



面向 2 1 世 纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

环境工程微生物学

第 四 版

周群英 王士芬 编著

高等教育出版社



面向 21 世纪 课 程 教 材

Textbook Series for 21st Century

环境工程微生物学

Huanjing Gongcheng Weishengwuxue

第四版

周群英 王士芬 编著

高等教育出版社·北京

内容提要

《环境工程微生物学》(第四版)是在教育部普通高等教育“十一五”国家级规划教材的基础上精心修改、补充完善而成。

全书共分三篇,第一篇为微生物学基础,介绍微生物的个体、群体特征及特征识别;生理生化特性;生长特征、遗传变异等分子生物学和分子遗传学基本原理;重点关注对环境工程极有意义的古菌、极端环境微生物;介绍现代分子生物学、分子遗传学技术在环境保护与环境工程中的应用。第二篇为微生物生态与环境生态工程中的微生物作用,介绍在环境与工程中各种生物处理方法的微生物机理,重点介绍关系水体富营养化的硝化、反硝化、除磷机理新概念和新工艺选择;应用微生物学的基础知识分析和解决工程中发现的问题;介绍固定化微生物、微生物絮凝剂、沉淀剂及微生物能源的开发与应用。第三篇为环境工程微生物学实验,其内容反映基础性、可操作性、综合性和实用性。

全书体现理论与实践相结合,及时反映和应用前沿边缘学科的新技术,内容丰富、图文并茂,是高等院校环境科学、环境工程和给排水等专业专业的教材,也可作为其他微生物学专业学生及科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程微生物学/周群英,王士芬编著.--4版
--北京:高等教育出版社,2015.11
ISBN 978-7-04-043920-5

I. ①环… II. ①周…②王… III. ①环境微生物学
-高等学校-教材 IV. ①X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 224325 号

策划编辑 陈 文
插图绘制 杜晓丹

责任编辑 陈 文
责任校对 刘春萍

封面设计 于文燕
责任印制 毛斯璐

版式设计 马敬茹

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京中科印刷有限公司
开 本 850mm×1168mm 1/16
印 张 27.5
字 数 620 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 1988 年 3 月第 1 版
2015 年 11 月第 4 版
印 次 2015 年 11 月第 1 次印刷
定 价 40.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 43920-00

与本书配套的数字课程资源使用说明

与本书配套的数字课程资源发布在高等教育出版社易课程网站,请登录网站后开始课程学习。

一、网站登录

1. 访问 <http://abook.hep.com.cn/1233125>, 点击“注册”。在注册页面输入用户名、密码及常用的邮箱进行注册。已注册的用户直接输入用户名和密码登陆即可进入“我的课程”界面。

2. 课程充值: 登陆后点击右上方“充值”图标, 正确输入教材封底标签上的明码和密码, 点击“确定”完成课程充值。

3. 在“我的课程”列表中选择已充值的数字课程, 点击“进入课程”即可开始课程学习。

账号自登录之日起一年内有效, 过期作废。

使用本账号如有任何问题, 请发邮件至: zhangshan@hep.com.cn

二、资源使用

与本书配套的数字课程资源是按照章的形式显示的, 每章配有电子教案、教学视频、彩图、思考题等资源。具体说明如下:

1. 电子教案: 教师上课使用的与课程和教材紧密配套的教学 PPT, 可供教师使用, 也可供学生课前预习或课后复习使用。

2. 教学视频: 一些重难点部分的教学视频可以在数字课程中找到, 使学生从课堂实况讲解中获得感悟, 也可供教师参考。

3. 彩图: 为丰富教材资源, 数字课程中还配套有与教材中知识点内容紧密结合的彩色图片, 使学生能够巩固学习成果。

4. 思考题: 思考题包括名词解释及论述题, 可帮助学生掌握和复习课程内容, 提高教学效果。

第四版前言

《环境工程微生物学》(第三版)自2008年出版以来,经过了6年的教学实践,又得到一次历练,通过广大师生的使用,使其在环境工程微生物学课程的教学发挥一定作用。

虽然本教材是源于几十年的科研与教学实践的总结、浓缩和提炼,又在教学中经受了多年的教学考验,使其逐渐成熟与完善。但是,由于近十几年国内外在环境科学和环境工程方面的科学研究有很大进展,新的概念和新的科学技术不断涌现。为使本教材更好地适应蓬勃发展的环境学科教学的需要,本着与时俱进的精神,编者对第三版教材进行了修订。

