



科爱传播
KE AI COMMUNICATIONS
生命科学

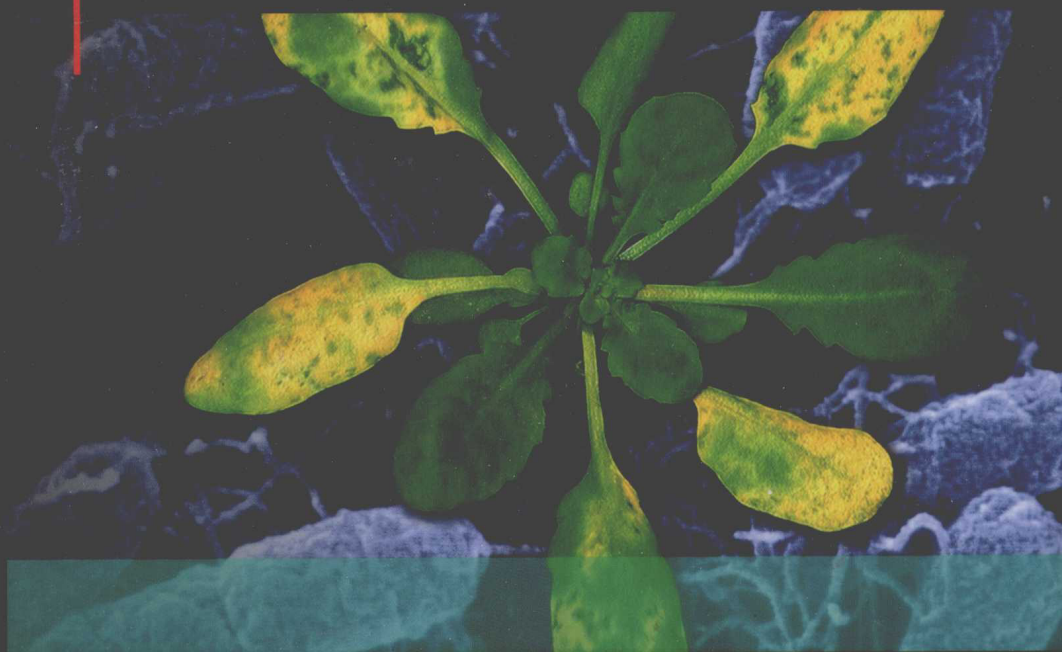
· 导读版 ·

Environmental Microbiology (Second Edition)

环境微生物学——拓展篇

(原著第二版)

Raina M. Maier, Ian L. Pepper and Charles P. Gerba



原版引进



科学出版社

www.sciencep.com

Environmental Microbiology

(Second Edition)

环境微生物学——拓展篇

(原著第二版)

科 学 出 版 社

北 京

图字:01-2009-3189 号

This is an annotated version of

Environmental Microbiology(Second Edition) by Raina M. Maier, Ian L. Pepper and Charles P. Gerba.

Copyright © 2009, Elsevier Inc.

ISBN: 978-0-12-370519-8

Authorized English language reprint edition published by the Proprietor.

ISBN 13: 978-9-81-272410-6

Copyright © 2009 by Elsevier(Singapore)Pte Ltd. All rights reserved.

Elsevier(Singapore)Pte Ltd.

3 Killiney Road

08-01 Winsland House 1

Singapore 2139519

Tel:(65)6349-0200

Fax:(65)6733-1817

First Published 2010

<2010>年初版

Printed in China by Science Press under special arrangement with Elsevier(Singapore)Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书英文影印版由 Elsevier(Singapore)Pte Ltd. 授权科学出版社在中国大陆境内独家发行。本版权在中国境内(不包括香港和澳门特别行政区以及台湾)出版及标价销售。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

图书在版编目(CIP)数据

环境微生物学:原著第2版. 拓展篇:英文/(美)/迈尔(Maier, R. M.)等编著;刘和,陈坚导读. 一影印本. 北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-026111-3

