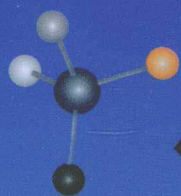
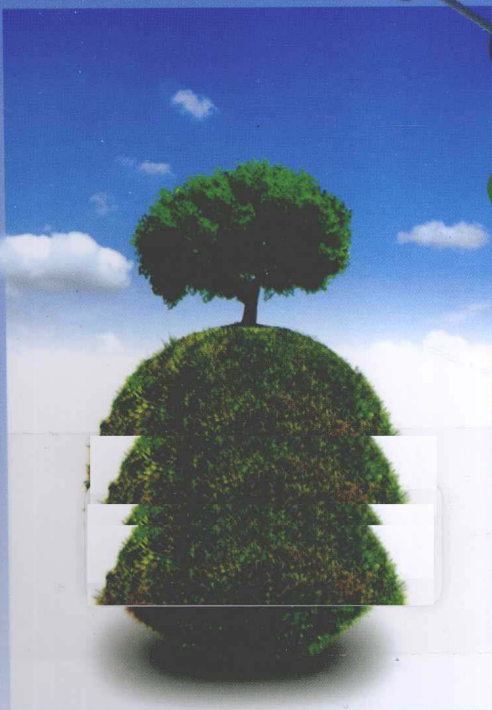
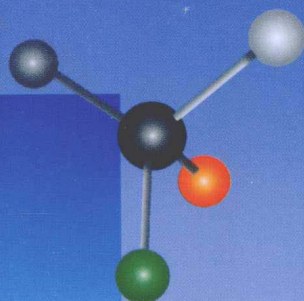


Fundamentals for Life Chemistry



生命 化学基础

周晴中 编著



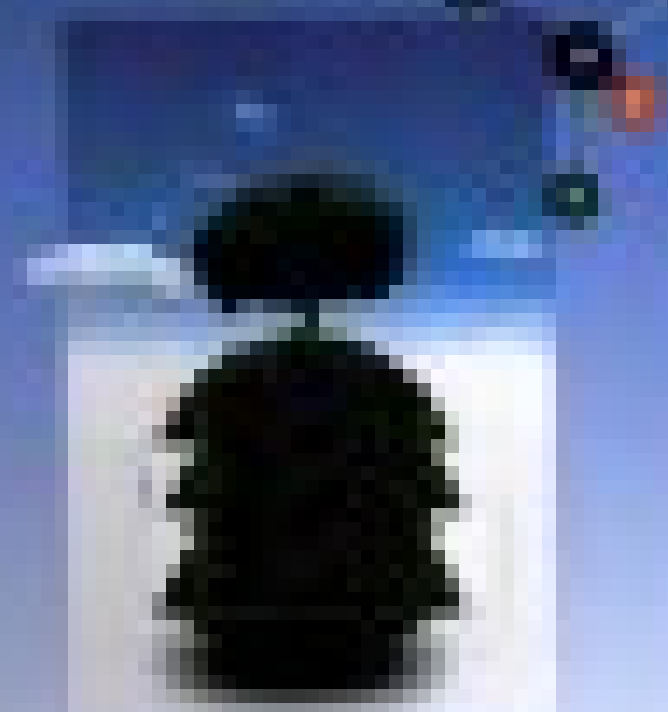
北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

Fundamentals of Life Chemistry

生命
化学基础

高中生物选修3

王后雄主编



人民教育出版社

生命化学基础

周晴中 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

生命化学基础/周晴中编著. —北京:北京大学出版社, 2011. 3

ISBN 978-7-301-18510-0

I. ①生… II. ①周… 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(2011)第 014228 号

书 名: 生命化学基础

著作责任者: 周晴中 编著

责任编辑: 郑月娥

封面设计: 张 虹

标准书号: ISBN 978-7-301-18510-0/O · 0841

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 电子邮箱: zye@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 理科编辑部 62767347 出版部 62754962

印 刷 者: 北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16 开本 23.25 印张 580 千字

2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

定 价: 46.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容.

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子邮箱:fd@pup.pku.edu.cn

内容介绍

本书源于北京大学化学与分子工程学院本科生“生命化学基础”课教材。本书以蛋白质、核酸、酶、糖、脂与生物膜的结构与功能以及代谢与调控为主线,介绍生命科学的基本概念、基础知识和基本理论,同时介绍生命科学中的一些最新发展。本书重点对蛋白质与核酸进行了比较全面的介绍。糖主要介绍代谢,脂类主要关注生物膜,酶在介绍基本概念的同时注意结合化学学科中的一些研究和进展进行,注意对涉及的药物作用机制进行介绍。

