

图表生物化学

■ 陈栋梁 主编



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

图表生物化学

主 编 陈栋梁

副主编 余承高



科学技术文献出版社
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

图表生物化学/陈栋梁主编. -北京:科学技术文献出版社,2014.5

ISBN 978-7-5023-8690-0

I. ①图… II. ①陈… III. ①生物化学—图表 IV. ①Q5-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 031471 号

图表生物化学

策划编辑:薛士滨 责任编辑:薛士滨 刘 欣 责任校对:张燕育 责任出版:张志平

出 版 者 科学技术文献出版社
地 址 北京市复兴路 15 号 邮编 100038
编 务 部 (010)58882938, 58882087(传真)
发 行 部 (010)58882868, 58882874(传真)
邮 购 部 (010)58882873
官 方 网 址 www.stdp.com.cn
发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销
印 刷 者 北京金其乐彩色印刷有限公司
版 次 2014 年 5 月第 1 版 2014 年 5 月第 1 次印刷
开 本 889×1194 1/16
字 数 1083 千
印 张 39.25
书 号 ISBN 978-7-5023-8690-0
定 价 158.00 元



版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

作者名单

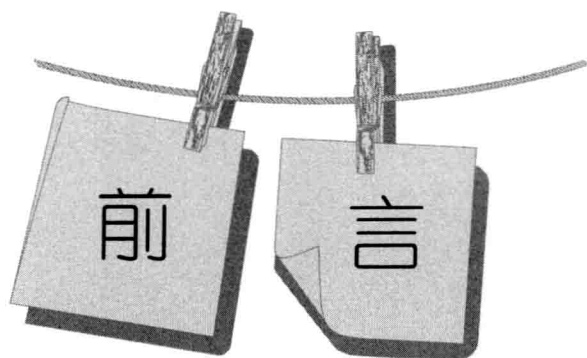
主 编 陈栋梁

副主编 余承高

编 委 饶邦福 莫朝晖 袁宏丽 陈继武

陈曦 刘翔 刘莉 周安康

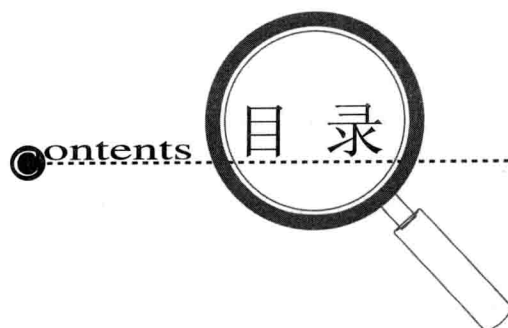
成静 张阳 罗冰清



生物化学是医药院校以及农学、师范等院校中重要的基础理论课程。我们在教学和科研工作中体会到,总结性图表具有提纲挈领、概括性强,条理分明、逻辑性强,对比分析、融会贯通,直观形象、容易理解,启发思维、培养能力,简明概要、便于记忆等特点。我们把总结性图表运用到教学中,收到了较好的效果,有利于提高教学质量,培养具有创新精神和创新能力的高级人才。

我们采用总结性图表的模式编写这本教材或教学参考书,形象生动地表达出生物化学的基本理论和基本知识,图文并茂,易于读者学习和理解,也可供教师教学参考。在编写过程中我们参阅和借鉴了国内外一些同类图书的编写经验,在此向这些编者表示敬意和感谢。由于我们的水平有限,如有遗漏和错误之处,敬请广大生物化学界同仁和读者批评指正。

陈栋梁
武汉肽类物质研究所
2013年10月



绪论	1
第一章 蛋白质的结构与功能	7
第一节 蛋白质的分子组成	10
第二节 蛋白质的分子结构	23
第三节 蛋白质的结构与功能的关系	34
第四节 蛋白质的理化性质	41
第五节 蛋白质的分离、纯化与结构分析	44
第二章 核酸的结构与功能	50
第一节 核酸的化学组成及一级结构	53
第二节 DNA 的结构与功能	59
第三节 RNA 的结构和功能	69
第四节 核酸的理化性质	76
第五节 核酸酶与核酶	80
第三章 酶	85
第一节 酶的分子结构与功能	88
第二节 酶的工作原理	93
第三节 酶促反应动力学	99
第四节 酶的调节	109
第五节 酶的分类与命名	116
第六节 酶与医学的关系	118
第四章 糖代谢	122
第一节 概述	124
第二节 糖的无氧氧化	128
第三节 糖的有氧氧化	134