I. 环… II. ①迈…②刘…③陈… III. 环境生物学:微生物学-英文 IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 216392 号

责任编辑:孙红梅 李小汀/责任印制:钱玉芬/封面设计:耕者设计工作室

编辑部电话:010-64006589

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>

双青印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年1月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年1月第一次印刷 印张:22 1/2

印数:1—1 500 字数:550 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(双青))

一本令人兴奋的环境微生物学教材

——环境微生物学(原著第二版)导读

刘和,陈坚(江南大学)

环境微生物学是微生物学中出现的一门新的学科,其历史可以追溯到公众对环境中原微生物的归宿的关注,以及对城市废物的处理和处置研究。伴随着工业革命以来环境污染的日益严重,上世纪中叶起,西方发达国家开始进行环境污染治理。由于环境微生物在环境保护中所具有的举足轻重的作用,20世纪70年代,环境微生物学作为一门独立的学科开始兴起,其研究内容也逐渐扩展到资源生产和回收、水/废水/废物处理和生物修复、空气微生物、农业土壤微生物乃至生物地球化学等范围广阔的领域。环境微生物学的研究进展为人类揭示病原微生物,像禽流感病毒以及其他一些水源性病原微生物,如霍乱、*Escherichia coli* O157: H7等在环境中的传播行为并为提供控制手段作出了贡献。同时,在生物修复和环境污染控制领域,大量的环境微生物技术的出现,如原位的微生物强化生物修复技术、新型的废水脱氮除磷技术、高效的废水厌氧生物处理技术等都得益于环境微生物学领域对于很多特定功能类群微生物学知识的了解和积累。一些新的能源回收和生产技术,如废物/废水制氢技术、微生物电池技术等也得益于对环境微生物的理解。所有这些都恰如其分地体现了环境微生物学作为环境微生物工程和技术的基础学科与技术支持作用。

另一方面,随着其他新兴学科,尤其是分子生物学、分子遗传学以及分子生态学等生命科学学科的快速发展和相互渗透,环境微生物学学科的发展也被大力推动和快速扩展。尤其是一些新的研究手段的应用,使得环境微生物学不仅在传统研究领域获得了新的发现,而且也大大扩展了环境微生物学的研究范围。如基因组测序手段的发展和应用使得环境微生物学家能够揭示:即便在贫瘠的海洋水体中也蕴藏着极为丰富的海洋微生物种类。新型环境微生物检测手段的发展与应用,为重新了解和评价人类面临的一些重大的微生物传染病的病原体提供了新的武器。对SARS病毒、H1N1流感病毒等空气传播病毒在人群中传播的机制和变异的了解及其控制手段仍然是人类面临的一项重大课题。另外,大量不依赖于培养的以DNA、RNA为基础的研究手段的应用,促进了微生物分子生态学的兴起。如PCR技术、定量PCR技术、分子指纹技术、克隆文库等为微生物分子生态学的研究提供了技术支持。

进入二十一世纪,环境微生物学的研究正进入快速发展通道,不断有激动人心的科学新发现,如关于Sargasso海的环境微生物基因组的研究揭示了海洋中蕴藏的大量海洋微生物资源。深海热泉口及其他极端条件下微生物的发现,对人类了解生命起源和特征乃至矿藏形成等都具有重要的意义。根癌土壤杆菌(*Agrobacterium tumefaciens*)微生物的群体感应(Quorum Sensing)现象的发现,以及其他微生物群体信息传递机制的发现,都揭示了环境微生物之间信号传导的新机制。以454高通量测序技术为基础的环境微生物基因组技术正快速发展。一些新的环境微生物技术手段,如反转录定量

PCR 技术、稳定性同位素技术、扫描探针显微镜技术、流式细胞技术等也得到了发展和快速的应用。一些新的微生物的发现,如产电微生物、产氢微生物、高效产油微藻等,更为新型能源的开发提供基础。以上这些研究进展都显示了环境微生物学正向更深入和更广阔的研究领域发展。

