发展极为迅速, 如酶及细胞固定化技术等目前已展现出了其在化工生产领域的广阔应用前景, 所以现代生物化学还体现了与应用领域紧密结合的发展趋势。

1.3 生物化学的学习方法

生物化学的内容体系庞杂, 知识点多, 理论、概念和各部分内容之间的内在联系均较难把握。尤其是对分生物专业的学生由于课时较少, 要对本课程的概况和基础理论有全面的把握和深入理解, 不仅要有正确的学习态度, 还要有正确的学习方法。

1.3.1 高度重视, 培养兴趣

生物化学是生命科学领域最重要的基础学科之一, 它的理论在专业人才培养体系中具有重要意义。所以对该课程从思想上要给予高度重视。本门课程虽然内容多, 耗费时间及精力较多, 但总体上来说并不枯燥, 因为该课程既有理论深度, 又与每个人自身生活实际密切联系, 同时也与当今社会科技领域的热点与焦点问题相关。带着问题, 带着兴趣, 以探究的心态去学

习,既会减少压力,也会提高学习效率。

1.3.2 注重联系,促进迁移

本课程的各章节间看似独立的,但实际上存在着有机的联系。各部分内容的学习绝不能孤立地进行,学习新知识要结合复习旧知识进行,并善于区分各知识间的相同点与不同点,认识知识间的本质联系,采用科学的方法,努力构筑知识网,促进知识迁移,防止负迁移。

1.3.3 抓住要点,科学记忆

生物化学要求记忆的内容较多,学习者要采用科学的记忆方法去记忆,好的记忆方法应符合记忆的规律,符合学科的特点,符合个人记忆的特点。在学习中反对死记硬背,大力提倡在理解的前提下记忆,要抓住重点和核心内容,选择性地记忆。如记忆蛋白质的结构时,首先明确各级结构描述的对象,再去记忆其中各结构层次的类型及特点。在记忆难度最大的代谢过程中的各物质来源去路及代谢途径联系时,可采用框架图或表格形式,先记住处于个途径交会点的代谢中间物,再记住代谢过程的各关键酶,最后再记具体途径和各普通代谢中间物,这样不仅记忆效果好,又能加深理解。

第2章 蛋白质化学

蛋白质是最重要的一类生物大分子,是生命活动的物质基础。蛋白质存在于所有的生物体中,在人体和许多生物体内的蛋白质含量占固体总量的45%以上。病毒中除了一小部分核酸外,其余几乎都是蛋白质。生物体各种生物功能及生命现象与蛋白质密切相关,例如消化、排泄、运动、收缩、繁殖等。蛋白质的种类繁多,在一个细胞中至少存在数千种之多,人体中蛋白质有数十万种,真核生物细胞内蛋白质可有数千种之多。无论何种蛋白质,其基本组成结构单位都是20种左右的基因编码氨基酸。蛋白质也是遗传信息的体现者与生物功能的执行者。

2.1 蛋白质——生物体内重要的生物大分子

蛋白质是生物细胞内种类最多、含量最丰富的生物大分子,在所有的生命活动中蛋白质都起到至关重要的作用。蛋白质具有如下的生物功能:

2.1.1 支持功能

蛋白质在生物界存在极为普遍,各类生物体的各种组织、细胞内均存在蛋白质。蛋白质构成生物体的主要结构成分,例如,细胞中的细胞膜、线粒体、叶绿体等都是由各类蛋白质和脂质组成的。高等动物的胶原纤维的组成是结构蛋白,胶原纤维形成结缔组织和骨骼的重要成分而作为身体的支架。

2.1.2 运输功能

生物体中许多小分子和离子要靠特殊的蛋白质运输,如血红蛋白和肌红蛋白在红细胞中运输氧,血液中的脂蛋白运输脂类,铁传递蛋白运输铁等。

2.1.3 贮存功能

有些蛋白质可作为生物体生长发育的养料储存起来,如植物种子中的谷蛋白是储藏蛋白的,具有储藏氨基酸的功能,可在种子萌发时利用。动物卵的卵白蛋白和牛奶中的酪蛋白也是贮藏蛋白的。

2.1.4 生物催化功能

生命体的新陈代谢是生命活动的物质基础和推动力。生物体内代谢过程的很多化学反应较为复杂,需要有多种生物催化剂——酶进行催化,目前已知的绝大多数酶都是蛋白质。

2.1.5 运动功能

生物的运动离不开蛋白质。蛋白质是肌肉的主要成分,肌肉收缩实际上是肌球蛋白和肌动蛋白丝状体的滑动运动,而运动是通过肌肉收缩完成的。细菌表面的鞭毛及纤毛是由许多微管蛋白组装起来的,也能产生细胞活动。

