



环境污染微生物学

Microbiology of Environmental Pollution

■ 常学秀 张汉波 袁嘉丽 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

环境污染微生物学

Microbiology of Environmental Pollution

常学秀 张汉波 袁嘉丽 主编



高等教育出版社

Higher Education Press

内容提要

本书系统地探讨了环境污染与微生物之间的互动关系及其应用,主要包括微生物学基础、微生物对环境的污染及其危害、环境污染对微生物的影响及微生物对环境污染的响应、微生物在环境污染防治中的应用。各章节内容为:第一章绪论,第二章微生物学基础,第三章环境中的微生物及其在物质循环中的作用,第四章微生物及其代谢产物对生物及环境的污染及危害,第五章环境污染对微生物的影响及微生物对环境污染的响应,第六章土壤污染及其微生物修复,第七章水体污染的微生物净化,第八章大气污染的微生物防治,第九章有机固体废弃物的微生物处理,第十章环境污染的微生物监测。

本教材主要面对高等院校环境科学专业,也可供环境工程专业、生态学专业、微生物学专业以及医学、农林系统等相关专业使用。

图书在版编目(CIP)数据

环境污染微生物学/常学秀,张汉波,袁嘉丽主编.

北京:高等教育出版社,2006.11

ISBN 7-04-020436-3

I. 环... II. ①常...②张...③袁... III. 环境污
染-微生物学-高等学校-教材 IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 119056 号

策划编辑	林琳	责任编辑	张晓晶	封面设计	王凌波
责任绘图	朱静	版式设计	张岚	责任校对	杨凤玲
责任印制	韩刚				

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 100011
总机 010-58581000

经销 蓝色畅想图书发行有限公司
印刷 北京汇林印务有限公司

开本 787×1092 1/16
印张 23.25
字数 470 000

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
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>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版次 2006 年 11 月第 1 版
印次 2006 年 11 月第 1 次印刷
定价 36.00 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 20436-00

**本书列入云南大学
生态学国家级重点学科建设
学术著作及教材编写规划，
并受其资助出版**

顾 问 王焕校

主 编 常学秀 张汉波 袁嘉丽

参 编 段昌群 黄丽娟 李学龙
刘嫦娥 刘洁 施雯
王海龙 吴程 杨常亮
杨明霞 姚政 赵瑾
郑 月

由于环境污染日趋严重,认识和解决由环境污染带来的问题已是当务之急。而微生物在人们认识环境、改造环境特别是解决环境污染及其危害中具有得天独厚的优势。为进一步深入探讨环境污染与微生物之间的互动关系及其应用,在环境微生物学、污染生态学的基础上发展出环境污染微生物学这门分支学科,致力于研究和探索微生物对环境的污染及其防治、环境污染对微生物的影响及微生物的响应过程和规律、微生物在认识和控制环境污染中的应用。本书的大部分内容已在云南大学环境科学专业讲授多年,由于其具有突出的应用性和前沿性而受到学生的普遍欢迎。

本书以环境污染与微生物之间的互动关系为核心,微生物抗性形成及其在环境污染防治中的应用为重点,力求在内容上保证系统性、完整性,在教学效果上达到学以致用,能反映国内外该领域最新研究成果。结合目前的一些热点问题和前沿领域,将危害环境及人体健康的微生物及其代谢产物作为一种重要的污染物来看待,并对其危害及防治措施进行了充分论述。本书的这一特色使其不仅适用于环境科学相关专业,而且对环境医学领域的本科生及研究工作者也具有重要的参考价值。

本书主要是由云南大学和云南中医学院的有关教师和研究生共同编写完成的,同时吸收了昆明市环境监测中心站及云南省环境科学学会的部分工作人员参加。本书由4个单元组成:第一单元是微生物学基础,第二单元是微生物对环境的污染及其危害,第三单元是环境污染对微生物的影响及微生物对环境污染的响应,第四单元是微生物在环境污染防治中的应用。其中第一单元及第三单元由张汉波负责统稿,第二单元由袁嘉丽负责统稿,第四单元由常学秀负责统稿。各篇章的作者分别是:前言,常学秀(云南大学);第一章,常学秀、段昌群(云南大学);第二章,张汉波(云南大学)、杨明霞(云南大学);第三章,张汉波、施雯(云南大学);第四章,袁嘉丽(云南中医学院)、姚政(云南中医学院)、李学龙(云南省环境科学学会);第五章,张汉波、黄丽娟(云南大学)、郑月(云南大学);第六章,黄丽娟、吴程(云南大学);第七章,王海龙(云南大学);第八章,刘洁(云南大学)、赵瑾(云南大学);第九章,刘嫦娥(云南大学)、赵瑾;第十章,常学秀、杨常亮(昆明市环境监测中心站)。

