



基础 细胞生物学

——细胞分子生物学入门

艾伯茨 布雷 约翰逊 刘易斯
拉夫 罗伯茨 沃尔特 / 著
赵寿元 金承志 丁小燕 等 / 译

上海科学技术出版社

基础细胞生物学

——细胞分子生物学入门

布鲁斯·艾伯茨 丹尼斯·布雷 亚历山大·约翰逊
朱利安·刘易斯 马丁·拉夫 基思·罗伯茨
彼得·沃尔特 著

赵寿元 金承志 丁小燕 等译

上海科学技术出版社

内容提要

本书从分子、细胞与组织层次对细胞生物学的内容作了系统阐述,反映了该学科的最新进展。全书共19章,分别阐述细胞的基本概念,细胞的化学成分,细胞中能量代谢及生物合成,细胞内蛋白质、DNA的结构与功能,细胞中膜的结构、膜的转运,线粒体和叶绿体中的产能,胞内区室及运输,细胞通讯,细胞骨架,细胞分裂、细胞周期调控及细胞死亡,构成组织的细胞学知识。每章末附有基本概念、思考题,书末附有术语汇编、思考题的答案、索引。全书配有近千幅插图,文字叙述深入浅出、简明扼要。

本书译自美国Garland出版集团出版的*Essential Cell Biology—An Introduction to the Molecular Biology of the Cell*,原著作者为布鲁斯·艾伯茨(Bruce Alberts,曾任美国科学院院长)等7位国际知名科学家。本书在世界很多国家和地区都被列为教材使用。

本书可供生命科学包括生物、医、农、牧、林学等专业的大学生、研究生和教师作为教学参考书,也可供对生命科学有兴趣的其他学科的科技人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

基础细胞生物学:细胞分子生物学入门/(美)艾伯茨等著;赵寿元等译. —上海:上海科学技术出版社,2002.6

ISBN 7-5323-5814-3

I. 基... II. ①艾...②赵... III. 细胞生物学:分子生物学 IV. Q28

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第078885号

作者:布鲁斯·艾伯茨 丹尼斯·布雷 亚历山大·约翰逊 朱利安·刘易斯 马丁·拉夫 基思·罗伯茨 彼得·沃尔特
译者:赵寿元 金承志 丁小燕 等
责任编辑:顾新生 濮紫兰
版式制作:黄国兴

上海科学技术出版社出版、发行
(上海瑞金二路450号
邮政编码200020)

上海中华印刷有限公司印刷
新华书店上海发行所经销
开本889×1194 1/16
印张45 字数1489千
2002年6月第1版
2002年6月第1次印刷
印数:1-3000
定价:200.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,请向本社出版科联系调换

Essential Cell Biology—An Introduction
to the Molecular Biology of the Cell
Editorial Director:Miranda Robertson
Text Editors:Eleanor Lawrence and Valerie Neal
Managing Editor:Anne Vinnicombe
Illustrator:Nigel Orme
Molecular Model Drawings:Kate Hesketh-Moore
Director of Electronic Publishing:John M-Roblin
Computer Specialists:John Shea and Chuck Bartelt
Copy Editor:Douglas Goertzen
Project Coordinator:Emma Hunt
Editorial Assistants:Nasreen Arain and Matthew Day
Production Coordinator:Perry Besses
Indexer:Maija Hinkle
©1998 by Bruce Alberts,Dennis Bray,Alexander Johnson,Julian Lewis,Martin Raff,Keith Roberts and Peter Walter.All rights reserved.Authorized translation from English language edition published by Garland Publishing,Inc.

译 序

细胞是生命体的基本单位。物质、能量和信息则是生命活动的三个要素。在细胞内，实现着物质代谢、能量转换和信息传递等一系列相互交织而又精确有序的生命过程，从而展示出一个生机盎然、绚丽多姿的生命世界。

细胞生物学是一门自然科学。自然科学的任务是研究客观存在的自然现象，认识并揭示自然界的运动规律。因此，细胞生物学也就是要在细胞水平上，洞幽察微，研究和探索生命活动的机制和规律。当然，同自然科学的其他学科一样，人们对细胞活动规律的了解，也是随着科学技术发展而逐步深入的，并日益趋近其本来面目。

