



全国高等院校环境科学与工程统编教材

环境微生物学

Environmental Microbiology

赵开弘 主编

华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

环境微生物学

主 编 赵开弘

副主编 赵 吉

参 编 (按汉语拼音排序)

刁红丽 冯 炘 郭夏丽 郭 琇

蒋永荣 马建薇 苏 平 唐东山

陶雪琴 魏明宝 解红玉 张 娟

郑先君 朱菁萍

华中科技大学出版社

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

环境微生物学/赵开弘 主编. —武汉:华中科技大学出版社, 2009年7月
ISBN 978-7-5609-5402-8

I. 环… II. 赵… III. 环境科学:微生物学-高等学校-教材 IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 084032 号

环境微生物学

赵开弘 主编

责任编辑:王晓琼

封面设计:潘群

责任校对:刘峻

责任监印:周治超

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:华中科技大学惠友文印中心

印刷:湖北新华印务有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:24.25 插页:1

字数:598 000

版次:2009年7月第1版

印次:2009年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5609-5402-8/X·20

定价:44.00元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

全国高等院校环境科学与工程统编教材 编写指导委员会

(按姓氏拼音排序)

- | | |
|-----|---------------------------------------|
| 陈亮 | 东华大学教授, 2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员 |
| 韩宝平 | 中国矿业大学教授, 2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员 |
| 胡筱敏 | 东北大学教授, 2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员 |
| 李光浩 | 大连民族学院教授, 2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员 |
| 刘勇弟 | 华东理工大学教授, 2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员 |
| 刘云国 | 湖南大学教授, 2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员 |
| 陆晓华 | 华中科技大学教授, 2001—2005 环境科学类专业教学指导分委员会委员 |
| 吕锡武 | 东南大学教授, 2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员 |
| 王成端 | 西南科技大学教授, 2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员 |
| 夏北成 | 中山大学教授, 2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员 |
| 严重玲 | 厦门大学教授, 2006—2010 环境科学类专业教学指导分委员会委员 |
| 赵毅 | 华北电力大学教授, 2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员 |
| 郑西来 | 中国海洋大学教授, 2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员 |
| 周敬宣 | 华中科技大学教授, 2006—2010 环境工程专业教学指导分委员会委员 |

作者所在院校

- | | | | |
|------------|--------|----------|----------|
| 南开大学 | 中山大学 | 中国地质大学 | 东南大学 |
| 湖南大学 | 重庆大学 | 四川大学 | 东华大学 |
| 武汉大学 | 中国矿业大学 | 华东理工大学 | 中国人民大学 |
| 厦门大学 | 华中科技大学 | 中国海洋大学 | 北京交通大学 |
| 北京理工大学 | 大连民族学院 | 成都信息工程学院 | 河北理工大学 |
| 北京科技大学 | 东北大学 | 华东交通大学 | 华北电力大学 |
| 北京建筑工程学院 | 江苏大学 | 南昌大学 | 广西师范大学 |
| 天津工业大学 | 江苏工业学院 | 景德镇陶瓷学院 | 桂林电子科技大学 |
| 天津科技大学 | 扬州大学 | 长春工业大学 | 桂林工学院 |
| 天津理工大学 | 中南大学 | 东北农业大学 | 仲恺农业工程学院 |
| 西北工业大学 | 长沙理工大学 | 哈尔滨理工大学 | 华南师范大学 |
| 西北大学 | 南华大学 | 河南大学 | 嘉应学院 |
| 西安理工大学 | 华中师范大学 | 河南工业大学 | 茂名学院 |
| 西安工程大学 | 华中农业大学 | 河南理工大学 | 浙江工商大学 |
| 西安科技大学 | 武汉理工大学 | 河南农业大学 | 浙江林学院 |
| 长安大学 | 中南民族大学 | 湖南科技大学 | 太原理工大学 |
| 中国石油大学(华东) | 湖北大学 | 洛阳理工学院 | 兰州理工大学 |
| 山东师范大学 | 长江大学 | 河南城建学院 | 石河子大学 |
| 青岛农业大学 | 江汉大学 | 韶关学院 | 内蒙古大学 |
| 山东农业大学 | 福建师范大学 | 郑州大学 | 内蒙古科技大学 |
| 聊城大学 | 西南交通大学 | 郑州轻工业学院 | 内蒙古农业大学 |
| 泰山医学院 | 成都理工大学 | 河北大学 | |

