



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

分子生物学教程

(第二版)



MOLECULAR
BIOLOGY COURSE

赵亚华◎编著



科学出版社
www.sciencep.com

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

分子生物学教程

(第二版)

Molecular Biology Course

(Second Edition)

赵亚华 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

生命科学是 21 世纪自然科学的带头学科,分子生物学是生命科学中发展最迅速的学科之一。本书从狭义的分子生物学定义出发,即以 DNA 和 RNA 这两类生物大分子为主线,由浅入深且较简明地叙述了这些大分子的结构与功能及其表达和调控。考虑到全书在编排上的系统性及其内容的重要性,将病毒分子生物学和分子生物学技术也做了简单介绍。本书共分 15 章,以较简明的形式概括了分子生物学的核心内容,即全面重点地阐述了分子生物学的基本理论,又突出介绍了学科发展的前沿动态。在每章末尾都总结了简要的内容提要。

本书可作为综合性大学、医科大学、师范和农林院校生命科学专业研究生和本科生的分子生物学教材,也可作为教师和科研人员的学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

分子生物学教程/赵亚华等编著. —2 版. —北京:科学出版社,2006

(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)

ISBN 7-03-017110-1

I. 分… II. 赵… III. 分子生物学-高等学校-教材 IV. Q7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 030154 号

责任编辑:周 辉 彭克里 席 慧/责任校对:钟 洋

责任印制:张克忠/封面设计:耕者设计工作室

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>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 7 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2006 年 9 月第 二 版 印张:32 3/4

2006 年 9 月第一次印刷 字数:746 000

印数:1—4 000

定价:42.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(环伟))

第二版前言

作者在 2004 年编写出版了第一版,但由于时间有限,且分子生物学学科发展十分迅速,原书的内容已不能满足学科发展的需要。本次编写是在上一版编写的基础上,保持原有框架,参考了国内外近年来的一些优秀教科书,博采众长,并根据平时的教学积累和学生用书需求,重新修订形成了第二版《分子生物学教程》。

重新修订的第二版做了较大的改动,85%以上的内容都已重写。增加了“生物大分子之间的相互作用”和“RNA 转录后的加工”。由于目前 RNA 的结构与功能及其剪接加工方面的内容十分重要且越来越多,故将原来的第 7 章分成了两章。全书共 15 章,以较简明的形式,系统概括介绍了分子生物学的核心内容,即全面重点地阐述了分子生物学的基本理论,又突出介绍了学科发展的前沿动态。在书的每章末尾都设有简要的内容提要,便于教师教学和学生复习,掌握重点。

分子生物学的内容十分丰富而繁杂,本书的特点是将最基本最重要的内容汇集一体,条理清晰,语言精练,取材新颖,基本概念准确、知识点全面、信息量大,具有一定的可读性和适用性,是指导学生快速掌握分子生物学基础知识的理想教材。由于分子生物学发展迅速,资料浩瀚,且国内外从事这方面工作的专家学者很多,关注的侧重点各有不同,本书难以面面俱到,限于作者水平,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正,不胜感激。

在本书的编写修订过程中,曲阜师范大学生命科学学院徐来祥教授参加了修订工作。华南农业大学生命科学学院生物化学与分子生物学教研室高向阳老师、王玉琪老师、朱国辉老师,华南农业大学食品科学学院郭丽琼老师等参与了部分内容的修订并提出了许多宝贵的意见,本室研究生梁祖承、林崇愠、何海娜等同学参与了文字处理工作,在此,作者一并表示衷心的感谢!

本书的再版被列入华南农业大学“十一五”教材建设的规划项目,得到了教务处、生命科学学院及生物化学与分子生物学教研室全体同仁的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

作 者

2006 年 2 月

第一版前言

近半个世纪以来,生命科学领域取得了举世瞩目的重大成就和进步,而分子生物学是生命科学中发展最迅速,取得成果最多的学科之一。分子生物学是研究核酸、蛋白质等生物大分子的结构与功能,并从分子水平上阐述蛋白质与核酸、蛋白质与蛋白质之间相互作用的关系及其基因表达调控机理的科学。人类对生物学的研究最早从研究动物、植物的形态、解剖和分类开始,到以后对细胞学、遗传学、微生物学、生理学、生物化学的研究进入了细胞水平。从 20 世纪 50 年代以来,以生物大分子为研究目标的分子生物学开始逐步形成了独立的学科,并迅速成为现代生物学领域中最具活力的科学。随着相关学科的不断发展,生物学与其他学科相互之间的渗透越来越深入,物理学和化学的理论、术语和方法不断地用于生物学的研究。目前,科学家已经建立了一整套分子生物学研究的方法、系统和一般的逻辑推理原则,使分子生物学的研究能迅速地向深度和广度发展。