本书力图为学生今后进行与生命科学有关的研究和进一步深入学习生命科学知识打下基础,使学生了解到生命运动的基础是生物体内物质分子的化学运动,生命科学的发展需要更多化学家的参与,化学学科的发展与生命科学紧密相关。本书内容注意与学生的化学学科背景结合,注重介绍分子结构与功能的关系,使学生能从分子和分子集合体水平上了解和认识生命中的化学运动,以适合化学学科背景人员从事与生命科学交叉研究的需要。

本书可供高等院校化学、化工等专业本科生使用,也可供从事生物工程、生物技术、食品工程、医学、农学的教师、科技工作者和对生物化学专业感兴趣的广大自学者参考。

前 言

生命体是由蛋白质、核酸、糖和脂类等生物大分子及许多具有生理活性的小分子组成,在生命活动中这些分子在严格控制下不断相互作用,不断进行合成、分解和相互转化,以保证生命活动的有序进行。生命科学的基础即是在分子水平上研究生命体的组成与结构、代谢与调控,是在化学分子运动的基础上揭示生命现象在分子水平上的物质变化规律,分子水平给予了生命科学无限的活力和前景。同时,生命科学的进展也给化学学科带来了巨大的机遇和挑战,化学与生命科学的交叉和互相渗透是化学发展的大趋势。在生命科学发展历史上,化学学科的成就曾推动了生命科学的发展,生命科学的进展又不断提出许多化学问题并推动化学学科的发展。目前《化学文摘》(CA)摘录的文章一半以上都与生命科学有关,而历届的诺贝尔化学奖几乎一多半都给予了研究生命科学的科学家(见附录“与本书有关的历届诺贝尔化学奖获奖者及其主要贡献”)。由于生物化学及在其基础上形成的分子生物学、生物有机和化学生物学等新兴交叉学科突飞猛进的发展,生命化学已成为目前发展迅速的前沿学科之一,新概念、新理论、新成就不断涌现,已成为当代最引人注目的研究领域。因此,奠定坚实的生命化学基础已成为众多化学科技工作者的共同需要。

20 世纪 90 年代初,北京大学化学与分子工程学院在唐有祺院士的倡议和带领下,为适应生命科学和现代化学发展的需要,将原为化学专业本科生开设的选修课“生物化学”改为必修课,开设了“生命化学基础”课程。课程以蛋白质、酶、糖、脂、生物膜和核酸的结构与功能以及代谢与调控为主线,在注意学生的化学背景前提下,讲授生命科学的基本概念、基础知识和基本理论,在介绍生命科学中的一些最新发展时,注意引入生物有机化学、酶化学等方面的内容,力图为学生今后进行与生命科学有关的研究和进一步深入学习生命科学知识打下基础。本书在十几年的教学基础上,经过不断修改而定稿。本书希望能较好地具有化学背景的学生提供学习生命科学的教学需要。由于生命科学发展迅速,加之编者自身水平和经验有限,望广大师生和读者不吝赐教。

本课程讲授时主管方是北京大学生命科学学院生物化学系,指定教材是王镜岩、朱圣庚、徐长法主编的《生物化学》,为此本书编排和内容许多地方对该书进行了参照,在此对该书的作者和课程主管方表示感谢!同时向读者推荐该书为本书的重要参考书。本书在写作过程中,陈家华老师提供了部分讲稿,也在此表示感谢。

编者

2010 年 10 月

目 录

绪 论	(1)
第一章 氨基酸	(4)
§ 1.1 氨基酸概述及其结构特点	(4)
§ 1.2 常见蛋白氨基酸、不常见蛋白氨基酸和非蛋白氨基酸	(5)
§ 1.3 氨基酸的酸碱性质	(10)
§ 1.4 氨基酸的光学性质	(14)
习 题	(16)
第二章 多肽和蛋白质	(18)
§ 2.1 肽和活性多肽	(18)
§ 2.2 蛋白质的组成和分类	(24)
习 题	(26)
第三章 蛋白质的结构和功能	(27)
§ 3.1 蛋白质构象	(27)
§ 3.2 蛋白质一级结构测定	(27)
§ 3.3 蛋白质的三维结构	(35)
§ 3.4 蛋白质的结构决定其功能	(46)
习 题	(52)
第四章 蛋白质分离、纯化和表征	(54)
§ 4.1 蛋白质相对分子质量测定	(54)
§ 4.2 蛋白质性质与蛋白质的沉淀	(57)
§ 4.3 蛋白质的分离纯化	(57)
习 题	(60)
第五章 酶	(61)
§ 5.1 酶催化的特点	(61)
§ 5.2 酶的化学本质及酶的辅助因子	(63)
§ 5.3 酶的命名和分类	(66)
§ 5.4 酶具有高度专一性	(71)