第四节 葡萄糖的其他代谢途径	142
第五节 糖原的合成与分解	146
第六节 糖异生	151
第七节 其他单糖的代谢	157
第八节 血糖及其调节	159
第五章 脂类代谢	165
第一节 概述	168
第二节 三酰甘油代谢	175
第三节 磷脂代谢	191
第四节 胆固醇代谢	199
第五节 血浆脂蛋白代谢	206
第六节 脂类代谢与医学	213
第六章 生物氧化	219
第一节 概述	221
第二节 生成 ATP 的氧化磷酸化的体系	224
第三节 其他氧化体系	244
第四节 生物氧化与医学	247
第七章 氨基酸代谢	250
第一节 蛋白质的营养作用	252
第二节 蛋白质的消化、吸收与腐败	255
第三节 氨基酸的一般代谢	258
第四节 氨的代谢	264
第五节 个别氨基酸的代谢	269
第六节 氨基酸代谢与医学	279
第八章 核苷酸代谢	285
第一节 嘌呤核苷酸的代谢	287
第二节 嘧啶核苷酸的代谢	294
第三节 核苷酸代谢的临床生化问题	301
第九章 物质代谢的联系与调节	305
第一节 物质代谢的特点	306
第二节 物质代谢的相互联系	315
第三节 体内重要组织、器官的代谢特点及联系	322
第四节 代谢调节方式	323
第十章 DNA 的生物合成(复制)	333
第一节 复制的基本规律	336
第二节 DNA 复制的酶学和拓扑学变化	340
第三节 DNA 的生物合成过程	348
第四节 逆转录和其他复制方式	357





第五节 DNA 损伤(突变)与修复	361
第十一章 RNA 的生物合成(转录)	369
第一节 转录的模板和酶	372
第二节 原核生物的转录过程	377
第三节 真核生物的 RNA 的生物合成	381
第四节 真核生物 RNA 的加工	386
第十二章 蛋白质的生物合成(翻译)	396
第一节 蛋白质生物合成体系	398
第二节 蛋白质的生物合成过程	406
第三节 蛋白质翻译后修饰和靶向输送	415
第四节 蛋白质生物合成的干扰和抑制	422
第十三章 基因表达调控	427
第一节 基因表达调控的基本概念和原理	430
第二节 原核基因表达调节	436
第三节 真核基因表达调节	443
第四节 基因组学与医学	452
第十四章 基因重组与基因工程	456
第一节 自然界 DNA 重组和基因转移	458
第二节 重组 DNA 技术	463
第三节 重组 DNA 技术与医学的关系	471
第十五章 细胞信号转导	473
第一节 细胞信号转导概述	475
第二节 主要信号转导途径	489
第三节 细胞信号转导与医学	499
第十六章 血液生化	502
第一节 血液及血浆主要的蛋白质	503
第二节 血液凝固	507
第三节 血细胞代谢	513
第四节 血液生化与医学	522
第十七章 肝脏生化	524
第一节 肝在物质代谢中的作用	526
第二节 肝的生物转化作用	530
第三节 胆汁与胆汁酸的代谢	536
第四节 胆色素的代谢与黄疸	542
第十八章 维生素与无机物	550
第一节 维生素	551
第二节 无机物	565



第十九章 糖蛋白、蛋白聚糖和细胞外基质	571
第一节 糖蛋白	573
第二节 蛋白聚糖	577
第三节 细胞外基质	581
第二十章 癌基因、抑癌基因与生长因子	588
第一节 癌基因	590
第二节 抑癌基因	595
第三节 生长因子	597
第二十一章 常用分子生物学技术的原理及其应用	601
第一节 常用分子生物学技术的原理	604
第二节 基因诊断与基因治疗	613