1665年，英国人胡克（Robert Hooke）用自己制造的复式显微镜观察软木的薄切片，发现软木是由许多“小室”构成的，并把这些小室称为细胞。十年后，荷兰人列文虎克（Antonie Van Leeuwenhoek）用显微镜发现了原生动物，随后又直接观察到动物的精子和细菌等。在早期显微镜工作者一百多年观察积累资料的基础上，施莱顿（Matthias Schleiden）和施旺（Theodor Schwann）在1838—1839年间提出了细胞学说，宣称从单细胞到高等动植物在内的一切生物都是由细胞构成的，细胞是生物的形态结构和功能活动的基本单位。在细胞学发展过程中，与其他相近学科相互渗透，使从早期着重于对细胞形态结构的静态描述，逐步深入到对活细胞的动态观察和生理生化实验研究，对细胞的结构和功能研究的层次越来越深入，对细胞生命活动的研究范围也越来越广阔，与遗传学、胚胎学、生理学、生物化学和进化等学科的结合也越来越紧密。特别是与分子遗传学的交叉，使细胞学实现了向细胞生物学的转变。

细胞生物学是从细胞的不同结构层次和细胞间的相互关系来研究细胞生命活动——生长、增殖、分化、遗传、变异、应答、运动、衰老和死亡等——的基本规律和机制。这里，几乎涉及了生命科学的所有分支学科，但基因是细胞生命活动的基础。每个细胞都有一套完整的基因组，储存着支配细胞生命活动的所有遗传指令。不同物种的基因组决定产生不同物种的细胞；同一物种基因组的遗传指令实施的时空程序的不同，决定同一物种的不同类型细胞的生成；同一类型细胞的遗传指令的不同表达型式，决定了细胞出现不同功能；遗传指令的结构和实施程序上的变动，决定了细胞的异常，导致疾病的发生或产生对生物体自身或人类可加以利用的有益性状。因此，遗传指令的实施不仅涉及基因的表达和调控、信号转导、形态建成、生命起源和进化等重大科学问题，而且还同人类健康和生

产活动密切相关。

因此，细胞生物学的知识不仅是从事生命科学教学和研究的工
作者以及学生所必须具有的，而且即使是这个专业领域的“局外
人”，对与自己日常生活与健康密切相关的这类知识也是应该有所了
解的。近年来已出版了不少有关细胞生物学的专著，但多半是过于
专业化，只适合于少数专业教学和科研人员使用；少数则属于科普
读物，不适合作为教材。现在出版的《基础细胞生物学》一书是美
国科学院前院长 Bruce Alberts 领衔编写的 *Essential Cell Biology*
的中译本。这本书的特点是精而新，既反映学术研究的最新成果，又
删繁就简略去细节而突出基本原理，而且行文流畅，举例生动，兼
有教材和科普的功能。此外，我建议读者在阅读书中有关章节之前
先读一读该书的英文版前言。诚如英文版前言中所述，这本书并不
是大型经典著作《细胞分子生物学》(*Molecular Biology of the*
Cell) 的删节本，而是根据细胞生物学的重要概念，另起炉灶，重新
编写的。英文版前言中有关这本书的介绍是实事求是的，毫无夸张
和哗众取宠之处。

再有一点，书中各章提出的问题是值得我们认真思考的，这对
于改变死记硬背式的教学和考试模式，也许是很有启迪作用的。

总之，这是一本很好的读物。全书由复旦大学与中国科学院上
海生化细胞研究所的师生和研究人员合作翻译，不足之处，恳请广
大读者批评指正。

我为自己能参加这本书的译校而感到高兴。

赵寿元

于复旦大学遗传学研究所

2001年8月18日

英文版前言

这本书要讲授些什么？哪些知识是必须传授给学生的，这个问题从有学校以来就一直引起激烈的争论。当我们即将进入21世纪之际，对于作为生命物质单位细胞的基本认识肯定是这种核心知识的组成部分。过去50年里对于细胞是如何工作的了解所取得的革命性进展已跻身于人类作出的伟大发现之列。

现在我们已从化学上阐明生命的出现以及人类的运动、思维、说话和对周围世界的体验。我们已经知道如何通过其他生物来追溯细胞中与这些生物共有的每一种大分子的最初来源。就同其他生物的关系而言，我们人类是什么，也已得出了迥异于以往的判断。新知识也获得了许多实际利益，导致了对人类未来的健康和繁荣十分重要的生物学发现。健康普查的遗传测试，基因工程食品，新药的发明，法庭审案的DNA指纹，都还只是我们当今需要把握住的、以生物学为基础的、成果中的很少一部分。人们要在21世纪中成功地应用新知识时将会碰到许多难题，他们需要有细胞生物学的基本知识才能对这些难题作出决定。