目前,分子生物学已经深入到生物学科各个领域之中,并正在产生一系列新的分子科学,改变了或正在改变着整个生物学的面貌,其研究成果已在工业、农业、医学以及生物制药等领域得到了广泛的应用。在生命科学的教学活动中,分子生物学是生命科学领域十分重要的专业基础课之一。随着相关学科研究的不断深入,分子生物学的内容愈来愈多,因此,真正全面系统地掌握分子生物学的知识并不容易,而具备一本好的教科书,使教师和学生能在有限的教与学的时间内较好地掌握这门课程的内容,无疑是非常重要的,作者综合了国内外一些最新教科书,博采众长,根据平时的教学积累和目前学生用书现状,编写了这本教程。

本书以 DNA 和 RNA 两类生物大分子为主线,深入浅出地介绍了这些大分子的结构与功能及其复制、转录、翻译和表达调控。由于病毒分子生物学的内容十分丰富,而 DNA 重组技术是分子生物学领域的重要部分,考虑到全书的系统性与先进性,本书将这两章的内容也做了简单介绍。在绪论中,简要介绍了分子生物学的发展历程,内容涉及广泛,从宏观的生命科学发展整体水平上,力求使学生认识到分子生物学在生命科学中的地位,并了解生命科学的前沿。本书共分 13 章,以简明的形式概括了分子生物学的核心内容,既全面重点地阐述了分子生物学的基本理论,又突出介绍了学科发展的前沿动态。

分子生物学的内容十分丰富而繁杂,本书的特点是将最基本而核心的内容汇集一体,取材新颖、简明扼要、条理清晰、语言精练、基本概念准确、知识点全面、信息量大,具有一定的可读性和适用性,是指导学生在有限的时间掌握分子生物学基础知识的理想教材。由于分子生物学发展迅速,资料浩瀚,专家学者们关注的侧重点往往不同,因此本书难以面面俱到,疏漏之处在所难免,敬请广大读者批评指正,不胜感激。

本书的编写与出版被列入华南农业大学“十五”教材建设的规划项目，得到了教务处、生命科学学院以及教研室同仁的大力支持，在此表示衷心感谢！

作 者

2003年8月于广州·五山

目 录

第二版前言

第一版前言

第 1 章 绪论	1
1.1 分子生物学的概念	1
1.2 分子生物学研究的内容	1
1.2.1 基因与基因组的结构与功能	2
1.2.2 DNA 的复制、转录和翻译	2
1.2.3 基因表达调控的研究	2
1.2.4 DNA 重组技术	2
1.2.5 结构分子生物学	3
1.3 分子生物学与生物化学之间的关系	3
1.4 分子生物学发展的历程	4
1.4.1 人类对 DNA 和遗传信息传递的认识阶段	4
1.4.2 重组 DNA 技术的建立和发展阶段	5
1.4.3 重组 DNA 技术的应用和分子生物学的迅猛发展阶段	5
1.5 21 世纪分子生物学发展的趋势	6
1.5.1 功能基因组学	6
1.5.2 蛋白质组学	7
1.5.3 生物信息学	8
本章内容提要	9
思考题	9
第 2 章 细胞内生物分子相互作用概述	10
2.1 生物活性物质的本质	10
2.1.1 生物活性物质的属性	10
2.1.2 生物大分子的化学本质与特性	11
2.2 生物大分子间相互作用的化学力	12
2.2.1 生物大分子间相互作用的化学力	13
2.2.2 生物大分子内部的化学键	13
2.3 生物大分子的自我组装	17
2.3.1 生物大分子的共价结构	17
2.3.2 生物大分子的自我组装	17
2.3.3 生物大分子的结构层次	20
2.3.4 生物分子的螺旋结构	22
2.3.5 生物膜的组装	22