《环境工程微生物学》(第四版)采用“纸质教材+数字课程”的形式,其框架、章节与第三版基本相同。修订的重点是对各章节内容进行更新和完善。

具体修改内容有:

1. 绪论更新,增加插图。

2. 第一篇中各章都适当修改和更新。在第二章第二节细菌域中增加了丝状细菌的插图,个体形态的识别与比较;以及厌氧氨氧化细菌细胞结构和厌氧氨氧化体的介绍;第四节放线菌增加了菌落形态插图等。第三章增加了若干原生动物插图。第四章全面修改,增加了发光细菌插图和内容介绍。

3. 第二篇修改重点在第八章和第十章,第八章侧重在机理,第十章侧重在应用,两章内容是密切联系,前呼后应的。介绍了近十几年来国内外研究氮循环中微生物作用的新进展,微生物的作用原理及应用的新技术。对硝化和反硝化与氧的关系的研究,打破了过去的传统概念:氨只能在好氧条件下进行硝化作用,硝酸和亚硝酸只能在厌氧条件下进行反硝化作用。从而设计出适应该理论的各种处理工艺。如划分区域控制溶解氧的A/O、A²/O的处理工艺,以及利用时空变化控制溶解氧的SBR和MSBR的处理工艺。目前,新概念和新技术已经深入到活性污泥内部结构及其生态的研究。研究发现,在实际运行时,微环境中存在好氧氨氧化和厌氧氨氧化、有厌氧反硝化和好氧反硝化,同步硝化反硝化、同步反硝化除磷等等的现象,还发现了新的微生物资源——厌氧氨氧化菌。从此,拓宽了科研人员的思路,促进了科学研究,并研制了与之相适应的新的处理工艺。

4. 第三篇实验部分内容进行了适当的调整、补充,增加了设计实验。

5. 各章内容力争文字简练,图文并茂。

《环境工程微生物学》(第四版)是同济大学“十二五”规划教材,由周群英教授和王士芬副教授合编。

本教材长期得到全国各高等工科院校师生的青睐、支持与使用,在此表示衷心感谢!感谢高等教育出版社的扶持和指导。感谢评审教授的支持和辛劳!

II 第四版前言

由于作者水平有限,教材有不足和错误之处,敬请读者指正,提出宝贵意见,不胜感激!

编著者

2014 年夏

第三版前言

《环境工程微生物学》(第二版)出版至今已7年,这期间环境科学和环境工程学领域有了很大的发展,环境工程微生物学的科学研究领域也在不断扩展,研究内容更丰富,涉及更广、更深层次的理论问题。为使本教材达到“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”的要求,为适应现代教学和科学技术发展的需要,及时反映环境科学和工程研究的新进展,反映近期环境治理的新动向等,以便学生用微生物学原理分析和解决环境科学和工程研究中的机理问题,并为学生后续学习和科研工作打下良好、扎实的基础。为此,适时修改本教材,补充新的研究成果,是第三版的目的。

经过几年的教学实践,对第二版课程的内容、结构与编排顺序做了基本肯定。故第三版基本按第二版的框架修改、编写。《环境工程微生物学》第三版共分三篇。第一篇为微生物的基础知识,第二篇为微生物生态与环境生态工程中的微生物作用,第三篇为实验。具体修改如下:

1. 本教材的总体思路是:按微生物由非细胞结构的病毒到有细胞结构的原核微生物、真核微生物,由低等到高等的顺序发展,也涉及与根际和根面微生物共栖的水生植物。

2. 第一篇微生物学基础部分的编写根据是:近十几年来,微生物分类学家们努力工作,对微生物的分类由微生物个体属性(如个体形态、细胞结构)和生态习性的观察描述发展到目前的分子水平的研究,更主要的是找到了科学的、客观的分类法,在表型特征基础上用 DNA 和 16S rRNA 序列分析法对细菌属和种的分类地位做出决定性的判断。将所有的微生物分门别类,编写成了《伯杰氏系统细菌学手册》(第二版)。本教材的细菌部分基本按照《伯杰氏系统细菌学手册》(第二版)的顺序编写。第一篇在内容上更加丰富多彩,精选和增加了一些微生物图示。

3. 第一篇第一章第一节增加类病毒和朊病毒;第四节增加病毒的测定;增加第六节病毒的危害、对策与应用。

4. 第二章第一节古菌部分全面充实内容,并增加环境保护和环境工程领域研究古菌的意义。第二节细菌域部分增加微生物图,第三节蓝细菌部分全面改写,内容丰富。第四节放线菌部分充实了内容和图。第五节其他原核微生物部分增加了立克次氏体、支原体、衣原体和螺旋体的图。

5. 第三章增加微生物图。

6. 第四章的章节没有变,更新了内容。

7. 第五章将第二版的附录六至附录八的内容放到本章课文内,使课文内容更加直观、充实。

8. 鉴于分子遗传学和分子生物学的迅速发展,它的应用越来越广泛,不断深入到环境科学和环境工程中。故在第六章中对 DNA、mRNA、rRNA、tRNA 和 PCR 技术等做

了更详细的介绍;增加遗传密码和突变体的检测与筛选的方法;介绍分子遗传学的综合技术在环境微生物鉴定和种群动态分析中的应用。

9. 在第二篇微生物生态与环境生态工程中的微生物作用部分中,各章节做了适当调整、修改和补充。在第十章增加一节:人工湿地中微生物与水生植物净化污(废)水的作用。第十一章的好氧堆肥部分,增加堆肥中试的参数和大型堆肥生产厂运行体会和观点,充实和丰富了教材内容。第十二章增加第四节微生物能源的开发与应用。

10. 第三篇实验部分增加一个实验(实验九):应用 API 20E 细菌鉴定系统鉴定肠杆菌科和其他革兰氏阴性杆菌。

环境工程微生物学是一门边缘学科,是环境科学、环境工程、市政工程和环境监测等专业本科生的专业基础课。由于微生物学涉及学科较多,知识面较广,因此要求课程内容要有一定的广度和深度。但限于教学课时有限,篇幅不能太多,故本教材着力于为学生提供基本知识、基本理论和基本操作技能。本教材旨在打基础,抛砖引玉。学生有了扎实的基础知识和理论,可以在今后的工作或后续深造中应用和扩展。环境工程微生物学内容体现了理论和实践的结合,体现了科学的延续性和可持续发展。

《环境工程微生物学》是根据 1967 年和 1971 年的《水处理微生物学》演进、发展而来,再由《环境工程微生物学》的第一版发展到第三版,整整经历了 40 年的历程。因此,今天的第三版是汇集了环境工程微生物学教师 40 年辛勤教学和科学研究工作所积累的经验体会写成的。

《环境工程微生物学》编写的动力来源于教学实践和需要;来源于教学与科学研究的积累;来源于人类和环境的可持续发展需要和时代赋予的使命。《环境工程微生物学》的第一版教材由胡家骏教授和周群英教授合编,第二版由周群英教授和高廷耀教授合编。第三版由周群英教授和王士芬副教授合编。长期以来受到中国工程院院士、清华大学环境科学与工程系顾夏声教授的关怀和支持,在此表示衷心感谢!感谢全国各高等工科院校师生对本教材的青睐与支持。感谢高等教育出版社的领导和编辑对本教材给予 20 年的关心、扶持和指导。

由于编者水平有限,教材难免存在不足之处,希望读者继续给予关心和支持,提出宝贵意见,编者将不胜感激!