本书旨在简明解释一个活细胞是如何工作的。所谓“工作”，主要是指细胞中的分子，特别是蛋白质、DNA和RNA协调创造一个系统的途径；这个系统能进食、运动、对刺激产生反应、生长和分裂；一言以蔽之，即这个系统是活的。至于“简明”则是指稍有一些生物学知识背景的一、二年级大学生就易于理解的。当我们撰写《细胞的分子生物学》一书时，我们就认识到有必要对细胞生物学的精髓作出简短而清晰的说明。因为《细胞的分子生物学》（现已出第3版）是供攻读生命科学或医学的高年级本科生之用，对于只需一般了解细胞生物学的许多学生来说，这本书显得过于专业化而且内容太多。

最初只想删节内容来写成本《细胞的分子生物学》简写本，这个打算被证明是毫无价值的。我们很苦恼地懂得写一本入门教材要走新的途径，而且一定要重起炉灶。因为本书是重新撰写的，我们在行文、图解示意和强调有关事实的重要概念等方向仍保持了《细胞的分子生物学》的风格，但其涉及范围和水平则有很大差别。本书的重点是讲授大部分真核细胞共有的属性，以及认识任何一个细胞如何生存和繁殖自身所必需的属性。多细胞生物的器官和系统、发育过程、人类的无数疾患以及那些能用细胞生物学术语来增进了解的都属于本书的主题。

本书内容简明，行文尽可能精炼，尽量少用技术词汇。为避免分散注意力和突出重要观点，本书省略了所涉及的一些科学家的名

字,以及每一科学结论背后的有关情节。图解用来强调概念而删去了不必要的细节。每一章引入的关键术语在第一次出现时都明显标出,并汇集在书末附有解释的“术语汇编”中。我们没有开列进一步阅读的参考文献;我们感到在这种水平的教科书中,是否需要进一步阅读最好是让任课教师作出选择。读者如想更深入地探索某一主题,可参阅《细胞的分子生物学》中开列的广泛阅读的书目。

本书的一个主要特点是在书的边缘和每章结尾处提出了许多问题。这是想激发学生去思考他们已阅读的内容,并鼓励他们停下来测试自己理解了多少。许多问题都要求学生把新获得的信息放在一个更广阔的生物学范围内,而且有些问题的答案不止一个。另一些问题则需要有推理才能解答。书的最后部分是所有问题的答案;在许多情况下,这些答案对本书主要内容给出一个评述性的或可供选择的前景。

同《细胞的分子生物学》一样,本书的每一章都是共同努力的产物,每个人写的初稿都经过轮流传阅。此外,我们还得到许多人的帮助。许多科学家就某一特定领域提出意见,他们包括 Raoul Andino、Elizabeth Blackburn、Christine Guthrie、Tim Hunt、Joachim Li 和 Norman Pace。我们也广泛地听取了大学教师和学生们的评论和意见,这些都由 Valerie Neal 收集整理。这些教师是 Texas 大学 Austin 分校的 Jerry Brand, Hawaii 大学的 Heinz Gert de Couet, San Francisco 州立大学的 Michael A Goldman, Bob Jones 大学的 W Michael Gray, Anglia 大学的 Michael Lewitt, 全国研究委员会 (National Research Council) 的 Herbert Lin, British Columbia 大学的 Linda Matsuuchi, Iowa 州立大学的 Sheldon S Shen 和 Trinity 大学的 Jim Shinkle。学生的意见来自 Bob Jones 大学和 San Francisco 州立大学。每章均由 Eleanor Lawrence 编辑,通常都要好几遍,他还教我们写成我们所希望达到的适当水平。谨向上述各位给予的重要帮助致以深切谢意。

Garland 出版社的工作人员也给我们以帮助和鼓励。Ruth Adams 早就看出这本书的潜在价值。图例由 Keith Roberts 构思,再由 Nigel Orme 在计算机上十分精妙地绘制。本书由 John M-Roblin 设计, Douglas Goertzen 装帧, Perry Bessas 制作。Donna Scholes 领导了一个热忱的市场调研小组,从许多位教师处收集意见和建议。最近才加入 Garland 队伍担起十分重要作用的产品部主任 Anne Vinnicombe 承担起我们拟就的十分紧迫的工作日程安排。