2.1.6 免疫功能

疾病的发生与防御与蛋白质有关。免疫系统中的抗原和抗体都是蛋白质。病毒、细菌和其他生物体的细胞作为抗原入侵机体时,免疫系统做出反应并产生抗体,抗体能够识别特异的抗原并与之结合形成复合物,将复合物排出体外,从而清除抗原。因此它具有保护机体免受外

界病原微生物侵袭的防御功能。抗体种类繁多,已知的有百万种以上,抗体与抗原作用具有高度专一性。

2.1.7 激素及受体功能

激素参与调节细胞和机体的生理活性。有些激素是蛋白质,它们对生物体的新陈代谢起调节作用,如胰岛素能参与血糖的代谢调节;垂体生长激素和甲状腺激素调节 Ca^{2+} 和磷酸盐的输送。此外生物体内起接受和传递信息作用的信号受体也是蛋白质,例如,接受各种激素的受体蛋白和接受外界刺激的感觉蛋白(如视网膜上的视色素、味蕾上的味觉蛋白等)都属于这一类。

2.1.8 控制生长和分化

细胞内遗传信息的表达要受到严格调节和控制,这对于细胞的正常生长和分化是非常重要的。很多蛋白质参与调节控制基因表达,如组蛋白和阻抑蛋白等。

2.1.9 毒素

某些毒素是蛋白质,称为毒蛋白。例如,蛇毒中的蛇毒蛋白、蓖麻子中的蓖麻蛋白以及细菌中的白喉毒素等。但不是所有的毒素都是蛋白质,也存在非蛋白质毒素。

2.1.10 膜蛋白

生物膜的基本组成是蛋白质和脂类。其中膜蛋白既与某些物质的跨膜运送有关,同时也与能量转换直接相关,一些膜蛋白是能量转换的场所。

2.2 蛋白质的组成

2.2.1 蛋白质的元素组成

尽管各类蛋白质的结构与功能各异,但对不同生物的蛋白质样品进行元素分析研究表明,绝大多数蛋白质的基本元素组成都非常相似。

蛋白质所含的主要元素有:

碳:50%~55%,平均52%;氢:6.9%~7.7%,平均7%;氧:21%~24%,平均23%;氮:15%~17.6%,平均16%;硫:0.3%~2.3%,平均2%。此外,某些蛋白质还含有少量的其他元素,称为微量元素。蛋白质中所含的微量元素主要有磷、铁、碘、锌、铜等。

2.2.2 蛋白质的结构单位——氨基酸

蛋白质是生物大分子,种类繁多。虽然各种不同的蛋白质分子量差别较大而且结构较为复杂,但蛋白质被酸、碱及酶彻底水解后得到的产物基本为各种氨基酸(amino acid, AA)。由于氨基酸不能再进一步水解,因此氨基酸是组成蛋白质的基本结构单位。各种蛋白质组成上的差异实际上就是其所含氨基酸的种类和数目的差异。

1. 氨基酸的分子结构

目前自然界已发现的氨基酸种类很多,而将蛋白质彻底水解发现组成蛋白质的氨基酸只有20种左右,这20种氨基酸都是编码氨基酸,因为这20种氨基酸在遗传密码表中有相应的三联体密码,该20种氨基酸被称为蛋白质氨基酸,名称及字母表示见表2-1。这些蛋白质氨基酸的结构有一些共性,每个氨基酸分子(脯氨酸除外)的 α -碳原子上都结合一个氨基(amino group)、一个羧基(carboxyl group)、一个氢原子和一个不同的侧链R基团,因此组成蛋白质

的氨基酸是 α -氨基酸。各种蛋白质氨基酸 R 侧链的结构不同(图 2-1)。

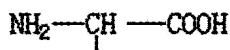


图 2-1 α -氨基酸结构通式

表 2-1 20 种蛋白质氨基酸的名称、三字母缩写和单字母符号

中文名称	英文名称	三字母缩写	单字母符号
甘氨酸	Glycine	Gly	G
丙氨酸	Alanine	Ala	A
缬氨酸	Valine	Val	V
亮氨酸	Leucine	Leu	L
异亮氨酸	Isoleucine	Ile	I
脯氨酸	Proline	Pro	P
苯丙氨酸	Phenylalanine	Phe	F
酪氨酸	Tyrosine	Tyr	Y
色氨酸	Tryptophan	Trp	W
丝氨酸	Serine	Ser	S
苏氨酸	Threonine	Thr	T
半胱氨酸	Cystine	Cys	C
蛋氨酸	Methionine	Met	M
天冬酰胺	Asparagine	Asn	N
谷氨酰胺	Glutamine	Gln	Q
天冬氨酸	Asparticacid	Asp	D
谷氨酸	Glutamicacid	Glu	E
赖氨酸	Lysine	Lys	K
精氨酸	Arginine	Arg	R
组氨酸	Histidine	His	H

