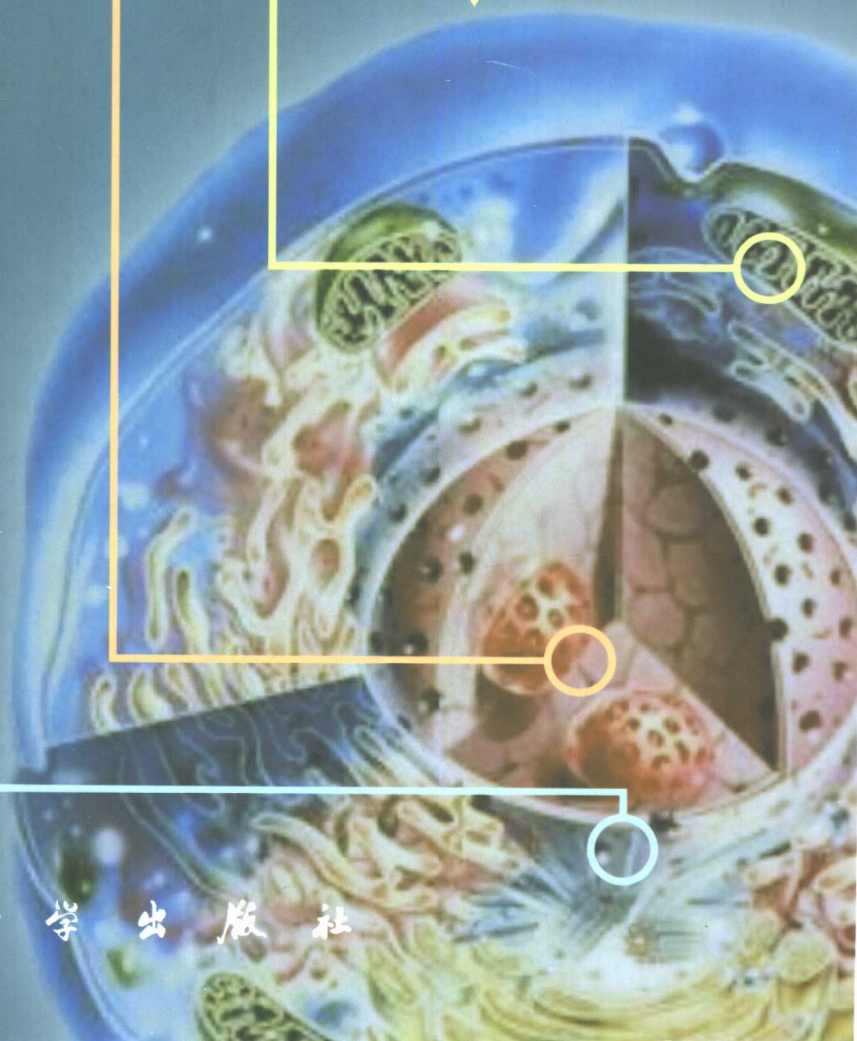
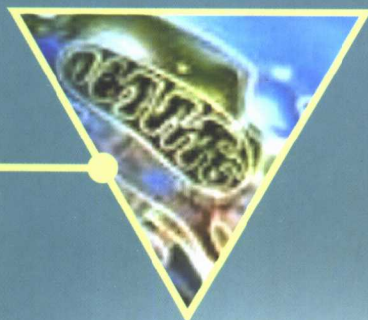


医学细胞生物学

余从年 主编



科学出版社

医学细胞生物学

余从年 主编

周光云 陆盛军 副主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以中心法则为主线,重点阐明各种细胞器的结构和功能,循序渐进,由浅入深,系统阐述细胞生物学的基础概念、基本理论,反映细胞生物学研究的新进展。本书的内容包括:绪论;细胞的基础知识;细胞膜;基因、染色质与染色体;核糖体;核仁;核被膜;内质网;高尔基复合体;溶酶体;过氧化物酶体;线粒体;微丝;微管;中间纤维;细胞连接;细胞的信号传导;细胞增殖;细胞分化;细胞的衰老与死亡;细胞的起源与进化等。全书具有新颖、简明、实用的特点。

本书可作为高等医学院校学生(包括七年制、五年制本科生,专科生)的教材,也适合于网络学院学生及其他对细胞的奥秘感兴趣者自学进修使用。

图书在版编目(CIP)数据

医学细胞生物学/余从年主编. -北京:科学出版社,2002.8

ISBN 7-03-010672-5

I. 医… II. 余… III. 人体细胞学:生物学 IV. R329.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第051871号

责任编辑:周玉莲/责任校对:王望荣

责任印制:高 嵘/封面设计:深白广告

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

武汉大学出版社印刷总厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2002年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004年3月第三次印刷 印张:11 3/4

