

全国高等医学院校教材

细胞生物学简明教程

主编 张秀军 肖桂芝



北京大学医学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

细胞生物学简明教程

第二版 王忠 主编



科学出版社

全国高等医学院校教材

细胞生物学简明教程

主 编 张秀军 肖桂芝

副主编 肖福英 陈 静 吴勃岩 李新乐

编 者 (以姓氏笔画排序)

马 曦	王 茜	王凌宇	韦日明	韦振邦
冯 治	刘朝晖	孙 媛	李新乐	肖桂芝
肖福英	吴勃岩	吴群英	张秀军	陈 晶
陈 静	赵 杰	郭慧芳	梁 颖	蒋林彬

北京大学医学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

细胞生物学简明教程/张秀军, 肖桂芝主编. —北京: 北京大学医学出版社, 2009

全国高等医学院校教材

ISBN 978-7-81116-869-3

I. ①细… II. ①张…②肖… III. ①细胞生物学—医学院校—教材 IV. ①Q2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 238890 号

细胞生物学简明教程

主 编: 张秀军 肖桂芝

出版发行: 北京大学医学出版社 (电话: 010-82802230)

地 址: (100191) 北京市海淀区学院路 38 号 北京大学医学部院内

网 址: <http://www.pumpress.com.cn>

E - mail: booksale@bjmu.edu.cn

印 刷: 北京瑞达方舟印务有限公司

经 销: 新华书店

责任编辑: 李 娜 责任校对: 杜 悦 责任印制: 郭桂兰

开 本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 13 字数: 398 千字

版 次: 2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷 印数: 1—3000 册

书 号: ISBN 978-7-81116-869-3

定 价: 21.50 元

版权所有, 违者必究

(凡属质量问题请与本社发行部联系退换)

前言

细胞生物学是在细胞水平上研究生命活动规律的一门学科，其核心问题是细胞的结构与功能对有机体生命活动的作用。本教材涵盖了当今细胞生物学的大部分领域，适合医学相关专业低年级本科生使用。

本教材的主题是细胞——生命的基本单位。由于细胞生物学知识庞杂，我们采用了模块化处理，把知识分成几个单元，各单元间既有联系，又自成体系，做到内容的编排与学习者的学习过程相吻合。本书有几点创新：①提出细胞与环境相适应的细胞生态学与细胞微环境的观点；②突出了细胞生物学与医学的关系，每章内容均涉及相关的人类疾病，并阐述疾病的细胞生物学基础，提高学生对本课程的学习兴趣；③坚持必须、够用和精练的原则，以“简单明了”和“新”为出发点，并关注细胞生物学与医学的最新进展。

全书共十三章分为四个单元。单元划分遵循由表及里、从微观到宏观的顺序架构，符合结构与功能相适应、局部与整体相统一的生命科学观点。

第一单元 细胞与医学。通过描述细胞的共性及细胞学说，建立细胞的概念；通过揭示人类健康和疾病的细胞基础，阐明细胞生物学与医学的关系。

第二单元 细胞微环境与细胞边界。用生态学的观点，揭示细胞与其生活的微环境之间的关系，明确细胞离不开周围环境；本单元从外围入手，使学生认识到质膜是细胞的界线，担负着与外界物质交换的重任。

第三单元 细胞器的结构与功能。主要描述细胞的各个组成部分，通过对细胞内部结构体系的阐述，在显微、亚显微和分子水平揭示各种细胞器的结构及功能。

第四单元 细胞的生命活动。建立细胞是一个整体的概念，各个部分分工合作，共同完成一系列的生命活动。起始于细胞信息传递，进而阐明细胞的生命活动及其规律。

教材中的每个章节都有“医学应用”，以医学相关实例对教材的主体内容加以说明和阐述，以帮助读者理解相关知识。

本教材的编者都是工作在教学一线的教师，有丰富的教学经验。我们非常感谢北京大学医学出版社为本书出版所做的工作。

除主教材外，本书还有相关补充材料（见北京大学医学出版社医学教育网 <http://pumpress.bjmu.edu.cn/eduservice/2024.html>）。

鉴于编者的水平有限，难免存在不当之处，敬请读者批评指正。

张秀军
华北煤炭医学院
2009年11月

目 录

第一单元 细胞与医学

第一章 细胞的基本概念..... 2	第二节 细胞生物学历史与现状 11
第一节 显微镜与细胞的发现..... 2	一、细胞生物学的历史 11
第二节 细胞的基本特性..... 3	二、细胞生物学的研究现状 12
第三节 细胞的分子基础..... 6	第二节 细胞生物学研究方法 12
一、水..... 6	一、显微镜技术 12
二、无机离子..... 6	二、细胞化学技术 15
三、有机分子..... 7	三、细胞及其组分的分离和纯化 16
第二章 细胞生物学与医学 10	四、细胞培养 16
第一节 细胞生物学与现代医学 10	五、细胞分子生物学技术 17