除甘氨酸外,氨基酸结构中的 α -碳原子都是不对称碳原子。氨基酸的构型可比照甘油醛的构型而确定。蛋白质中的氨基酸除甘氨酸外都具有 L-型和 D-型两种构型,天然蛋白质中存在的氨基酸基本都是 L-氨基酸(图 2-2)。

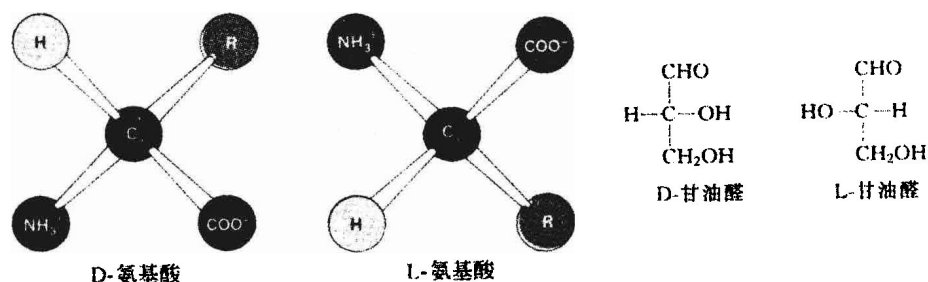


图 2-2 甘油醛和氨基酸的立体异构

氨基酸分子中含有不对称碳原子,具有旋光性,两种立体异构体也可称为旋光异构体,左旋以(-)表示,右旋以(+)表示。蛋白质中的氨基酸有些如丙氨酸、异亮氨酸是右旋的(dextrorotatory),有些如色氨酸、亮氨酸、脯氨酸等则是左旋的(levorotatory)。

2. 蛋白质氨基酸的分类

氨基酸分类标准较多,按氨基酸 α -C 上的 R 侧链基团的极性可将氨基酸分为四大类:非极性 R 基团氨基酸;极性不带电荷 R 基团氨基酸;R 基团带负电荷的氨基酸;R 基团带正电荷

的氨基酸。氨基酸的名称常使用三字母的简写符号表示,此外也可使用单个字母简写符号表示。

按侧链 R 基团的结构可将 20 种氨基酸分为七类:R 为脂肪族基团的氨基酸;R 为芳香族基团的氨基酸;R 为含硫基团的氨基酸;R 为含醇基基团的氨基酸;R 为碱性基团的氨基酸;R 为酸性基团的氨基酸;R 为含酰胺基团的氨基酸。

目前采用较多的是按照氨基酸侧链的极性进行分类的,结果见表 2-2。

表 2-2 蛋白质氨基酸按侧链极性分类

极性氨基酸	弱极性氨基酸 (极性不带电)	非极性氨基酸
天冬酰胺	甘氨酸	丙氨酸
谷氨酰胺	丝氨酸	缬氨酸
赖氨酸	苏氨酸	甲硫氨酸
精氨酸	脯氨酸	亮氨酸
组氨酸	酪氨酸	异亮氨酸
天冬氨酸		半胱氨酸
谷氨酸		苯丙氨酸
		色氨酸

(1) 非极性 R 基团氨基酸

包括 8 种氨基酸:丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸和脯氨酸是带有脂肪烃侧链的氨基酸,丙氨酸的侧链是甲基;缬氨酸的侧链是一个含有支链的三碳侧链;亮氨酸和异亮氨酸都含有带支链的四碳侧链;脯氨酸与其他氨基酸不同,是亚氨基酸,在 α -碳和 α -氨基的氮有一个环形的饱和烃侧链。苯丙氨酸是一个含有苯基的氨基酸。色氨酸的侧链有一个吲哚基,所以色氨酸又称为吲哚丙氨酸。甲硫氨酸又称蛋氨酸,它的侧链上有甲基硫醚基。

(2) 极性不带电荷 R 基团氨基酸

包括 7 种氨基酸,它们的侧链均含有极性基团。甘氨酸侧链是氢原子;丝氨酸和苏氨酸侧链含有 β -羟基;半胱氨酸侧链上含有一个巯基。两个半胱氨酸分子通过二硫键连接形成胱氨酸;酪氨酸属于芳香氨基酸;天冬酰胺和谷氨酰胺是天冬氨酸和谷氨酸的酰胺化产物。