§ 5.5 酶催化过渡态理论.....	(74)
§ 5.6 酶活力的测定.....	(77)
§ 5.7 酶促反应动力学.....	(79)
§ 5.8 酶的抑制作用.....	(86)
§ 5.9 温度、pH 等对酶反应的影响	(93)
§ 5.10 酶的作用机制	(93)
§ 5.11 酶工程简介.....	(102)
§ 5.12 催化抗体(抗体酶).....	(110)
习 题.....	(113)
第六章 维生素与辅酶	(115)
§ 6.1 水溶性维生素	(115)
§ 6.2 脂溶性维生素	(125)
习 题.....	(128)
第七章 糖与糖代谢	(129)
§ 7.1 概述	(129)
§ 7.2 糖的分类	(130)
§ 7.3 糖酵解	(140)
§ 7.4 柠檬酸循环	(148)
§ 7.5 糖代谢其他途径简介	(156)
习 题.....	(164)
第八章 生物氧化——电子传递和氧化磷酸化作用	(165)
§ 8.1 氧化还原电势	(165)
§ 8.2 电子传递和氧化呼吸链	(167)
§ 8.3 电子传递的抑制剂	(170)
§ 8.4 氧化磷酸化作用	(171)
§ 8.5 氧化磷酸化的解偶联和抑制	(173)
习 题.....	(174)
第九章 脂质与生物膜	(175)
§ 9.1 脂质	(175)
§ 9.2 脂肪酸	(176)
§ 9.3 甘油三酯	(180)
§ 9.4 磷脂	(182)
§ 9.5 糖脂	(186)
§ 9.6 类固醇	(188)
§ 9.7 脂蛋白	(190)
§ 9.8 生物膜的组成和性质	(191)
§ 9.9 生物膜的分子结构	(193)
§ 9.10 生物膜的功能和物质运送.....	(195)
§ 9.11 人工模拟膜.....	(198)
习 题.....	(201)

第十章 脂肪酸代谢	(202)
§ 10.1 三酰基甘油的代谢.....	(202)
§ 10.2 脂肪酸的生物合成.....	(206)
习 题.....	(208)
第十一章 氨基酸代谢	(210)
§ 11.1 氨基酸分解代谢.....	(210)
§ 11.2 尿素的形成.....	(213)
§ 11.3 氨基酸碳骨架的代谢.....	(215)
§ 11.4 生糖氨基酸和生酮氨基酸.....	(217)
§ 11.5 由氨基酸衍生的其他重要物质.....	(217)
§ 11.6 氨基酸代谢缺陷症.....	(221)
§ 11.7 必需氨基酸和非必需氨基酸.....	(221)
§ 11.8 氨基酸生物合成途径.....	(222)
§ 11.9 氨基酸是多种生物分子的前体.....	(226)
习 题.....	(230)
第十二章 核酸	(231)
§ 12.1 核酸是生命信息的物质基础.....	(231)
§ 12.2 核酸发展简史.....	(231)
§ 12.3 核酸的种类和功能.....	(236)
§ 12.4 核酸的组成.....	(237)
§ 12.5 核酸分子的结构及表示方法.....	(243)
习 题.....	(245)
第十三章 DNA 的结构	(246)
§ 13.1 DNA 的一级结构	(246)
§ 13.2 DNA 的二级结构	(248)
§ 13.3 DNA 的三级结构	(252)
§ 13.4 DNA 与蛋白质复合物的结构(四级结构)	(254)
习 题.....	(256)
第十四章 RNA 的结构和类型	(258)
§ 14.1 RNA 分子的结构	(258)
§ 14.2 RNA 的类型	(258)
习 题.....	(263)
第十五章 核酸的物理化学性质	(264)
§ 15.1 核酸的分离与纯化.....	(264)
§ 15.2 核酸的紫外吸收.....	(265)
§ 15.3 核酸的沉降特性.....	(266)
§ 15.4 核酸的变性、复性及杂交	(267)
§ 15.5 核酸的水解.....	(270)
习 题.....	(274)