绪 论

一、生物化学

生物化学(biochemistry)是研究生物体内化学分子与化学反应的科学,从分子水平探讨生命现象的本质。生物化学的研究简史见表 0-1,当代生物化学的主要研究内容见表 0-2。

表 0-1 生物化学的研究简史

阶段划分	时 期	主要研究内容及成果
叙述生物化学	18 世纪中~20 世纪初	生物体的化学组成
动态生物化学	20 世纪初~20 世纪中叶	物质代谢途径
功能生物化学	20 世纪后半叶以来	分子生物学

表 0-2 当代生物化学的主要研究内容

研究内容	说 明
(1)生物分子的结构与功能(化学分子)	主要研究蛋白质、核酸、多糖、蛋白聚糖和复合脂类等生物大分子的结构和功能
(2)物质代谢及其调节(化学分子)	研究物质代谢途径、物质代谢有序性调节的分子机制、细胞信号转导的机制及网络
(3)基因信息传递及其调控(分子生物学)	研究 DNA 的结构与功能,DNA 复制、基因转录、蛋白质生物合成等基因信息传递过程的机制及基因表达的时空规律等

近代生物化学和分子生物学的主要成就见表 0-3 和表 0-4。

表 0-3 有关生物化学与分子生物学研究的诺贝尔化学奖

获奖年代	获奖者	业 绩
1952 年	Archer JP Martin 和 Richard LM Syngé	发明分配层析
1957 年	Alexander R. Tóó	核苷酸和核苷酸辅酶的研究
1958 年	Frederick Sanger	胰岛素序列测定
1962 年	Max F. Perutz 和 John C. Kendrew	阐明了血红蛋白和肌红蛋白的三维结构
1964 年	Dorothy Crowfoot Hodgkin	用 X 射线技术测定重要生物物质的结构
1970 年	Louis F. Leloir	核糖核苷酸的发现及其在糖类生物合成中的作用

获奖年代	获奖者	业 绩
1972 年	Christian B. Anfinsen	核糖核苷酸酶的研究, 提出蛋白质分子氨基酸序列与生物活性, 构象间的联系
1975 年	John Warcup Cornforth	酶催化反应的立体化学
1978 年	Peter Mitchell	用化学渗透学说说明生物膜上的能量转换
1980 年	Paul Bergr Waler Gilbert 和 Frederick Sande	关于核酸化学, 重组 DNA 的研究 测定 DNA 的碱基序列
1982 年	Aaron Klug	开发了结晶学的电子显微镜技术, 测定核酸蛋白质复合物的立体结构
1983 年	Henry Taube	电子传递的反应机制, 尤其是金属复合体
1984 年	Robert Brucl Merrifield	建立和发展了极简便的蛋白质固相化学合成方法
1988 年	Johann Deisenhofer 等	分析了光合反应中心的三维结构
1989 年	Sidney Altman 和 Thomas R. Cech	发现 RNA 自身具有催化功能
1993 年	Kary B. Mullis Michael Smith	发明聚合酶链反应(PCR) 建立 DNA 合成用于定点诱变研究
1997 年	Paul D. Boyer 和 John E. Walker Jens C. Skou	阐明 ATP 酶促成合成机制 输送离子的 Na^+ , K^+ -ATP 酶的发现
2002 年	John B Fenn, Koichi Tanaka 和 Kurt Wathrich	开拓发展了利用核磁共振测定生物大分子三维结构的方法
2003 年	Roderick Mackinnon 和 Peter Agre	在细胞膜水通道及离子通道和机制方面做出的开创性贡献
2004 年	Hershko, Ciechanover 和 Rose	发现了泛素调节的蛋白质降解
2006 年	Roger D. Kornberg	真核转录的分子基础研究