印数:9 001—12 000 字数:286 000

定价:20.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

随着我国高等学校教学改革的深入进行,各医学院校的课程设置出现多样化,不同学校、不同年级对医学细胞生物学教材提出了新的要求。为了满足高等医学院校一年级学生学习细胞生物学的需要,我们从学生的基础和学科自身的特点出发,根据《医学细胞生物学导论》一书的教学经验和体会编写了本书。

本书的编写有以下特点:

1. 读者对象主要为高等医学院校一年级学生(包括七年制、五年制本科生,专科生等)。在内容编排上,书中除编入细胞的基础知识外,根据相关知识之间的内在联系,以中心法则为主线来安排各种细胞器的学习顺序,重点阐明细胞器的结构和功能,引导学生建立细胞整体性的概念。这样,学生能循序渐进,由浅入深,去探索细胞生命活动的基本规律,既为学习后续医学课程打下良好基础,又尽量避免与相关课程在内容上的交叉和重复。

2. 加强了细胞生物学的基础理论知识,注意反映细胞生物学研究的新进展。对某些研究热点,如细胞的信号传导、细胞周期调控、细胞分化、细胞衰老和死亡的机制等作了介绍,并适当联系医学实际。

3. 全书内容深度适中、结构新颖,选用了较多的插图、电镜照片及表格,图文并茂。

本书的内容包括:绪论;细胞的基础知识;细胞膜;基因、染色质与染色体;核糖体;核仁;核被膜;内质网;高尔基复合体;溶酶体;过氧化物酶体;线粒体;微丝;微管;中间纤维;细胞连接;细胞的信号传导;细胞增殖;细胞分化;细胞的衰老与死亡;细胞的起源与进化等。周光云编写细胞分化、细胞的衰老与死亡两章,陆盛军编写细胞的起源与进化,其余各章均由余从年编写。细胞生物学的研究技术将专书介绍。

本书在编写过程中得到华中科技大学同济医学院有关领导和老师的大力支持,同时得到科学出版社的积极协助。彭挺、朱艳红、蔡蕾老师参加了文稿打印等工作,在此表示衷心感谢。

由于细胞生物学内容相当广泛,作者的专业水平和编写能力有限,编写时间短促,因此错误在所难免,敬请读者斧正。

余从年

2002年3月28日

目 录

前 言	(i)
第一章 绪论	(1)
第一节 细胞生物学的研究内容及分支学科	(1)
第二节 细胞生物学与医学的关系	(1)
第三节 细胞生物学发展简史	(2)
小 结	(5)
思考题	(5)
第二章 细胞的基础知识	(6)
第一节 细胞的物质基础	(6)
第二节 细胞的基本结构及类型	(17)
小 结	(21)
思考题	(21)
第三章 细胞膜	(22)
第一节 细胞膜的化学组成与分子结构	(23)
第二节 细胞膜的分子结构模型	(28)
第三节 细胞膜与物质运输	(29)
第四节 细胞外被与细胞识别、细胞免疫	(36)
小 结	(39)
思考题	(39)
第四章 基因、染色质与染色体	(40)
第一节 原核细胞基因	(40)
第二节 染色质	(43)
第三节 染色质与染色体的功能	(52)
第四节 核骨架	(53)
第五节 染色体与人类核型	(55)
第六节 基因和染色体与人类疾病	(57)
小 结	(60)
思考题	(61)
第五章 核糖体	(62)
第一节 核糖体的种类及化学组成	(62)
第二节 核糖体的形态结构	(62)
第三节 核糖体的功能	(63)
小 结	(64)
思考题	(65)
第六章 核仁	(66)

第一节 核仁的化学组成与形态结构	(66)
第二节 核仁的功能	(68)
小结	(70)
思考题	(70)
第七章 核被膜	(71)
第一节 核被膜的超微结构	(71)
第二节 核被膜的主要功能	(74)
小结	(76)
思考题	(76)
第八章 内质网	(77)
第一节 内质网的形态结构与类型	(77)
第二节 内质网的化学组成	(78)
第三节 内质网的功能	(78)
小结	(83)
思考题	(83)
第九章 高尔基复合体	(84)
第一节 高尔基复合体的结构	(84)
第二节 高尔基复合体的化学组成	(85)
第三节 高尔基复合体的功能	(86)
小结	(88)
思考题	(88)
第十章 溶酶体	(89)
第一节 溶酶体的形态结构和类型	(89)
第二节 溶酶体的化学组成	(92)
第三节 溶酶体的功能	(92)
第四节 溶酶体与人类疾病	(93)
小结	(93)
思考题	(94)
第十一章 过氧化物酶体	(95)
第一节 过氧化物酶体的形态结构	(95)
第二节 过氧化物酶体的化学组成	(95)
第三节 过氧化物酶体的形成	(96)
第四节 过氧化物酶体的功能	(96)
小结	(96)
思考题	(96)
第十二章 线粒体	(97)
第一节 线粒体的形态和结构	(97)
第二节 线粒体的化学组成	(98)
第三节 线粒体的主要功能	(99)
第四节 线粒体的半自主性	(103)