编著者
2007 年春

第二版前言

《环境工程微生物学》第一版自1988年问世至今已有11年,出版了五万多册,广为各兄弟院校采用。随着科学事业的不断发展,在微生物学领域里,由于分子生物学、分子遗传学的发展,其应用技术渗透到各个分支学科,促进各分支学科发展,环境工程微生物学也不例外。特别是我国的高等教育在此世纪交替之际,正酝酿着一场在教学内容,课程体系以至教学手段、方式,培养目标的重大变革,本次教材的修订理应在此方面有所反映。为顺应我国的高科技和工农业生产等的可持续发展需要,为培养合格的环保事业人才,适时修改、更新《环境工程微生物学》的内容,就显得十分必要。

作者总结了这11年的教学和科研实践,广泛听取教师和学生的意见,广泛阅读参考资料,对教材在如下几方面修改和更新:

1. 在教材内容编排上,按微生物由低等到高等的顺序编排。
2. 微生物的分类地位及微生物名称进行了必要的更改。
3. 明确提出古菌的概念和它在环境工程领域中的应用价值及作用。
4. 补充微生物遗传学中的新内容和新概念,如PCR技术的应用等。
5. 微生物新的应用技术,如生物表面活性剂和微生物酶学在环境工程中的应用。
6. 增加污(废)水一般生物处理及脱氮除磷、固体废物和大气微生物处理中的微生物学理论和机制。
7. 补充水体富营养化的成因和控制,以及土壤生物修复及其技术等。

本教材内容丰富,有理论,有实践知识,图文并茂。因为教材受教学时数限制,内容不能太多;但又要方便学生阅读,又不能太精简。希望本教材能较好解决这个矛盾。

全文共分三篇。第一篇为微生物的基础知识。第二篇为微生物生态及环境生态工程中的微生物作用。第三篇为实验。《环境工程微生物学》可供环境科学和环境工程、市政工程、环境监测等专业的教学使用,还可供其他相关学科选用。在教学时可根据本单位教学学时数和实际需要,有目的地进行取舍。

《环境工程微生物学》的第一版教材由胡家骏和周群英两位教授合编,感谢胡家骏教授11年来对《环境工程微生物学》的扶持。现在虽然胡教授年事高,不参加编写工作,但仍得到胡教授关心和支持。第二版由周群英教授和高廷耀教授合编。本版教材继续请清华大学环境工程系顾夏声教授和武汉大学生命科学院沈萍教授评审。在此表示衷心感谢!

由于作者水平有限,教材不免有不足,甚至有错误之处。敬请读者继续给予支持和关心,提出宝贵意见。

编著者

1999年夏

第一版前言

环境工程微生物学是根据国家教育委员会关于工科本科基础课程最新制定的教学基本要求编写的,主要讲环境工程中的污(废)水及有机固体废物生物处理和水体、土壤及大气污染与自净过程中牵涉的、学生必须掌握的微生物学知识,以及饮用水卫生细菌学及其检验。内容包括细菌、放线菌、蓝绿细菌、酵母菌、霉菌、原生动物、微型后生动物及藻类等的形态、大小、细胞结构与功能;微生物生理(营养与呼吸);微生物与环境因素的关系;微生物的生长繁殖、遗传与变异;以及微生物生态等基础知识。此外,本书还讲述微生物在环境工程中的应用及对有害微生物的检验与控制,最后讲授实验技术。

本教材反映了在环境工程、给水排水、环境监测等专业的水处理微生物学教授 20 年的教学经验,在多年环境工程微生物学研究[包括污(废)水生物处理、区域性水污染控制、城市有机固体废物生物处理及大气污染与监测中的微生物学研究]的基础上,于 1983 年对原来的水处理微生物学讲义做了大幅度的修改与充实,先后供给环境工程、给水排水及环境监测 3 个专业 4 届本科生、硕士研究生、函授生,化学专业及暖通专业硕士研究生的教学使用,取得了良好的教学效果。环境科学技术是多学科交叉的边缘性科学,作为专业基础课的环境工程微生物学也相应地成为多学科性的边缘学科。本教材在这次修改中,为了适应环境科学技术发展的需要,广泛参考了国内、外文献,充实和更新了部分内容,章节的编排也做了较大的变动,使其更加系统化和更有利于教学。教材内容比较丰富、全面、详细,有一定广度和深度,并注意了保证基本理论、基本知识及基本操作技能的掌握与训练,能够满足初学者和已具有一定微生物学知识的读者的要求,适宜作为环境工程、给水排水、环境监测及环境科学等专业的教材,也可供其他大专院校微生物专业师生和从事环境保护的科技人员参考。