第十六章 核苷酸的代谢和生物合成	(275)
§ 16.1 核酸和核苷酸的分解代谢	(275)
§ 16.2 核苷酸的生物合成	(278)
习 题	(288)
第十七章 DNA 的复制、修复和研究方法	(289)
§ 17.1 DNA 的半保留复制	(289)
§ 17.2 DNA 的半不连续复制	(296)
§ 17.3 DNA 的复制过程	(297)
§ 17.4 DNA 的损伤及修复	(300)
§ 17.5 DNA 的突变	(303)
§ 17.6 DNA 的固相合成	(305)
§ 17.7 DNA 测序	(307)
§ 17.8 聚合酶链式反应(PCR)	(308)
习 题	(310)
第十八章 RNA 的生物合成和加工	(312)
§ 18.1 DNA 指导下 RNA 的合成	(312)
§ 18.2 转录过程的调控	(318)
§ 18.3 RNA 生物合成的抑制剂	(320)
§ 18.4 RNA 的转录后加工	(323)
§ 18.5 RNA 生物功能的多样性	(327)
§ 18.6 RNA 指导下的 RNA 和 DNA 合成	(331)
习 题	(334)
第十九章 蛋白质的生物合成——翻译	(335)
§ 19.1 遗传密码	(336)
§ 19.2 蛋白质的生物合成	(338)
§ 19.3 蛋白质的运输和蛋白质前体的加工	(345)
习 题	(347)
第二十章 DNA 的重组和基因工程	(348)
§ 20.1 DNA 的重组	(349)
§ 20.2 基因工程	(350)
§ 20.3 基因文库和 cDNA 文库	(352)
习 题	(354)
部分习题答案	(355)
附录 与本书有关的历届诺贝尔化学奖获奖者及其主要贡献	(359)
参考文献	(362)

绪 论

近代科学技术的发展带有明显多学科协同促进的性质。当代化学的一个特点就是化学的研究和发展越来越与生命科学挂钩。化学与生命科学的交叉和互相渗透是化学发展的大趋势。化学在分子水平上的研究给予了生命科学不可限量的活力和前景。化学学科的成就推动了生命科学的发展,生命科学的进展又给化学家提出许多问题并推动化学学科的发展。

一、生命科学是 21 世纪推动社会发展的代表性科学

科学领域正在经历一次根本性变革,推动社会发展的代表性科学正在从信息科学转化为与每个人的生活都密切相关的生命科学。当代的“知识爆炸”正在使迅速发展的生命科学走向世界科学发展的中心舞台。

以基因重组技术为代表的一批科研成果,标志着生命科学研究进入了一个崭新的时代。人们研究生命科学从宏观向微观发展,从分子水平研究生命现象,可以从更新的高度揭示生命的奥秘。基因重组成为人类改造物种、改变遗传过程中的一个崭新技术。1990 年启动的人类基因组计划(Human Genome Project)是 20 世纪生物领域最大胆、最富想象力的研究计划之一。生命科学的发展已开始向人类自身提出挑战。1997 年 2 月公布克隆羊,继而是克隆牛、鼠、猴、猪、猫和兔等。克隆时代正冲击着科学、社会伦理、道德、法律和人体本身。我国卫生部表态,在任何条件下都不允许、不接受生殖性克隆,即克隆人试验,但是人类已有了“上帝之手”。世界各国一方面禁止生殖性克隆人的研究,但另一方面也在进行具有医疗用途的克隆技术以造福人类。

发展中的生命科学正在开始改变传统的农业、畜牧业、医疗,以至人类自己。转基因产品的出现是农业生产中的一场革命。转基因食品就是把动植物的基因加以改变,制造出具备新特征的食品种类。与常规的育种比较,它的基因来源更广泛,既可以把动物基因放到植物中,也可以把微生物的基因放到植物中,甚至可以把人的基因放到植物中,人为创造新物种。1983 年世界第一株转基因植物诞生,人类开始有了一双创造新生物的“上帝之手”。到 2002 年,世界上已有 50 多个国家开展转基因植物田间试验,已涉及 60 多种植物。为此,每个国家都要制定自己的转基因食品的政策,每个人也都要决定自己对转基因食品的取舍。我国成功研制的抗虫棉,是把细菌中具有 的杀虫蛋白基因转移到棉花中,从而达到杀虫和驱避棉铃虫的目的。带各种颜色棉花的培育也将从根本上改变纺织工业。我国已批准商品化的与食品有关的转基

因产品有保鲜番茄、抗病毒番茄、抗病毒甜椒等几个品种。我国每年进口的大豆绝大多数是转基因大豆,从中提取的大豆油是否食用,每个人都要有自己的选择。另外,抗乙肝西红柿、治血友病的牛奶、含生长激素的牛奶等一些转基因植物和动物药品的出现,也正在改变着传统的制药工业。

已知的人类疾病有 3 万种左右,而目前药物可控制和改善的疾病只有约 150 种。未能控制和改善的疾病大多数与基因有关,每一种疾病大约涉及 5~10 个基因。人类基因组“工作框架图”计划完成后,人们的研究重点转向后基因组计划。从序列基因转移到结构基因和功能基因,将给结构生物学、蛋白质化学和糖化学提出更多的课题。后基因组计划的实施将发现一批功能基因和对研究新药具有指导作用的药用基因。致病基因的确认有助于展开对人体各种疾病的全面大搜索,进而开始基因诊断、基因疗法和基因药物的开发。生物大分子研究水平的提高,必将影响到化学学科的发展,使人们从分子水平了解生命现象的本质,揭示生命科学的奥秘。研究对新药具有指导作用的药物基因,使人类征服癌症、艾滋病(AIDS)等疑难病症加快了日程。人的寿命延长到 150 岁也不是不可能的了。