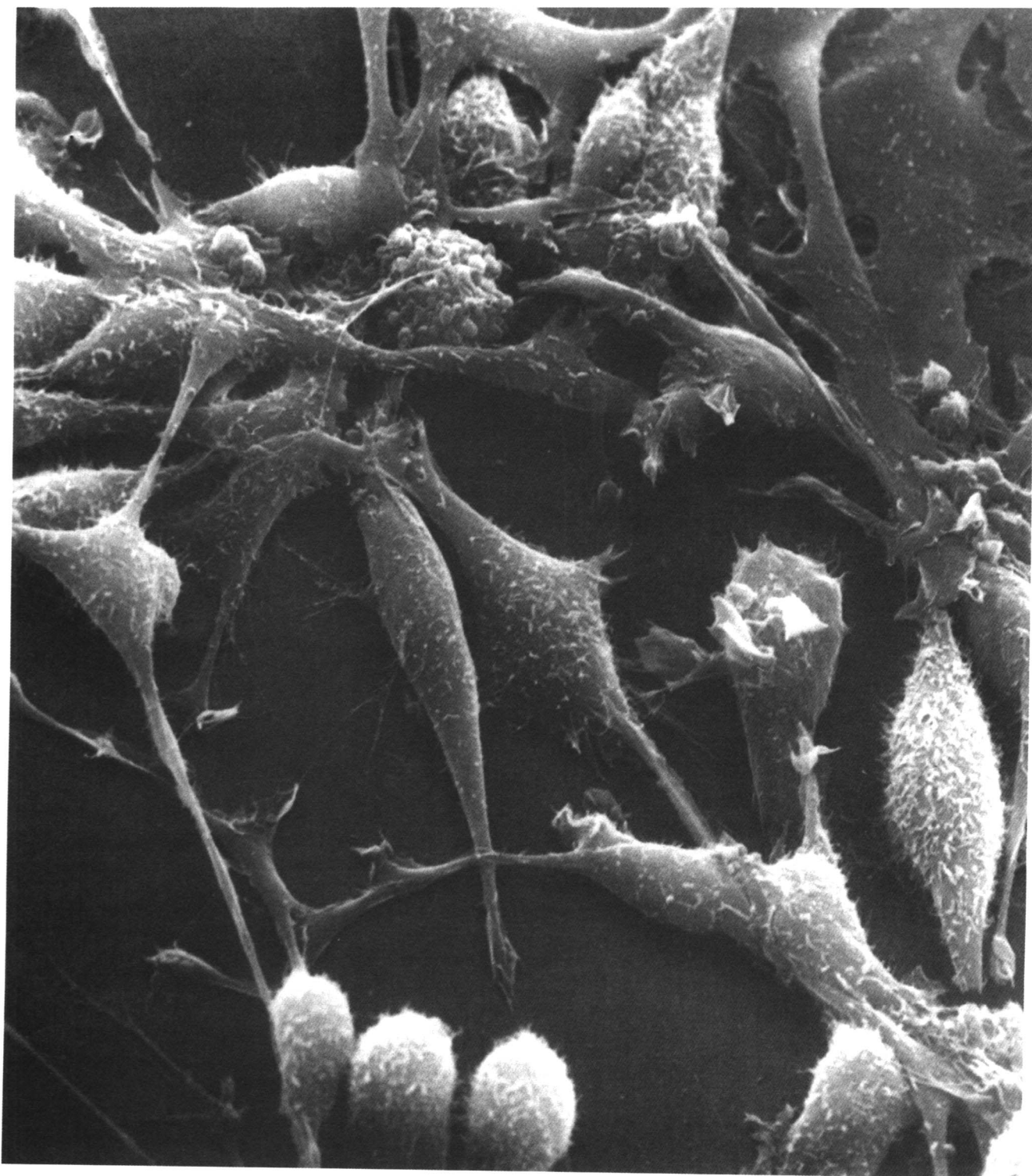
本书的大部分内容是在伦敦的 St John's Wood 写成的。在那

里，我们得到了Garland伦敦办事处工作人员的支持。谨对Emma Hunt、Nasreen Arain、Shella Archibald和Matthew Day的热情帮助致以衷心感谢。Miranda Robertson领导这个小组并检查管理写作过程中的每一细节，从文稿编辑到秘书安排、文具供应以及食品等。与过去一样，我们每天吃Emily Preece Foden做的可口饭菜。也许有一天她会放下调味品去写一部《细胞分子生物学烹饪手册》，但现在，Emily，还不到时候。