第二单元 细胞微环境与细胞边界

第三章 细胞微环境 22	一、质膜的化学组成 34
第一节 细胞表面 22	二、质膜的分子结构 37
一、细胞被 22	三、质膜的特性 38
二、细菌的表层结构 22	第二节 小分子物质的穿膜运输 40
第二节 细胞外基质 23	一、被动运输 40
一、细胞外基质的基本组成和功能 23	二、主动运输 43
二、细胞外基质的生物学作用 26	第三节 大分子物质的膜泡运输 46
第三节 细胞识别与黏着 26	一、胞吞作用 46
第四节 细胞连接 28	二、胞吐作用 48
一、紧密连接 28	第四节 质膜与医学 49
二、斑块连接 28	一、膜转运蛋白异常与疾病 49
三、通讯连接 31	二、膜受体异常与疾病 50
第五节 细胞外基质与医学 32	三、质膜与肿瘤 51
第四章 细胞质膜及分子跨膜运输 33	四、膜生物工程与医药学 51
第一节 质膜结构 34	

第三单元 细胞器的结构与功能

第五章 内膜系统与蛋白质运输 54	第三节 溶酶体 64
第一节 内质网 54	一、溶酶体的形态结构与化学组成 64
一、内质网的形态结构与化学组成 54	二、溶酶体的类型 65
二、滑面内质网的功能 56	三、溶酶体的功能 66
三、粗面内质网的功能 58	四、溶酶体的发生 67
第二节 高尔基复合体 61	第四节 蛋白质的分选与运输 68
一、高尔基复合体的形态结构和化学组成 61	一、蛋白质分选原理 68
二、高尔基复合体的功能 63	二、膜泡运输及定向机制 70
	第五节 内膜系统与医学 73

第六章 核糖体与蛋白质合成	75	三、微管的功能	99
第一节 核糖体的类型和化学成分	75	第二节 微 丝	102
一、核糖体的类型	75	一、微丝的形态和组成	102
二、核糖体的化学组成	75	二、微丝的装配	103
第二节 核糖体的结构和功能部位	76	三、微丝的功能	104
一、核糖体的结构	76	第三节 中间纤维	106
二、核糖体与蛋白质合成有关的活性部位	76	一、中间纤维的结构与类型	106
第三节 核糖体与蛋白质合成	77	二、中间纤维的组装	107
一、真核细胞的基因结构及功能	77	三、中间纤维的功能	107
二、tRNA 的结构和功能	79	第四节 细胞骨架与疾病	109
三、细胞中蛋白质的生物合成	80	第九章 细胞核与染色体	111
第四节 蛋白质合成与医学	83	第一节 核 膜	111
一、抗生素类阻断剂	83	一、核膜的结构	111
二、干扰素	83	二、核膜的功能	112
第七章 线粒体与能量代谢	85	三、核孔复合物的结构与功能	112
第一节 线粒体的形态、数量与分布	85	四、核纤层的结构与功能	116
第二节 线粒体的结构与化学组成	85	第二节 染色质与染色体	116
一、线粒体的超微结构	85	一、染色质的组成成分	116
二、线粒体的化学组成	87	二、常染色质与异染色质	119
第三节 线粒体的功能	89	三、染色质组装成染色体	120
一、线粒体各部分的功能	89	四、染色体的形态结构	121
二、线粒体的能量转换机制	89	五、核型与染色体带型	125
第四节 线粒体的半自主性	91	第三节 核 仁	126
第五节 线粒体的增殖与起源	92	一、核仁的形态结构和化学组成	126
第六节 过氧化物酶体	93	二、核仁的功能	127
一、过氧化物酶体的结构及所含酶类	93	三、核仁周期	128
二、过氧化物酶体的功能	94	第四节 核基质	128
三、过氧化物酶体的生物发生	95	一、核基质的形态结构与化学组成	128
第七节 线粒体与医学	95	二、核基质的功能	128
第八章 细胞骨架与细胞运动	96	第五节 细胞核与医学	129
第一节 微 管	96	一、肿瘤细胞出现异常细胞核形态及分裂	129
一、微管的结构和类型	96	二、肿瘤细胞的染色体异常	129
二、微管的组装	97		

第四单元 细胞的生命活动

第十章 细胞通讯	132	第三节 膜表面受体介导的信号转导	137
第一节 细胞通讯的主要方式	132	一、离子通道偶联受体信号转导	137
一、直接通讯——间隙连接	132	二、G 蛋白偶联受体信号转导	138
二、间接通讯	133	三、酶偶联受体信号转导	143
第二节 细胞间接通讯的分子基础——信号分子及受体	134	第四节 细胞内受体介导的信号传导	148
一、信号分子	135	第五节 细胞通讯网络	150
二、受体	135	第六节 细胞通讯与疾病	151
		第十一章 细胞增殖和细胞周期	153

第一节 细胞周期.....	153	二、干细胞的生物学特性.....	176
第二节 细胞周期调控.....	154	三、胚胎干细胞.....	177
第三节 细胞分裂.....	157	四、成体干细胞.....	179
第四节 有丝分裂与减数分裂的比较.....	165	五、体细胞重编程.....	181
第五节 减数分裂的生物学意义.....	166	第五节 干细胞与组织工程.....	182
第六节 细胞周期与疾病.....	166	第十三章 细胞衰老、死亡与癌变	184
第十二章 细胞分化与干细胞	168	第一节 细胞衰老.....	184
第一节 细胞的分化潜能.....	168	一、细胞衰老与 Hayflick 寿限	184
第二节 细胞分化的分子基础.....	169	二、细胞衰老与细胞寿命.....	185
一、细胞分化的实质是基因选择性表达.....	169	三、细胞衰老的表现.....	185
二、细胞分化的基因表达调控.....	170	四、细胞衰老的理论.....	186
第三节 影响细胞分化的因素.....	173	第二节 细胞死亡.....	188
一、影响细胞分化的内在因素.....	173	一、细胞凋亡的特征.....	189
二、影响细胞分化的外在因素.....	174	二、细胞凋亡的生物学意义.....	190
三、激素对细胞分化的调控.....	174	三、细胞凋亡的机制.....	192
第四节 干细胞.....	175	第三节 癌.....	195
一、干细胞的分类.....	175	一、癌细胞的基本特征.....	195
		二、肿瘤发生的遗传学.....	196