第五节 线粒体的增殖	(106)
第六节 线粒体与人类疾病	(106)
小结	(107)
思考题	(107)
第十三章 微丝	(108)
第一节 微丝的形态结构	(108)
第二节 微丝的化学组成	(108)
第三节 微丝的组装	(111)
第四节 微丝的功能	(111)
小结	(113)
思考题	(113)
第十四章 微管	(114)
第一节 微管的形态结构	(114)
第二节 微管的化学组成	(115)
第三节 微管的组装	(115)
第四节 微管的功能	(117)
小结	(120)
思考题	(120)
第十五章 中间纤维	(121)
第一节 中间纤维的形态结构	(121)
第二节 中间纤维的化学组成和类型	(121)
第三节 中间纤维的组装	(122)
第四节 中间纤维的功能	(123)
小结	(124)
思考题	(124)
第十六章 细胞连接	(125)
小结	(127)
思考题	(127)
第十七章 细胞的信号转导	(128)
第一节 cAMP 信号系统	(128)
第二节 甘油二脂、三磷酸肌醇和 Ca^{2+} 信号系统	(129)
小结	(132)
思考题	(132)
第十八章 细胞增殖	(133)
第一节 细胞周期	(133)
第二节 间期	(135)
第三节 有丝分裂	(139)
第四节 细胞周期的调控	(143)
第五节 减数分裂	(146)
小结	(150)

思考题.....	(151)
第十九章 细胞的分化	(152)
第一节 细胞分化的一般概念.....	(152)
第二节 细胞决定与分化潜能的变化.....	(154)
第三节 细胞分化的分子基础.....	(158)
第四节 影响细胞分化的因素.....	(161)
第五节 细胞分化与癌变.....	(163)
小结.....	(165)
思考题.....	(165)
第二十章 细胞衰老与死亡	(166)
第一节 细胞的衰老.....	(166)
第二节 细胞的死亡.....	(169)
小结.....	(172)
思考题.....	(172)
第二十一章 细胞的起源与进化	(173)
第一节 化学进化与生命的起源.....	(173)
第二节 细胞进化.....	(174)
第三节 从单细胞到多细胞生物.....	(177)
小结.....	(178)
思考题.....	(178)
主要参考文献	(179)

第一章 绪 论

细胞(cell)是生物体形态结构和生命活动的基本单位。一切生命的奥秘都需到细胞中去寻找答案。细胞生物学(cell biology)是研究细胞的科学,它从细胞整体水平、亚微结构水平和分子水平来研究细胞的结构与功能,探索细胞生命活动的规律。因此,细胞生物学是所有生命科学的重要理论基础,也是现代生命科学的前沿学科。

第一节 细胞生物学的研究内容及分支学科

细胞生物学研究的内容十分丰富,主要包括细胞及细胞器的结构与功能,细胞的运动、细胞的生长、增殖、分化、衰老与死亡、遗传与变异、细胞与细胞之间的相互关系、细胞的进化、细胞工程等。

细胞生物学研究的范围极其广泛,主要分支学科有:

细胞形态学(cytomorphology):研究各种细胞的形态结构。

细胞遗传学(cytogenetics):研究染色体的结构和行为,阐明遗传与变异的机理等。

细胞化学(cytochemistry):通过定性和定量的化学分析,研究细胞结构化学成分的定位、分布及其生理功能。

细胞生理学(cytophysiology):研究细胞的生命活动规律,包括细胞代谢、生长、分裂分化等功能活动,以及细胞的运动、细胞的分泌等。

分子细胞学(molecular cytology):从分子水平研究构成细胞或细胞器的蛋白质、核酸等大分子的结构与功能等,探讨细胞生命活动与分子变化之间的关系。

第二节 细胞生物学与医学的关系

医学细胞生物学(medical cell biology)是细胞生物学与医学的交叉学科,主要阐明与医学有关的细胞生物学问题。医学是建筑在生物学的理论基础之上的,早在19世纪中叶,德国著名病理学家 R. Virchow 就指出一切疾病的发生都是源于细胞的损伤,实践表明这个论断直至现在仍是正确的。人体的生、老、病、死都是从细胞开始的。人体的结构与功能、生命活动规律乃至疾病的发生,离开细胞这个生命的基本单位都是无法理解的。

医学实践中提出的新课题,需要从细胞生物学的角度进行研究。细胞生物学的新理论、新技术、新发现(如癌基因理论、G 蛋白信号转换、细胞周期调控因子、体细胞克隆、干细胞移植)等既揭示了细胞生物学的重大理论问题,也极大的促进了医学的进步,使一些疾病的病因病理得到解释,为临床应用奠定了基础。