内 容 提 要

本书共分 11 章。分章节阐述了有关环境微生物学的基本概念、历史与发展,环境微生物的起源与进化。阐述了环境微生物的分类和原核微生物、真核微生物、病毒的特性,环境微生物的营养要素与类型、生理与代谢及其酶的功能。介绍了微生物的生长规律及其环境因素的影响,微生物的适应性很强,在高温、低温、高酸、高碱、高盐等极端环境中都有微生物存在。阐述了环境微生物遗传与变异的分子基础:DNA 的结构、功能与中心法则,环境微生物的变异、基因重组及其育种上的应用。介绍了环境微生物生态系统特征,如土壤微生物生态、空气微生物生态、水体微生物生态,环境微生物生态学在分子水平的发展,从分子水平分析废水生物处理过程的微生物群落等内容。阐述了环境微生物在生物地球化学循环中所起的重要作用,环境污染物的微生物代谢途径,微生物毒素对环境的污染等内容。介绍了如何利用微生物净化污染环境,环境微生物学技术如废水脱氮除磷工艺、厌氧反应器、固体废物的微生物处理及微生物在废气治理中的应用。阐述了现代环境微生物技术:微生物基因工程、蛋白质工程、细胞工程、代谢工程的基本内容,环境微生物学实验的基本方法与技术手段,环境微生物的监测方法,如微生物传感器、生物芯片等新技术的应用。

全书以重大环境与资源问题为中心,着眼于详尽介绍环境微生物学的基本理论和技术方法,力求内容新颖、覆盖面广、概念清晰、逻辑严谨、深入浅出、言简意赅,充分反映现代环境微生物学的总体面貌、最新发展。本书可供环境科学与工程专业的本科生和研究生作为环境微生物学教材使用,也可作为从事环保、环境生物技术的有关专业人员的参考书。

前 言

现代工农业正以空前的速度推动人类社会物质文明的发展，同时也带来了严重的环境污染、生态破坏和资源危机等问题，因此，环境保护与可再生资源开发已经提高到事关人类发展的战略高度而备受世人关注。环境过程的方方面面都涉及众多微生物在环境中的活动，因此，为了更好地认识环境规律，应用这些科学规律来解决环境问题，维持美好环境和保持可持续发展，我们必须弄清这些众多微生物在环境中的科学规律，环境微生物学就是专门阐述这些规律的学科。

环境微生物学是微生物学在环境领域的发展，并与环境科学和环境工程相互交融而形成的学科。生命科学的巨大发展大大推进了微生物学的发展，同样也推进了环境微生物学的极大发展。环境微生物学的核心思想是通过环境中众多微生物生命活动与环境和谐共存，达到环境生态和谐与可再生资源的合理开发。通过与环境生物技术和其他技术方法相结合，在生物与环境和谐、人与环境统一的基础上解决环境问题。

环境微生物学作为一门横跨现代微生物学与技术、环境科学、环境工程等众多学科的新兴综合学科，正处于蓬勃发展状态。尽管微生物个体小，基因组相对较小，所包含的生命活动信息相对简单，但由于环境微生物所处环境的多样性、种群多样性、生理多样性和遗传多样性，我们对环境微生物的认识仍然处于初始水平，与我们预期的目标相距还很遥远。鉴于环境微生物学的基础性和重要性，许多高校都纷纷设立环境微生物学课程，有关环境微生物学的教材也不断面世，为本学科的发展作出了重要贡献。由于环境微生物学发展很快，每隔几年就有许多相关新知识和技术出现，为适应环境微生物学发展，向同学们展示环境微生物学的完整面貌和最新发展，在总结国内外环境微生物学发展的基础上，结合我们的科研和实践经历，吸收国内外相关优秀教材的精华，特编此书，以资共勉。

本书共分 11 章，阐述了有关环境微生物的基本概念和理论、环境微生物的分类和特性、环境微生物的生理和代谢、环境微生物的遗传和进化、环境微生物的生态规律和多样性、涉及环境微生物的技术方法、环境微生物学最新进展等。从“实践—认识—再实践”的高度，揭示环境微生物学的发展规律，以便在理论上和实践上完全摒弃“先污染后治理”这种亡羊补牢式的陈旧思维，全面树立以“绿色生态”打造“可持续发展”这种环境生态新理念。鉴于环境微生物学的基础性，我们尽量多介绍有关环境微生物学的基本理论和技术，分章节详细介绍它们和环境科学与环境工程的渗透与融合。根据环境微生物学在生命和环境领域的地位和作用，力求做到既全面详尽，又主次分明重点突出。鉴于现代生命科学基础的分子生物学和基因工程在环境微生物学中的重要作用，我们力求综合这些重要学科，以不同的环境与资源问题为例加以重点介绍。