第一单元 细胞与医学

第一章 细胞的基本概念

细胞 (cell) 是生物体结构和功能的基本单位。像细菌、酵母、阿米巴等生物是以单细胞的形式存在。一个成人大约有 10^{14} 个细胞，这些细胞按一定的方式组成不同的组织和器官，进而构成生物个体。细胞非常小 (图 1-1)，直径以微米 (μm) 计 ($1000\mu\text{m}=1\text{mm}$)，是由各种化学物质通过一定方式组成的具有时空特性的生命体系，通过细胞的新陈代谢、生长、分裂、分化、遗传与变异等生命现象发育成一个复杂的生物体。

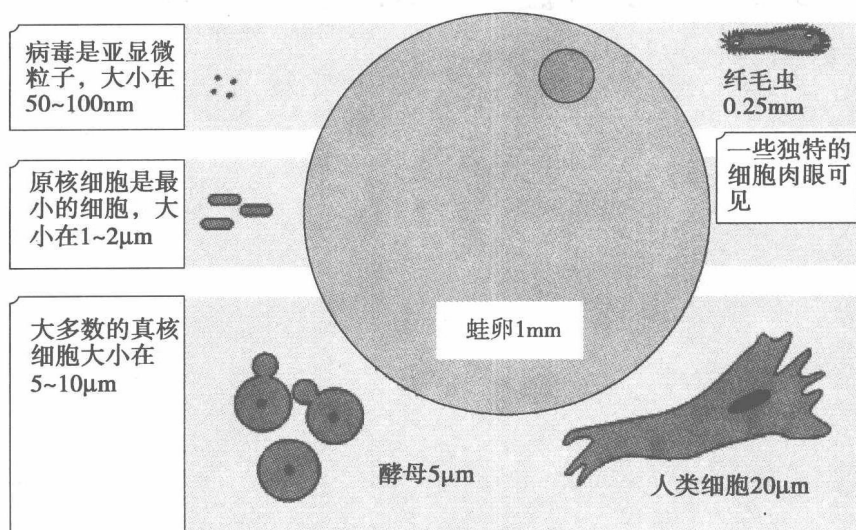


图 1-1 一些典型细胞的大小

$1\text{mm}=10^{-3}\text{m}$; $1\mu\text{m}=10^{-6}\text{m}$; $1\text{nm}=10^{-9}\text{m}$

第一节 显微镜与细胞的发现

动物细胞最大径为 $10\sim 20\mu\text{m}$ ，植物细胞为 $20\sim 30\mu\text{m}$ ，支原体最小仅为 $0.1\mu\text{m}$ ，肉眼 (最小分辨率为 $0.1\sim 0.2\text{mm}$) 无法看到。因此，细胞的发现必须依靠放大工具。在显微镜发明之前，人们不知道有细胞的存在，所以说没有显微镜就不可能有细胞学的诞生。

(一) 显微镜的发明与细胞的发现

在科学史上最先被发现的是植物细胞。第一个发现植物细胞的是英国物理学家和天文学家胡克 (R. Hooke, 1635—1703)。1665 年他用自己设计与制造的显微镜 (放大倍数为 $40\sim 140$ 倍，图 1-2) 观察了软木薄片，发现许多孔和洞，很像蜂巢，于是他首次用 “cell” (小室) 一词来称呼，并第一次描述了植物细胞的构造。其实，他所看到的是植物细胞死亡后留下来的空腔，是一个死细胞。尽管如此，胡克的工作还是使生物学的研究进入了微观领域，胡克的发现对细胞学说的建立和发展具有开创性的意义。

尽管胡克所看到的只是植物细胞壁，但因为他首先叙述了这样的构造，“cell” 一词还是被沿用下来。1674 年，荷兰的显微镜学家列文虎克 (A. P. van Leeuwenhoek, 1632—1723) 用自制的显微镜发现水中有许多小动物，他还描述过鱼、蛙和鸟的红细胞以及人和其他哺乳动物的精子。因此，列文

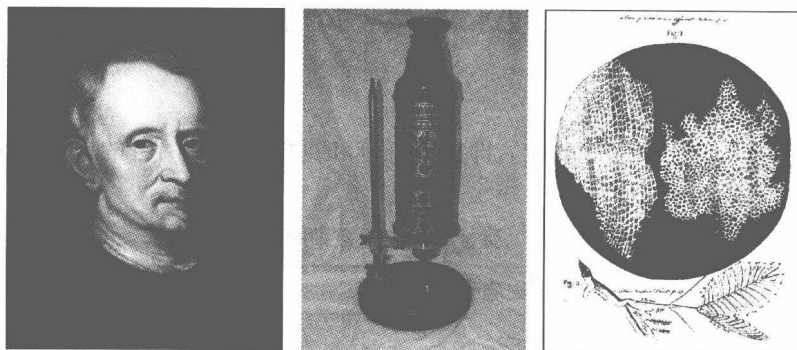


图 1-2 胡克和他的显微镜及观察到的软木塞“细胞”