医学细胞生物学与医学基础课关系密切。学好医学细胞生物学将为学习组织胚胎学、生物化学、生理学、免疫学、微生物学、药理学、病理学等课程打下良好的基础,也将为今后临床实践与科学研究奠定坚实的基础。

医学细胞生物学是医学的启蒙与基础课,又是现代医学的前沿学科,医学生由此可攀登现

代医学的高峰。

第三节 细胞生物学发展简史

从人类第一次发现细胞至今,只有 300 多年历史。根据人类对细胞的认识以及所使用的技术和实验手段,可将细胞生物学的发展过程分为细胞学、细胞生物学和细胞分子生物学三个阶段(表 1-1)。

表 1-1 细胞生物学发展史上的部分重要事件

年份	学 者	主 要 贡 献
1665	R. Hooke	发表《显微图谱》(Micrographia)一书,描述木栓中有许多蜂窝状“cell”
1674	A. van Leeuwenhoek	首先发现了原生动、红细胞、精子、细菌以及细胞核
1838	M. Schleiden	证实植物体是由细胞所组成
1839	T. Schwann	证明动物体是由细胞所组成,并总结出“细胞学说”
1840	J. Purkinje	提出了组成细胞的原生质概念
1855	R. Virchow	提出了细胞只能由细胞分裂而来的观点
1866	G. Mendel	发表《植物杂交实验》,提出分离律和自由组合定律
1882	W. Flemming	精确地描述了细胞的有丝分裂
1887	A. Weismann	认为有性生殖时染色体数有周期性的减半与复原变化
1888	T. Boveri	发现中心粒
1889	R. Altmann	把核内含磷的酸性物质核素(nuclein)称为核酸
1898	C. Benda	发现线粒体
1898	C. Golgi	发现高尔基体
1931	E. Ruska & M. Knoll	发明了电子显微镜
1935	F. Zernicke	发明相差显微镜,1953 年获奖
1953	J. D. Watson & F. H. C. Crick	提出了 DNA 双螺旋模型,1962 年获奖
1958	J. D. Robertson	提出单位膜模型
1958	F. H. C. Crick	提出 DNA-RNA-蛋白质遗传信息单向传递的“中心法则”
1960	E. Jacob & J. Monod	提出操纵子学说,1965 年获奖
1961	P. Michell	提出线粒体氧化磷酸化偶联机制的化学渗透学说,1978 获奖
1968	M. W. Nirenberg	阐明了遗传密码与蛋白质合成的关系,1968 年获奖
1969	R. Huebner & G. Todaro	创立癌基因学说
1970	L. Marglis	创立真核生物进化的内共生学说
1970	D. Baltimore	发现反转录酶,1975 年获奖
1971	H. M. Temin	阐明原癌基因与细胞癌变的关系
1972	S. J. Singer & G. L. Nicolson	创立生物膜的流动镶嵌模型
1972	S. B. Prusiner	发现蛋白质感染因子 Prion,1997 年获奖
1974	A. L. Olins & D. E. Olins	在电镜下观察到染色质纤维是由珠状颗粒串连而成
1974	R. D. Korberg	提出染色质的亚单位是核小体
1975	F. Sanger	发明 DNA 序列分析技术
1975	G. Milstein & G. Kohler	发明利用杂交瘤技术制作单克隆抗体,1984 年获奖
1976	E. Neher & B. Sakmann	发现细胞质膜上的离子通道,1991 年获奖
1989	P. Boyer	提出了 ATP 合成酶利用跨膜的质子梯度合成 ATP 的结合变构机制,与 Walker 分享了 1997 年奖
1997	I. Wilmut et al.	将乳腺细胞核植入去核卵细胞,制作成功克隆羊
1997	K. Luger et al.	利用高分辨力 X 射线晶体分析技术显示核小体核心组蛋白 8 聚体的原子水平结构
1999	G. Blobel	创立细胞内蛋白质运输的信号学说,1999 年获奖
2001	美、英、日、法、德、中 6 国学者	绘制出人类基因组序列草图

注:表中获奖均指诺贝尔奖

一、细胞学阶段

1. 细胞的发现 细胞的发现和显微镜的发明是分不开的,因为绝大多数细胞只有靠放大装置才能看到。第一架显微镜是由荷兰眼镜商 Janssen 于 1604 年创造的,放大倍数约为 10~30 倍,可观察一些整体小昆虫如跳蚤等,故有“跳蚤镜”之称。半个多世纪后,英国物理学家 Hooke 创造了第一台有科学研究价值的显微镜,它的放大倍数为 40~140 倍,Hooke 利用这架显微镜做了许多观察,于 1665 年发表《显微图谱》(Micrographia)一书,描述了他在木栓中看到许多的小室,称为“细胞”(cell)。cell 一词是由中世纪拉丁语“cella”演变来的,原是小室之意。细胞一词因而沿用至今,用来描述生物体的基本结构单位。尽管 Hooke 所见的细胞实际上是植物死细胞的细胞壁,细胞的发现还是归功于 Hooke,他在 1665 年发表的木栓显微图像是细胞学史上第一张细胞模式图(图 1-1)。