2.3.6 复杂大分子的自我装配举例	23
2.4 生物大分子的相互作用	23
2.4.1 核酸与蛋白质的相互作用	24
2.4.2 蛋白质与蛋白质的相互作用	26
2.4.3 糖与蛋白质的相互作用	27
2.4.4 脂与蛋白质的相互作用	29
本章内容提要	30
思考题	31
第3章 核酸的结构与功能	32
3.1 细胞内的遗传物质	32
3.1.1 DNA 是主要的遗传物质	32
3.1.2 RNA 也是遗传物质	33
3.2 核酸的化学组成与共价结构	33
3.2.1 核酸的化学组成	33
3.2.2 核酸的共价结构	35
3.3 DNA 的二级结构 (双螺旋模型)	36
3.3.1 双螺旋模型特征	36
3.3.2 维持 DNA 双螺旋结构的作用力	38
3.3.3 DNA 二级结构的其他形式 (双螺旋结构的多态性)	39
3.4 DNA 分子的高级结构	42
3.4.1 单链核酸形成的二级结构	42
3.4.2 反向重复序列	42
3.4.3 三股螺旋的 DNA	43
3.4.4 DNA 的四链结构	45
3.4.5 DNA 结构的动态性与精细结构	46
3.4.6 DNA 的超螺旋结构与拓扑学性质	49
3.5 真核生物的染色体及其组装	52
3.5.1 真核生物的染色体	52
3.5.2 染色体中的组蛋白	53
3.5.3 核小体的形成	54
3.5.4 染色质的高级结构	55
3.6 RNA 的结构与功能	57
3.6.1 RNA 的结构特点及与 DNA 的区别	57
3.6.2 细胞中 RNA 的分布	58
3.6.3 RNA 分类概述	59
3.7 核酸的变性、复性与分子杂交	65
3.7.1 核酸的变性	65
3.7.2 核酸的复性与分子杂交	67
本章内容提要	71

思考题	72
第 4 章 基因与基因组的结构与功能	73
4.1 基因的概念	73
4.1.1 基因与 DNA 分子的关系	73
4.1.2 基因与多肽链的关系	75
4.2 基因的命名	75
4.3 基因组	76
4.3.1 基因组的概念	76
4.3.2 基因及基因组的大小与 C 值矛盾	77
4.4 病毒及其基因组	79
4.4.1 病毒基因组一般特点	80
4.4.2 病毒的核酸	80
4.4.3 噬菌体基因组	81
4.4.4 几种病毒的基因组	84
4.5 细菌基因组	86
4.5.1 细菌基因组的一般特点	87
4.5.2 细菌的染色体基因组	88
4.6 真核生物基因组	89
4.6.1 真核生物基因组的特点	89
4.6.2 真核生物基因组的结构	90
4.6.3 线粒体基因与基因组的结构	110
4.6.4 叶绿体基因与基因组的结构与功能	111
4.6.5 人类基因组简介	112
本章内容提要	129
思考题	130
第 5 章 DNA 的复制	132
5.1 DNA 复制概述	132
5.1.1 半保留复制概述	133
5.1.2 DNA 复制的一些基本概念	134
5.1.3 DNA 复制的酶体系	143
5.1.4 DNA 的半不连续复制	148
5.1.5 DNA 合成的高保真性	150
5.1.6 DNA 复制的拓扑性质	151
5.2 细菌 DNA 复制的过程	153
5.2.1 大肠杆菌复制的起始	153
5.2.2 复制的延伸	155
5.3 真核生物 DNA 的复制	159
5.3.1 DNA 聚合酶	159
5.3.2 真核生物染色体端粒的复制	161