作者介绍

本书由美国亚利桑那大学土壤、水与环境科学系的三位微生物学教授编写而成。Raina M. Maier 教授于 1988 年获得罗格斯大学博士学位,目前是亚利桑那大学 NIEHS 超级基金基础研究计划的副主任。Maier 博士主要研究评价与控制受干扰环境和极端环境条件下生存的微生物的活性。她因使用跨学科的研究手段来探究微生物之间以及微生物和其所处环境之间的相互作用而广为人知。Maier 博士在微生物表面活性剂及其在环境修复、生物控制、化妆品和制药工业领域的研究享有国际盛誉。

Ian L. Pepper 教授 1975 年获得俄亥俄州立大学的博士学位。Pepper 博士是美国先进科学协会、美国微生物科学院、美国土壤科学学会以及美国农艺学会的特别会员,这体现了他非常广泛的研究兴趣。他也是亚利桑那大学国立水质中心科学基金会的主任。他在土壤分子生态学、废物利用,包括生物固体和废水回用等领域的研究非常活跃。最近,他致力于研究微生物污染在饮用水中的实时监测以及“聪明的水分配系统”。

Charles P. Gerba 教授于 1973 年获得迈阿密大学的博士学位。Gerba 博士是美国微生物科学院的特别会员。他因在水科学研究方面的杰出贡献而获得美国水工作者协会的 A. P. Black 奖,同时因在地下水保护研究方面的杰出贡献而获得水环境联盟的 McKee 奖。他在水和食物中病原体检测的方法学、家庭中病原体的出现以及风险评价等方面的研究享有国际盛誉。

本书特点

1. 研讨性阅读

本书延续了第一版的风格,在每一章的后面附有思考题、参考文献和扩展阅读。思考题提供了很多启发性的问题,有些内容在书本中能够直接找到答案,更多的则需要读者从本书的基本原理出发,通过思考和查阅文献来得到解答,这就为读者提供了一个具有拓展性的思维空间,而非单纯依靠传统的记忆式学习掌握其中的内容。这些具有启发性的问题正是本书极具思考性阅读的特点且含金量很高的体现。

2. 视野独特

环境微生物学的研究领域非常广阔,要完全囊括所有领域几乎是不可能的。因此,本书的三位环境微生物学教授从各自的研究领域出发,有选择性的重点安排了环境微生物学的内容。由于三位教授的研究领域各不相同但又具有互补性以及广泛性的特点,本书的内容具有非常独特的视野,如微生物之间、微生物与环境之间的互作关系,病原微生物及其检测技术,以及环境污染和废弃物处理微生物学等。同时,本书的内容又基本

体现了环境微生物学的大部分研究领域，使得读者通过本书能够基本了解环境微生物学领域的全貌。

3. 新颖性

本书提供了环境微生物学诸多领域令人兴奋的最新研究进展，充分体现了学科发展的前沿。如环境微生物基因组研究，介绍了在百慕大地区 Sargasso 海域的环境微生物基因组研究的最新研究成果。又如在微生物之间的信息交流和信号传递，介绍了根瘤土壤杆菌微生物的群体感应，以及其他信号传递机制的研究进展。此外，在环境微生物的检测技术部分，增加了“基因芯片技术”、“荧光原位杂交技术”以及“实时定量 PCR 技术”等最新的技术进展。所有这些都使得读者通过本书，能够真正了解到环境微生物学科研究和发展的最前沿。

具体内容介绍

按照不同的主题，本书共有 8 个部分并且按照一定的逻辑顺序列出：

第一部分为基础微生物学的回顾，包括环境微生物绪论、微生物类群以及细菌的生长 3 章。主要是介绍环境微生物的历史发展和现代环境微生物学的观点，并且依次介绍了一些重要的环境微生物类群，考虑到作为微生物基础的特点，还安排一个章节介绍细菌的生长。总体上这一部分主要是提供一些背景知识，为理解后面章节中更为深入的内容作准备。

第二部分为微生物的生长环境，由 4 章组成，包括土壤、水体、大气环境以及极端环境。考虑到环境微生物和其生存环境的极端重要性，这一部分紧接着基础微生物学回顾之后。主要介绍了以上四种环境的理化特点、环境中主要的微生物、环境和微生物之间的互作以及信息传递。通过阅读这一部分，读者能够充分了解到环境和微生物之间紧密的联系，体现了从一个整体的观点上来理解环境微生物的特点。

