

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书



环境 生物修复技术

吴启堂 陈同斌 主编

Chemical Industry Press



化学工业出版社

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书



环境 生物修复技术

吴启堂 陈同斌 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

环境生物修复技术/吴启堂, 陈同斌主编. —北京:
化学工业出版社, 2006.10
(高新技术科普丛书)
ISBN 978-7-5025-9565-4

I. 环… II. ①吴…②陈… III. 环境生物学-研究
IV. X17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 127365 号

高新技术科普丛书

环境生物修复技术

吴启堂 陈同斌 主编

总策划: 陈逢阳 周伟斌

责任编辑: 周旭 尤彩霞

责任校对: 顾淑云 宋夏

封面设计: 关飞

*

化学工业出版社出版发行

(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

购书咨询: (010)64518888

购书传真: (010)64519686

售后服务 (010)64518899

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 217 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9565-4

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《环境生物修复技术》 主编与参编人员名单

主 编：吴启堂 陈同斌

参编人员：雷 梅 陈能场 卫泽斌

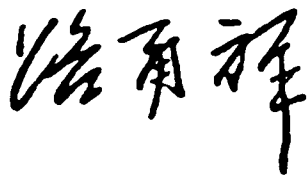
序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我国周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21世纪是信息时代，21世纪是生命科技的世纪，21世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的时代，21世纪是高效、洁净和安全利用新能源的时代，21世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的时代。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999年8月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性与通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

A handwritten signature in black ink, reading '洛勇勋' (Luo Yongxun). The characters are written in a cursive, expressive style.

2000年9月

前言

进入 21 世纪，国民环境意识大大提高，环境立法和执法取得明显进展。相关部门通过以重点工业企业、城市和流域污染治理为突破口，开展了大规模的环境污染治理工作，并取得了阶段性成果，全国环境污染恶化的趋势已得到基本控制。但是，全国城市空气污染依然严重，空气质量达到国家二级标准的城市仅占 1/3；地表水污染普遍，特别是流经城市的河段有机污染较严重，湖泊富营养化问题突出，地下水受到点状或面状污染，水位下降，同时又加剧了水资源的供需矛盾；生态环境破坏加剧的趋势尚未得到有效控制。环境保护的任务依然是任重而道远。

没有干净的土壤，就没有干净的水、大气和食物。土壤环境问题已成为当代土壤科学和环境科学研究的热点。我国土壤污染形势严峻，据调查，局部地区污染情况已达到了非常严重的程度，大约 1/5 的耕地已受到污染，不单是重金属污染严重，有机污染也相当突出。土壤污染不仅对食品安全构成了严重的威胁，对水体、大气以及整个生态环境也造成了严重影响。采用物理、化学方法来治理土壤污染，费用极高，美国等发达国家都难以承受，发展中国家更难以承担。

过去，环境科学与工程领域研究开发的多数为“三废”

治理技术，该技术为减少污染物的排放作出了巨大的贡献。到 20 世纪初，新的污水处理方法——生物膜法和活性污泥法逐渐成为最有效也最主要的方法，这些方法对有机污染处理效果好，处理容量大；但建立城市污水处理厂的基建投资巨大，运行、维持和管理费用较高，对于人口相对稀疏的小城镇来说，采用这些方法不经济。像我国深圳这种经济相对发达的城市，虽然城市污水处理率已达到了 50% 以上，深圳河却依然黑臭。而其他城市要达到这样的污水处理率仍然存在较大困难。而且，当前第三世界发展中国家城市给排水管网不健全，不少污水难以收集到城市污水处理厂集中处理。因此，更经济的分散处理技术、现场修复技术显得日益重要。

生物修复技术与其他工程措施相比，具有许多优点。首先，污染物可就地处理，操作简便，对周围环境干扰少；其次，费用低廉；再次，无二次污染，遗留问题少。20 世纪 80 年代以后，一些生物修复技术已经开始在污染环境治理中推广应用并取得了良好的效果。近年来，利用植物、微生物修复污染环境的生物修复技术成为国内外研究的热点。一批具有特殊生理生化功能的植物、微生物应运而生，基因修饰、基因改造、基因克隆与基因转移等现代生物技术进展给人们带来了更大的希望。随着研究水平的不断提高，技术开发和推广力度的日渐加强，生物修复技术必将产生更大的经济效益、社会效益和环境效益。

本书适应当前生态研究、开发和应用的需要，对生物修复技术的研究现状以及其在水、土壤、大气等环境污染修复

中的应用作了较全面的论述，使读者能根据需要比较和选择适用的技术；同时对相关的环境标准、污染评价、“三废”治理等知识作了简要的配套介绍，以便读者阅读和使用参考。

许多前辈、同仁和同事对该书的完成作出了贡献，特别是中国科学院沈阳应用生态研究所的孙铁珩院士、周启星研究员和西南农业大学资源环境学院的陈玉成老师同意本书引用他们的有关专著的部分文字和图表，华南农业大学环境科学与工程系的研究生丘锦荣、陈娴、吕艳荷、李海琴等查阅了大量相关资料，在此，作者一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限，书中难免会有一些疏漏和错误之处，敬请读者批评指正。