5.4 DNA 复制的调节控制	163
5.4.1 大肠杆菌染色体 DNA 的复制调控	163
5.4.2 ColE1 质粒 DNA 的复制调控	164
5.4.3 R6K 质粒 DNA 的复制调控	164
5.4.4 单链 DNA 噬菌体的复制调控	165
5.4.5 λ 噬菌体 DNA 的复制调控	165
5.5 真核生物 DNA 复制的调控	166
5.5.1 病毒 SV40 DNA 的复制调控	166
5.5.2 腺病毒 DNA 的复制调控	167
5.5.3 酵母染色体 DNA 的复制调控	167
本章内容提要	168
思考题	169
第 6 章 DNA 的损伤、修复和基因突变	171
6.1 DNA 损伤的概念	171
6.1.1 DNA 分子的自发性损伤	171
6.1.2 物理因素引起的 DNA 损伤	172
6.1.3 化学因素引起的 DNA 损伤	173
6.2 DNA 的修复	174
6.2.1 切除修复	174
6.2.2 错配修复	176
6.2.3 直接修复	176
6.2.4 重组修复	178
6.2.5 易错修复和 SOS 反应	178
6.3 基因突变	180
6.3.1 基因突变的类型	180
6.3.2 诱变剂的作用	181
6.3.3 诱变剂和致癌剂的检测	183
6.3.4 基因突变的后果	184
本章内容提要	184
思考题	186
第 7 章 DNA 的重组与转座	187
7.1 同源重组	187
7.1.1 同源重组的分子模型	188
7.1.2 异源双链与基因转换	190
7.1.3 细菌的基因转移与重组	191
7.1.4 同源重组的酶学机制	193
7.2 位点特异性重组	196
7.2.1 λ 噬菌体 DNA 的整合与切除	197
7.2.2 细菌的特异位点重组	198

7.3 转座作用	198
7.3.1 转座子的概念	198
7.3.2 转座子的分类	199
7.3.3 转座子的转座的机制	202
7.3.4 转座子转座的特征	204
7.3.5 DNA 转座引起的遗传学效应	205
7.3.6 真核生物的转座因子	205
7.4 逆转录转座子	207
7.4.1 逆转录子的结构特点	208
7.4.2 逆转录子的作用机制	208
7.4.3 逆转录子的生物学意义	209
本章内容提要	211
思考题	212
第8章 RNA 的转录合成	213
8.1 RNA 转录概述	213
8.1.1 RNA 转录的一般特点	213
8.1.2 原核生物和真核生物基因转录的差异	214
8.1.3 RNA 的转录主要有 4 个阶段	215
8.2 细菌的 RNA 聚合酶及其转录	216
8.2.1 RNA 聚合酶概述	216
8.2.2 原核生物 RNA 聚合酶对启动子的识别与结合	220
8.2.3 原核生物 RNA 的转录历程	224
8.3 真核生物的 RNA 聚合酶及其转录	235
8.3.1 真核生物基因转录概述	235
8.3.2 真核生物基因转录的 RNA 聚合酶	238
8.4 真核生物基因转录的启动子	242
8.4.1 类型 I 基因的启动子	242
8.4.2 类型 II 基因的启动子	243
8.4.3 类型 III 基因的启动子	246
8.5 类型 II 基因转录的转录因子和转录起始复合物	248
8.5.1 基本转录因子	249
8.5.2 转录起始复合物的组装	252
8.6 类型 I 和 III 的转录因子及其转录起始复合物	254
8.6.1 类型 I 基因的转录因子	254
8.6.2 RNA 聚合酶 I 的转录起始复合物	255
8.6.3 类型 III 基因的转录因子	255
8.6.4 RNA 聚合酶 III 转录起始复合物的装配	257
8.7 RNA 转录的调节控制	261
8.8 RNA 转录的抑制作用	261

8.8.1 嘌呤和嘧啶类似物	262
8.8.2 DNA 模板功能的抑制物	262
8.8.3 RNA 聚合酶的抑制物	264
本章内容提要	264
思考题	266
第 9 章 RNA 转录后的剪接与加工	267
9.1 RNA 转录后的剪接、加工与修饰概述	267
9.2 原核生物 RNA 的转录后加工	267
9.2.1 原核生物 rRNA 前体的加工	267
9.2.2 原核生物 tRNA 前体的加工	268
9.2.3 原核生物 mRNA 前体的加工	271
9.3 真核生物 RNA 的转录后加工	273
9.3.1 真核生物 RNA 前体内含子的剪接方式分类	273
9.3.2 真核生物 tRNA 前体的转录后加工	273
9.3.3 真核生物 rRNA 前体的转录后加工	276
9.3.4 真核生物 mRNA 前体的剪接	278
9.3.5 真核生物 mRNA 前体剪接的机制	284
9.3.6 RNA 的自我剪接	295
9.3.7 核酶	301
9.3.8 RNA 的编辑	303
9.3.9 RNA 的再编码	305
本章内容提要	306
思考题	308
第 10 章 遗传密码	309
10.1 遗传密码的破译	309
10.2 遗传密码的基本特性	312
10.2.1 密码的基本单位	312
10.2.2 起始密码与终止密码	312
10.2.3 密码的简并性	313
10.2.4 密码的变偶性	313
10.2.5 遗传密码的通用性和变异性	314
10.3 突变的效应及遗传密码的防错系统	316
10.4 可读框与重叠基因	317
本章内容提要	317
思考题	319
第 11 章 蛋白质的生物合成——翻译	320
11.1 蛋白质生物合成概述	320
11.2 蛋白质生物合成的分子基础	320
11.2.1 mRNA 是蛋白质生物合成的模板	320