第三部分为微生物的检测、计数和鉴定。包括环境样品的收集和处理、显微技术、培养方法、生理学方法、免疫学方法以及核酸为基础的分析方法共 6 章。这部分内容与微生物以及微生物活性的检测和定量分析相关，介绍了各种微生物的分析方法、应用及其研究的进展。整体上，这些方法基本涵盖了常用环境微生物学的检测方法，值得注意的是，第二版在继承第一版编写风格的基础上，补充了许多令人兴奋的内容，如基于核酸的分析方法中增加了“基因芯片技术”、“荧光原位杂交技术”以及“实时定量 PCR 技术”等最新的技术进展，使得读者能了解到学科发展的最前沿。

第四部分为微生物的信息传递、活动、微生物与环境以及营养循环之间的互作关系。包括生物地球化学循环、户外发生的生物地球化学循环的后果、微生物的信息传递（细菌-细菌、细菌-宿主）、自然生态环境中细菌的种群、全球环境变化与微生物传染性疾病、微生物的迁移传递 6 章。这一部分主要介绍微生物与环境的相互影响，从元素的生物地球化学循环到循环的环境后果，从微生物的信息传递再到细菌群落的发育和运动；和第一版相比，增加了微生物间的信息传递，自然生态环境中微生物的生态以及全球气候及环境变化下对微生物传染性疾病的影响三个章节。尤其令人感兴趣的是，增加

了信息传递和环境变化对微生物传染病的影响这两个重要的领域，充分体现了本书的前沿性。

第五部分为有机污染物与重金属污染物的修复，包括微生物与有机污染物、微生物与重金属污染物 2 章。主要介绍微生物和有机污染物以及重金属污染物之间的关系，以及应用微生物对受到两种污染物污染的环境的修复。阅读本部分有助于了解这两种污染物在环境中存在的特征、微生物对它们的降解和转化机制，以及影响这些降解和转化机制的环境因素。这部分还讨论了修复有机污染和重金属污染的工程方法，以及这些方法的原理和进展等。

第六部分为水源性和食源性病原菌，包括环境传播的病原菌和指示微生物 2 章。这部分介绍了几类主要的在环境中传播的微生物（包括细菌，寄生虫和病毒）迁移传播的途径，以及它们在环境中的最后命运。指示微生物章节介绍了指示微生物的概念，总大肠菌群，粪大肠菌群，粪链球菌和产气荚膜梭菌等常见的指示微生物及其检测手段，新版中增加了噬菌体部分的内容。

第七部分为废水处理与消毒，包括废水处理和生物固体的再利用、饮用水处理以及消毒 3 章。主要介绍环境工程应用中的微生物学原理及其应用，从环境工艺出发，在介绍工艺流程的基础上分析环境微生物发挥的作用及其工艺原理。

第八部分为城市微生物，包括家庭和室内空气微生物、生物恐怖主义以及风险评估，共 3 章。与第一版相比，增加了家庭和室内空气微生物、生物恐怖主义章节。在家庭和室内空气微生物学部分，介绍了日常家庭生活中会接触到的微生物学，增添了阅读的趣味性。

综上所述，《环境微生物学》（第二版）是一本令人激动的好书，也是截至目前在环境微生物领域中最新的一本书。其内容选材独特、新颖，以三位作者多年的研究领域和成果展开，基本涵盖了环境微生物学的所有领域，反映了这些领域的新进展。该书是一本适用于环境微生物学专业高年级本科生和研究生的教材。对环境微生物学、环境微生物工程和技术领域的科研工作者而言，也是一本很好的参考书。

前 言

环境微生物学的历史可以追溯到对城市废物的处理和处置研究。在第一版的《环境微生物学》中，我们就认识到这门学科的研究领域已经拓展到土壤、水和大气系统，包括土著微生物与有机/无机污染物的相互作用，进入这些系统的病原体的行为，还包括新的微生物及其产物的发现和应用，以造福人类健康或谋得福祉。在第一版问世后的这些年间，有关各种环境下微生物以及群落的知识出现了前所未有的爆炸。因此，在《环境微生物学》第二版中，我们增加了对极端环境以及微生物群落和微生物之间信息传递的章节。类似地，出于对日益增加的人口压力和气候变化的认识，我们新增了室内微生物学、生物恐怖主义，以及全球变化对微生物传染病的影响等章节。