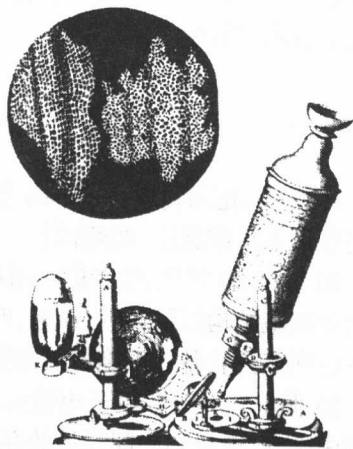


图 1-1 Hooke 所用显微镜和木栓显微图像

真正观察活细胞的是荷兰科学家 Leeuwenhoek,他在 1674 年用自制的高倍放大镜观察池塘水中的原生动物,人类和哺乳类动物的精子,鲑鱼的红细胞核等。1683 年,他又在牙垢中看到了细菌。

17 世纪,Hooke 和 Leeuwenhoek 奠定了细胞学的基础,在细胞生物学发展史上做出了重要贡献。

2. 细胞学说创立 在 17~18 世纪,由于所使用的显微镜比较简单,分辨力差,人们对细胞的认识基本上没有什么新的进展。直到 19 世纪 30 年代,显微镜制造技术得到改进,切片机制成功,使人们观察到更多的细胞结构。1831 年, Brown 在植物的表皮细胞中发现了细胞核。1839 年著名的显微解剖学家 Purkinje 首先提出原生质的概念。

1838~1839 年德国的植物学家 Schleiden 和动物学家 Schwann 总结了前人的工作,提出了细胞学说:一切生物从单细胞生物到多细胞高等动、植物都是由细胞组成的;细胞是生物形态结构和功能活动的基本单位。在 1855 年, Virchow 指出:“一切细胞来自细胞”,进一步补充和完善了细胞学说。细胞学说论证了生物界的统一性和共同起源,对生物学研究具有深刻的影响。在细胞生物学乃至生物学发展史上都占有非常重要的地位。

3. 细胞学形成 细胞学(cytology)是在光学显微镜时代形成和发展的,侧重于细胞整体水平的形态和生理变化的研究。19 世纪下半叶是细胞学史上的黄金时代,相继发现了许多重要的细胞器,如中心体、线粒体,高尔基体等;观察到一些细胞生命活动的现象,如受精、有丝分裂、减数分裂等。由于光学显微镜受光源性质的限制,其分辨力和放大倍数难以提高,因此,在 20 世纪上半叶的 40 余年中,对细胞结构的认识没有取得突破性的进展。

4. 实验细胞学兴起 从 20 世纪初至 20 世纪中叶,细胞学从纯形态的观察进入与生物科学的相邻学科之间的相互渗透,尤其是与遗传学、生理学和生物化学的结合,采用了多种实验手段来研究细胞。

Morgan 等把 Mendel 假设的遗传因子与细胞染色体联系起来,建立了细胞遗传学

(cytogenetics)。

细胞生理学开始用组织培养、细胞显微解剖等方法研究活细胞的活动。如观察研究阿米巴运动、纤毛和鞭毛运动及肌肉收缩,膜的通透,神经细胞的传导,细胞的生长、分泌等各个方面的活动。

利用生物化学技术研究细胞内物质代谢的动态变化,对细胞内各种结构的化学成分、酶反应等进行分析。如 Benaley(1934)用离心技术分离出大量的线粒体,通过化学分析,揭示线粒体是细胞内的氧化中心。

二、细胞生物学阶段

1933 年,德国科学家 Ruska 设计制造了世界上第一架电子显微镜。电镜的发明和应用把细胞学带入了细胞生物学阶段。

20 世纪 50 年代,学者们利用电镜观察了细胞的各种亚微结构,在电镜下观察到前所未有的崭新细胞结构图像,如内质网、叶绿体、高尔基体、核被膜、溶酶体、线粒体、核糖体的图像。电镜下所观察到的各种细胞器结构远比在光镜下复杂得多。

20 世纪 60 年代,由于电镜标本固定技术的改进,细胞亚微结构的研究取得突破,显示出细胞中微管、微丝和中间纤维的存在。超速离心法及 X 射线衍射新技术的应用,可将亚细胞成分和大分子分离出来进行分析研究。细胞培养技术日臻完善,可以用动态和综合方法来研究细胞。细胞学随之发展到细胞生物学阶段,细胞生物学一词出现于 20 世纪 60 年代。