11.2.2	tRNA 转运活化的氨基酸至 mRNA 模板	321
11.2.3	密码子与反密码子的相互作用	322
11.2.4	核糖体是蛋白质生物合成的部位	323
11.3	翻译的过程	327
11.3.1	翻译的起始	327
11.3.2	翻译的延伸	338
11.3.3	翻译的终止	342
11.3.4	蛋白质合成的抑制	344
11.4	蛋白质合成的调节	345
11.4.1	真核生物 mRNA 分子的稳定性	345
11.4.2	5'UTR 结构与翻译起始的调节	345
11.4.3	蛋白质磷酸化对翻译效率的影响	347
11.4.4	3'UTR 结构与 mRNA 稳定性调控	348
11.4.5	mRNA 的细胞质定位	351
11.5	蛋白质合成后的运输	351
11.5.1	蛋白质在细胞内的定位	351
11.5.2	真核细胞的结构蛋白和分泌蛋白	351
11.5.3	蛋白质运输的途径	353
11.6	蛋白质前体的共价修饰	358
11.6.1	肽链 N 端残基 fMet 或 Met 的切除	358
11.6.2	形成二硫键	358
11.6.3	氨基酸侧链的修饰	359
11.7	蛋白质的折叠	360
11.7.1	蛋白质分子折叠是个动态过程	360
11.7.2	分子伴侣	360
	本章内容提要	361
	思考题	363
第 12 章	原核生物基因表达调控	364
12.1	原核生物基因表达调控概述	364
12.1.1	基因表达调控的意义	364
12.1.2	原核基因表达调控的特点	364
12.1.3	原核基因表达调控的几个概念	365
12.2	乳糖操纵子	368
12.2.1	乳糖操纵子的负调节机制	368
12.2.2	降解物对基因活性的调节	371
12.2.3	阻遏蛋白作用机制	371
12.3	色氨酸操纵子的负调控	373
12.3.1	色氨酸操纵子的阻遏系统	374
12.3.2	色氨酸操纵子的弱化系统	375

12.4 阿拉伯糖操纵子.....	379
12.4.1 阿拉伯糖操纵子概述	379
12.4.2 阿拉伯糖操纵子的正、负调节作用	380
12.5 组氨酸操纵子.....	381
12.6 正调控系统和负调控系统.....	382
12.6.1 <i>lac</i> 操纵子的正调控系统	382
12.6.2 负调控系统	385
本章内容提要.....	386
思考题.....	388
第 13 章 真核生物的基因表达调控	389
13.1 真核基因表达调控的特点.....	389
13.2 真核细胞基因表达调控的不同层次.....	390
13.3 DNA 染色体水平的调控	391
13.3.1 染色质的结构	392
13.3.2 异染色质化	392
13.3.3 组蛋白对基因活性的影响.....	393
13.3.4 组蛋白的乙酰化-去乙酰化	394
13.3.5 活性染色质对 DNase 的敏感性	395
13.3.6 非组蛋白	397
13.3.7 核基质与基因活化	400
13.3.8 基因的丢失	401
13.3.9 基因的扩增	402
13.3.10 染色体基因的重排	402
13.4 DNA 水平上的调控	408
13.4.1 DNA 甲基化	408
13.4.2 DNA 甲基化与转录抑制	408
13.4.3 甲基化影响 DNA 与蛋白质的相互作用	409
13.5 真核基因转录水平的调节控制.....	410
13.5.1 真核与原核生物转录调控的区别	410
13.5.2 基因基础转录的调节	410
13.5.3 真核生物转录调控的顺式作用元件	412
13.5.4 反式作用因子的结构和功能	417
13.5.5 调控蛋白对特异 DNA 序列的识别	423
13.5.6 蛋白质调节因子的活性调节	424
13.5.7 甾体激素诱导的转录	427
13.5.8 甾体激素对基因转录的调控	429
13.5.9 RNA 结合蛋白的结构与功能	430
本章内容提要.....	432
思考题.....	433

