



中国科学院研究生教学丛书

刘志恒 主编

现代微生物学

(第二版)



科学出版社
www.sciencep.com

58.6
192(2)

中国科学院研究生教学丛书

现代微生物学

(第二版)

刘志恒 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在初版结构的基础上,跟踪微生物基因组学和相关分析技术的发展,以及微生物学革命性的变化,并结合作者近年来教学实践中的经验,本着“精简、更新、求全和实用”的原则,对初版内容进行调整、删节和添新。全书仍然为10章,内容包括微生物学概论、原核生物、极端微生物和古菌、真菌学、病毒学,以及微生物的生态学、生理学、生化代谢、遗传学和免疫学等。全书中的相关图表作了相应更新。

本书内容丰富、新颖,适合从事与微生物领域相关的广大研究生、教师 and 科技工作者参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代微生物学/刘志恒主编. —2版. —北京:科学出版社,2008
(中国科学院研究生教学丛书)
ISBN 978-7-03-020047-1

I. 现… II. 刘… III. 微生物学-研究生-教材 IV. Q93

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第021076号

责任编辑:李 晓 霍春雁 刘 晶/责任校对:宋玲玲
责任印制:钱玉芬/封面设计:福瑞来书装

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>

源海印刷有限责任公司 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

2008年3月第 二 版 印张:50 1/2

2008年3月第三次印刷 字数:1 171 000

印数:6 001—9 000

定价:99.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

《现代微生物学》(第二版)
编辑委员会

主 编 刘志恒

编 委 (按姓氏笔画顺序排序)

门大鹏	东秀珠	白逢彦
江 宁	刘志培	刘志恒
杨德成	周培瑾	阎锡蕴

再版前言

《现代微生物学》(第一版)自从2002年作为研究生教材,由科学出版社出版发行以来,受到了广大读者的青睐,作者对此深感欣慰。同时,对初版在使用过程中逐渐显露的一些缺点,也甚表歉意。

随着21世纪科学技术的快速发展,微生物学的内容也不断更新和充实。尤其是近年微生物基因组学及相关分析技术的发展,使微生物学研究发生着革命性的变化。日益庞大的基因组信息,将有助于人们认识微生物的自然进化关系,并对微生物系统学有更加深刻的理解;基因组技术在环境中的应用,将推进微生物分子生态学的发展;后基因组时代对功能基因组的分析,以及蛋白质组学、代谢组学、生物信息学的出现和发展,将导致微生物药物学、免疫学、微生物法医学、工业化学、生物治理等诸多应用领域的创新。基于此,为了及时向读者介绍微生物学的进展,我们在《现代微生物学》(第一版)的基础上,结合教学实践中的经验,并吸收读者的意见,对该书进行了修订和再版。

第二版中,我们本着“精简、更新、求全和实用”的原则,对原有内容进行了调整、增删。全书仍然为10章:第1章中增加了“微生物基因组学”一节,调整了“微生物多样性与天然产物筛选”的内容;第2章使用“放线菌门”取代了高(G+C)mol%革兰氏阳性菌的论述,并在原核生物分类系统中参考了《伯杰氏系统细菌学手册》第二版的内容;第3章主要阐述极端微生物和古菌的基本概念、相关研究进展、在理论上的研究意义及在实际应用中的价值,从极端环境相关影响因子入手介绍极端环境微生物的主要类群,从系统发生的角度阐述古菌的主要类群;第4章增加了“黏菌”的内容;第5章增加了21世纪广受人类关注的SARS和禽流感病毒的内容;第6章增加了“微生物与污染物的相互作用”一节,删减了“自然界中的微生物及其进化与多样性”内容;第7章删除“微生物分化”一节,并对其他内容进行精简和更新;第8章着力以化学的视角研究微生物细胞,介绍了微生物细胞的化学物质和在细胞内发生的生化反应,生化反应过程中物质、能量、信息的传递和转换,生化反应的调节与网络的概念,并介绍了微生物育种的原理及最新的进展,增加有关代谢组学的内容,将代谢调控与微生物育种合并;第9章增加了如mRNA内含子剪接、内含子的选择性剪接、mRNA定位主动转运等基因操作内容,删除了转录因子的形态和功能、酵母线粒体等内容;第10章对内容进行了精简。同时,我们对全书中的相关图表作了相应更新。希望再版后的《现代微生物学》将是一本结构更加合理、内容更加全面、理论更加新颖,更适合研究生和科技工作者使用的教材。