(3) R 基团为带负电荷的氨基酸

共有 2 种酸性氨基酸。天冬氨酸和谷氨酸都是二羧基氨基酸,天冬氨酸含有 β -羧基,谷氨酸含有 γ 羧基。这两种氨基酸的侧链在 $\text{pH} = 7$ 时都发生解离,所以带负电荷。

(4) R 基团带正电荷的氨基酸

包括 3 种氨基酸。即组氨酸、精氨酸和赖氨酸。在 $\text{pH} = 7$ 时它们的侧链解离而带有正电。组氨酸的侧链有一个咪唑环;赖氨酸含有 α -氨基和 ϵ -氨基,在中性 pH 时 ϵ -氨基是以离子形式存在的,带正电荷;精氨酸的侧链存在一个胍基,它在 20 种氨基酸中碱性最强。

3. 蛋白质不常见氨基酸

蛋白质水解后产生的氨基酸绝大多数是上述 20 种基本氨基酸,但很多蛋白质水解产物中还含有少数特殊的氨基酸,即不常见的氨基酸,又称为蛋白质的稀有氨基酸。

这些不常见氨基酸也有共性,它们都是编码氨基酸的衍生物,如肌球蛋白和组蛋白中含有 6-N-甲基赖氨酸;凝血酶原中存在 γ -羧基谷氨酸;酪蛋白中存在磷酸丝氨酸;哺乳动物的肌肉中存在 N-甲基甘氨酸等。蛋白质中的稀有氨基酸没有相应的三联体密码,它们是在常见的氨基酸的基础上经过化学修饰而形成的。

某些蛋白质中不常见氨基酸的结构式如下：

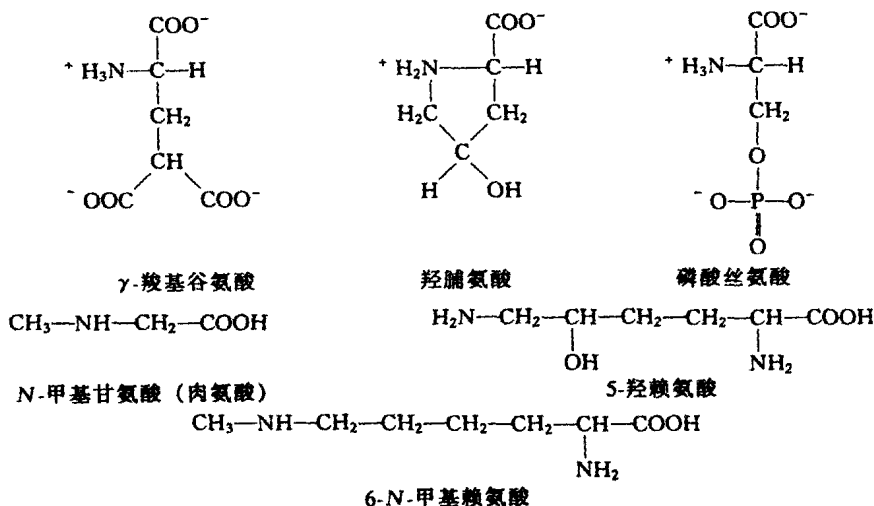


图 2-3 几种不常见的氨基酸

4. 非蛋白质氨基酸

除了参与形成蛋白质的 20 种氨基酸和一些稀有氨基酸外, 机体体内还存在一些不参与形成蛋白质而以游离或结合状态存在于生物体内的氨基酸, 所以称为非蛋白质氨基酸。这些氨基酸大多数是蛋白质中存在的 L-型 α -氨基酸的衍生物, 如鸟氨酸 (ornithine)、瓜氨酸 (citrulline)、高丝氨酸 (homoserine)、高半胱氨酸等, 但也有些是 β -氨基酸、 γ -氨基酸或 δ -氨基酸, 如 β -丙氨酸、 γ -氨基丁酸。这些氨基酸虽然不参与蛋白质组成, 但在生物体中往往具有一定的生理功能。