二、与生命现象相结合是化学发展的一个方向

生命运动的基础是生物体内物质分子的化学运动。生命化学既要研究天然产物或代谢产物的结构解析和全合成,又要研究体内和体外发生的化学过程及它们的模型体系。生物大分子的生理功能是由其结构特点决定的,可以视为分子所具有的广义物化性质的延伸。

化学学科的成就推动了生命科学的发展,生命科学的进展又含有众多化学家的研究成果。结构与功能的关系是生物大分子研究的基础,生物大分子结构研究是目前结构化学的重要研究课题。1953 年 DNA 双螺旋结构分子模型的提出,为从分子水平研究重要生物大分子的结构奠定了“分子生物学”的基础。截至 1998 年,国际生物大分子精细结构数据库中,蛋白质、肽、病毒的三维结构有 6617 个,核酸 536 个,糖 12 个。结构化学不但研究晶体结构,还用高分辨核磁技术研究蛋白质在溶液中的构象,这直接与蛋白质的生理功能相关。疯牛病发病机理的研究表明,疯牛病是牛脑组织中的蛋白由病毒引起立体结构的改变(虽然牛脑蛋白质的氨基酸顺序并没有改变)。1985 年发明的聚合酶链式反应(PCR),使分子生物学在技术上有了一个突破和发展。PCR 能在一个试管内将所要研究的目的基因或某一 DNA 片段于数小时内扩增至十万乃至百万倍,使肉眼能直接观察和判断。可从一根毛发、一滴血,甚至一个细胞中扩增至足量的 DNA 供分析研究和检测鉴定。化学家在大量研究多肽合成和寡核苷酸的基础上,发明了多肽合成仪和 DNA 自动合成仪,使多肽合成和寡聚核苷酸合成成为研究生命科学的常规技术。在此基础上使具有各种生物功能的多肽、简单蛋白质以及 DNA 片段被合成,使用基因重组进行改造的物种和遗传改变的研究工作成为可能。许多在化学中常见的小分子的出色生理功能的发现,使它们再度成为研究热点。如硝酸甘油能缓解心绞痛的机理困惑人们 100 年后,才由于发现 NO 能使血管扩张,是一种传递神经信息的“信息分子”而得到解释。NO 分子的研究又引起人们的重视。

生命科学的发展不断给化学家提出新的问题,需要有更多的化学基础研究成果,从而不断推动化学学科的发展。化学发展的分子工程学的任务是按所需要的性能设计分子并合成分子。从基因工程到蛋白质工程,都是比较系统而典型的分子工程,都需要化学发展的贡献。目前《化学文摘》(CA)摘录的文章一半以上都与生命科学有关。近年的诺贝尔化学奖几乎一多

半都给予了研究生命科学的化学家。化学与生命科学的交叉与相互渗透是化学学科发展的大趋势,并不断促进新体系、新学科的出现,如分子生物学、结构生物学、免疫化学、基因药物学、生物有机、生物无机、生物大分子结构、酶化学、仿生化学、膜工程、蛋白质化学、糖工程和化学生物等。

三、生命科学的发展需要更多化学家参与

生命科学是 21 世纪的带头学科,但生命科学的发展离不开化学学科的支持。化学研究已揭示,生命现象的种种表现的背后都存在着共同的分子模式和原理。不管人和大肠杆菌有多大差别,在分子水平上却有很多共同点:蛋白质的基本氨基酸组成相同,构成大分子的构造单元相同,遗传信息传递都是从 DNA 经 RNA 再到蛋白质,在代谢过程中都是以 ATP 为能量转换的通用货币。三羧酸循环等中心代谢的化学途径,蛋白质分子的三维结构,遗传密码, DNA 双螺旋结构等生命中心过程的化学基础的阐明,都是生命科学发展的突出成就。生命科学的神秘色彩只有进入分子水平才开始被揭开,才能不断向前发展。分子水平的研究已给予生命科学不可限量的活力和前景。

生命科学的发展更需要化学学科的进一步发展和突破。传统的化学对小分子间的反应研究较多,反应相对简单、快速。而生命科学中却多是大分子与大分子或大分子与小分子之间的反应,反应速度较慢且复杂,不仅有化学键的断裂、组合及重排,而且涉及如氢键、偶极作用及范德华力等弱相互作用,并关系到分子复杂的结构变化。小分子反应是无序碰撞反应,大分子反应可能是有序反应,涉及高级结构重组、能量传递、信号分子传递等新变化。化学家必须在过去不熟悉的领域,建立大分子与大分子、大分子与小分子间相互作用复杂慢过程的监测、跟踪、定性、定量及理论计算的技术、方法和理论。生物大分子的三维结构信息为成功的药物合理设计奠定了基础,可大大减少药物研制的化学和生物筛选的工作量,提高新药发现的概率,更多更好地进行新药的开发和研制工作。