表 0-4 有关生物化学与分子生物学研究的诺贝尔生理学或医学奖

获奖年代	获奖者	业 绩
1931 年	Warburg	发现呼吸酶的性质和作用方式
1947 年	C. Cori 和 G. Cori	发现糖代谢中的酶促反应
1953 年	Hans A. Krebs Fritz A. Lipmann	发现三羧酸循环 发现辅酶 A 及其在中间代谢中的重要性
1955 年	A. H. Theorell	发现氧化酶的作用性质和作用方式
1958 年	George W. Beadle 和 Edward L. Tatum Joshua Lederberg	发现生物体内的一切生化反应都由基因调控 发现细菌中遗传物质的基因重组
1959 年	Severo Ochoa 和 Arthur Kornberg	发现 RNA 和 DNA 生物合成机制
1962 年	Francis H. C. Crick, James D. Watson 和 Maurice H. F. Wilkins	发现核酸的分子结构(DNA 双螺旋)与遗传信息的传递
1964 年	Konard Bloch 和 Feoder Lynen	发现胆固醇和脂肪酸合成的机制和调节





续表

获奖年代	获奖者	业 绩
1965 年	Francois Jacob, Andre Lwoff 和 Jacques Monod	乳糖操纵子结构与调控
1968 年	Robert W. Holley, Har G. Khorana 和 Marshall W. Nirenberg	阐明蛋白质生物合成中遗传密码的作用
1971 年	Earl W. Sutherland	发现 cAMP 第二信使及激素作用机制
1972 年	Gerald M. Edelman 和 Rodney R. Porter	抗体的化学结构和功能的研究
1975 年	David Baltimore, Renato Dulbecco 和 Howard M. Temin	肿瘤病毒和细胞遗传物质之间的相互作用, 提出前病毒理论
1977 年	Roger Guillemin 和 Andrew V. Schally Rosalyn S. Yalow	发现下丘脑多肽的激素生成; 建立多肽激素的放射免疫测定法
1978 年	Werner Arber, Daniel Nathans 和 Hamilton O. Smith	限制性核酸内切酶的发现及在分子遗传学中的应用
1982 年	Sun K. Bergstrom, Bengt I. Samuelsson 和 John R. Vane	发现前列腺素和相关活性物质
1983 年	Barbara Mc Clintock	发现移动基因
1984 年	N. K. Jerne	确立免疫抑制机制的理论, 单克隆抗体的研究
1985 年	Michael S. Brown 和 Joseph L. Goldstein	胆固醇代谢的调节及与此有关的疾病研究
1986 年	Stanley Cohen 和 Rita Levi-Montalcini	发现神经生长因子及上皮细胞生长因子
1987 年	Susumu Tonegawa	免疫球蛋白基因重排, 抗体多样性遗传原理
1988 年	James W. Back, Gertrude B. Elion 和 George H. Hitchings	发现药物治疗的重要原则
1989 年	Harold E. Varmus 和 J. Michael Bishop	发现逆转录病毒癌基因源于细胞基因, 即所谓原癌基因
1990 年	Murray 等	从事对人类器官和细胞移植技术和研究
1992 年	Edmond H Foscher 和 Edwin G. Krebs	发现蛋白质可逆磷酸化是一种生物调控机制
1993 年	Richard J. Roberts 和 Phillip A. Sharp	断裂基因的发现
1994 年	Alfred G. Gilman 和 Martin Rodbell	发现 G 蛋白及其在信号传导中的作用
1995 年	Edward B. Lewis 等	发现早期胚胎发育的遗传调控, 利用果蝇作为实验系统, 同样适用于高等动物包括人的遗传机制
1996 年	Peter C. Doherty 和 Rolf M. Zinkernagel	细胞介导的免疫防御的特异性
1997 年	Stanley B. Prusiner	感染性蛋白质 Prion 的发现
1998 年	Robert G. Gurchgott, Louis H. Ignarro 和 Ferid Murad	发现 NO 信号分子
1999 年	Gunter Blobel	蛋白质有内部信号支配其运输和细胞定位
2000 年	Arvid Carlsson, Paul Greengard 和 Eric R. Kandel	神经系统的信号传导
2001 年	Leland H. Hartwell, Paul M. Nurse 和 Timothy Hunt	细胞周期中的关键调节因子
2002 年	Sydney Brenner, H Robert Horvitz 和 John E. Solston	器官发育和细胞凋亡的遗传调控机制