微生物可谓无处不在，它们遍布于世界上每一个角落，任何一处你能想象得到的环境中都有这些微小的生命。比如在土壤中，一克土壤就含有数十亿个微生物，并且蕴含着所有与这些微生物相联系的代谢活动。考虑到微生物巨大的生物多样性，可以想象一下，如果要研究地球上每个生物群系中发现的所有微生物的主要组别，需要面对多大的挑战啊。那么不妨再想象一下，要发展合适的策略和方法来利用和操纵它们，又需要面对多大的挑战。其实，这些就是环境微生物学要做的工作。我们邀请您读读这本书，从而开始一段令人兴奋的历险旅程：了解多种多样环境中的不同微生物。

本书共有 8 个部分，循序递进：（一）基础部分，为后面更为专深的章节提供充分的知识背景；（二）微生物环境，包括土壤、水体和大气；（三）关于微生物活性的检测和定量分析，包括培养法、显微观察、生理学方法、分子生物学方法和免疫学方法；（四）微生物与环境的相互影响，从元素的循环到微生物的信息传递再到细菌群落的发育和运动；（五）金属污染和有机污染的微生物修复；（六）水和食物来源的病原体；（七）废弃物的处理和饮用水；（八）城市问题，包括家庭和室内微生物，生物恐怖主义以及风险评估。这本教材是为环境微生物学专业的高年级本科生或研究生编写的，也可以作为对这一领域感兴趣的科学家和工程师的参考书。总体上，本书旨在介绍环境微生物学中重要的微生物、微生物所依赖的不同环境的特性、检测微生物及其活性的方法，最后评价了微生物对人类活动的影响。本书是三位学者共同努力的结果，他们在环境微生物学中的研究领域虽各不相同，却又相辅相成。他们是亚利桑那大学的亲密合作伙伴，有着大量的科研项目，并一起广泛运用先进的跨学科方法研究各种实际问题，如极端环境中的微生物、微生物表面活性剂在生物技术领域的应用、新出现的病原菌的分子检测、微生物和 DNA 在土壤中的迁移以及微生物的风险评价。这些涉及领域广泛的研究为本书阐明重要的知识点提供了大量例证。三位作者在亚利桑那大学的 11 位同事也为此做出了重要贡献。这个小组密切合作，使此书在深度和广度上具有延续性，内容上则与当下

的研究前沿基本一致。

Raina Maier, Ian Pepper and Charles Gerba

(刘和, 陈坚 译)

致 谢

成书过程：感谢各联邦基金和机构这些年来一直支持我们的研究，这为环境微生物学提供了丰富而多样的远景并完成了本书的主题。这些机构包括国家科学基金会、国立环境健康科学研究所、美国环保署、美国农业部和美国国土安全部。

It takes a village—thanks to my family, especially Mom, Dad and my daughter Claire.

Raina M. Maier

This book is dedicated to microbes—they're everywhere and I believe they are smarter than we think.

Ian L. Pepper

This book is dedicated to my wife and sons Peter and Phillip for all their support.

Charles P. Gerba

Preface

Historically, environmental microbiology can be traced to studies of municipal waste treatment and disposal. In the first Edition of *Environmental Microbiology*, we recognized that this field had expanded to the study of earth, water, and air systems, including the interaction of indigenous microbes with organic and inorganic pollutants, behavior of pathogens introduced into these systems, and the discovery and application of new microbes and their products to benefit human health and welfare. In the intervening years since, there has been a virtual explosion of knowledge on microbial diversity and communities in various environments. As a result, in the second edition of *Environmental Microbiology* we have added chapters on extreme environments, as well as microbial communities and communication among microorganisms. Similarly, in recognition of ever-increasing human population pressures and climate change, we have added chapters on domestic microbiology, bioterrorism, and the impact of global change on microbial infectious disease.