本教材主要针对高等院校环境科学专业,也可供环境工程专业、生态学专业、微生物学专业以及医学、农林系统等相关专业使用。全书涉及面较广,各校在使用时可根据自己专业特点加以取舍。

本书的编写和出版得到了云南大学生态学国家级重点学科的资助。特别需要说明

的是,云南大学王焕校教授作为本书顾问,在大纲制定、各章节编写、全书统稿和审定等过程中均给予了极大的帮助和指导,在此深表谢忱!

本书的资料大多数是引用国内外同行学者的研究成果。我们能将这本书编写完成,首先要感谢各位专家、学者提供的资料。环境污染微生物学在近年来发展极为迅速,加上我们能力所限,书中错误和不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

《环境污染微生物学》编写组

二零零六年三月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打：(010)58581118

第一章 绪 论	1
第一节 环境中微生物的特点及其与环境污染之间的相互关系	2
一、环境污染概述	2
二、环境中微生物的特点	2
三、环境污染与微生物之间的互动关系	3
第二节 环境污染微生物学的概念、内容及研究方法	5
一、环境污染微生物学的概念	5
二、环境污染微生物学的内容	6
三、环境污染微生物学的研究任务、目的及意义	7
四、环境污染微生物学的相关学科	7
思考题	8
第二章 微生物学基础	9
第一节 微生物学发展简史	11
一、显微镜的发明	11
二、巴斯德与自生学说的否定	11
三、科赫与传染性疾病的本质	12
第二节 微生物独特的研究方法	12
一、无菌技术	12
二、纯培养技术(获得单菌落技术)	14
三、制片、染色及显微观察技术	15
第三节 微生物的形态和结构	16
一、原核微生物的细胞结构和功能	16
二、真核微生物的细胞结构和功能	21
三、非细胞型生物的形态、结构和功能	23
第四节 微生物的营养代谢和群体生长	27
一、微生物的营养	27
二、营养物质进入微生物细胞的方式	29
三、微生物的培养基	29
四、微生物代谢	30
五、微生物的生长	41

第五节 微生物的遗传学	43
一、基因突变	43
二、细菌遗传重组机制	47
第六节 微生物的系统分类	50
一、微生物的分类系统	50
二、微生物的鉴定	53
三、微生物的命名	53
思考题	53
第三章 环境中的微生物及其在物质循环中的作用	55
第一节 环境中的微生物	56
一、环境中的微生物分布	56
二、环境中微生物多样性的研究技术	63
三、微生物的相互作用	65
第二节 微生物在物质循环中的作用	66
一、碳素循环	66
二、氮素循环	70
三、磷素循环	74
四、硫素循环及参与的微生物	75
五、金属元素循环及参与的微生物	76
思考题	78
第四章 微生物及其代谢产物对生物及环境的污染	79
第一节 微生物及其代谢产物对环境的污染	80
一、微生物及其代谢产物对自然环境的污染	80
二、微生物及其代谢产物对人工环境的污染与危害	85
第二节 微生物及其代谢产物对生物的污染与危害	86
一、微生物及其代谢产物对人及动物的污染与危害	86
二、微生物及其代谢产物对植物的污染	94
三、微生物之间的拮抗作用	97
第三节 微生物及其代谢产物对食品及药品的污染与危害	98
一、微生物及其代谢产物对食品的危害	98
二、微生物及其代谢产物对药品的污染	103
第四节 微生物对材料及构筑物的腐蚀	106
一、微生物腐蚀的状况及其危害	107
二、参与腐蚀的主要微生物类群及其机制	107
三、影响微生物腐蚀的环境因素	110
四、微生物腐蚀的控制措施	110
思考题	112