第 14 章 病毒分子生物学简介	435
14.1 病毒基因组的结构概述	435
14.2 病毒基因组的复制	435
14.2.1 单链环状噬菌体 DNA 的复制	436
14.2.2 RNA 病毒的复制	436
14.3 逆转录病毒	440
14.3.1 逆转录病毒概述	440
14.3.2 逆转录机制	441
14.3.3 逆转录的生物学意义	444
14.4 腺病毒	445
14.4.1 腺病毒的毒粒结构	445
14.4.2 腺病毒基因组结构	446
14.4.3 腺病毒的复制	446
14.4.4 腺病毒的基因转录	447
14.4.5 腺病毒与肿瘤	447
14.4.6 腺病毒作为基因治疗的载体	447
14.5 丙型肝炎病毒	448
14.5.1 HCV 基因组的结构与功能	448
14.5.2 HCV 基因组的复制	450
14.6 艾滋病与 HIV	450
14.6.1 HIV 的结构与生活周期	450
14.6.2 HIV 基因组的结构与功能	450
14.6.3 HIV 基因转录的调节	454
14.6.4 病毒基因转录后的调控	455
14.6.5 病毒基因在翻译水平的调节和翻译后调节	455
14.7 病毒对宿主细胞的影响	456
14.8 病毒与肿瘤发生	457
14.9 病毒的基因工程疫苗及病毒载体	457
14.10 亚病毒	458
14.10.1 类病毒	458
14.10.2 卫星 RNA 和卫星病毒	458
14.10.3 朊病毒	459
本章内容提要	460
思考题	462
第 15 章 分子生物学技术简介	463
15.1 DNA 分子克隆的基本原理	463
15.2 用于基因克隆的工具酶	464
15.2.1 DNA 限制性内切核酸酶	465
15.2.2 核酸的限制酶酶切图谱与物理图谱	467

15.2.3 DNA 连接酶	467
15.2.4 其他工具酶	468
15.3 分子克隆的载体与宿主系统	469
15.3.1 质粒载体	470
15.3.2 λ 噬菌体	471
15.3.3 柯斯质粒	472
15.3.4 M13	472
15.4 DNA 的克隆	473
15.4.1 基因克隆的过程	473
15.4.2 获得目的基因	473
15.4.3 将目的片段连接到载体上	473
15.4.4 重组 DNA 引导进入受体细胞	473
15.5 基因文库的构建	476
15.5.1 基因组文库的构建	476
15.5.2 cDNA 文库的构建	479
15.6 克隆基因的分离与鉴定	481
15.6.1 以载体特征直接选择	481
15.6.2 细菌菌落或噬菌斑的原位杂交	481
15.6.3 差别杂交或扣除杂交法分离克隆基因	482
15.6.4 从表达文库中分离克隆基因	483
15.6.5 克隆基因的鉴定	483
15.7 聚合酶链反应	483
15.7.1 PCR 反应的基本原理	483
15.7.2 PCR 反应的基本步骤	484
15.7.3 PCR 技术的发展与应用	485
15.8 DNA 的化学合成	486
15.9 基因定位诱变	487
15.9.1 酶切诱变	487
15.9.2 寡核苷酸指导的诱变	488
15.9.3 PCR 诱变	489
15.10 核酸的序列测定	489
15.10.1 DNA 双脱氧法 (酶法) 测序	489
15.10.2 DNA 的化学法测序	490
15.11 RNA 的测序	491
15.12 生物芯片技术	491
15.13 生命科学中的电泳技术	493
15.13.1 毛细管电泳技术	493
15.13.2 双向电泳技术	493
本章内容提要	494

思考题.....	495
主要参考文献.....	496
常用词英汉对照.....	497