虎克是历史上第一个观察到活细胞的人。

(二) 细胞学说

1838 年, 德国植物学家施莱登 (M. J. Scheiden, 1804—1881) 概括了前人的工作, 提出植物是由细胞组成的, 并且指出植物胚胎来自单个细胞, 提出了细胞学说的主要论点。次年德国动物学家施万 (T. Schwann, 1810—1882) 通过对血液的研究, 提出动物和植物的细胞从整体而言, 结构上是相似的, 细胞是生物体的功能单位。这两位学者的研究初步创立了细胞学说 (cell theory), 论证了整个生物界在结构上的统一性, 细胞把生物界的所有物种都联系起来了, 生物彼此之间存在着亲缘关系。

1858 年, 德国学者威尔啸 (R. Virchow) 提出“一切细胞来自细胞”的著名论断, 即认为个体的所有细胞都是由原有细胞分裂产生的。这不但在更深的层次上揭示了细胞作为生命活动基本单位的本质, 而且被认为是对细胞学说的重要补充。

至此, 细胞学说被进一步完善, 其要点为: ①所有生物都是由细胞和细胞的产物组成; ②新的细胞由已存在的细胞分裂而产生。细胞学说在自然科学史中首次证明了生物界的统一性, 是现代生物科学的基石之一, 因为任何生物学的重要问题都必须从细胞中寻求答案。

第二节 细胞的基本特性

细胞是生命活动的基本单位。除病毒外, 一切生物都是由细胞构成的。细胞是具有完整生命力的最简单的物质集合形式, 如单细胞的蓝绿藻、有核单细胞生物草履虫等。许多动物和植物都是多细胞的复杂有机体, 由各种特化的细胞协同作用, 密切配合, 共同完成一系列复杂的生命活动。

(一) 细胞的形状和大小

细胞形状多种多样, 大小也各不相同, 如球状、杆状、梭状、多角形、圆形、星形等。细胞体积都很小, 最小的细胞是支原体, 直径仅约 $0.1\mu\text{m}$ 。细胞体积虽小, 但表面积大, 有利于和外界进行物质交换, 对细胞生活有特殊意义。例如, 一个边长 30mm 的正方体表面积为 5400mm^2 , 若分成 27 个边长为 10mm 的小正方体, 则表面积为 $16\,200\text{mm}^2$, 是原来的 3 倍。最大的细胞肉眼可见, 如鸵鸟的卵细胞直径可达 50mm , 长颈鹿的神经细胞可达 3m 以上。

细胞形态结构与功能的相关性与一致性: 不同的细胞形态适应不同的功能, 不同生物担负相同功能的细胞形态相似。游离的细胞多为圆形或椭圆形, 如红细胞和卵细胞; 排列紧密的细胞有扁平、方形、柱形等, 如小肠的上皮绒毛细胞; 具有收缩功能的多为纺锤形或纤维形, 如肌细胞; 具有传导功能的多为分支或突起的星形, 如神经细胞。

细胞的大小及体积的稳定性: 细胞的大小不会随意改变, 细胞的体积是相对稳定的, 尽管不同来

源的同类细胞的大小有的变化较大,但大多数物种的同类细胞体积基本相似,如人类、大象、小鼠的小肠上皮细胞基本相同,不依生物个体的大小增大或减小,器官的大小与细胞的数量呈正比,与细胞的大小无关。

(二) 真核细胞的基本结构

所有生物的细胞都可以分为两种类型,即原核细胞和真核细胞。两者的区别见表 1-1。

表 1-1 真核细胞和原核细胞的区别

	原核细胞	真核细胞
大小	1~2 μm	5~10 μm
细胞核	无核膜	有双层的核膜
DNA	一个环状 DNA 分子	多个线性 DNA 分子,与蛋白质结合
细胞分裂	简单	有丝分裂和减数分裂
内膜	罕见	有,分化成各种细胞器
核糖体	70S* (50S+30S)	80S (60S+40S)
细胞骨架	无	微管、微丝、中间纤维
活动性	摆动	动力蛋白、驱动蛋白、肌球蛋白
出现的时间	3.5 $\times 10^9$ 年前	1.5 $\times 10^9$ 年前

* 沉降系数 (sedimentation coefficients, S): 颗粒在单位离心力场中粒子移动的速度。

真核细胞 (eucaryotic cell) 是构成真核生物的细胞,具有典型的细胞结构,有明显的细胞核、核膜、核仁和核基质。真核细胞的种类繁多,从原生物到哺乳动物,从真菌到植物,这些生物的细胞通常较大 (5~100 μm),结构复杂,动物细胞的表面没有细胞壁,仅包围有单位膜 (图 1-3)。