总之，全书以重大环境与资源问题为中心，着眼于详尽介绍环境微生物学的基本理论和技术方法，力求内容新颖、覆盖面广、概念清晰、逻辑严谨、深入浅出、言简意赅，充分反映现代环境微生物学的总体面貌、最新成就和发展方向。本书可供环境科学与工程专业本科生和相关专业的研究生作为环境微生物学教材之用，也可作为从事环保、环境生物技术研究的有关科研人员的参考书。

在华中科技大学出版社组织下，2008 年 3 月在武汉举行了全国环境微生物学教材编审

会，组成了环境微生物学编写组，全书由多所高校的相关专业老师集体编写。具体分工如下：第1章由内蒙古大学的赵吉、第2章由华中农业大学的张娟与南华大学的唐东山、第3章由天津理工大学的冯忻与解红玉、第4章由桂林电子科技大学的蒋永荣、第5章由天津理工大学的冯忻与解红玉、第6章由河北大学的马建薇与华中科技大学的朱菁萍、第7章由武汉理工大学的刁红丽与郑州大学的郭夏丽，第8章由广东仲恺农业工程学院的陶雪琴、第9章由湖北师范学院的苏平、第10章由郑州轻工业学院的魏明宝与郑先君、第11章由华中科技大学的朱菁萍编写，全书由华中农业大学农业微生物学国家重点实验室的赵开弘和内蒙古大学的赵吉分别担任正、副主编，统编修改而成。

本书在编写过程中参考了国内外许多优秀教材及科研论文，具体细目列于每章之后，方便读者跟踪学科最新进展。对于所参考的文献资料，在此向其作者谨致谢忱。此外，在书后附录D列出了环境微生物学有关的重要专业英文关键词，希望读者掌握这些基本词汇，它有利于读者从点上把握环境微生物学全貌，而且有利于读者查阅相关文献，特别是英文文献。

最后，编者用力虽勤，然限于水平，书中纰漏之处在所难免，恳请业内同仁和广大读者不吝指正，以便再版修订，使臻完善。

赵开弘

于农业微生物学国家重点实验室

2008年12月

目 录

| | |
|--------------------------------|------|
| 第 1 章 绪论 | (1) |
| 1.1 环境微生物学的重要概念 | (1) |
| 1.1.1 生命及其基本特征 | (1) |
| 1.1.2 重要术语 | (2) |
| 1.1.3 微生物的分类 | (3) |
| 1.1.4 原核生物与真核生物 | (5) |
| 1.2 环境微生物学的研究任务 | (5) |
| 1.2.1 环境微生物学的范畴 | (5) |
| 1.2.2 环境微生物学的研究内容 | (6) |
| 1.3 环境微生物学的历史与发展 | (7) |
| 1.3.1 人类对环境微生物的认识 | (7) |
| 1.3.2 环境微生物学的形成与发展 | (8) |
| 1.3.3 微生物在环境工程中的应用 | (9) |
| 1.3.4 环境微生物生物技术的应用 | (10) |
| 1.4 环境微生物的起源与进化..... | (12) |
| 1.4.1 地球上生命的起源 | (12) |
| 1.4.2 环境微生物的起源 | (13) |
| 1.4.3 放氧光合作用的进化 | (14) |
| 1.4.4 真核细胞的形成 | (15) |
| 1.5 环境微生物的重要特性..... | (16) |
| 1.5.1 微生物的生物多样性 | (16) |
| 1.5.2 微生物生理类群的多样性..... | (17) |
| 1.5.3 微生物的环境适应性 | (18) |
| 1.5.4 环境中微生物的安全性 | (18) |
| 1.6 环境微生物学与相关学科的相互渗透和促进..... | (20) |
| 1.7 学习环境微生物学的意义..... | (21) |
| 复习思考题 | (21) |
| 主要参考文献 | (22) |
| 第 2 章 环境中的微生物及其特性 | (24) |
| 2.1 微生物概述..... | (24) |
| 2.1.1 微生物的定义 | (24) |
| 2.1.2 微生物的分类与命名 | (24) |
| 2.1.3 微生物的基本特点 | (26) |
| 2.2 原核微生物..... | (28) |
| 2.2.1 细菌 | (28) |
| 2.2.2 古菌 | (34) |