第五章 污染物对微生物的影响和微生物的适应机制	113
第一节 污染物对微生物的影响	114
一、化学污染对微生物的影响	114
二、物理性污染物对微生物的影响	118
第二节 微生物对污染物的响应及其机制	118
一、微生物对重金属污染物的适应机制	118
二、微生物对有机污染物的适应机制	121
第三节 微生物适应环境污染的遗传机制	133
一、质粒与污染物适应	133
二、转座子与污染物适应	134
三、基因的表达调控与污染物适应	134
第四节 微生物对抗生素的适应	135
一、抗生素滥用及其主要原因	135
二、微生物的耐药性	136
三、微生物的耐药性类型	139
四、抗生素对微生物的作用机制	139
五、微生物耐药性机制	141
六、微生物耐药性产生的遗传基础	143
思考题	145
第六章 土壤污染及其微生物修复	146
第一节 土壤污染概述	147
一、土壤污染概况	147
二、土壤中主要的污染物及其来源和危害	150
三、土壤污染的危害	153
四、土壤污染的防治	154
第二节 土壤农药污染的微生物修复	156
一、微生物修复农药污染土壤的原理	157
二、修复农药污染土壤的微生物种类	157
三、影响微生物修复农药污染土壤的因素	158
第三节 土壤石油污染的微生物修复	159
一、微生物修复石油污染土壤的原理	159
二、修复石油污染土壤的微生物种类	159
三、影响微生物修复石油污染土壤的因素	160
第四节 土壤重金属污染的微生物修复	162
一、利用微生物固定修复土壤重金属污染	162
二、利用微生物挥发修复土壤重金属污染	164
三、利用微生物转化修复土壤重金属污染	166

第五节 污染土壤微生物修复的典型工艺	169
一、原位处理法	170
二、异位处理法	171
第六节 高效工程菌的构建及其在污染环境生物强化治理中的应用	173
一、高效工程菌在污染环境生物强化治理中的应用	173
二、高效菌株的构建途径	174
三、高效工程菌应用中的有效性和安全性问题	176
思考题	178
第七章 水体污染的微生物净化	179
第一节 水体污染概述	180
一、水体	180
二、水体污染	180
三、水体中的主要污染物及其环境效应	183
第二节 污染水体的微生物-生态修复	186
一、原位修复技术	187
二、异位修复技术	188
第三节 污(废)水的微生物处理	194
一、好氧生物处理	195
二、厌氧生物处理	203
第四节 微生物絮凝剂在污水处理中的应用	207
一、微生物絮凝剂概述	207
二、微生物絮凝剂的应用实例	211
三、微生物絮凝剂的研究与发展前景	213
思考题	214
第八章 大气污染的微生物防治	215
第一节 大气污染概述	216
一、大气污染	216
二、大气中主要污染物及其来源和危害	217
三、全球主要大气污染问题	220
四、大气污染的防治	222
第二节 微生物在防治“酸雨”中的作用	224
一、微生物脱硫	224
二、微生物脱氮	238
第三节 微生物在减轻“温室效应”中的作用	242
一、微生物固定 CO_2 机制	242
二、固定 CO_2 的微生物种类	245
三、海洋微生物固碳	246