续表

获奖年代	获奖者	业绩
2006 年	Andrew Z. Fire, Craig C. Mello	发现 RNA 干扰——用双链 RNA 使基因沉默
2007 年	Marior R. Capecchi, Oliver Smithies 和 Martin H. Evans	为胚胎干细胞、基因靶向技术的实际应用做出奠基性贡献

二、生物化学中常见的一些基本知识

(一)细胞是机体的基本结构和功能单位

典型动物细胞的结构见图 0-1,原核细胞与真核细胞比较见表 0-5,细胞的分子组织层次见图 0-2。

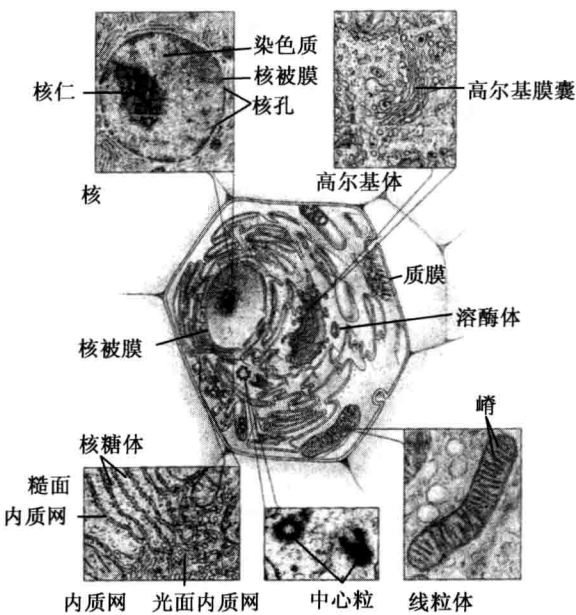


图 0-1 典型动物细胞基本结构成分示意图

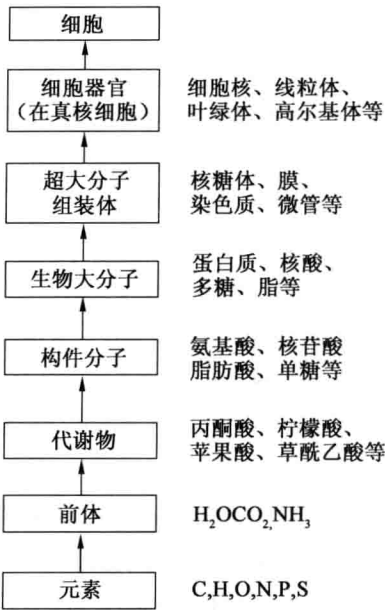


图 0-2 细胞的分子组织层次

表 0-5 原核细胞与真核细胞的主要差别

要点	原核细胞	真核细胞
大小	大多数很小(1~10 μ m)	大多数较大(10~100 μ m)
细胞核	无膜包围,称为拟核	有双层膜包围
染色体形状	环状 DNA 分子	核中的为线性 DNA 分子,线粒体和叶绿体中的为环状 DNA 分子
数目	一个基因连锁群	两个或多个基因连锁群
组成	DNA 裸露或结合少量蛋白质	核 DNA 同组蛋白结合,线粒体和叶绿体中的 DNA 裸露
DNA 序列	无或很少重复序列	有重复序列
基因表达	RNA 和蛋白质在同一区间合成	RNA 在核中合成和加工,蛋白质在细胞质中合成
细胞分裂	无丝分裂	有丝分裂或减数分裂



续表

要点	原核细胞	真核细胞
内膜	无独立的内膜	有,分化成细胞器
细胞骨架	无	普遍存在
运动细胞器	由鞭毛蛋白丝构成简单鞭毛	由微管构成纤毛和鞭毛
呼吸作用和光合作用	质膜	线粒体和叶绿体(植物)
酶的分布		
核糖体	70 S(50 S+30 S)	80 S(60 S+40 S)
营养方式	吸收,有的行光合作用	吸收,光合作用,内吞
细胞壁	肽聚糖,蛋白质,脂多糖,脂蛋白	植物细胞具有纤维素壁