再版工作基本上由第一版的编写人员承担,但也有年轻学者参与。第1章由中国科学院微生物研究所的刘志恒教授编写;第2章由中国科学院微生物研究所的东秀珠教授和刘志恒教授编写;第3章由中国科学院微生物研究所的周培瑾教授和徐毅博士、崔恒林博士编写;第4章由中国科学院微生物研究所的白逢彦教授编写;第5章由加拿大

British Columbia 大学的杨德成教授和张慧芳博士编写；第 6 章由中国科学院微生物研究所的刘志培副研究员编写；第 7 章由中国科学院微生物研究所的周培瑾教授、杨勇博士和北京师范大学的辛明秀副教授编写；第 8 章由中国科学院微生物研究所的江宁教授和王钦宏博士、韦平英博士编写；第 9 章由中国科学院微生物研究所的门大鹏和贾盘兴教授编写；第 10 章由中国科学院生物物理研究所的阎锡蕴教授和中国人民解放军总医院的袁玫教授编写。

在本书再版过程中，李文权、卓英为全书的图表和文字处理工作付出了大量的劳动，在此特别感谢。

尽管参加本书再版的所有作者都付出了大量的心血和时间，但由于编写水平所限，尤其是跟踪快速发展的微生物学步伐还有一定困难，所以书中出现错误仍在所难免，衷心希望广大读者批评指正。

作 者

2007 年 3 月 北京

初 版 前 言

作为研究生教科书名的“现代微生物学”(current microbiology)并非生物学中的学科名称,而是作者藉此称谓强调该书以现代科学理论、知识和技术论述微生物基本原理为特征,以区别于大学教材书名“普通微生物学”。

当今微生物学作为基础生物科学,随着科学技术的迅速发展,它的研究领域已大大扩展。根据不同研究领域提出的问题,将微生物分成细菌、原生生物、藻类、真菌和病毒等类群,对它们分门别类地进行研究便构成了微生物学中的一些相对独立学科。甚至一些不仅仅以微生物为研究对象的学科,如研究人体对微生物反应的免疫学也成了独立的分支学科。随着对极端环境微生物——古菌(Archaea)研究所取得的进展,科学家认为微生物不仅是地球上最早的生命形式,而且也可能是地球以外生物存在的生命形式。以月球、火星以及其他星球岩石样品中的微生物为研究对象,探讨地球以外生命的外空生物学(exobiology)也应运而生。从而不难看出,当今微生物学各个研究领域之间的延伸和相互交叉,微生物学与其他学科间的相互交叉,是构成现代微生物学的显著特点。

为了适应微生物学领域的快速发展,充分反映微生物学新的研究技术和成果,特别是分子生物学技术在微生物学及其分支学科中的广泛应用所引起的许多新的突破、新的生长点的形成,我们汇集了各个微生物学研究领域的既有长期从事研究工作积累,又有研究生培养经验的专家,试图将研究人员的技术和知识带入课堂,编写这部以《现代微生物学》为书名的研究生教材,奉献给广大的研究生和教师及科研人员。

本书在内容和结构上采用基础科学和应用科学相结合,以基础科学为主的编排处理。对于普通微生物学中已有的基本概念和理论、传统微生物学技术等,本书只作引用而不再展开论述。本书强调新的技术,如多相分类技术、分子生态技术、分子表达及调控、基因重组技术等,新的理论,如分子系统学(molecular systematics)、多相分类(polyphasic taxonomy)、极端微生物(extremophiles)、分子生态学(molecular ecology)、真菌生物多样性(fungi biodiversity)、分子病毒学(molecular virology)、代谢分子表达与调控(molecular expression and regulation)、基因重组(gene recombination)、分子免疫学(molecular immunology)等。全书共十章,内容涵盖了当今微生物学迅速发展的原核微生物、极端微生物和古菌、真菌、病毒,以及它们的生态、生理、生化代谢、遗传、免疫等诸多领域。书中将重点介绍:原核生物系统进化研究的分子分类和多相分类理论与技术;被人们认为是生物进化第三生命形式的古菌分子生物学;物种丰富和最有应用潜力的真菌分子系统学;与基因工程和人类健康越来越密切相关的病毒学;在维持人类生存环境生态平衡中发挥重要作用的微生物分子生态学;探讨微生物生命活动规律的微生物生理学;介绍生化代谢过程分子表达及调控、代谢网络概念的微生物生物化学;论述遗传工程理论和应用中的原核生物基因表达,如对操纵子的调节蛋白调节、 σ 因子调节、全局性调节及前导序列的内部终止子作用;转座因子的结构、功