Microbes are everywhere, all over the world and in every imaginable environment. For example in soil, just one gram contains billions of microorganisms and all their associated activities. Imagine the challenge of studying all the major groups of microbes found in each of earth's biomes given the magnitude of their immense diversity. Imagine then the challenge of developing strategies to harness and manipulate their activities. That is what environmental microbiology is about. We invite you to use this text to begin the exciting adventure of understanding microorganisms in their many environments.

This text has eight subject areas presented in a logical progression: (i) foundation chapters to provide an adequate background for the advanced material presented in subsequent chapters; (ii) chapters on microbial environments, including earth, aquatic, and atmospheric; (iii) chapters on detection and quantitation of microbial activity, including cultural, microscopic, physiological, molecular, and immunological approaches; (iv) chapters on microbial

interactions with their environment from element cycling to microbial communication to development and movement of bacterial communities, (v) chapters on microbial remediation of organic and metal pollutants, (vi) chapters on water and food-borne pathogens, (vii) chapters on waste treatment and drinking water, and finally, (viii) chapters on urban issues including domestic and indoor microbiology, bioterrorism, and risk assessment. This textbook is designed for a senior-level undergraduate class or a graduate-level class in environmental microbiology and to serve as a reference for scientists and engineers interested in this field. The overall objectives of the text are to define the important microbes involved in environmental microbiology, the nature of the different environments in which the microbes are situated, and the methodologies used to monitor the microbes and their activities and, finally, to evaluate the effects of these microbes on human activities. This book represents a joint effort led by three authors who have diverse yet complementary backgrounds in environmental microbiology. The authors are close colleagues at the University of Arizona and all have large and active research programs. They have worked together extensively on a variety of practical problems using advanced, interdisciplinary approaches. Examples include microbiology of extreme environments, biotechnology applications of microbial surfactants, molecular detection of emerging pathogens, transport of microbes and DNA through soil, and microbial risk assessment. Their extensive research programs have provided a number of the examples used in this text to illustrate important learning points. Key contributions to this text were also made by eleven colleagues who collaborate with the authors at the University of Arizona. This group has worked closely together, resulting in a textbook that has continuity in depth and style, and that is state-of-the-art at the time of press.

Raina Maier, Ian Pepper and Charles Gerba

Acknowledgments

Textbook development: We would like to acknowledge various federal funding agencies that have supported our research throughout the years providing rich and varied perspectives to bring to bear on the topic of Environmental

Microbiology. These include the National Science Foundation, the National Institute of Environmental Health Sciences, the Environmental Protection Agency, the US Department of Agriculture and the Department of Homeland Security.

The Authors

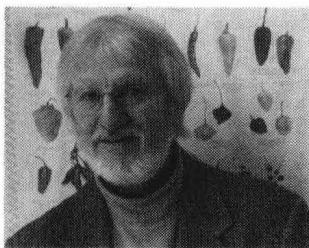
All three authors are professors in the Department of Soil, Water and Environmental Science at the University of Arizona.



Raina M. Maier Ph.D., Rutgers University, 1988. Currently, Professor of Environmental Microbiology and Associate Director of the University of Arizona NIEHS Superfund Basic Research Program. Dr. Maier's research is focused on developing a basic understanding of how to evaluate and control microbial activity

in disturbed and extreme environments ranging from mine tailings to cave environments to the Atacama Desert, Chile. She is known for using an interdisciplinary approach to study the interaction microorganisms with both biotic and the abiotic components of their environment. Dr. Maier has earned an international reputation for her work on microbial surfactants (biosurfactants) a class of fascinating secondary metabolites with possible uses in remediation, biological control, surface coatings, and the cosmetic and pharmaceutical industries

"Environmental microbiology remains one of the relatively unexplored and extremely exciting frontiers of science. So little is yet known about environmental microbes—partially because they quickly become lab rats when taken out of their environment—that the possibilities for new discoveries are limitless."