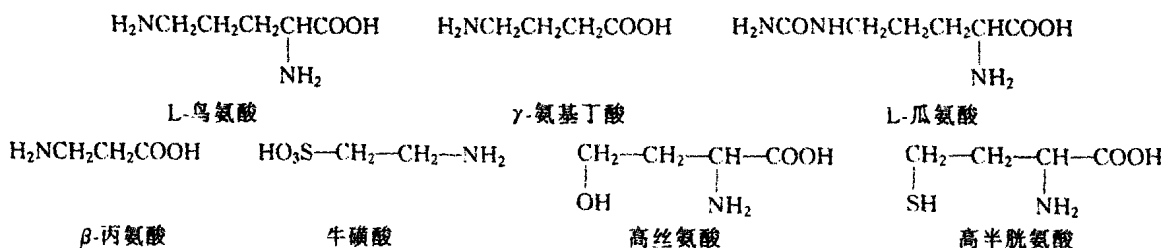


图 2-4 一些非蛋白质氨基酸的分子结构

2.2.3 氨基酸的性质

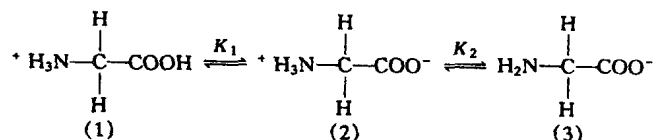
氨基酸的性质是由它的结构决定的, 不同氨基酸之间的差异只是在侧链上, 因此氨基酸具有许多共同的性质, 个别氨基酸由于其侧链的特殊结构还有许多特殊的性质。

1. 氨基酸的两性解离和等电点

根据 Bronsted - Lowry 理论, 氨基酸在水溶液中既可以给出质子, 又可以接受质子, 既是酸又是碱, 所以氨基酸是两性电解质, 氨基酸在水溶液中或固体状态时均是以两性离子形式存在的。两性离子是指在同个氨基酸分子上带有等量的正负两种电荷, 因此总体上是不带电。又称为兼性离子或偶极离子。



因为氨基酸是两性电解质,所以它在溶液中的带电状况随溶液的 pH 变化而变化,即氨基酸上的氨基和羧基的解离取决于溶液的 pH。如甘氨酸,它完全质子化时可以看做是一个二元弱酸,其解离情况如下:



在一定的 pH 条件下,氨基酸分子中所带的正电荷和负电荷数相同,即净电荷为零,此时溶液的 pH 称为该氨基酸的等电点,用符号 pI 表示。在等电点时,氨基酸的溶解度最小。

由于各种氨基酸的侧链结构不同,一定 pH 条件下不同氨基酸的解离情况不同,所以各种氨基酸都有其特定的等电点。通常氨基酸的羧基、氨基及侧链上的解离基团的 pK 编号是从酸性最强的基团的解离开始的,分别以 $pK_1, pK_2, \dots$ 来表示。

表 2-3 氨基酸的解离常数和等电点

氨基酸	$pK_1 (-\text{COOH})$	$pK_2 (-\text{NH}_3^+)$	$pK_R (\text{R 基})$	pI
甘氨酸	2.34	9.60		5.97
丙氨酸	2.34	9.60		6.02
缬氨酸	2.32	9.62		5.97
亮氨酸	2.36	9.60		5.98
异亮氨酸	2.36	9.68		6.02
丝氨酸	2.21	9.15		6.8
苏氨酸	2.63	10.43		6.53
天冬氨酸	2.09	9.82	3.86(β -COOH)	2.97
天冬酰胺	2.02	8.8		5.41
谷氨酸	2.19	9.67	4.25(γ -COOH)	3.22
谷氨酰胺	2.17	9.13	5.65	
精氨酸	2.17	9.04	12.48(胍基)	10.76
赖氨酸	2.18	8.95	10.50(ϵ -氨基)	9.74
组氨酸	1.82	9.17	6.00(咪唑基)	7.59
半胱氨酸	1.71	8.33	10.78(-SH)	5.02
甲硫氨酸	2.28	9.21		5.75
苯丙氨酸	1.83	9.13		5.48
酪氨酸	2.20	9.11	10.07(-OH)	5.66
色氨酸	2.38	9.39		5.89
脯氨酸	1.99	10.60		6.30

氨基酸的等电点可由氨基酸分子中所带的可解离基团的 pK 值来计算。根据解离常数计算式可推出氨基酸的等电点近似等于兼性离子形态的氨基酸左右两侧的解离基团的解离常数的算术平均值。如对于甘氨酸有

$$pI = \frac{1}{2}(pK_1 + pK_2)$$

其中: K_1 为 $-\text{NH}_3^+$ 的解离常数,而 K_2 则为 $-\text{COOH}$ 的解离常数。

2. 氨基酸的吸收光谱

组成蛋白质的 20 种氨基酸都不吸收可见光,但酪氨酸、苯丙氨酸和色氨酸在紫外区具有光吸收能力,这是因为它们的 R 基团含有苯环共轭双键系统。酪氨酸的最大吸收波长在