能, 组成型转座和保守型转座机理及反转座子; 以噬菌体的双链 DNA、单链 DNA 和 RNA 噬菌体为代表, 讨论转录和翻译机制; 质粒的滚环式复制、 θ 式复制、反义 RNA 对复制调节和分配及稳定性机制; 真核生物三种 RNA 聚合酶转录基因的方式及调节机理, 以及 mRNA 前体内含子加工方式、机理和翻译后加工等问题的微生物遗传学; 介绍免疫器官、免疫细胞和免疫分子结构与功能; 抗原诱导的免疫应答过程; 抗原的分子结构及淋巴细胞对抗原识别的分子机理; 噬菌体抗体文库和基因工程的研究应用; 抗感染免疫学和抗肿瘤免疫学在临床中的应用的免疫学。

为了减少书中过多文字的叙述, 增加直观教学的效果, 书中有大量的图表及说明。然而, 本书作为研究生教材, 书中有意保留了一些专业名词或术语的原文; 同时略去了一般大学教科书中的复习思考题, 而是将问题留给研究生自己去思考和总结。为了读者进一步阅读文献的需要, 每章最后均附有主要参考文献目录。

参加本书编写的主要作者有: 中国科学院微生物研究所的刘志恒教授 (第 1、2 章), 东秀珠教授 (第 2 章), 徐毅博士 (第 3 章), 白逢彦教授 (第 4 章); 加拿大 British Columbia 大学的杨德成博士和张慧芳博士 (第 5 章), 刘志培博士 (第 6 章); 北京师范大学的辛明秀博士 (第 7 章), 江宁教授和王钦宏博士 (第 8 章), 门大鹏和贾盘兴教授 (第 9 章); 中国人民解放军总医院袁玫教授和中国科学院微生物研究所的阎锡蕴教授 (第 10 章)。

在编写本书过程中, 中国科学院魏江春院士、田波院士给予了热情的鼓励和支持。李炜博士为全书的图表和文字处理付出了大量的劳动。科学出版社编辑们为本书顺利出版进行了辛勤的工作。在此编者特别感谢。

尽管参加本书编写的所有作者为写好本书付出了大量的艰辛劳作, 但由于编写水平所限, 书中出现错误仍在所难免, 热切欢迎读者批评指正。

中国科学院微生物研究所 刘志恒

2000 年 12 月 28 日 北京

目 录

再版前言

初版前言

第 1 章 概论	1
1.1 现代微生物学的意义	1
1.2 现代微生物学的主要研究领域	2
1.2.1 分子系统学	2
1.2.2 分子细胞学	3
1.2.3 分子生态学	6
1.2.4 分子遗传学	8
1.2.5 分子病毒学	9
1.2.6 分子免疫学	11
1.2.7 微生物基因组学	13
1.3 微生物多样性	15
1.3.1 微生物多样性	15
1.3.2 生物多样性与天然产物筛选	17
1.3.3 微生物多样性的保护和管理	19
主要参考文献	20
第 2 章 原核生物	21
2.1 引言	21
2.1.1 原核生物的描述和定义	21
2.1.2 原核生物的细胞分子生物学基础	23
2.1.3 原核生物的分类与命名	38
2.1.4 原核生物的多相分类	42
2.2 真细菌	63
2.2.1 放线菌门	63
2.2.2 厚壁菌门	80
2.2.3 支原体	106
2.2.4 蓝细菌	109
2.2.5 变型菌纲—— α 亚纲	116
2.2.6 变型菌纲—— β 亚纲	124
2.2.7 变型菌纲—— γ 亚纲	127
2.2.8 变型菌纲—— δ 亚纲	146
2.2.9 变型菌纲—— ϵ 亚纲	153
2.2.10 螺旋体属和钩端螺旋体属	154