| | |
|-----------------------------|-------------|
| 2.2.3 放线菌 | (38) |
| 2.2.4 其他原核生物 | (39) |
| 2.3 真核微生物 | (41) |
| 2.3.1 酵母菌 | (41) |
| 2.3.2 霉菌 | (43) |
| 2.3.3 大型真菌 | (46) |
| 2.3.4 真核藻类 | (47) |
| 2.3.5 原生动物 | (48) |
| 2.3.6 微型后生动物 | (50) |
| 2.4 病毒 | (52) |
| 2.4.1 病毒的特征和分类 | (52) |
| 2.4.2 病毒的结构 | (53) |
| 2.4.3 亚病毒 | (54) |
| 2.4.4 病毒的增殖过程 | (55) |
| 2.4.5 环境因子对病毒的影响 | (55) |
| 复习思考题 | (56) |
| 主要参考文献 | (56) |
| 第3章 微生物的营养与代谢 | (58) |
| 3.1 微生物的营养 | (58) |
| 3.1.1 微生物的化学组成和营养要素 | (59) |
| 3.1.2 微生物的营养类型 | (61) |
| 3.1.3 微生物的培养基 | (61) |
| 3.2 微生物的酶 | (61) |
| 3.2.1 酶的定义、分类和特性 | (62) |
| 3.2.2 酶的组成与结构 | (62) |
| 3.2.3 酶活力及其影响因素 | (66) |
| 3.3 微生物的能量代谢 | (69) |
| 3.3.1 生物氧化 | (69) |
| 3.3.2 生物氧化的类型 | (73) |
| 3.3.3 微生物的分解代谢 | (74) |
| 3.3.4 微生物的合成代谢 | (79) |
| 复习思考题 | (82) |
| 主要参考文献 | (83) |
| 第4章 微生物的生长及其环境 | (84) |
| 4.1 微生物的生长 | (84) |
| 4.1.1 微生物的生长繁殖特征 | (84) |
| 4.1.2 研究微生物生长的方法 | (85) |
| 4.1.3 微生物生长繁殖的测定 | (88) |
| 4.1.4 环境因素对微生物生长的影响 | (88) |
| 4.1.5 微生物在自然环境中的生长 | (92) |

| | |
|-----------------------------|--------------|
| 4.2 陆地环境中的微生物····· | (93) |
| 4.2.1 土壤作为微生物的一种环境····· | (93) |
| 4.2.2 土壤中的微生物····· | (94) |
| 4.2.3 根际微生物····· | (96) |
| 4.3 大气环境中的微生物····· | (99) |
| 4.3.1 空气中微生物的存活····· | (99) |
| 4.3.2 空气是传播微生物的介质····· | (100) |
| 4.3.3 室外空气中的微生物····· | (101) |
| 4.3.4 室内空气中的微生物····· | (101) |
| 4.3.5 空气微生物的卫生标准及检测····· | (103) |
| 4.4 水环境中的微生物····· | (104) |
| 4.4.1 水环境中的微生物生境····· | (104) |
| 4.4.2 淡水环境中的微生物····· | (105) |
| 4.4.3 海水环境中的微生物····· | (107) |
| 4.4.4 河口微生物动态变化····· | (108) |
| 4.4.5 近海噬藻体的重要功能····· | (108) |
| 4.5 极端环境中的微生物····· | (110) |
| 4.5.1 高温环境中的微生物····· | (110) |
| 4.5.2 低温环境中的微生物····· | (111) |
| 4.5.3 高盐环境中的微生物····· | (112) |
| 4.5.4 高酸环境中的微生物····· | (112) |
| 4.5.5 高碱环境中的微生物····· | (113) |
| 4.5.6 高压环境中的微生物····· | (114) |
| 4.5.7 高辐射环境中的微生物····· | (115) |
| 复习思考题····· | (115) |
| 主要参考文献····· | (116) |
| 第5章 环境微生物的遗传与变异····· | (117) |
| 5.1 环境微生物的遗传和变异现象及其意义····· | (117) |
| 5.2 微生物遗传与变异的分子基础····· | (118) |
| 5.2.1 DNA的结构与功能····· | (118) |
| 5.2.2 中心法则与蛋白质的合成····· | (124) |
| 5.3 环境微生物的变异与育种····· | (128) |
| 5.3.1 基因突变及其特点····· | (128) |
| 5.3.2 基因突变的类型····· | (133) |
| 5.3.3 基因突变的应用····· | (134) |
| 5.4 基因重组····· | (138) |
| 5.4.1 真核微生物的杂交····· | (139) |
| 5.4.2 原核微生物的接合····· | (140) |
| 5.4.3 原核微生物的转导····· | (141) |
| 5.4.4 转化····· | (142) |