四、土壤微生物固碳	247
第四节 微生物酶工程及其在废气处理中的应用实例	248
一、微生物酶制剂	248
二、酶制剂的构建	249
三、固定化酶及固定化微生物在废气处理中的应用实例	253
思考题	256
第九章 有机固体废弃物的微生物处理	258
第一节 固体废弃物概述	258
一、固体废弃物的概念及其相对性	259
二、固体废弃物的来源	259
三、固体废弃物的分类	260
四、固体废弃物的危害	263
五、固体废弃物产生、处理及处置状况	266
第二节 微生物在有机固体废弃物处理中的应用	268
一、有机固体废弃物的好氧堆肥	268
二、有机固体废弃物的厌氧发酵	275
第三节 微生物菌剂的制备及其在固体废弃物处理中的应用	278
一、微生物菌剂概述	278
二、微生物菌剂在固体废弃物处理中的应用实例	279
思考题	282
第十章 环境污染的微生物监测	283
第一节 环境监测概述	284
一、环境监测及其目的和意义	284
二、环境监测的发展历程	284
三、环境监测的类型和特点	286
四、环境污染的生物监测	289
第二节 环境污染微生物监测的常用技术	290
一、利用微生物群落组成变化(如优势种变迁)监测环境污染	290
二、利用微生物数量(如总菌数、模式菌数等)变化监测环境污染	294
三、利用微生物生理(酶活性、代谢活力)变化监测环境污染	299
四、利用微生物遗传物质变化(基因突变、DNA 损伤等)监测环境污染	309
第三节 微生物应用于环境监测的发展趋势	314
一、应用微生物传感器监测环境中化学污染物	314
二、应用核酸探针、聚合酶链式反应、生物芯片等技术监测环境中微生物污染	320
三、寡营养细菌在环境监测中的应用	324
思考题	325
主要参考文献	326

附录 1	常用专业术语	343
附录 2	推荐网站	351



阅读要点

环境污染是指输入环境介质中的某种物质或能量过多,超过环境本身的自然净化能力和承载能力,从而对人体健康、生态系统和环境系统产生不利影响的现象和过程。

微生物在自然环境中起着不可替代的重要作用,如自然界的物质循环、能量传递、污染净化等,这些都与微生物的生理生态特性有关。环境中微生物的特点主要表现为:种类繁多、分布极广,繁殖迅速、数量巨大,个体微小、容易变异。

环境污染和微生物之间的关系主要表现为:无论在自然环境或人工环境中,微生物及其代谢产物都可能产生污染问题;环境污染会对微生物产生各种有利或不利影响;在环境污染胁迫下,部分微生物能够适应污染环境,使人类能够利用它们来修复和净化受污染的环境;微生物还可以用来监测和评价环境质量。

环境污染微生物学是一门研究环境污染与微生物之间相互关系的边缘、交叉学科,即研究微生物系统与被污染的环境系统之间的相互作用规律及采用微生物学原理和方法对污染环境进行控制和修复的科学。其研究内容为:微生物本身以及某些微生物的代谢产物对环境的污染及其防治,环境污染对微生物的影响、机制及条件,微生物对污染物的适应及其机制,污染环境的微生物监测、净化和修复技术。其研究任务是揭示环境污染与微生物之间的互动关系及其规律,消除会污染环境的微生物及其不利影响;充分利用微生物对污染物的敏感性及抗性作用来认识和改善环境质量。

从大的方面讲,环境科学、微生物学、生态学及环境工程学等都是环境污染微生物学的相关学科,而与环境污染微生物学关系最密切的学科主要是环境微生物学、微生物生态学及污染生态学。

随着人类生产和生活水平的提高,各种物质和能量源源不断的输入到环境系统中,超出了环境本身的承载能力,导致环境污染问题日益突出、危害日益严重。

微生物是地球上功能最多和适应能力最强的生命形式,已经在地球上存在了 35 亿年,具有惊人的代谢能力和多样性,它们在地球表面物质循环过程中起着重要作用,生物和地球化学过程产生的大量有机化合物(天然化合物),几乎都可以作为微生物的能源物质或细胞组成成分而被利用。即使是新合成的用于工业或农业的化学合成有机物(生物异源物质),其中一些也能够被微生物降解。因此在工农业三废处理、生物异源

物质的降解及无机元素的再生等过程中,都有微生物的用武之地。

第一节 环境中微生物的特点及其与环境污染之间的相互关系

一、环境污染概述

(一) 环境污染的概念

环境污染是指输入环境介质中的某种物质或能量过多,超过环境本身的自然净化能力和承载能力,从而对人体健康、生态系统和环境系统产生不利影响的现象和过程。

(二) 环境中主要的污染物类型

污染物可有多种分类方法,按《中国大百科全书·环境科学卷》的方法可作如下分类:

按污染物的来源,可分为自然来源和人为来源的污染物。

按受污染物影响的环境要素,可分为大气污染物、水体污染物和土壤污染物等。

按污染物的形态,可分为气态污染物、液态污染物和固态污染物。

按污染物的性质,可分为化学性污染物、物理性污染物和生物性污染物。

按污染物在环境中物理、化学性状的变化,可分为一次污染物和二次污染物。

此外,为了强调某些污染物对人体的有害作用,还可划分出致畸物、致突变物和致癌物、可吸入的颗粒物以及恶臭物质等。

二、环境中微生物的特点

微生物在自然环境中起着不可替代的重要作用,如自然界的物质循环、能量传递、污染净化等,这些都与微生物的生理生态特性有关。环境中微生物的特点主要表现在以下三个方面(王家玲等,2004):

(一) 种类繁多、分布极广

1. 微生物物种丰富多样

据估计,地球上微生物的种类数以百万计,目前被人类认识或利用的微生物种类已有数万种,而它们仅仅是地球微生物类群中很小的一部分,仅占总种类数的百分之几。另有百分之九十几的微生物种类由于不能培养等原因尚未被人类认识 and 了解。

2. 微生物生态功能和代谢类型丰富多样

从能量利用的角度来看,有的微生物利用太阳光能,而另一些微生物则利用化学能;从呼吸作用来看,有的微生物必须在有氧条件下才能够存活,有的微生物在有氧或无氧条件下均能存活,有的微生物则必须在无氧环境中才能存活;从营养物利用的角度

看,有的微生物能同化有机物,有的则同化无机物。

3. 微生物分布环境丰富多样

微生物在环境中存在的数量极大、分布极广,几乎分布在人类活动所涉及的全部空间,即使在一些恶劣的极端环境中也存在着各种各样的微生物种类,例如,在强酸强碱环境、高温高盐环境、干旱沙漠、冰川极地、深海底、热泉口及火山口等不利于生物生存的极端恶劣环境都会有微生物的存在。

(二) 繁殖迅速、数量巨大

大多数微生物繁殖方式简单、繁殖速度快。当条件适宜时,几小时或几十分钟就可繁殖一代,因此,环境中微生物的数量十分庞大。例如,在肥沃的土壤中,每克土中微生物数量可达几十亿个。

(三) 个体微小、容易变异

微生物细胞个体小、比表面积大,加上繁殖迅速,容易发生变异。

三、环境污染与微生物之间的互动关系

环境污染和微生物之间的关系主要表现在以下几个方面:首先,无论在自然环境或人工环境中,微生物及其代谢产物都可能产生污染问题;其次,环境污染会对微生物产生各种有利或不利影响;再次,在环境污染胁迫下,部分微生物能够适应污染环境,使人类能够利用它们来净化和修复受污染的环境。

(一) 微生物及其代谢产物对环境的污染

在导致环境质量恶化的各种因素中,一个重要的污染因子是微生物。微生物及其代谢产物对环境的污染主要包括细菌性污染、病毒和真菌及其毒素的污染。另外,由微生物代谢活动产生的甲烷、硫化氢、氨等气体及生物硫酸对环境的影响也不容忽视。微生物及其代谢产物对环境的危害可以归纳为以下几个方面:

① 病原微生物威胁人体健康。如病毒、细菌、霉菌等直接侵入人体而致病,或人体接触其代谢产物而引起损伤等。目前,由病原微生物引起的多种传染病仍严重威胁人类的健康。据世界卫生组织(WHO)报道,近年全球平均每年有1700多万人死于传染病。

② 微生物引起植物病害及动物疾病,某些细菌和霉菌能使食品和农副产品腐败和腐烂。如微生物寄生于植物的现象在自然界极为普遍,多种病毒、细菌、真菌和原生动物能寄生于植物并引起植物的病害,如水稻的稻瘟病、白叶枯病、小麦的赤霉病及烟草花叶病等,这些微生物被称为植物病原菌或致病微生物。

③ 微生物代谢产物与环境中化学物质发生反应产生不良后果。如硫细菌可腐蚀混凝土管道,铁细菌则腐蚀金属管道。厌氧环境中的微生物能够产生大量 CO 、 CH_4 、 N_2O 等温室气体。

④ 微生物在环境中异常增殖导致环境问题。如富营养化水体中藻类的爆发性增