参加本教材编写工作的有同济大学环境工程教研室教授胡家骏和环境生物工程教研室讲师周群英。胡家骏除全面负责外,还主要负责第八章和第九章。周群英主要负责绪论、一至七章及实验部分。在编写过程中,听取了部分教师和学生意见,得到他们的热情关心和支持,同时还得到兄弟院校的老师的热情帮助和支持。1986 年 5 月,在清华大学召开了本教材的评审会。承蒙清华大学环境工程系顾夏声教授主审,北京建工学院土木系李献文教授、太原工学院土木系吴国庆副教授、清华大学环境工程系俞毓馨、徐本源、武汉工业大学建工系万品珍及天津大学土木系田淑媛等同志参加评审。在此向以上各位同志所给予的肯定和热情帮助表示衷心的感谢!

由于我们水平有限,经验不足,不免有不完善和错误之处,希望读者提出宝贵意见。

编著者

1987 年

目 录

绪论	1
第一节 环境问题与微生物的作用	1
第二节 环境工程微生物学的研究对象和任务	3
一、环境工程微生物学的研究对象	3
二、环境工程微生物学的研究任务	4
第三节 微生物的概述	5
一、微生物的分类和命名	5
二、病毒和类病毒	7
三、原核微生物与真核微生物	7
四、微生物的特点	8
思考题	8

第一篇 微生物学基础

第一章 非细胞结构的超微生物——病毒	11
第一节 病毒的一般特征及其分类	11
一、病毒的特点	11
二、病毒的分类	11
三、类病毒和朊病毒	12
第二节 病毒的形态和结构	12
一、病毒的形态和大小	12
二、病毒的化学组成及结构	12
第三节 病毒的繁殖	14
一、病毒的繁殖过程	14
二、噬菌体的溶原性	16
第四节 病毒的测定与培养	16
一、病毒的测定	16
二、病毒的培养特征	17
三、病毒的培养基	17
四、病毒的培养	18
第五节 病毒对物理、化学因素的抵抗力及污水处理过程对 病毒的去除效果	19
一、病毒对物理因素的抵抗力	19
二、病毒对化学因素的抵抗力	21
三、病毒对抗生素的抵抗力	21
四、病毒的存活时间和污水处理过程对病毒的去除效果	22

第六节 病毒的危害、对策与应用	23
一、病毒的危害与对策	23
二、病毒的应用	23
思考题	24
第二章 原核微生物	25
第一节 古菌域	25
一、古菌的特点	25
二、古菌的分类	26
三、古菌研究对环境工程的意义	33
第二节 细菌域	33
一、细菌的个体形态与大小	33
二、细菌的细胞结构	36
三、细菌的培养特征	44
四、细菌的物理化学特性	46
五、细菌的物理化学性质与污(废)水生物处理的关系	49
第三节 蓝细菌	49
一、蓝细菌的形态与大小	49
二、蓝细菌的细胞结构及其功能	51
三、蓝细菌的繁殖	51
四、蓝细菌的生境	51
五、蓝细菌的代谢	51
六、蓝细菌的分类	51
七、蓝细菌与人类及环境的关系	53
第四节 放线菌	54
一、放线菌的形态、大小和结构	54
二、放线菌的菌落形态	56
三、放线菌的繁殖	56
四、放线菌的分类	58
第五节 其他原核微生物	59
一、立克次氏体	59
二、支原体	59
三、衣原体	60
四、螺旋体	60
思考题	60
第三章 真核微生物	62
第一节 原生动物	62
一、原生动物的一般特征	62
二、原生动物的分类及各纲简介	63
三、原生动物的胞囊	70
第二节 微型后生动物	70
一、轮虫	70
二、线虫	72