(二)代谢概况

物质代谢概况见图 0-3,物质的分解与合成代谢概况见图 0-4。

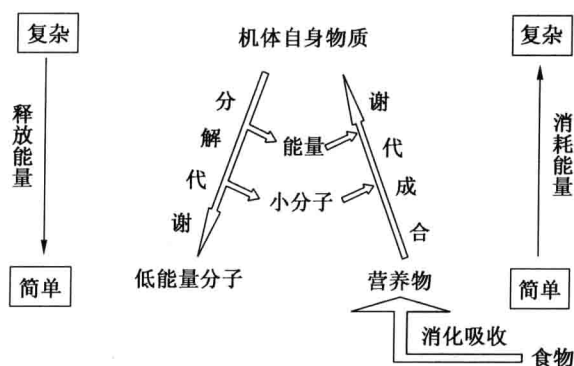


图 0-3 物质代谢概况示意图

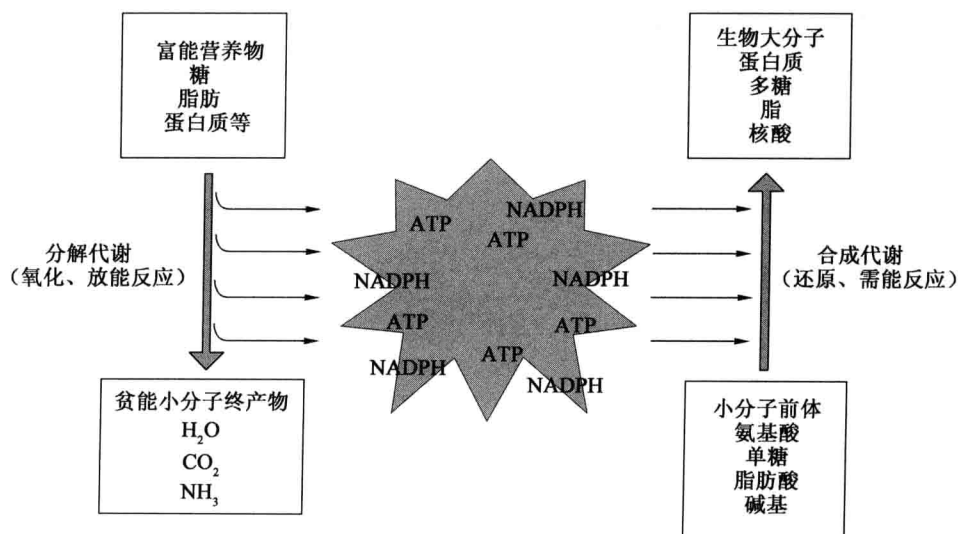
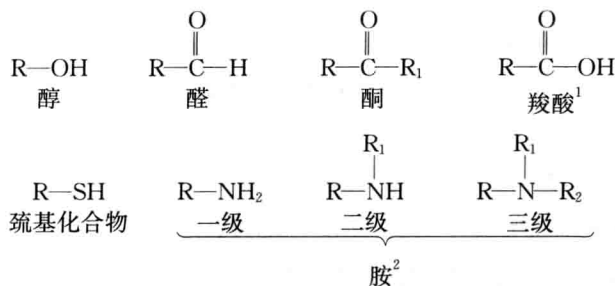