三、细胞分子生物学阶段

1953 年 Watson 和 Crick 提出 DNA 分子双螺旋模型,20 世纪 60 年代中心法则的建立、遗传密码的破译等,揭示了生物大分子结构与功能的关系,使生命科学跨入了分子生物学的世纪。分子生物学是研究生物大分子,特别是核酸和蛋白质的生物学作用的科学,与细胞生物学之间有着内在的不可分割的联系。

20 世纪 80 年代以来,细胞生物学朝细胞分子生物学(molecular biology of the cell)或分子细胞生物学(molecular cell biology)方向发展,即更偏重于从分子水平上探索细胞的生命活动规律。把细胞看成是物质、能量、信息的集合体,把细胞的生命活动同亚细胞成分的分子结构变化联系起来,成为现代细胞生物学的基本特征。人们对细胞的认识水平又进入了一个新的境界。

细胞分子生物学的主要特点是将细胞亚微结构与分子生物学结合起来,高分辨的电镜技术,X 射线衍射技术、计算机技术、细胞差速离心技术等的应用,加深了对复杂的生物大分子三维结构的了解。近代细胞化学已发展到微量研究的水平,能将细胞内各个组分中核酸和蛋白质定位。美、英、法、日、德和中国参与的人类基因组计划完成后,绘制出人类 24 条染色体的物理图谱,编译出其编码的蛋白质清单,使之成为生物医学研究的“元素周期表”,进而分析各种蛋白质在细胞中的结构与功能,将有助于深入探索各种疑难疾病的发病机理,为各种疾病的诊断、防治和新药的开发提供有力武器。细胞分子生物学也将迎来新的大发展。

综上所述,细胞生物学的发展经历了细胞学、细胞生物学、细胞分子生物学三个阶段。细胞学主要从细胞整体水平描述细胞,细胞生物学偏重从亚细胞水平来研究细胞生命活动,细胞分

子生物学更侧重于从分子水平上探索细胞。细胞生物学已成为现代生物学的前沿学科之一。

以下列举国际上部分与细胞生物学有关的学术刊物供参考：

Cell

Science

Nature

Journal of Cell Biology

Neuron

Annual Review of Cell Biology

Trends in Cell Biology

Molecular and Cellular Biology

Molecular Biology of the Cell

Journal of Cell Science

Cell Death and Differentiation

Cell Growth and Differentiation

Journal of Histochemistry and Cytochemistry

Experimental Cell Research

DNA and Cell Biology

Cell Motility and the Cytoskeleton

Cellular Physiology and Biochemistry

Journal of Cellular Biochemistry

Journal of Cellular Physiology

小 结

细胞是生物体形态结构和生命活动的基本单位。细胞生物学是研究细胞的科学,它从细胞整体水平、亚微结构水平、分子水平来研究细胞的结构与功能、探索细胞生命活动规律。

医学细胞生物学是医学的启蒙与基础课,又是现代医学的前沿学科。

细胞生物学的发展经历了细胞学、细胞生物学、细胞分子生物学三个阶段。细胞生物学已成为现代生物学的前沿学科之一。

思 考 题

1. 什么是医学细胞生物学?
2. 试述细胞学说的主要内容。
3. 简述细胞生物学发展史上的重要人物和事件。

第二章 细胞的基本知识

第一节 细胞的物质基础

地球上的生物除病毒外,都是由细胞构成的。组成细胞的化学元素有 50 多种,其中最主要的是 C、H、O、N 四种化学元素,占细胞总量的 90% 以上,此外还有 S、P、Na、K、Ca、Cl、Mg、Fe 等,以上 12 种化学元素占细胞总量的 99.9% 以上,称为宏量元素。其他还有 Cu、Zn、Mn、Mo、Co、Cr、Si、F、Br、I、Li、Ba 等化学元素,在细胞中含量极微,称为微量元素。所有这些化学元素在自然界中都能找到,说明了生物界与非生物界在物质组成上的统一性。各种化学元素以无机化合物和有机化合物的形式存在。无机化合物包括水、无机盐等;有机化合物包括糖类、脂类、蛋白质、酶、核酸等。由于蛋白质、核酸的相对分子质量巨大,结构复杂,载有生命活动的信息,担负着各种生理功能,因此称为生物大分子(biological macromolecule)。

组成细胞的物质统称原生质(protoplasm)。原生质是以蛋白质、核酸为主体的多分子复合物,是细胞结构和功能的物质基础。

一、水和无机盐

(一) 水

水是细胞中含量最多的成分。水在细胞中作为溶剂,溶解细胞中水溶性的化学物质,细胞的各种代谢活动均需在水这个介质中进行;水也是细胞外液的主要成分,是细胞生活的外环境。