2.2.11 拟杆菌-噬纤维菌群	157
2.2.12 异常球菌科	160
2.2.13 栖热菌属及相关细菌	162
2.2.14 疣微菌属	163
2.2.15 嗜热袍菌目	163
主要参考文献	165
第3章 极端微生物和古菌	170
3.1 极端微生物	170
3.1.1 概述	170
3.1.2 极端微生物的主要类群	171
3.2 古菌	202
3.2.1 概述	202
3.2.2 古菌类群	206
3.2.3 古菌:早期的生命形式?	221
主要参考文献	222
第4章 真菌学	224
4.1 真菌的特征和重要性	224
4.1.1 真菌的一般特性	224
4.1.2 真菌的重要性	226
4.2 真菌的细胞结构与生长	229
4.2.1 真菌的一般形态和生长环境	229
4.2.2 菌丝形态和超微结构	231
4.2.3 真菌细胞壁的组成与结构	236
4.2.4 菌丝的生长	240
4.2.5 酵母细胞	242
4.2.6 真菌生长的营养和环境需求	245
4.3 真菌的繁殖	250
4.3.1 无性繁殖	250
4.3.2 有性生殖	252
4.3.3 异核现象与准性生殖	253
4.3.4 真菌孢子的传播、休眠与萌发	255
4.4 真菌的分类及主要类群	261
4.4.1 真菌的个体、群体和种	261
4.4.2 真菌分类的主要依据	262
4.4.3 真菌界及其主要类群	264
4.5 壶菌门	267
4.5.1 生态及重要性	267
4.5.2 营养体形态与结构	268
4.5.3 无性繁殖	269

4.5.4 有性生殖	271
4.5.5 代表壶菌及其生活史	272
4.6 接合菌门	274
4.6.1 生态及重要性	274
4.6.2 毛霉目	275
4.6.3 球囊霉目	280
4.7 子囊菌门	282
4.7.1 生境与重要性	282
4.7.2 营养体结构	283
4.7.3 无性繁殖	285
4.7.4 有性生殖	289
4.8 担子菌门	293
4.8.1 生境和重要性	294
4.8.2 菌体结构及有性生殖	294
4.8.3 无性繁殖	301
4.8.4 担子菌的主要类群	301
4.9 卵菌门	310
4.9.1 生境与重要性	310
4.9.2 营养体结构	311
4.9.3 无性繁殖	311
4.9.4 有性生殖	313
4.9.5 生化特征	314
主要参考文献	314
第5章 病毒学	317
5.1 病毒的性质	317
5.1.1 病毒的基本特点	317
5.1.2 病毒的结构	318
5.1.3 病毒的形状	319
5.2 病毒的寄主	321
5.3 病毒的酶类	323
5.4 病毒的分类和命名	324
5.4.1 分类的原理	324
5.4.2 病毒的命名	325
5.5 病毒的复制	326
5.5.1 病毒的转录	326
5.5.2 RNA 病毒的复制	327
5.5.3 DNA 病毒的复制	329
5.5.4 病毒的复制周期	331
5.6 肝炎病毒	335

5.6.1 A型肝炎病毒	335
5.6.2 B型肝炎病毒	336
5.6.3 C型肝炎病毒	339
5.6.4 D型肝炎病毒	341
5.6.5 E型肝炎病毒	342
5.6.6 F型肝炎病毒	343
5.6.7 G型肝炎病毒	343
5.6.8 非典病毒	344
5.6.9 流感病毒	347
5.7 癌症病毒	349
5.7.1 疱疹病毒与癌症	349
5.7.2 肝癌与肝炎病毒	350
5.7.3 皮肤癌和乳头瘤病毒	350
5.7.4 白血病病毒	352
5.7.5 病毒性癌症的发病机制	353
5.7.6 病毒引发癌症的分子机制	354
5.8 反转录病毒	355
5.8.1 反转录病毒的特点	355
5.8.2 反转录病毒的结构	356
5.8.3 反转录病毒的复制	358
5.8.4 HIV 的致病性	360
5.9 噬菌体	361
5.9.1 RNA 噬菌体——MS2	361
5.9.2 单链多面体状 DNA 噬菌体—— Φ X174	362
5.9.3 单链丝状 DNA 噬菌体——M13	364
5.9.4 双链 DNA 噬菌体——T7	365
5.9.5 双链 DNA 噬菌体——T4	367
5.9.6 温和噬菌体：溶原性噬菌体和 λ 噬菌体	368
5.9.7 可易位的噬菌体——Mu 噬菌体	374
5.9.8 古细菌噬菌体	376
5.10 病毒状感染因子	376
5.10.1 卫星病毒	376
5.10.2 类病毒	377
5.10.3 普里昂	378
主要参考文献	380
第6章 现代微生物生态学	382
6.1 现代生态学概论	382
6.1.1 生态学的定义	382
6.1.2 现代生态学的研究领域	383