图 0-4 分解代谢和合成代谢

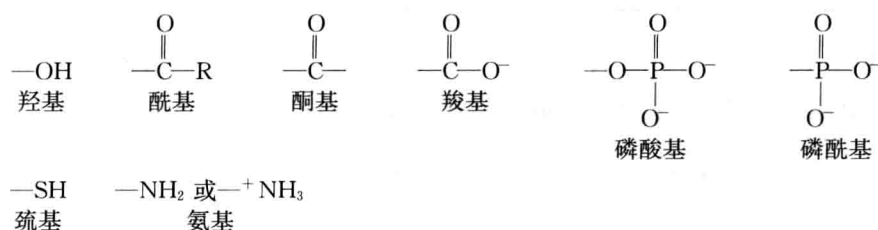
(三)生物化学中常见的一些有机化合物、反应官能团和常见化学键的类型见表 0-6

表 0-6 生物化学中常见的一些有机化合物、反应官能团和常见化学键的类型

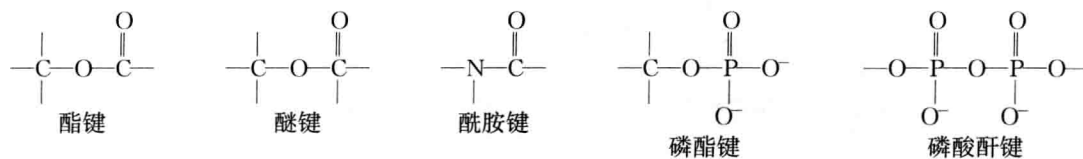
(a)有机化合物



(b)官能团



(c)化学键



①在大多数条件下,羧酸表示为解离状态: $\text{R}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}^-$;

②胺可以表示为质子化形式: $\text{R}-\text{NH}_3^+$, $\text{R}-\overset{\text{R}_1}{\underset{|}{\text{N}}}\text{H}_2^+$ 和 $\text{R}-\overset{\text{R}_1}{\underset{|}{\text{N}}}\text{H}-\text{R}_2^+$ 。

第一章 蛋白质的结构与功能

内容提要

1. 蛋白质是重要的生物大分子。它在人体中的含量很丰富,种类繁多。每种蛋白质都有其特定的结构和生物学功能。

2. 组成蛋白质的基本单位为 L- α -氨基酸,共有 20 种,可分为非极性疏水性氨基酸、极性中性氨基酸、酸性氨基酸和碱性氨基酸四类。氨基酸具有重要生理功能。氨基酸为两性电解质,其 α -氨基和 α -羧基均可解离。在溶液的 pH 等于 pI 时,氨基酸呈兼性离子,净电荷为零。氨基酸可通过肽键相连成肽,体内有多种生物活性肽。

3. 蛋白质的结构可分为四个层次。蛋白质的一级结构是指蛋白质分子中氨基酸的数目和顺序,包括二硫键的位置。形成肽键的四个原子和与其相连的两个 α -碳原子处于同一平面,构成肽单元。蛋白质的二级结构是指蛋白质主链局部的空间结构,不涉及氨基酸残基侧链构象。主要有 α -螺旋、 β -折叠、 β -转角和无规则卷曲。二级结构的稳定主要由氢键维持。相邻两个或三个具有二级结构的肽段形成一个特殊的空间构象,称为模体。蛋白质的三级结构是指多肽链主链和侧链全部原子的空间排布位置。三级结构的形成和稳定主要依靠次级键。一些蛋白质三级结构中可见一个或数个球状或纤维状的区域,执行特定的生物学功能,称为结构域。四级结构是指蛋白质亚基之间的空间排布及亚基接触部位的布局 and 相互作用。蛋白质的二、三、四级结构又称为蛋白质的空间构象。仅由一条多肽链形成的蛋白质没有四级结构;由两条以上多肽链形成的蛋白质必须形成四级结构才具有生物学活性。

4. 根据蛋白质的形状,可分为球状蛋白质和纤维状蛋白质。根据组成成分可分为单纯蛋白质(仅含有氨基酸)和结合蛋白质(还含有非蛋白质的辅基成分)。

5. 蛋白质的一级结构决定其特定的空间结构,从而决定了其功能。一级结构相似的蛋白质,其空间构象和功能也相近。若蛋白质的一级结构发生改变则功能受到影响,由此引起的疾病称为分子病。蛋白质在合成、加工和成熟过程中正确折叠对其正确构象和功能的发挥十分重要,错误的折叠可导致蛋白质功能的改变。血红蛋白与 O_2 结合的协同效应是一个典型的例子。