最后，我们要感谢Garland出版社主席Libby Borden。由于Gavin Borden过早辞世而把她推上当权地位6年后，她宽容大度而顺乎潮流地经营着公司。她毫不迟疑地给我们以鼓励和支持。没有她也就不会有本书的问世。

尽管我们作出了最大努力，但本书仍难免有错误。希望读者发现错误后能告知我们，以便在再版时加以改正（电子信箱：ecb@garland.com；传真：212-308-9399）。

赵寿元 译



只要供给适当的混合营养物及生长因子,取自多细胞生物的细胞常常能在培养过程中被诱导,存活下来并且繁殖。这张扫描电子显微镜照片显示培养皿的塑料表面上生长着大鼠细胞群,在照片底部,变圆的细胞正在分裂。在培养物上以这种方式培养细胞的能力,使得在整块组织中不可能实行的研究工作有细胞可用。(蒙 Guenter Albrecht-Buehler 惠许)

图版目录

图版 1-1	光学显微镜术与电子显微镜术。	4
图版 1-2	细胞：动物细胞、植物细胞及细菌细胞的主要特征。	18
图版 1-3	哺乳动物的分化细胞的类型。	30
图版 2-1	生物分子中常见的化学键与基团。	44
图版 2-2	水的化学性质及其对生物分子行为的影响。	46
图版 2-3	在细胞中通常出现的糖的几种类型。	54
图版 2-4	脂肪酸与其他脂质。	56
图版 2-5	蛋白质中出现的 20 种氨基酸。	60
图版 2-6	核苷酸综览。	62
图版 2-7	将大分子维系在一起的弱非共价键的主要类型。	66
图版 3-1	自由能与生物学反应。	86
图版 4-1	糖酵解 10 步反应详解。	106
图版 4-2	完整的柠檬酸循环。	116
图版 5-1	蛋白质功能多样性的几个例子。	127
图版 5-2	描述简单蛋白质的四种不同方法。	130
图版 5-3	抗体。	148
图版 5-4	细胞裂解与分级分离。	150
图版 5-5	蛋白质分离。	152
图版 5-6	蛋白质结构测定。	154
图版 13-1	氧化还原电位。	386
图版 17-1	一个动物细胞 M 期（有丝分裂和胞质分裂）的主要阶段。	506
图版 19-1	构成高等植物的细胞类型及组织。	546

目 录

译序

英文版前言

图版目录

第1章 细胞引言	1
显微镜下的细胞	1
光学显微镜的发明导致细胞的发现	2
在显微镜下可以看到细胞、细胞器甚至分子	3
真核细胞	8
细胞核是细胞的信息存贮器	9
线粒体利用食物产生能量而赋予细胞动力	10
叶绿体从日光捕获能量	12
内膜创建功能各异的胞内区室	13
胞质溶胶是一种浓缩大分子和小分子的含水凝胶	15
细胞骨架负责细胞运动	15
细胞的同一性与多样性	16
细胞在外形与功能方面变化巨大	19
活细胞都有相似的基本化学组成和化学性质	20
一切现代细胞看来都从同一祖先进化而来	21
细菌是最小、最简单的细胞	22
分子生物学家曾集中研究过大肠杆菌	24
贾第鞭毛虫可能代表真核细胞进化过程中的一个中间阶段	24
酿酒酵母是一种简单的真核细胞	25
单细胞生物可以是巨大的、复杂的并且是凶猛的：原生动物	26
从30万种植物中选出拟南芥作为模式植物	27
动物界以果蝇、蠕虫、鼠和人为代表	27
在一个多细胞生物中细胞洋洋大观各显神通	29
基本概念	32
关键词	33
问题	33

第2章 细胞的化学成分	35
--------------------	-----------

化学键	35
------------	-----------

细胞由少数几种原子组成	35
最外层电子决定原子间如何相互作用	37
电子得失形成离子键	39
电子共享形成共价键	41
共价键有不同的类型	42
水是细胞中最丰富的物质	43
一些极性分子在水中形成酸或碱	48
细胞内的分子	49
细胞由碳化合物构成	49
细胞含有 4 种主要的有机小分子	49
糖是细胞的能源及多糖的亚基	50
脂肪酸是细胞膜的组分	52
氨基酸是蛋白质的亚基	53
核苷酸是 DNA 及 RNA 的亚基	58
大分子具有一种特殊的亚基序列	64
非共价键规定一个大分子的精确形状	65
非共价键使一个大分子能与另一些特定的分子结合	68
基本概念	69
关键词	69
问题	69