6.1.3 现代生态学的研究展望	385
6.1.4 微生物生态系统和微生物生态学	386
6.2 自然界中的微生物及其进化与多样性	386
6.2.1 微生物在自然界中的分布	386
6.2.2 微生物进化	387
6.2.3 微生物多样性	388
6.3 微生物生态学研究中的传统方法	390
6.3.1 样品的采集、富集培养和微生物纯培养的分离	390
6.3.2 最大或然值法 (MPN 法)	391
6.3.3 活菌计数法 (CFU 法)	391
6.4 微生物生态学中的分子生物学方法	392
6.4.1 核酸探针杂交检测法	392
6.4.2 PCR 与 16S rRNA 序列分析	395
6.4.3 变性梯度凝胶电泳	398
6.5 微生物与物质循环	399
6.5.1 微生物在碳循环中的作用	400
6.5.2 微生物在氮和磷循环中的作用	401
6.5.3 微生物在硫元素循环中的作用	404
6.5.4 微生物在其他元素循环中的作用	405
6.5.5 微生物在生物成矿中的作用	405
6.6 微生物之间及其与动植物的相互作用	406
6.6.1 微生物之间的相互作用	406
6.6.2 微生物与植物的相互作用	409
6.6.3 微生物与动物的相互作用	410
6.7 微生物与污染物的相互作用	413
6.7.1 微生物与无机污染物的相互作用	413
6.7.2 微生物与有机污染物的相互作用	415
6.8 微生物在环境保护中的应用	418
6.8.1 生物处理	419
6.8.2 生物整治	422
主要参考文献	424
第 7 章 微生物生理学	425
7.1 概述	425
7.2 微生物的营养	426
7.2.1 微生物的营养需求	426
7.2.2 微生物的营养类型	433
7.2.3 营养物质进入细胞的方式	434
7.3 微生物的生长与繁殖	437
7.3.1 微生物的个体生长	437

7.3.2 微生物的群体生长	441
7.4 微生物对环境的适应	443
7.4.1 环境因子对微生物生长的影响	443
7.4.2 微生物对环境的适应	444
主要参考文献	450
第8章 微生物生化代谢	452
8.1 微生物细胞的化学	452
8.1.1 细胞的化学元素	453
8.1.2 生物溶剂——水	453
8.1.3 细胞干物质的组成	453
8.2 微生物代谢	456
8.2.1 代谢的热力学	456
8.2.2 ATP 的产生	459
8.2.3 糖代谢	462
8.2.4 脂代谢	479
8.2.5 氨基酸代谢	489
8.2.6 核苷酸代谢	493
8.2.7 次级代谢	500
8.3 大分子的生物合成	512
8.3.1 核酸的合成	513
8.3.2 蛋白质的合成	519
8.3.3 多糖的合成	528
8.4 代谢调节	536
8.4.1 代谢调节概论	536
8.4.2 诱导与阻遏	540
8.4.3 反馈抑制	544
8.4.4 微生物育种	547
主要参考文献	561
第9章 微生物遗传学	563
9.1 原核生物基因表达的调控	563
9.1.1 乳糖利用的调控	564
9.1.2 原核生物的启动子结构	564
9.1.3 操纵子及其调控	568
9.1.4 基因转录的时序调控	570
9.1.5 原核生物的全局性调控	573
9.1.6 转录终止及内部终止子	577
9.1.7 环境对基因表达的调控	585
9.1.8 <i>rpsO-pnp</i> 操纵子翻译的调控	588
9.2 噬菌体基因表达	591