6. 研究蛋白质的结构和功能必需先分离纯化蛋白质。通常利用蛋白质的理化性质,采用各种方法分离纯化蛋白质。常用的技术有电泳、超速离心、层析等方法。

常用名词术语

名 词	英文名	定义或概念
信息生物大分子	Informational macromolecules	又称为生物信息大分子,是由不同类型单体按特定顺序所形成的多聚体,组成多聚体的单体排列顺序(即序列)中蕴藏特异的生物学信息;如蛋白质、聚糖和核酸

名 词	英文名	定义或概念
蛋白质	Protein	由一系列氨基酸残基组成的分子,是基因表达信息的主要方式
氨基酸	Amino acid	是蛋白质的基本构件,带有一个或两个以上氨基的羧酸
非编码氨基酸		除组成蛋白质的 20 种氨基酸外,还有一些 α -氨基酸,如鸟氨酸等,因遗传基因中无相应的密码,被称为非编码氨基酸
必需氨基酸	Essential amino acid	是指人和哺乳动物不可缺少但又不能自身合成的氨基酸,只能从食物中补充,只有 8 种
半必需氨基酸	Semiessential amino acid	人和哺乳动物虽然能够合成,但数量远远达不到机体的需要,尤其是在胚胎发育以及婴幼儿时期,基本上也是由食物补充,它们是精氨酸和组氨酸
非必需氨基酸	Nonessential amino acid	是指人和哺乳动物能够合成,能满足机体需要的氨基酸,共有 10 种
肽	Peptides	是由一个氨基酸的羧基和另一个氨基酸的氨基脱水缩合而成的酰胺化合物
肽键	Peptide bond	连接两个氨基酸的酰胺键称为肽键
氨基末端	Amino terminal	多肽链中有自由氨基的一端,称为氨基末端或 N-端
羧基末端	Carboxyl terminal	多肽链中有自由羧基的一端,称为羧基末端或 C-端
(氨基酸)残基	Resides	肽链中的氨基酸分子因脱水缩合而基团不全,被称为氨基酸残基
寡肽	Oligopeptide	由 10 个以内氨基酸相连而成的肽称为寡肽
多肽	Polypeptide	由 10 个以上氨基酸相连而成的肽,称为多肽
生物活性肽		生物体内存在的具有生物活性的肽类物质,称为生物活性肽
谷胱甘肽(GSH)	Glutathione	是由谷氨酸、半胱氨酸和甘氨酸组成的三肽,半胱氨酸的巯基是该化合物的主要功能基团,是体内重要的还原剂
神经肽	Neuropeptide	在体内神经传导过程中起信号转导作用的肽类
成肽		蛋白质中的氨基酸相互结合成多肽链
(蛋白质的) 一级结构	Primary structure	在蛋白质分子中,从 N-端至 C-端的氨基酸排列顺序,称为蛋白质的一级结构
(蛋白质的) 二级结构	Secondary structure	是指蛋白质分子中某一段肽链的局部空间结构,也就是该段肽链主链骨架原子的相对空间位置,并不涉及氨基酸残基侧链的构象
(蛋白质的) 超二级结构		是指蛋白质分子中有两个或两个以上具有二级结构的肽段,在空间上相互接近,形成一个有规则的二级结构组合
(蛋白质的) 三级结构	Tertiary structure	是指整条肽链中全部氨基酸残基的相对空间位置,也就是整条肽链所有原子在三维空间的排布位置
(蛋白质的) 四级结构	Quaternary structure	蛋白质分子中各个亚基的空间排布及亚基接触部位的布局 and 相互作用,称为蛋白质的四级结构
肽单元(肽平面)	Peptide unit	在多肽分子中,肽链的 6 个原子($C_{\alpha 1}$ 、C、O、N、H、 $C_{\alpha 2}$)位于同一平面,称为肽单元或肽平面
α -螺旋	α -helix	为蛋白质的二级结构类型之一。在 α -螺旋中,多肽链主键围绕中心轴作顺时针方向的螺旋式上升,即“右手螺旋”。每 3.6 个氨基酸残基上升一圈,氨基酸的侧链伸向螺旋的外侧。 α -螺旋的稳定依靠上下肽键之间所形成的氢键作用