第 3 章 能量、催化作用及生物合成 73

催化作用及细胞中能量的利用	74
细胞释放热能，从而可能形成生物学有序性	75
光合生物利用太阳光合成有机分子	77
细胞通过有机分子的氧化作用获得能量	78
氧化及还原反应涉及电子转移	79
酶降低阻止化学反应的势垒	80
酶如何找到它们的底物：快速扩散的重要性	82
一个反应的自由能变化决定这个反应能否进行	84
反应物的浓度影响 ΔG 值	84
接续反应的 ΔG^0 值是叠加的	88
活化的载体分子与生物合成	88
一个活化载体的形成与一个能量方面有利的反应相偶合	90
ATP 是用得最广泛的活化载体分子	90
贮存在 ATP 中的能量常被用于两个分子的连接	92
NADH 及 NADPH 是重要的电子载体	93
细胞内有许多其他活化载体分子	94
生物聚合物的合成要求能量输入	96
基本概念	99
关键词	99
问题	99

第 4 章 细胞怎样从食物获得能量	101
糖和脂肪的分解	102
食物分子分三个阶段分解以产生 ATP	102
糖酵解是一条重要的 ATP 生产途径	104
发酵使 ATP 在无氧条件下产生	105
糖酵解说明酶如何将氧化作用偶合至能量贮存	108
糖与脂肪都在线粒体中降解为乙酰辅酶 A	110
柠檬酸循环通过将乙酰基氧化为 CO ₂ 而产生 NADH	113
在大多数细胞中电子传递驱动大部分 ATP 合成	114
贮存与利用食物	115
生物在特殊的存贮器中贮存食物分子	115
许多生物合成途径从糖酵解或柠檬酸循环开始	119
代谢是有组织并受调控的	120
基本概念	122
关键词	122
问题	122
第 5 章 蛋白质的结构和功能	125
蛋白质的形状与结构	125
蛋白质的形状是由其氨基酸序列规定的	128
蛋白质折叠成能量最低的构象	132
蛋白质可形成多种复杂形状	133
α 螺旋和 β 折叠是普遍的折叠形式	134
蛋白质有多个层次的组织形式	136
在大量可能的多肽链中只有少数几个是有功能的	138
蛋白质可被归纳分类	138
较大的蛋白质分子往往含有一条以上的多肽链	139
蛋白质可组合成丝、片或球	140
螺旋是生物结构中一种常见的结构模体	142
一些类型的蛋白质具有伸长的纤维形状	143
胞外蛋白质常因共价交联而得以稳定	144
蛋白质怎样发挥作用	144
蛋白质结合其他分子	145
抗体结合部位极为多样化	146
结合强度可由平衡常数来衡量	147
酶是强有力且高度专一的催化剂	156
溶菌酶显示了酶的工作机制	157
V_{\max} 和 K_M 衡量酶效率	159
紧密结合的小分子赋予蛋白质额外功能	160
酶的催化活性是可以调节的	161
别构酶有两个相互影响的结合部位	162

蛋白质的磷酸化可引起构象变化	163
GTP 结合蛋白可发生巨大的构象变化	164
细胞中摩托蛋白产生大的位移	165
蛋白质通常形成大型复合物, 起蛋白质机器的作用	166
基本概念	168
关键词	168
问题	168

第6章 DNA 171

DNA 的结构和功能	172
基因是由 DNA 组成的	172
一个 DNA 分子是由两条互补的核苷酸链组成的	173
DNA 的结构提供了一种遗传机制	175
DNA 复制	177
DNA 合成从复制起始位点开始	177
新的 DNA 合成在复制叉上进行	178
复制叉是不对称的	178
DNA 聚合酶能自我校正	180
短的 RNA 充当 DNA 合成的引物	182
在复制叉处的蛋白质相互协调, 形成复制机构	183
DNA 修复	184
DNA 上的变化引起突变	185
DNA 错配修复系统清除被复制机构忽略了的复制差错	186
DNA 在细胞内持续不断地受到损伤	187
基因的稳定性取决于 DNA 修复	189
高保真地维持 DNA 意味着近缘种的蛋白质有很相似的序列	190
基本概念	191
关键词	191
问题	192