| | | |
|------------|-----------------------------------|--------------|
| 5.4.5 | 原生质体融合 | (144) |
| 5.4.6 | 基因工程 | (144) |
| 5.5 | 菌种的衰退、复壮和保藏 | (147) |
| 5.5.1 | 菌种的衰退与复壮 | (147) |
| 5.5.2 | 菌种的保藏 | (148) |
| | 复习思考题 | (149) |
| | 主要参考文献 | (149) |
| 第6章 | 环境微生物生态学 | (151) |
| 6.1 | 生态学概述 | (151) |
| 6.1.1 | 微生物生态学的定义和研究内容 | (151) |
| 6.1.2 | 生物种群和群落 | (151) |
| 6.1.3 | 生态系统和生物圈 | (153) |
| 6.1.4 | 生态平衡 | (157) |
| 6.2 | 微生物之间和与动植物之间的关系 | (157) |
| 6.2.1 | 湿地的典型微生物生态作用 | (157) |
| 6.2.2 | 微生物与微生物之间的关系 | (159) |
| 6.2.3 | 微生物与植物之间的关系 | (162) |
| 6.2.4 | 微生物与人和动物之间的关系 | (164) |
| 6.3 | 环境微生物的生物多样性 | (167) |
| 6.3.1 | 微生物多样性 | (167) |
| 6.3.2 | 可培养微生物和不可培养微生物 | (168) |
| 6.4 | 环境微生物基因组信息所展示的生物进化规律 | (170) |
| 6.4.1 | 分子系统发育分析 | (170) |
| 6.4.2 | DNA 和蛋白质的进化 | (172) |
| 6.4.3 | 基因组的生物多样性 | (175) |
| 6.4.4 | 环境微生物抗生素抗性的生态规律 | (179) |
| 6.5 | 废水处理中的微生物群落及其分子生态学分析 | (180) |
| 6.5.1 | 好氧活性污泥处理的微生物群落 | (180) |
| 6.5.2 | 废水深度处理中的微生物群落 | (181) |
| | 复习思考题 | (183) |
| | 主要参考文献 | (184) |
| 第7章 | 环境微生物在物质循环和污染物代谢中的作用 | (186) |
| 7.1 | 微生物与物质循环 | (186) |
| 7.1.1 | 氧循环 | (186) |
| 7.1.2 | 碳循环 | (187) |
| 7.1.3 | 氮循环 | (192) |
| 7.1.4 | 硫循环 | (196) |
| 7.1.5 | 磷循环 | (198) |
| 7.1.6 | 氢循环 | (200) |
| 7.1.7 | 铁、锰循环 | (201) |