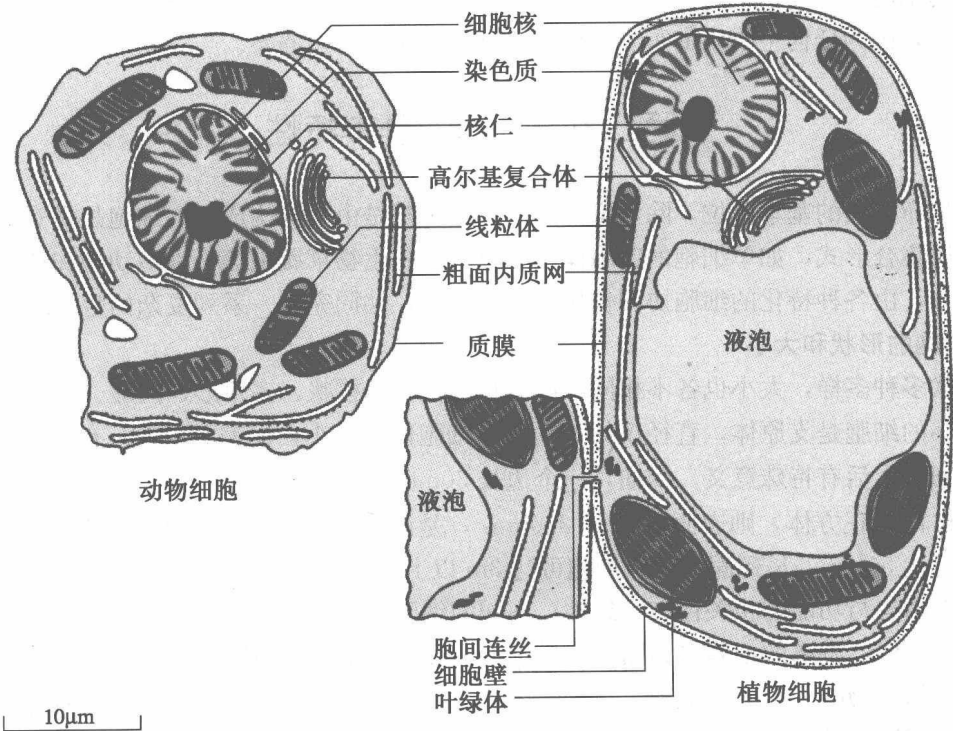


图 1-3 动物细胞与植物细胞模式图

细胞内部有各种由膜结合的细胞器组成，最大的细胞器是细胞核（nucleus），被两层膜包围，细胞核含有大量的遗传信息，储存在脱氧核糖核酸（DNA）中。各种细胞器使细胞内部产生许多功能区，它们各自分工又协同作用。植物细胞也是真核细胞，其结构与动物细胞类似，但是还有一些特殊的结构，如细胞壁、质体、液泡等。

（三）原核细胞及非细胞生命体

原核细胞（prokaryotic cell）是组成原核生物的细胞，是地球上最先出现的较原始的细胞。原核细胞的主要结构有细胞膜、细胞质、核糖体，以及由一条裸露的 DNA 双链所构成的拟核。拟核没有与细胞质部分相隔开的膜（核膜），这是与真核细胞的主要区别。原核细胞中除含有核糖体和间体（原核细胞近核区的细胞膜内褶，有人认为其功能与细胞分裂及呼吸有关）外，没有真核细胞中的各种细胞器（图 1-4）。这类生物包括支原体、细菌和蓝藻。

细菌（bacteria）是原核细胞的主要类群。细菌细胞通常较小，只有几个微米，细胞质膜的外侧被一层坚硬的细胞壁包裹起来（图 1-5）。细胞壁的厚度有 15~100nm，有些细菌表面有一层荚膜。另外，细菌表面还有菌毛和鞭毛。菌毛有两种，短而细的菌毛具有呼吸作用；少而细长的是性纤毛，为雄性菌所特有。鞭毛是细菌的运动器官，鞭毛蛋白的氨基酸组成与横纹肌中的肌动蛋白相似。

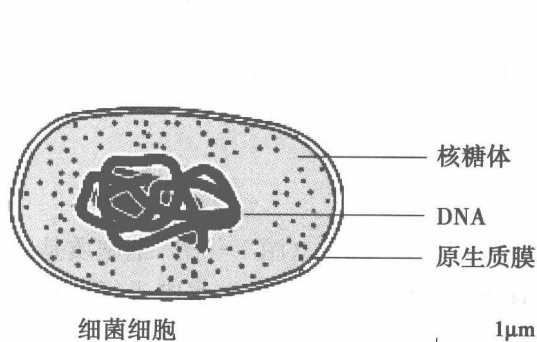


图 1-4 原核细胞模式图

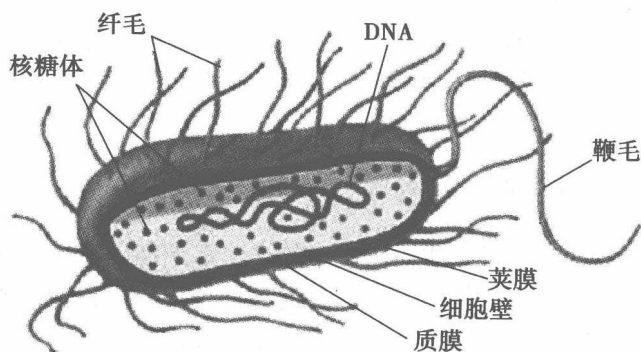


图 1-5 细菌细胞的形态结构

支原体（mycoplasma）是目前发现体积最小、最简单的原核细胞。支原体细胞中唯一可见的细胞器是核糖体。

病毒（virus）是非细胞结构的生命体，必须用电子显微镜才能见到。多数病毒呈球形或近似球形，少数为杆状、丝状或子弹状，还有呈砖块状或蝌蚪状（图 1-6）。绝大多数病毒直径在 150nm 以内。病毒的结构简单，由蛋白质外壳和内部的遗传物质组成（DNA 或 RNA）。根据它们寄生的细胞不同，可以将病毒分为三大类：专门寄生在人和动物细胞里的动物病毒，如甲型 H1N1 病毒；专门寄生在植物细胞里的植物病毒，如烟草花叶病毒；专门寄生在细菌体内的细菌病毒，也叫噬菌体，如大肠埃希菌 T₄ 噬菌体。