在研究生命科学的出发点上,化学和生物学是不同的。生物学是从生物整体到器官,再到细胞;而化学则从原子组成的分子出发研究细胞,进而到生物体,即从微观到宏观对生命过程的奥秘进行研究。现已发现生物体的行为并非简单的分子行为,也非简单地由分子的结构所决定。在分子以上、细胞以下这个结构层次是生物学和化学研究的交汇区,尚有大量不解之谜。这个区域存在着多个分子依靠分子间弱相互作用组装或聚集成具有有序高级结构的分子聚集体。如从化学研究的膜分子到生物学认为的细胞膜,包含着从膜分子层次到细胞膜的飞跃。在这个层次中反应是由细胞中的微环境所决定的,反应是定位的,只有在新的化学技术、方法和理论的指导下才能取得研究成果。

生物体系中的化学反应都是由酶催化的,一般在几毫秒甚至几微秒时间内,在温和的条件下,完成分子的构象转变,共价键、非共价键的形成和断裂,把底物转变成生成物,在代谢中产生、转化和储存能量。这些都是目前化学家在了解、研究、模仿和学习的课题。化学一直在向着分子工程学的方向发展,是要按所需性能设计分子,进而合成分子。化学在这方面已有很大进展,但生命科学从基因工程到蛋白质工程却正在带动化学的分子工程学的进一步发展。化学必将在研究生命科学中得到突破性的发展,生命科学的发展也需要有越来越多的化学家参加。

§ 1.1 氨基酸概述及其结构特点

自然界存在的各种蛋白质,从细菌到人,都是由 20 种基本氨基酸(amino acid)所组成,这些氨基酸都是 L 型 α -氨基酸(脯氨酸为 α -亚氨基酸)。

一、氨基酸是蛋白质的基本结构单位

蛋白质被酸、碱或蛋白酶催化完全水解得到各种氨基酸的混合物。

(1) **酸水解得 17 种氨基酸**:在氮气保护下将蛋白质样品加入 6 mol/L 盐酸溶液中,于 105~110℃ 水解 24 小时,可得到 17 种 L-氨基酸,但色氨酸完全被破坏,然后过滤、脱色,调 pH 6~7,冷冻干燥得样品。用氨基酸分析仪进行分析,20 种基本氨基酸中可分离得到 17 种和 NH_3 (天冬酰胺和谷氨酰胺中酰胺水解脱氨基,变成天冬氨酸和谷氨酸),且基本不消旋。其中丝氨酸及苏氨酸(羟基氨基酸)可能有一小部分分解。

(2) **碱水解得色氨酸**:将蛋白质加入 10% 氢氧化钾水溶液中,置于 $40 \pm 1^\circ\text{C}$ 培养箱中水解 16~18 小时。碱性条件下多数氨基酸被破坏并消旋,但可以得到色氨酸。

(3) **酶水解**:一般情况下,蛋白质在中性 pH、酶最适温度下水解,不消旋也不破坏氨基酸。用一种蛋白酶不能使蛋白质水解彻底,需要几种酶协同作用才能使蛋白质完全水解。常用的蛋白酶有胰蛋白酶、胰凝乳蛋白酶和胃蛋白酶等。酶水解主要是用于蛋白质的部分水解,水解位点特定,得到的蛋白质片段用于进行蛋白质的一级结构分析。

二、氨基酸的结构特点

20 种基本氨基酸中有 19 种氨基酸是 α -氨基酸,只有脯氨酸是 α -亚氨基酸,它的 α -碳上连接的是亚氨基。 α -氨基酸的 α -碳原子上连有一个伯氨基($-\text{NH}_3^+$)、一个羧基($-\text{COO}^-$)、一个氢原子和一个可变的 R 侧链(或称为 R 基)。这四个不同基团按照四面体方向分布,且 R 不属于任一天然系列化合物。除甘氨酸外, α -氨基酸分子都应该存在着 D-构型和 L-构型两种不同的异构体,参与天然蛋白质组成的仅为 L-氨基酸。D-氨基酸在自然界很少见,但在细菌细胞壁和一些抗体中存在。L-构型的 α -氨基酸的结构通式表示如下:



氨基酸在中性 pH 时,羧基离解成 COO^- (在酸性溶液中,如 $\text{pH}=1$ 时才全变成 COOH),带负电荷;氨基质子化成 NH_3^+ (在碱性溶液中,如 $\text{pH}=11$ 时才全变成 NH_2),带正电荷。氨基酸在晶体或水中主要是以兼性离子(zwitter ion)或称偶极离子(dipolar ion)的形式存在。氨基酸晶体的熔点很高,一般在 200°C 以上,均为白色结晶。每一种氨基酸都有特殊的结晶形状,除酪氨酸和由两个半胱氨酸形成的胱氨酸外,一般在水中都有一定的溶解度。

§ 1.2 常见蛋白氨基酸、不常见蛋白氨基酸和非蛋白氨基酸

生物体内已发现氨基酸有 180 种,可被分为常见蛋白质氨基酸、不常见蛋白质氨基酸和非蛋白氨基酸。常见蛋白质氨基酸(即基本氨基酸)共 20 种,这 20 种氨基酸在自然界至少已存在了 20 亿年。这 20 种氨基酸可产生复杂的、变化多端的三维结构,是蛋白质参加如此众多生物过程的基础。在某些蛋白质中还存在一些不常见的氨基酸,它们是在蛋白质生物合成后,在已合成的肽链上由常见的氨基酸残基经专一酶催化、经化学修饰转化而来的。另外,在各种组织和细胞中还发现了非蛋白氨基酸,有一些是 β 、 γ 或 δ -氨基酸,也有一些是 D-氨基酸。

一、常见的蛋白质氨基酸

20 种常见蛋白质氨基酸在结构上由于 R 侧链的不同而具有不同的物理化学性质,R 侧链的大小、形状、电荷、形成氢键能力和化学活性都有差异。按侧链 R 基不同,可对常见蛋白质氨基酸进行分类。为使用方便,每个氨基酸常用三个字母或单字母简写表示,如丙氨酸可缩写成 Ala 或 A,脯氨酸缩写成 Pro 或 P。在写长序列氨基酸组成时单字母符号则更常用。

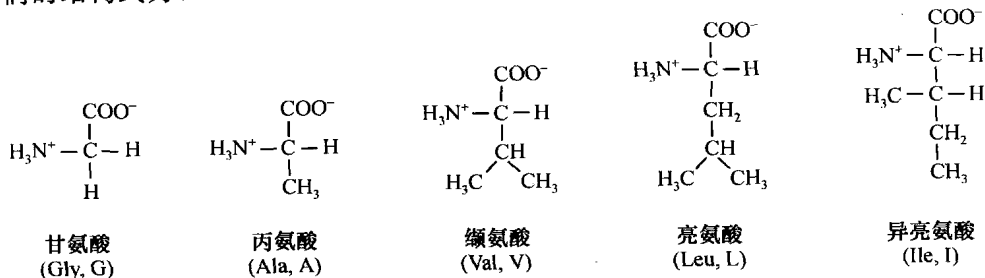
1. 按 R 基化学结构不同分类

(1) 脂肪族氨基酸 15 个

① 中性脂肪族氨基酸 5 个

中文名	英文名	化学名称	三字母符号	单字母符号	备注
甘氨酸	Glycine	L-氨基乙酸	Gly	G	无旋光
丙氨酸	Alanine	L- α -氨基丙酸	Ala	A	
缬氨酸	Valine	L- α -氨基- β -甲基丁酸	Val	V	
亮氨酸	Leucine	L- α -氨基- γ -甲基戊酸	Leu	L	
异亮氨酸	Isoleucine	L- α -氨基- β -甲基戊酸	Ile	I	

它们的结构式为:

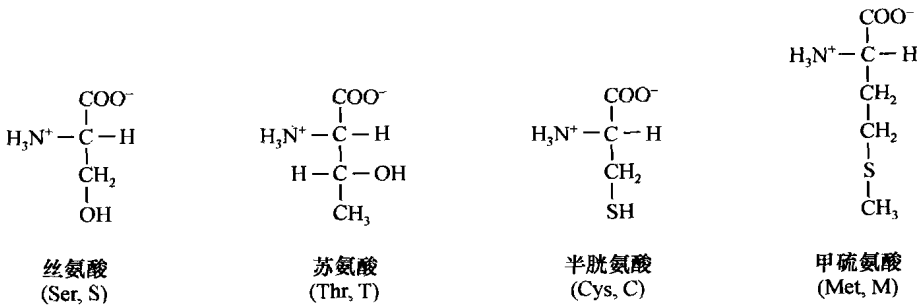


甘氨酸是最简单的氨基酸,侧链为一个 H 原子。丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸和异亮氨酸的 R 侧链分别为甲基、异丙基、异丁基、仲丁基,都是疏水性氨基酸,R 基均不活泼。