| | |
|-----------------------------------|-------|
| 7.1.8 其他微量元素的营养性和毒性 | (202) |
| 7.2 环境中微生物与化学物质的相互作用 | (202) |
| 7.2.1 化学不平衡的复杂环境 | (202) |
| 7.2.2 微生物对环境中化学物质状态的影响 | (203) |
| 7.2.3 微生物细胞对环境中化学物质的响应 | (205) |
| 7.3 微生物与金属的相互作用 | (206) |
| 7.3.1 环境中金属的微生物可利用性 | (207) |
| 7.3.2 金属和类金属的生物甲基化 | (208) |
| 7.3.3 金属对微生物细胞的毒性效应 | (211) |
| 7.3.4 微生物对金属的抗性和解毒机制 | (212) |
| 7.3.5 微生物转化金属的有益效应和有害效应 | (214) |
| 7.4 环境微生物物质转化的热力学规律 | (219) |
| 7.4.1 生命体系中的热力学原理 | (219) |
| 7.4.2 温室气体及其生物地球化学循环 | (221) |
| 7.5 环境微生物的污染物代谢 | (223) |
| 7.5.1 污染物的结构、毒性与微生物降解性之间的关系 | (223) |
| 7.5.2 影响污染物微生物降解的环境因素 | (225) |
| 7.5.3 有机污染物的微生物降解途径 | (226) |
| 复习思考题 | (238) |
| 主要参考文献 | (238) |
| 第8章 污染控制的微生物学原理 | (240) |
| 8.1 废水生物处理的环境微生物学技术 | (240) |
| 8.1.1 废水微生物处理的原理 | (240) |
| 8.1.2 废水的污染指标及测定方法 | (241) |
| 8.1.3 活性污泥法 | (243) |
| 8.1.4 生物膜法 | (246) |
| 8.1.5 氧化塘法 | (252) |
| 8.2 废水脱氮除磷工艺及原理 | (253) |
| 8.2.1 脱氮除磷的意义 | (253) |
| 8.2.2 脱氮除磷原理 | (253) |
| 8.2.3 废水脱氮除磷工艺 | (255) |
| 8.2.4 生物脱氮除磷技术的发展趋势 | (258) |
| 8.3 厌氧反应器 | (259) |
| 8.3.1 厌氧生物处理的原理 | (259) |
| 8.3.2 厌氧生物处理法的发展 | (261) |
| 8.3.3 升流式厌氧污泥床反应器 | (261) |
| 8.3.4 厌氧折流反应器 | (263) |
| 8.4 有机固体废物的生物处理 | (264) |
| 8.4.1 堆制法 | (264) |
| 8.4.2 厌氧消化法(沼气发酵) | (266) |

| | |
|-------------------------------|-------|
| 8.5 微生物在废气治理中的应用 | (267) |
| 8.5.1 废气的微生物处理方法 | (267) |
| 8.5.2 处理废气的微生物 | (268) |
| 复习思考题 | (269) |
| 主要参考文献 | (270) |
| 第9章 环境微生物生物技术 | (271) |
| 9.1 环境微生物的基因工程 | (271) |
| 9.1.1 基因工程工具酶 | (271) |
| 9.1.2 环境微生物核酸的提取 | (273) |
| 9.1.3 环境微生物功能基因的克隆与表达 | (273) |
| 9.1.4 环境微生物基因工程菌的构建 | (276) |
| 9.1.5 基因工程菌的环境污染控制应用 | (279) |
| 9.2 环境微生物的蛋白质工程 | (281) |
| 9.2.1 固定化酶技术在环境治理中的应用 | (282) |
| 9.2.2 基因工程抗体及其环境应用 | (283) |
| 9.2.3 蛋白质工程疫苗及其环境意义 | (283) |
| 9.3 环境微生物的细胞工程 | (284) |
| 9.3.1 细胞融合 | (284) |
| 9.3.2 固定化微生物在环境治理中的应用 | (286) |
| 9.3.3 环境微生物的单细胞蛋白技术 | (287) |
| 9.3.4 农业生物控制中的环境微生物技术 | (288) |
| 9.4 环境微生物的代谢工程 | (291) |
| 9.4.1 微生物细胞外多聚物的开发与应用 | (291) |
| 9.4.2 微生物能源 | (292) |
| 9.4.3 微生物采油 | (298) |
| 复习思考题 | (299) |
| 主要参考文献 | (299) |
| 第10章 环境微生物学实验方法 | (301) |
| 10.1 环境微生物取样和富集 | (301) |
| 10.1.1 培养基的配制与选择 | (301) |
| 10.1.2 环境微生物的取样 | (303) |
| 10.1.3 从野外微生物群落到微生物纯培养物 | (304) |
| 10.1.4 活性污泥中细菌的分离和培养 | (305) |
| 10.1.5 获得环境微生物纯培养的方法 | (306) |
| 10.1.6 环境微生物数量和生物量的测定方法 | (307) |
| 10.2 指示微生物 | (311) |
| 10.2.1 指示微生物的概念 | (311) |
| 10.2.2 总大肠菌群 | (312) |
| 10.2.3 粪大肠菌 | (313) |
| 10.2.4 粪链球菌 | (313) |