病毒不能独立生活，只能寄生在活细胞里，靠自己的遗传信息，利用细胞内的物质制造出新的病毒，这就是它的繁殖。病毒要是离开了活细胞，通常会变成结晶体。一有机会侵入活细胞，生命活动就会重新开始。

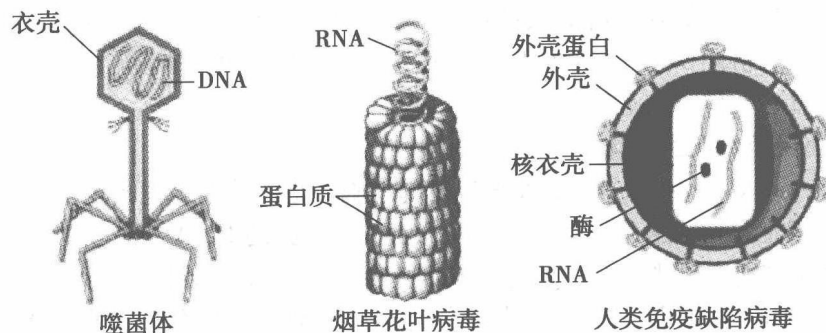


图 1-6 病毒的形态和结构

第三节 细胞的分子基础

细胞表现出各种复杂的生命现象，有其一定的物质基础，从各种小分子到大分子物质，它们相互作用，以不同的方式产生生命。细胞中的每种分子都有其特定的结构，主要包括水、无机离子和有机物等，都是维持细胞生命活动所必需的。这些内容在《生物化学》课程中有详细讲解，本书仅作简要介绍。

一、水

生命起源于水，细胞中的水非常丰富，其含量占细胞重量的 70%~80% (图 1-7)，细胞质是由许多悬浮在胞液中的细胞器组成，细胞中所有的反应都是在水中进行，水是细胞生命活动的介质。

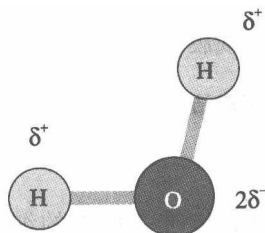


图 1-7 水是极性分子

水是由一个氧原子和两个氢原子结合成“V”字形，这种 V 形结构使水分子正负电荷向两端集中，一端为两个 H 离子带正电荷，一端为 O 离子带负电荷，所以水是极性分子。液态水中，水分子通过氢键结合起来，氢键使水分子在细胞中具有独特的性质：① 具有较高的溶点和沸点，维持细胞温度的相对稳定，水分子不易从细胞中挥发掉；② 有一定的黏性，使水具有较高的表面密度，维持细胞的形态；③ 水提供了有机物和生命物质中 H 离子的来源，是各种极性有机分子和离子的溶剂。此外，水在细胞中还参与生命活动的重要反应，如合成反应水是反应产物，分解反应水是反应底物。

水在细胞中以两种形式存在，一种是自由水，另一种是结合水。自由水是指在生物体内或细胞内可以自由流动的水，是良好的溶剂和运输工具。结合水是指在细胞内与其他物质结合在一起的水。根据对人和动物的研究发现，人和动物的年龄愈大，细胞中的结合水愈少。生病时，结合水也有变化。自由水和结合水的区分不是绝对的，两者在一定条件下可以相互转化。如血液凝固时，自由水就变成了结合水。

水在生物体中的生理功能是多方面的，如参与细胞中原生质的组成，参与生物体内各种化学反应，参与机体内物质的新陈代谢，参与养分和废物的输送和溶解，参与体温调节等。因此可以说，没有水就没有生物体的生命活动。

二、无机离子

细胞中无机盐的含量很少，约占细胞总重的 1%，是细胞的重要成分，一般以离子的形式存在。主要的阴离子有 Cl^- 、 PO_4^{3-} 和 HCO_3^- ，其中 PO_4^{3-} 在细胞代谢活动中最为重要：① 在各类细胞的能

量代谢中起着关键作用；②是核苷酸、磷脂、磷蛋白和磷酸化糖蛋白的组成成分；③调节酸碱平衡，对血液和组织液 pH 起缓冲作用。

主要的阳离子有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mn^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Co^{2+} 、 Mo^{2+} 。

离子的浓度用以调节渗透压和维持酸碱平衡，还可与蛋白质和脂类结合形成有特殊功能的结合蛋白，如血红蛋白含铁，甲状腺素含碘，磷脂、核苷酸含磷等；有些离子是酶的活化因子和调节因子，如 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等。

三、有机分子

细胞中有机分子达几千种之多，约占细胞干重的 90% 以上，它们主要由碳、氢、氧、氮等元素构成四大类分子：即蛋白质、核酸、脂类和糖。

(一) 蛋白质

蛋白质是构成生物体各种器官、组织、细胞的主要成分。在生命活动中，蛋白质是一类极为重要的生物大分子，几乎各种生命活动都与蛋白质的存在有关。蛋白质的组成单位是氨基酸 (amino acid) (图 1-8)。氨基酸有二十多种，都有一个共同的结构特点，那就是中央的碳原子和位于其两端的氨基 ($-\text{NH}_2$) 和羧基 ($-\text{COOH}$) 相结合。R 代表不同的侧链。由相同或不同的氨基酸以肽键 (peptide bond) 相连形成多肽链 (polypeptide)，构成蛋白质的基本结构。