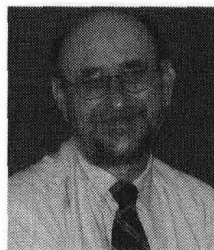


Ian L. Pepper Ph.D., The Ohio State University, 1975. Currently, Professor of Environmental Microbiology. Dr. Pepper's diverse research interests are reflected in the fact that he is Fellow of The American Association

for the Advancement of Science, The American Academy of Microbiology, the Soil Science Society of America, and the American Society of Agronomy. He is also Director

of the National Science Foundation Water Quality Center at the University of Arizona. Dr. Pepper has been active in the area of soil molecular ecology as well as waste utilization including biosolids and effluent reuse. More recently he pursues research on real-time monitoring of microbial contaminants in potable water, and "smart water distribution systems."

"Microbes are in the air we breathe, the water we drink and the food we eat. In fact there are more microbes within our bodies than mammalian cells. On this basis alone, microbes are fascinating, and when you study environmental microbes, it takes your breath away."



Charles P. Gerba Ph.D., University of Miami, 1973. Currently, Professor of Microbiology. Dr. Gerba is a Fellow of the American Academy of Microbiology. He is recipient of the A. P. Black Award from the American Water Works Association for outstanding contributions to Water Science, and the McKee Award from the Water

Environment Federation for outstanding contributions to groundwater protection. He has an international reputation for his methodologies for pathogen detection in water and food, pathogen occurrence in households, and risk assessment.

"My interest in microbiology was sparked by Paul DeKruif's inspiring tales of the scientific achievements of early microbiologists in the book The Microbe Hunters and my mother's error in giving me a microscope for Christmas instead of the chemistry set I wanted. In my first summer job out of college, I was introduced to environmental microbiology by studying sewage disposal. Later, I examined the fate of viruses in sewage discharged into the ocean. These beginnings led me to an exciting and adventurous career in environmental microbiology where every day brings a new problem to be addressed."

Contributing Authors

Edition 2



Scot E. Dowd Ph.D.
Microbiologist, USDA ARS
Livestock Issues Research Unit,
Lubbock, TX.



Marilyn J. Halonen, Professor
of Pharmacology, University of
Arizona



Christopher Y. Choi, Professor
of Agricultural and Biosystems
Engineering, University of
Arizona



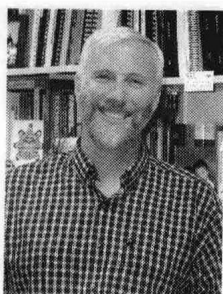
Elizabeth M. Marlowe
Ph.D. Assistant Director of
Microbiology-Molecular Testing,
Southern California Permanente
Medical Group



David C. Herman Ph.D. in
Microbiology, University of
Arizona



Deborah T. Newby Ph.D. Idaho
National Laboratory



Leland S. Pierson III Professor
of Plant Pathology, University of
Arizona



Timberley M. Roane Associate
Professor of Microbiology,
University of Colorado, Denver



Christopher Rensing Associate
Professor of Microbiology,
University of Arizona



Todd R. Sandrin Associate
Professor of Microbiology,
University of Wisconsin, Oshkosh



Kelly A. Reynolds Associate
Professor of Public Health,
University of Arizona

目 录

前言	xv
致谢	xvii
作者	xix
撰稿作者	xxi

基 础 篇

第一部分 微生物的基本概念

第 1 章 环境微生物学绪论

Raina M. Maier, Ian L. Pepper and Charles P. Gerba

1.1 引言	3
1.2 历史回顾	3
1.3 现代环境微生物学	6
1.4 本书的用途和结构	7

第 2 章 微生物类群

Timberley M. Roane, Kelly A. Reynolds, Raina M. Maier and Ian L. Pepper

2.1 生物分类	10
2.2 真细菌	10
2.2.1 细胞膜	11
2.2.2 细胞质	14
2.2.3 多糖包被	16
2.2.4 细胞的附加物	16
2.2.5 内生孢子	16
2.2.6 信息传递	17
2.2.7 新陈代谢	18
2.3 古细菌	20
2.3.1 古细菌的生境	21
2.3.2 古细菌的功能	21
2.4 真菌	22
2.4.1 真菌结构	22
2.4.2 真菌的多样性	23
2.4.3 生态学重要性	24