细胞中的水以两种形式存在,即游离水和结合水。游离水占细胞水总量的 95% 以上,而结合水是以氢键等与蛋白质分子结合的水分子。

(二) 无机盐

无机盐参与构成细胞的重要成分,也是维持细胞生存环境中的重要物质。无机盐在细胞中以离子状态存在,其中含量较多的阳离子有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Fe^{3+} 、 Mg^{2+} 等,阴离子有 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 、 HCO_3^- 等。它们对维持细胞内外的渗透压和 pH,保证细胞的正常功能都是十分重要的。

二、糖 类

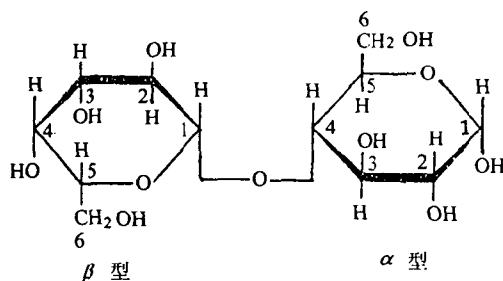
糖类又称碳水化合物(carbohydrate),含有碳、氢、氧三种元素,其通式为 $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$ 。细胞中的糖类分为单糖、双糖、低聚糖和多糖。单糖由一个糖单位构成,最典型的单糖是葡萄糖,含有 6 个碳原子,分子式为 $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 。葡萄糖是细胞的能源物质,它的最终分解产物为 CO_2 和 H_2O ,1 摩尔的葡萄糖在体内彻底分解,大约可释放出 2870 千焦(686 千卡)的热能。细胞中重要的单糖还有含 5 个碳原子的戊糖,即核糖、脱氧核糖,它们是组成遗传物质 DNA 和 RNA 的

主要成分。

双糖含两个单位的糖分子。两个糖单位由糖苷键连接,如乳糖(图 2-1)。乳糖的分解产物为半乳糖和葡萄糖。

低聚糖一般由 3~15 个单糖聚合而成分支或不分支的链状结构,低聚糖常与其他物质结合成复合物,如细胞外被中的糖链等。

多糖通常是由多达几百个单糖分子构成的聚合物。如淀粉由葡萄糖分子聚合而成,是典型的多糖。糖原是人体及动物细胞内的多糖,主要存在于肝脏和肌肉细胞中,分别称为肝糖原和肌糖原。此外,常见的多糖还有纤维素、黏多糖、氨基聚糖等。



乳糖 (葡萄糖 - β -1, 4- 半乳糖苷)

图 2-1 乳糖的分子结构式

三、脂 类

脂类是不能溶于水而易溶于有机溶剂的有机化合物,主要有脂肪、磷脂和类固醇和糖脂。

脂肪是由甘油和脂肪酸构成的中性脂,也称为甘油三酯。脂肪酸是其主要成分,脂肪酸是一端带有羧基($-\text{COOH}$)的碳氢链,脂肪酸链的碳原子数通常为 14~24 个。有的脂肪酸链中可含有一个或多个双键,称为不饱和脂肪酸。

胆固醇是最重要的类固醇,也是合成性激素如雌激素等的原料。

四、蛋 白 质

蛋白质(protein)是细胞中的主要生物大分子,也是细胞中含量最多的含 N 有机化合物,约占细胞干重的 50%。它在机体中担负着各种各样重要的生理功能。

(一) 氨基酸

组成蛋白质的基本单位是氨基酸(amino acid)。氨基酸是含有氨基的有机羧酸,主要由 C、H、O、N 四种元素组成,个别的还含有 S。虽然自然界有 300 多种氨基酸,但组成蛋白质的只有 20 种,其通式如图 2-2。



图 2-2 氨基酸分子结构式

所有的氨基酸的 α 碳原子上都有碱性的氨基($-\text{NH}_2$)和酸性的羧基($-\text{COOH}$),为典型的两性化合物,具有酸和碱的双重性质,是两性电解质。

连接于 α 碳原子上的R基团是氨基酸的侧链,不同种类的氨基酸含有不同的R基团,组成蛋白质的氨基酸有20种(图2-3)。最简单的氨基酸是甘氨酸,R基团是一个H原子。各种氨基酸主要因侧链的不同而具有不同的化学性质。

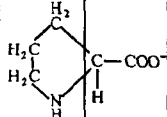
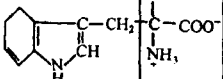
非极性 R 基团	不带电荷 极性 R 基团	带正电荷极性 R 基团
丙氨酸 $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	甘氨酸 $\text{H}-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	赖氨酸 $\text{H}_3\text{N}^+-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$
缬氨酸 $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	丝氨酸 $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	精氨酸 $\text{H}_2\text{N}-\text{C}(\text{NH})=\text{NH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$
亮氨酸 $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	苏氨酸 $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	组氨酸 $\text{HC}=\text{C}(\text{NH}_2)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$
异亮氨酸 $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	半胱氨酸 $\text{HS}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	带负电荷极性 R 基团
脯氨酸 	酪氨酸 $\text{HO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	天冬氨酸 $\text{O}=\text{C}(\text{O}^-)-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$
苯丙氨酸 $\text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	天冬酰胺 $\text{NH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	谷氨酸 $\text{O}=\text{C}(\text{O}^-)-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$
色氨酸 	谷氨酰胺 $\text{NH}_2-\text{C}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$	
甲硫氨酸 $\text{CH}_3-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_3^+)-\text{COO}^-$		