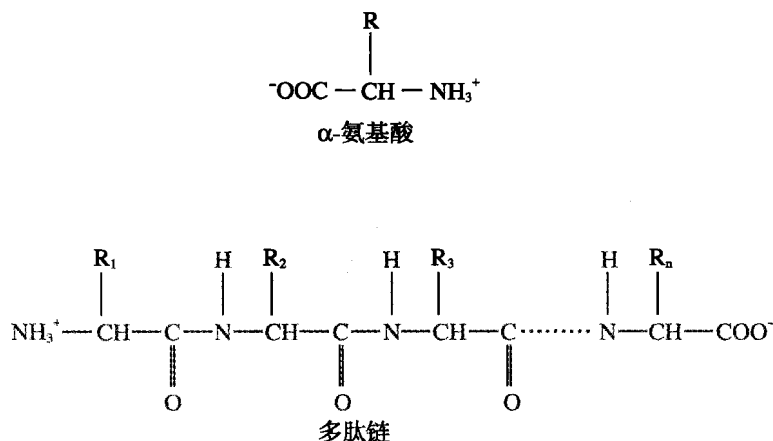


图 1-8 氨基酸和多肽链

多肽链以螺旋、折叠等方式构成不同的空间结构 (图 1-9)，不同的结构域使得蛋白质能够有选择地同其他分子进行相互作用，维持生命的有序性和复杂性。

(二) 核酸

核酸是生物遗传信息的载体分子。其基本单位是核苷酸，核苷酸由 1 个戊糖 (核糖或脱氧核糖)、1 个含氮碱基 (嘧啶或嘌呤) 和 1 个磷酸脱水缩合而成 (图 1-10)。

细胞中主要有五种含氮碱基：胸腺嘧啶 (T)、胞嘧啶 (C)、尿嘧啶 (U)、鸟嘌呤 (G) 和腺嘌呤 (A)，形成八种主要核苷酸：腺苷酸 (AMP)、鸟苷酸 (GMP)、尿苷酸 (UMP)、胞苷酸 (CMP)、脱氧腺苷酸 (dAMP)、脱氧胸苷酸 (dTTP)、脱氧鸟苷酸 (dGMP) 和脱氧胞苷酸 (dCMP)。多个核苷酸通过 3', 5' 磷酸二酯键相连形成多核苷酸链。DNA 分子由两条反向平行的多核苷酸链组成双螺旋结构 (图 1-11)。

核酸可分为核糖核酸 (RNA) 和脱氧核糖核酸 (DNA) 两大类。当温度上升到一定程度时，DNA 双链即解离为单链，称为变性 (denaturation) 或熔解 (melting)，这一温度称为熔解温度 (melting temperature, T_m)。碱基组成不同的 DNA， T_m 不一样，含 G-C 对 (3 对氢键) 多的 DNA， T_m 高；含 A-T 对 (2 对氢键) 多的， T_m 低。当温度下降到一定温度以下，变性 DNA 的互补单链又

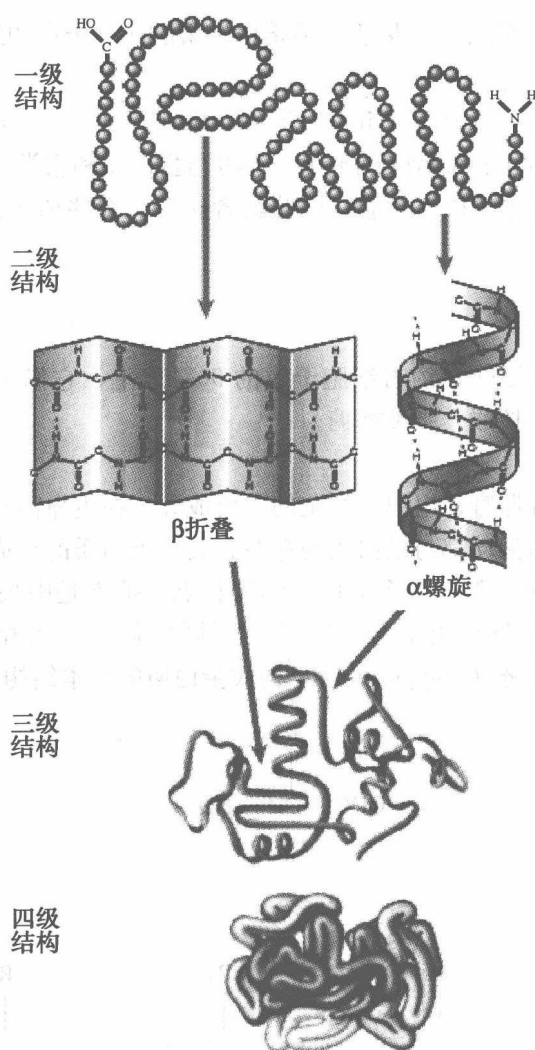


图 1-9 蛋白质的结构

可通过在配对碱基间形成氢键，恢复 DNA 的双螺旋结构，这一过程称为复性（renaturation）或退火（annealing）。

核苷酸除组成 DNA 和 RNA 外，有些核苷酸在细胞中还有重要作用，例如，腺苷三磷酸（三磷酸腺苷，ATP）是细胞内化学能的载体，参与细胞内化学反应间的能量传递。环腺苷酸（cAMP）作为细胞内通讯的信号分子，在细胞中起着传递信息的作用。