三、寡毛类动物	72
四、甲壳动物	73
五、苔藓虫、拟水螅	73
第三节 藻类	74
一、藻类的一般特征	74
二、藻类的分类及各门特征简介	75
三、藻类的分布及用途	80
第四节 真菌	81
一、酵母菌	81
二、霉菌	83
三、伞菌	87
思考题	87
第四章 微生物的生理	89
第一节 微生物的酶	89
一、酶的组成	89
二、酶蛋白的结构	92
三、酶的活性中心	93
四、酶的分类与命名	95
五、酶的催化特性	97
六、影响酶促反应速率(或酶活力)的因素	100
第二节 微生物的营养	105
一、微生物细胞的化学组成	105
二、微生物的营养物及营养类型	106
三、碳氮磷比	111
四、微生物的培养基	111
五、营养物进入微生物细胞的方式	113
第三节 微生物的能量代谢	118
一、微生物的生物氧化和产能	119
二、生物氧化类型与产能代谢	120
三、3种生物氧化类型比较(以葡萄糖为例)	129
四、其他代谢途径	130
五、微生物发光机制与其应用	131
第四节 微生物的合成代谢	132
一、产甲烷菌的合成代谢	132
二、化能自养微生物的合成代谢	134
三、光合作用	135
四、异养微生物的合成代谢	141
思考题	141
第五章 微生物的生长繁殖与生存因子	143
第一节 微生物的生长繁殖	143
一、微生物生长繁殖的概念	143
二、研究微生物生长的方法	144

三、细菌生长曲线在污(废)水生物处理中的应用	149
四、微生物生长量的测定方法	150
第二节 微生物的生存因子	152
一、温度	152
二、pH	155
三、氧化还原电位	157
四、溶解氧	157
五、太阳辐射	161
六、活度与渗透压	161
七、表面张力	163
第三节 影响微生物生长繁殖的不利因素	163
一、紫外辐射和电离辐射对微生物的影响	163
二、超声波对微生物的影响	167
三、重金属对微生物的影响	167
四、极端温度对微生物的影响	168
五、极端 pH 对微生物的影响	169
六、干燥对微生物的影响	169
七、一些有机物对微生物的影响	170
八、抗生素对微生物的影响	171
第四节 微生物与其他生物之间的关系	172
一、竞争关系	173
二、原始合作关系	173
三、共生关系	173
四、偏害关系	174
五、捕食关系	174
六、寄生关系	174
第五节 菌种的退化、复壮与保藏	175
一、菌种的退化和复壮	175
二、菌种的保藏	176
思考题	177
第六章 微生物的遗传和变异	178
第一节 微生物的遗传	179
一、遗传和变异的物质基础——DNA	179
二、DNA 的结构与复制	180
三、DNA 的变性和复性	183
四、RNA	185
五、遗传密码	186
六、微生物生长与蛋白质合成	187
七、微生物的细胞分裂	191
第二节 微生物的变异	191
一、变异的实质——基因突变	191
二、突变的类型	192

第三节 基因重组	195
一、杂交	195
二、转化	195
三、转导	195
第四节 突变体的检测与筛选	196
一、突变体的检测	196
二、突变体的筛选	197
第五节 分子遗传学新技术在环境工程中的应用	198
一、遗传工程在环境工程中的应用	198
二、基因工程技术在环境工程中的应用	199
三、PCR 技术在环境工程中的应用	201
四、分子遗传学的综合技术用于环境微生物鉴定和种群动态分析	205
思考题	206

第二篇 微生物生态与环境生态工程中的微生物作用

第七章 微生物的生态	211
第一节 生态系统概述	211
一、生态系统和生物圈	211
二、生态平衡	213
三、生态系统的分类	213
第二节 土壤微生物生态	214
一、土壤的生态条件	214
二、微生物在土壤中的种类、数量与分布	214
三、土壤自净和污染土壤的微生物生态	215
四、土壤污染与土壤生物修复	216
第三节 空气微生物生态	220
一、空气的生态条件	220
二、空气微生物的种类、数量、来源与分布	220
三、空气微生物的卫生标准及生物洁净技术	220
四、空气微生物的检测	222
五、军团菌	225
第四节 水体微生物生态	225
一、水体中微生物的来源	226
二、水体的微生物群落	226
三、水体自净和污染水体的微生物生态	228
四、水体富营养化	233
思考题	236
第八章 微生物在环境物质循环中的作用	237
第一节 氧循环	237
第二节 碳循环	237
一、纤维素的转化	239