| | |
|----------------------------------|--------------|
| 10.2.5 产气荚膜梭菌 | (314) |
| 10.2.6 异养平板计数 | (314) |
| 10.2.7 噬菌体 | (314) |
| 10.2.8 其他指示微生物 | (314) |
| 10.3 显微技术 | (315) |
| 10.3.1 显微技术的原理 | (315) |
| 10.3.2 微生物的形态、特殊结构的观察 | (319) |
| 10.3.3 细菌的简单染色和革兰氏染色 | (321) |
| 10.3.4 应用分子探针和荧光探针显微术的原位检测 | (321) |
| 10.4 生理学方法 | (322) |
| 10.4.1 纯培养微生物活性测定 | (323) |
| 10.4.2 适于测定环境样品活性方法的选择 | (324) |
| 10.4.3 碳呼吸 | (325) |
| 10.4.4 放射性标记示踪物掺入细胞大分子 | (326) |
| 10.4.5 腺苷酸能荷 | (327) |
| 10.4.6 酶分析 | (327) |
| 10.5 免疫学方法 | (328) |
| 10.5.1 抗体 | (328) |
| 10.5.2 免疫检测方法 | (328) |
| 复习思考题 | (330) |
| 主要参考文献 | (331) |
| 第 11 章 环境微生物学新技术 | (332) |
| 11.1 污染物致突变性的微生物检测方法 | (332) |
| 11.1.1 发光细菌监测法 | (332) |
| 11.1.2 艾姆氏试验 | (333) |
| 11.2 环境微生物的分子生态技术 | (334) |
| 11.2.1 核酸杂交检测技术 | (334) |
| 11.2.2 微生物分子生态学方法 | (340) |
| 11.3 环境微生物传感器 | (347) |
| 11.3.1 微生物传感器的结构和功能 | (347) |
| 11.3.2 微生物传感器的类型 | (348) |
| 11.3.3 微生物传感器在环境中的应用实例 | (350) |
| 11.4 生物芯片与环境微生物监测 | (351) |
| 11.4.1 生物芯片的工作原理 | (352) |
| 11.4.2 基因芯片检测分析环境样品的步骤 | (353) |
| 11.4.3 基因芯片在环境微生物监测中的应用 | (354) |
| 11.5 环境微生物基因组学与蛋白质组学 | (355) |
| 11.5.1 环境微生物基因组分析 | (355) |
| 11.5.2 宏基因组学 | (357) |
| 11.5.3 环境微生物蛋白质组学 | (360) |

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| 11.5.4 蛋白质组学常用技术 | (362) |
| 复习思考题 | (364) |
| 主要参考文献 | (364) |
| 附录 | (366) |
| 附录 A 实验室常用的培养基及其配置方法 | (366) |
| 附录 B 大肠菌群最大可能数(MPN)表 | (367) |
| 附录 C 常用染色液的配制方法 | (369) |
| 附录 D 环境微生物学有关的专业英文关键词 | (370) |
| 附录 E 环境微生物学有关的国际学术期刊 | (373) |
| 附录 F 环境微生物学有关的 Internet 数据库与网站 | (373) |

第1章 绪 论

内容提要

本章主要介绍环境微生物学的重要概念,环境微生物学的研究范畴和研究任务,环境微生物学的历史与发展,微生物在环境工程中的应用,环境微生物生物技术的应用;介绍环境微生物起源与进化的相关证据和学说,环境微生物的多样性、复杂性、安全性等重要特性,环境微生物学各相关学科的渗透及其趋势以及学习环境微生物学的意义等内容。

1.1 环境微生物学的重要概念

1.1.1 生命及其基本特征

1. 什么是生命

地球是一个充满生命的行星,那么什么是生命呢?恩格斯在《自然辩证法》中指出:“生命是蛋白质的存在方式,这个存在方式的本质在于它和周围外部自然界不断进行着的新陈代谢”。地球上生物种类非常之多,数量非常之大,生命现象错综复杂。要想明确回答什么是生命这一问题,就要从错综复杂的生命现象中提炼出反映生命本质的基本特征。

2. 生命的基本特征

无论从物质结构还是生命活动形式来看,生命都表现出严密的组织性和高度的有序性。生命活动不同于其他活动,不管是复杂的高等动植物,还是微观的低等生物甚至单细胞都具有新陈代谢、繁殖等最基本的特征,具有这些基本特征的物质存在形式就是生命。

新陈代谢(metabolism):生物体内进行的所有化学反应的总称。新陈代谢是生命现象的最基本特征,包括两个过程:一个是合成代谢(anabolism),即从外界摄取物质和能量,将它们转化为生命自身物质和储存能量;另一个是分解代谢(catabolism),即分解生命物质,释放能量。生命的原始能量来自光合作用。

繁殖(reproduction):生物产生生物个体并延续生命的过程。在自然界,唯独生物具有繁衍后代的能力。繁殖是所有生命体都有的基本特征。生物繁殖包括无性生殖、有性生殖等形式。