图 2-3 20 种氨基酸的 R 基团

按氨基酸侧链 R 的带电性和极性不同,可将其分成 4 类:

- (1) 带负电荷酸性氨基酸:如谷氨酸、天冬氨酸。
- (2) 带正电荷碱性氨基酸:如精氨酸、赖氨酸、组氨酸。
- (3) 不带电荷中性、极性氨基酸:如甘氨酸、丝氨酸、苏氨酸、半胱氨酸、酪氨酸、谷氨酰胺、天冬酰胺。
- (4) 不带电荷中性、非极性氨基酸:丙氨酸、缬氨酸、亮氨酸、异亮氨酸、色氨酸、脯氨酸、苯丙氨酸、蛋氨酸。

(二) 蛋白质的分子结构

肽键是一个氨基酸的羧基($-\text{COOH}$)和另一个氨基酸的氨基($-\text{NH}_2$)之间脱水缩合而成的键($-\text{CO}-\text{NH}-$)。肽键不易自由旋转,在蛋白质分子中形成一个平面称“肽键平面”。在蛋白质分子中,相邻氨基酸残基的侧链R 分别在肽键平面的两边,形成比较稳定的结构。

蛋白质分子是由氨基酸以肽键连接而成的多肽链。由两个氨基酸分子脱水缩合而成的结构叫二肽,许多氨基酸脱水缩合而成的结构称多肽或多肽链(图 2-4)。肽链中的每个氨基酸由于形成肽键使得结构失去完整性,因而称为氨基酸残基,肽链起始的氨基端通常称为N 端,末端的羧基端称为C 端。

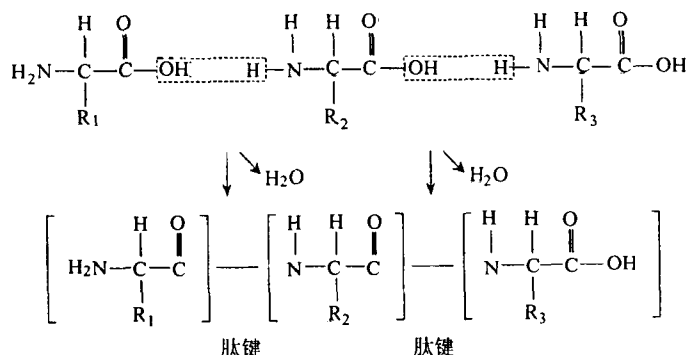


图 2-4 多肽链的形成

组成蛋白质的氨基酸虽然只有20种,但一个蛋白质分子可由数10乃至数万个氨基酸分子聚合而成。1个蛋白质分子可以含有一条或几条多肽链。

蛋白质分子具有复杂而有序的结构,这种结构是保持蛋白质在细胞中行使各种生理功能的基础。蛋白质的结构可分为一级、二级、三级和四级结构,后三种统称空间结构。

1. 蛋白质的一级结构 蛋白质分子中(从N端到C端)氨基酸的排列顺序称为一级结构。维持一级结构的化学键除肽键外还有二硫键,二硫键是由两个半胱氨酸通过巯基($-\text{SH}$)结合而成的共价键($-\text{S}-\text{S}-$),对于维持蛋白质的形状起重要作用。如胰岛素分子含51个氨基酸,由含21个氨基酸的A链和含30个氨基酸的B链组成,含有三个二硫键(图 2-5)。

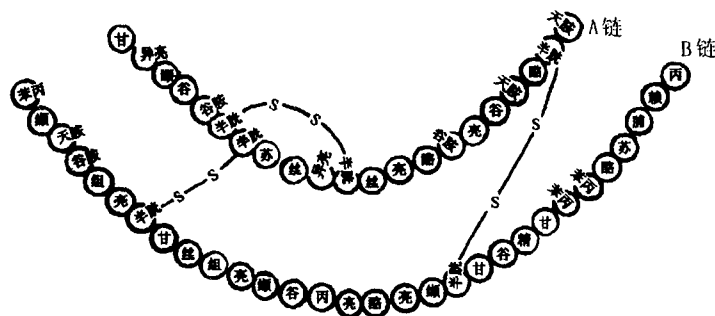


图 2-5 胰岛素的一级结构

蛋白质分子的氨基酸顺序与蛋白质分子的结构和功能密切相关。在形成蛋白质复杂空间结构时,因肽链中各氨基酸侧链R 的形状、大小及带电与极性的不同,影响着肽链的折叠盘曲