二、半纤维素的转化	240
三、果胶质的转化	241
四、淀粉的转化	241
五、脂肪的转化	243
六、木质素的转化	244
七、烃类物质的转化	244
第三节 氮循环	246
一、蛋白质水解与氨基酸转化	247
二、尿素的氨化	249
三、硝化作用	249
四、反硝化作用	250
五、固氮作用	257
六、其他含氮物质的转化	258
第四节 硫循环	259
一、含硫有机物的转化	260
二、无机硫的转化	260
第五节 磷循环	263
一、含磷有机物的转化	263
二、无机磷化合物的转化	263
第六节 铁循环	264
第七节 锰循环	266
第八节 汞循环	267
思考题	268
第九章 水环境污染控制与治理的生态工程及微生物学原理	269
第一节 污(废)水生物处理中的生态系统	269
一、好氧活性污泥法	269
二、好氧生物膜法	276
第二节 活性污泥丝状膨胀的成因及控制对策	279
一、活性污泥丝状膨胀的成因	279
二、控制活性污泥丝状膨胀的对策	283
第三节 厌氧环境中活性污泥和生物膜的微生物群落	284
一、厌氧消化——甲烷发酵	284
二、光合细菌处理高浓度有机废水	289
三、含硫酸盐废水的厌氧微生物处理	289
思考题	291
第十章 污(废)水深度处理和微污染源水预处理中的微生物学原理	292
第一节 污(废)水深度处理——脱氮、除磷与微生物学原理	292
一、污(废)水脱氮、除磷的目的和意义	292
二、天然水体中氮、磷的来源	292
三、微生物脱氮原理、脱氮微生物及脱氮工艺	293
四、微生物除磷原理、除磷微生物及其工艺	304

第二节 微污染源水预处理中的微生物学原理	308
一、微污染源水预处理的目的是意义	308
二、水源水污染源和污染物	308
三、微污染源水微生物预处理及微生物群落	308
第三节 人工湿地中微生物与水生植物净化污(废)水的作用	310
一、人工湿地生态系统	310
二、人工湿地净化污(废)水的基本原理	311
三、人工湿地各组成的功能	312
四、人工湿地生态系统处理污(废)水的效果	314
第四节 饮用水的消毒及其微生物学效应	314
一、水消毒的重要性	314
二、水的消毒方法	315
思考题	317
第十一章 有机固体废物与废气的微生物处理及其微生物群落	318
第一节 有机固体废物的微生物处理及其微生物群落	318
一、堆肥法	318
二、垃圾和脱水污泥的卫生填埋及其渗滤液处置	323
第二节 废气的生物处理	323
一、废气的处理方法	324
二、几种典型废气的微生物处理方法	325
思考题	328
第十二章 微生物学新技术在环境工程中的应用	329
第一节 固定化酶和固定化微生物在环境工程中的应用	329
一、酶制剂剂型	329
二、酶的提取	330
三、酶的纯化步骤	331
四、固定化酶和固定化微生物的固定化方法	332
五、固定化酶和固定化微生物在环境工程中的应用及前景	334
第二节 微生物细胞外多聚物的开发与应用	336
一、生物表面活性剂和生物乳化剂的开发与应用	336
二、微生物自身絮凝和沉淀作用	337
三、微生物絮凝剂和沉淀剂的开发与应用	337
四、微生物絮凝剂和沉淀剂的作用原理	338
第三节 优势菌种与微生物制剂的开发与应用	338
一、优势菌种	339
二、优势菌种的筛选步骤与菌剂制备	339
三、微生物制剂的应用	339
四、微生物制剂的用法	340
第四节 微生物产生的能源	340
一、微生物产生的能源种类	340
二、产生氢气的微生物	340
三、微生物产氢燃料电池	342