分化(differentiation):同一来源的细胞逐步形成形态结构各异、生理功能和生化特征不同的细胞,这种特异化的过程称为分化。细胞分化是细胞生命周期的一部分,通过细胞分化可形成有利于细胞繁殖、扩散或适应不利环境条件所需的特殊结构(如芽孢、孢子)。基因调控是细胞分化的核心问题。

信息传递(communication):细胞可对环境中的化学或物理刺激作出反应,如运动细胞的趋化或趋光作用。一个细胞还可以和另一个细胞通过化学信号进行相互作用或交流。生命个体不是孤立的,往往以群体的形式存在,需要信息传递。遗传信息的载体是核酸。

遗传(heredity):遗传物质从亲代传给子代的现象,子代与亲代之间,在形态构造、生理机

能上都很相似,这种现象称为遗传。遗传的物质基础是 DNA,其遗传信息存在于 DNA 链的碱基序列中。基因(gene)的表达与调控决定了生物体的特征和代谢过程。

变异(variation):DNA 复制时偶然发生的错误,使得子细胞与亲代细胞不同,这就是突变。亲代和子代之间,子代个体之间不会完全相同,总会有所差异,这种现象称为变异。它可分为可遗传变异和不可遗传变异,其中可遗传变异在生物进化中起着重要作用。

进化(evolution):指随时间推移,由基因突变导致一个种类逐渐产生新种或变种的变化过程。地球上出现了生命,随即开始了生物进化历史,进化导致生物多样性。进化包括群体或物种在连续的世代中发生的遗传改变和相关的表型变化,也包括生物和环境的相互作用和它们之间的协同进化。同高等生物体一样,微生物的高度多样性是由突变和自然选择的进化过程决定的。

3. 细胞是生命体系的基本单位

细胞(cell)是生物体微观结构和功能的基本单位,是生命存在的最基本形式。细胞功能的基础是细胞结构,细胞结构是实现物质代谢和能量转化的基本保障。除了病毒(virus)以外,所有的生物体都是由细胞组成的,成千上万的细胞可以组成复杂的生物体。在生物进化过程中形成了三种基本的细胞类型,即古菌、细菌和真核细胞。

4. 生物体化学成分的差异性和同一性

活细胞的化学组成和地球上通常的化学组成有着明显差别。细胞不是由已发现的一类化学元素随机组成的,而是基本由 C、H、O、N、S 和 P 等主要元素构成的具有特殊性和非随机性的化学系统。生物不存在生命所特有的元素。从分子成分来看,生物的重要特征在于,各种生物体除含有多种无机化合物外,还含有蛋白质、核酸、脂质、糖、维生素等多种有机分子。这些有机分子,在自然界都是生命过程的产物,因此被称为生物分子。各种生物都用高能化合物,即 ATP,作为传能分子。因此,生物界在化学成分上存在着高度的同一性。

5. 微生物生命现象的共性和特性

在自然界中,除了种类繁多的动物和植物以外,还存在着一个肉眼难以发现的、常被人忽视的、数量庞大的、有巨大生物活性的和人类密切相关的微生物世界。微生物是一个自然类群,其包括的种类十分庞杂,既包括无细胞结构的病毒、单细胞结构的细菌和古菌、放线菌等原核生物,又包括酵母菌和霉菌等真菌,还有单细胞藻类、原生动物和低等的后生动物等。

微生物细胞具有一切生命体的共同特征。与动、植物细胞不同,单独的微生物细胞一般都能实现自身的生命过程,如生长、代谢、繁殖等。微生物在自然生态系统中占有特殊地位,发挥着分解者的重要作用。正是由于微生物的生命活动,才使地球上的一切非生命组分与所有生物联系起来。

1.1.2 重要术语

微生物(microorganism, microbe):肉眼看不见的所有微小生物的总称。

古菌(archaea):一类区别于细菌,在系统发育上相近的单细胞原核生物。

细菌(bacteria):一类区别于古菌,在系统发育上相近的单细胞原核生物。

原核生物(prokaryote):细胞中缺少膜包被的细胞核和其他细胞器的生物。

真核生物(eukarya):所有具有真正细胞核的生物。

基因(gene):含特定遗传信息的核苷酸序列,是遗传物质的最小单位。

基因组(genome):一个物种单倍体的染色体数目及其所携带的全部基因。