② 含羟基或含硫的氨基酸 4 个

中文名	英文名	化学名称	三字母符号	单字母符号	备 注
丝氨酸	Serine	L-α-氨基-β-羟基丙酸	Ser	S	蚕丝中多
苏氨酸	Threonine	L-α-氨基-β-羟基丁酸	Thr	T	
半胱氨酸	Cysteine	L-α-氨基-β-巯基丙酸	Cys	C	氧化为胱氨酸
甲硫氨酸	Methionine	L-α-氨基-γ-甲硫基丁酸	Met	M	代谢过程甲基供体

结构式为:

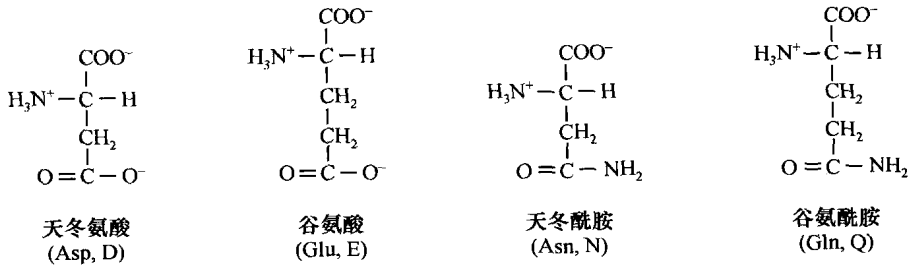


丝氨酸和苏氨酸的 R 侧链含羟基。甲硫氨酸和半胱氨酸的 R 侧链都含一个硫原子,甲硫氨酸又称蛋氨酸,侧链不活泼;半胱氨酸侧链上的一SH 活泼,在蛋白质中常以其氧化型的形式——胱氨酸(cystin(e))存在。两个半胱氨酸可被氧化形成一个二硫键,生成一个难溶于水的胱氨酸,在某些蛋白质中起着特殊的作用。

③ 酸性氨基酸及其酰胺 4 个

中文名	英文名	化学名称	三字母符号	单字母符号	备 注
天冬氨酸	Aspartic acid	L-α-氨基丁二酸	Asp	D	
谷氨酸	Glutamic acid	L-α-氨基戊二酸	Glu	E	
天冬酰胺	Asparagine	L-α-氨基丁二酸一酰胺	Asn	N	在生理 pH 范围内,侧链均不带电荷
谷氨酰胺	Glutamine	L-α-氨基戊二酸一酰胺	Gln	Q	

结构式为:

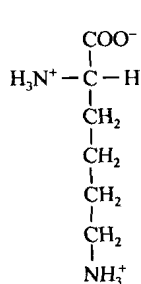


天冬氨酸和谷氨酸的 R 侧链在生理条件下是带负电荷的,它们不带电荷的衍生物是天冬酰胺和谷氨酰胺,末端为酰胺基,而不是一个羧酸根。

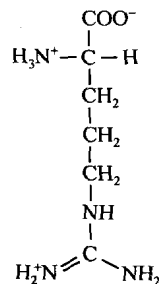
④ 碱性氨基酸 2 个

中文名	英文名	化学名称	三字母符号	单字母符号	备 注
赖氨酸	Lysine	L- α , ϵ -二氨基己酸	Lys	K	
精氨酸	Arginine	L- α -氨基- δ -胍基戊酸	Arg	R	蛋白代谢中重要

结构式为:



赖氨酸
(Lys, K)



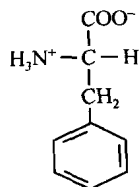
精氨酸
(Arg, R)

赖氨酸和精氨酸在生理条件下带正电荷。

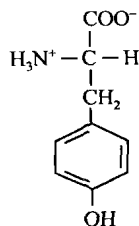
(2) 芳香族氨基酸 3 个

中文名	英文名	化学名称	三字母符号	单字母符号	备 注
苯丙氨酸	Phenylalanine	L- α -氨基- β -苯基丙酸	Phe	F	用于苯丙酮尿症诊断
酪氨酸	Tyrosine	L- α -氨基- β -对羟基苯基丙酸	Tyr	Y	
色氨酸	Tryptophan	L- α -氨基- β -吲哚基丙酸	Trp	W	体内可转变为尼克酸

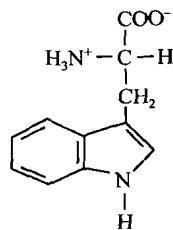
结构式为:



苯丙氨酸
(Phe, F)



酪氨酸
(Tyr, Y)



色氨酸
(Trp, W)

苯丙氨酸、酪氨酸和色氨酸的 R 侧链上的芳香环是疏水性的,在紫外区有强的光吸收,在生理条件下都不带电荷。