编 者
2004年12月

《高新技术科普丛书》编委会

主任

路甬祥 中国科学院院长，中国科学院院士，
中国工程院院士

委员

汪家鼎 清华大学教授，中国科学院院士

闵恩泽 中国石油化工集团公司石油化工科学研究院教授，
中国科学院院士，中国工程院院士

袁 权 中国科学院大连化学物理研究所研究员，中国科学院
院院士

朱清时 中国科学技术大学教授，中国科学院院士

孙优贤 浙江大学教授，中国工程院院士

张立德 中国科学院固体物理研究所研究员

徐静安 上海化工研究院（教授级）高级工程师

冯孝庭 西南化工研究设计院（教授级）高级工程师

内 容 提 要

常规的“三废”治理技术，为减少污染物的排放作出了巨大的贡献。但是，大气、水体、土壤污染依然严重，需要更经济的分散处理技术、现场修复技术。生物修复技术与其他工程措施相比，具有费用低、就地处理、对周围环境干扰少等许多优点，成为国内外研究的热点。为此，本书对生物修复技术研究进展进行了综述和总结。全书共分7章，首先对相关的环境标准、污染评价、“三废”治理等知识作了简要的配套介绍；接着阐述了生物修复的原理、方法与分类；再对植物、微生物和综合技术应用于水体、土壤和大气环境污染修复作了较全面的论述，使读者能根据需要比较和选择适用的技术；最后对该技术需要深入研究的问题和产业化前景作了展望。本书可供环境保护、资源管理、生物技术领域的科研人员、教师、管理干部和企业工程师参考。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 环境污染状况	3
1.1.1 大气环境状况	4
1.1.2 水环境状况	6
1.1.3 工业固体废物	10
1.1.4 耕地、土地状况	10
1.1.5 植被状况	12
1.2 污染治理技术简介	12
1.2.1 废气污染治理技术	13
1.2.2 水处理技术	15
1.2.3 固体废物处理处置技术	19
1.3 环境污染的监测和诊断	21
1.3.1 地表水监测和评价	22
1.3.2 地下水监测和评价	33
1.3.3 海水水质监测和评价	37
1.3.4 农业用水监测和评价	39
1.3.5 大气环境质量监测和评价	42
1.3.6 土壤环境质量监测和评价	45

参考文献	48
------------	----

第2章 生物修复的方法与原理 49

2.1 生物修复方法与分类	51
2.1.1 生物修复的概念	51
2.1.2 生物修复的分类	52
2.2 污染环境的生物修复原理	53
2.2.1 生态系统对污染物净化机理	53
2.2.2 生态工程学原理	60
2.3 生物修复的效果评价	62
2.3.1 体现环境改善的非总量指标	62
2.3.2 生物修复工程的效益评价方法	69
参考文献	72

第3章 重金属污染土壤的生物修复 75

3.1 土壤重金属污染非生物修复方法	77
3.1.1 工程措施	77
3.1.2 改土剂措施	81
3.2 植物修复	83
3.2.1 概述	83
3.2.2 超富集植物与植物提取	85
3.2.3 植物固定	95

3.2.4 植物挥发	96
3.2.5 农业措施	97
参考文献	99

第4章 有机污染土壤的生物修复 103

4.1 微生物修复技术	106
4.1.1 概述	106
4.1.2 原位生物修复技术	108
4.1.3 异位生物修复技术	110
4.2 植物-微生物联合修复	113
4.2.1 作用原理	113
4.2.2 大田试验示范	116
参考文献	135

第5章 污染水体的生物修复 139

5.1 植物修复	143
5.1.1 恢复湖泊水生植物	143
5.1.2 水生植物塘	155
5.1.3 漂浮栽培植物	156
5.1.4 富营养化海域栽培大型海藻	158
5.2 微生物修复	160
5.2.1 地下水自然生物修复	160

5.2.2	湖泊生物试剂添加修复	163
5.2.3	海洋石油污染的生物修复	165
5.2.4	海洋赤潮的生物抑制	169
5.3	综合处理技术	169
5.3.1	土地处理技术	170
5.3.2	污水稳定塘处理技术	183
5.3.3	河流水体曝气修复	187
5.3.4	多功能河道生态工程修复	188
5.3.5	生化处理工艺在水体修复中的应用	189
5.3.6	生物操纵修复富营养化湖泊	192
5.3.7	原位修复地下水工程	197
	参考文献	201

第6章 大气污染的生物修复 203

6.1	植物修复	205
6.1.1	大气污染植物修复的过程与机理	205
6.1.2	植物对大气中化学污染物的净化作用	209
6.1.3	植物对大气物理性污染的净化作用	211
6.1.4	植物对大气生物污染的净化效果	213
6.1.5	大气污染植物修复的限制因素与 研究展望	213
6.2	微生物修复	215
6.2.1	有机废气的微生物修复	215

6.2.2 无机废气的微生物修复	223
参考文献	236

第7章 生物修复技术的前景与展望 239

7.1 面临的问题与发展趋势	241
7.2 应用和产业化前景	245
参考文献	248

第1章

绪论

环境污染状况

污染治理技术简介

环境污染的监测和诊断