（三）糖类

细胞中的糖类既有单糖，也有多糖。重要的单糖为戊糖和己糖，其中最主要的戊糖为核糖，最重要的己糖为葡萄糖。葡萄糖是细胞的主要营养物质，经过一系列的氧化反应，释放出能量，最终变成水和 CO_2 。细胞中的单糖是作为能源以及与糖有关的化合物的原料而存在。

细胞中的多糖基本上可分为两类：一类是营养储备多糖；另一类是结构多糖。作为食物储备的多糖在植物细胞中为淀粉（starch），在动物细胞中为糖原（glycogen）。在真核细胞中结构多糖主要有纤维素（cellulose）和几丁质（chitin）。多糖在细胞结构成分中占主要地位。

（四）脂类

细胞中的脂类主要是脂肪酸，还有其他一些脂类，如甘油酯、鞘脂、糖脂、类胡萝卜素等。脂肪酸是细胞膜的组分，脂肪酸分子通过它们的羧基团与其他分子共价连接。脂类化合物难溶于水，而易溶于非极性有机溶剂。

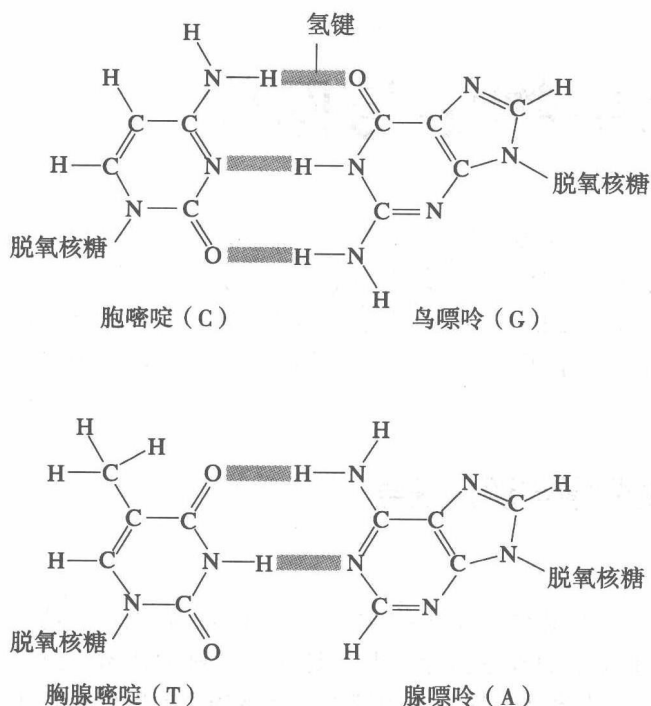


图 1-10 DNA 的结构

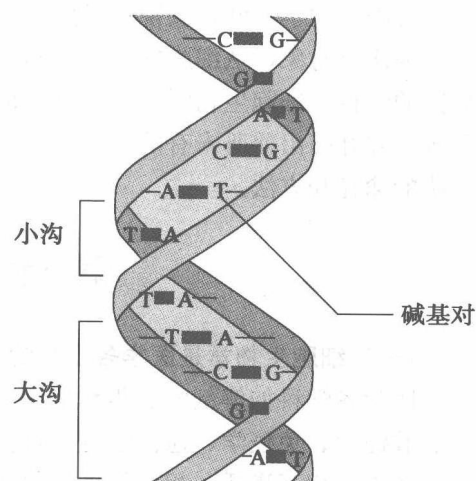


图 1-11 DNA 双螺旋结构

甘油酯是脂肪酸的羧基同甘油的羟基结合形成的三酰甘油（甘油三酯，triglyceride）。甘油酯是动物和植物体内脂肪的主要贮存形式。当体内糖类、蛋白质或脂类过剩时，即可转变成甘油酯贮存起来。甘油酯为能源物质，氧化时可比糖或蛋白质释放出高一倍的能量。营养缺乏时，就要动用甘油酯提供能量。

医学应用 1 吸烟破坏你的纤毛

呼吸道细胞表面的纤毛运动可以将颗粒和微生物带走远离肺部，这些纤毛可以被吸烟麻痹，其结果是使吸烟者纤毛的洁净度降低，不得不咳嗽以排除肺部不断积累的黏液。由于纤毛的功能受到损坏，导致吸烟者易患呼吸系统疾病，如肺气肿、哮喘。被动吸烟者的纤毛由于吸入有烟雾的空气，也会被感染。

医学应用 2 营养过剩，易患肥胖

从类脂和磷脂形成的磷酸甘油在大多数的细胞中是通过降解磷酸二羟丙酮得到的，这是依次通过糖酵解途径产生，意味着当葡萄糖充足时（吃糖或碳水化合物多时）脂肪细胞只能产生脂肪。此外，肝细胞由甘油激酶直接作用使磷酸甘油产生甘油和磷酸盐，因此即使在空腹的时候也能形成一些类脂和磷脂。

（肖福英）