9.2.1 噬菌体基因的表达调控	591
9.2.2 遗传重组	608
9.3 真核生物基因的转录	618
9.3.1 真核生物 RNA 聚合酶	618
9.3.2 第一类基因的转录	619
9.3.3 第三类基因的转录	620
9.3.4 第二类基因的转录	621
9.3.5 半乳糖利用的调控	628
9.3.6 葡萄糖利用的级联阻遏	629
9.3.7 核小体的全局性抑制作用	631
9.3.8 酵母基因转录的终止	632
9.4 真核生物基因转录后和翻译后加工	633
9.4.1 转录后加工	633
9.4.2 核酶及内含子剪接	634
9.4.3 II 型内含子核酶	639
9.4.4 锤头和发夹结构内含子	640
9.4.5 核 mRNA 内含子的剪接	641
9.4.6 内含子选择性剪接	645
9.4.7 真核生物外显子连接点复合物	646
9.4.8 RNA 编辑	648
9.4.9 mRNA 定位主动转运	651
9.4.10 酵母外激素翻译后加工	652
9.5 质粒	654
9.5.1 质粒是什么	654
9.5.2 质粒的复制	657
9.5.3 θ 式复制	658
9.5.4 滚环式复制	658
9.5.5 反义 RNA 和不亲和性	662
9.5.6 质粒与抗药性	669
9.5.7 革兰氏阴性菌质粒接合转移	670
9.5.8 革兰氏阳性菌质粒接合转移	673
9.5.9 生物界之间交换基因	674
9.5.10 酵母质粒	677
9.6 转座因子	683
9.6.1 转座因子的发现	683
9.6.2 转座因子的种类	684
9.6.3 插入序列	684
9.6.4 转座子	684
9.6.5 Mu 噬菌体	692

9.6.6 影响转座的因子	692
9.6.7 酵母的逆转子 Ty	695
主要参考文献	698
第 10 章 免疫学	704
10.1 免疫系统的器官、组织和细胞	704
10.1.1 免疫器官	705
10.1.2 免疫组织	705
10.1.3 免疫细胞	707
10.2 免疫球蛋白的结构与功能	714
10.2.1 免疫球蛋白的基本结构	714
10.2.2 抗体的多样性与基因调控	717
10.2.3 免疫球蛋白的类别及功能	720
10.3 主要组织相容复合物	721
10.3.1 MHC 的分类和分布	722
10.3.2 MHC 的分子结构	723
10.3.3 MHC 基因组	724
10.3.4 MHC 分子和抗原肽的相互作用	726
10.3.5 MHC 分子的主要功能	729
10.4 补体	730
10.4.1 补体的命名和特性	730
10.4.2 补体的活化	730
10.4.3 补体的受体	735
10.4.4 补体的基因家族	736
10.4.5 补体的功能	737
10.4.6 补体与其他酶系统的相互作用	739
10.5 细胞因子	739
10.5.1 细胞因子的来源和分类	739
10.5.2 细胞因子的共同特点	740
10.5.3 细胞因子的受体	740
10.5.4 细胞因子的拮抗剂	742
10.6 抗原及抗原识别	742
10.6.1 抗原	742
10.6.2 B 细胞识别抗原的特点	742
10.6.3 T 细胞识别抗原的特点	744
10.6.4 超抗原	751
10.7 免疫应答	751
10.7.1 B 细胞介导的体液免疫应答	751
10.7.2 T 细胞介导的细胞免疫应答	756
10.7.3 不依赖 T 细胞的细胞免疫应答	758

10.7.4 髓细胞的杀伤作用	760
10.8 免疫调节	760
10.8.1 细胞因子的调节作用	760
10.8.2 抗体的调节作用	761
10.8.3 补体的调节作用	761
10.8.4 独特型网络的调节作用	762
10.8.5 免疫细胞的调节作用	763
10.8.6 免疫调节的遗传控制	764
10.8.7 神经内分泌免疫调节	765
10.9 免疫耐受	766
10.9.1 概述	766
10.9.2 免疫耐受的形成	767
10.9.3 免疫耐受的维持和终止	767
10.9.4 免疫耐受的机制	767
10.9.5 T细胞的免疫耐受	768
10.9.6 B细胞的免疫耐受	769
10.9.7 人工诱发免疫耐受	770
10.10 超敏反应	771
10.10.1 I型超敏反应	771
10.10.2 II型超敏反应	772
10.10.3 III型超敏反应	773
10.10.4 IV型超敏反应	776
10.11 感染免疫	778
10.11.1 细菌感染免疫	779
10.11.2 病毒感染免疫	782
10.11.3 HIV感染引起的免疫缺陷	786
主要参考文献	789