第7章 从 DNA 到蛋白质 195

从 DNA 到 RNA	196
部分 DNA 序列转录成 RNA	196
转录产生与一条 DNA 链互补的 RNA	197
细胞内产生数种 RNA	199
DNA 上的信号指示 RNA 聚合酶何处起始和结束	200
真核 RNA 在核内被加工	200
真核基因被非编码序列所间隔	203
内含子由 RNA 拼接而被去除	203
mRNA 分子最终被细胞降解	205

最早期的细胞基因内可能已有内含子	206
从 RNA 到蛋白质	207
mRNA 以三核苷酸组的形式被解译	207
tRNA 分子使氨基酸与 mRNA 上的密码子相匹配	208
特定的酶使 tRNA 与正确的氨基酸偶联	210
RNA 信息在核糖体上被解译	210
mRNA 上的密码子指示蛋白质合成的起始及终止	213
蛋白质在多核糖体上合成	214
精细控制的蛋白质降解协助调控细胞内每种蛋白质的量	215
从 DNA 到蛋白质之间有很多步骤	216
RNA 和生命起源	217
简单的生物分子能在前生命条件下形成	218
RNA 既能贮存信息也能催化化学反应	219
RNA 在进化上早于 DNA	221
基本概念	222
关键词	223
问题	223

第 8 章 染色体和基因调控 225

真核生物染色体的结构	226
真核生物的 DNA 包装成染色体	226
细胞周期中染色体以不同状态存在	228
特殊 DNA 序列保证染色体高效复制	228
核小体是染色质结构的基本单位	230
染色体有多级的 DNA 包装	231
间期染色体同时含有浓缩的和比较伸展的染色质形态	232
基因表达的位置效应揭示了间期染色体包装的不同	234
间期染色体在细胞核内组织	235
基因调控	236
细胞调控自身基因的表达	236
转录控制是通过蛋白质结合到 DNA 调节序列上实现的	237
阻抑物关闭基因，活化物打开基因	239
真核生物基因转录的起始是一个复杂的过程	241
真核 RNA 聚合酶要求通用转录因子	242
真核基因调控蛋白从远处控制基因表达	242
启动子 DNA 包装成核小体会影响转录起始	244
真核基因是由蛋白质组合来调控的	245
不同基因的表达可被单个蛋白质协调	246
组合控制可产生不同细胞类型	247
稳定的基因表达型式可传递给子细胞	248
单个基因调控蛋白能触发一个完整器官的生成	250
基本概念	251

关键词	251
问题	251

第9章 遗传性变异 255

细菌的遗传性变异	256
细菌的快速分裂意味着突变会在短时间内产生	256
细菌中的突变能被环境条件中的变化所选择	258
细菌细胞能从其他细菌中获得基因	259
细菌基因能通过细菌接合而转移	259
细菌能从周围环境中摄取 DNA	261
同源重组可在两个具有相似序列的 DNA 分子之间发生	262
用细菌病毒能使基因在细菌和细菌之间转移	264
转座因子创造遗传多样性	266
真核生物基因组中遗传性变异的来源	267
随机 DNA 重复造成相关基因家族	268
编码新蛋白质的基因可通过外显子重组而产生	269
多细胞真核生物 DNA 的大部分是由重复非编码序列组成的	270
人基因组约 10% 由两个转座序列家族组成	271
转座因子加速了基因组的进化	272
病毒是能离开细胞的高度可动的遗传因子	273
反转录病毒逆转正常的遗传信息流	275
携带宿主基因的反转录病毒能使细胞癌变	277
有性生殖和基因的重新分配	278
有性生殖在一个不可预见的变化环境中给予生物竞争优势	278
有性生殖和二倍体及单倍体细胞都有关	279
减数分裂由二倍体细胞产生单倍体细胞	279
减数分裂产生大量遗传性变异	282
基本概念	283
关键词	283
问题	283

第10章 DNA 技术 287

如何分析 DNA 分子	288
限制酶在特定位点上切割 DNA 分子	289
凝胶电泳分离不同大小的 DNA 片段	290
DNA 片段的核苷酸序列是可以测定的	292
核酸杂交	292
DNA 杂交促进遗传性疾病的产前诊断	294
原位杂交将核苷酸序列定位在细胞或染色体上	296
DNA 克隆	297