

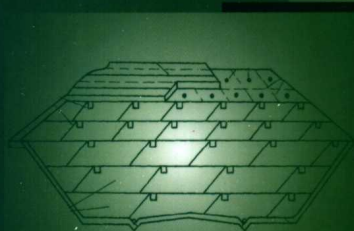
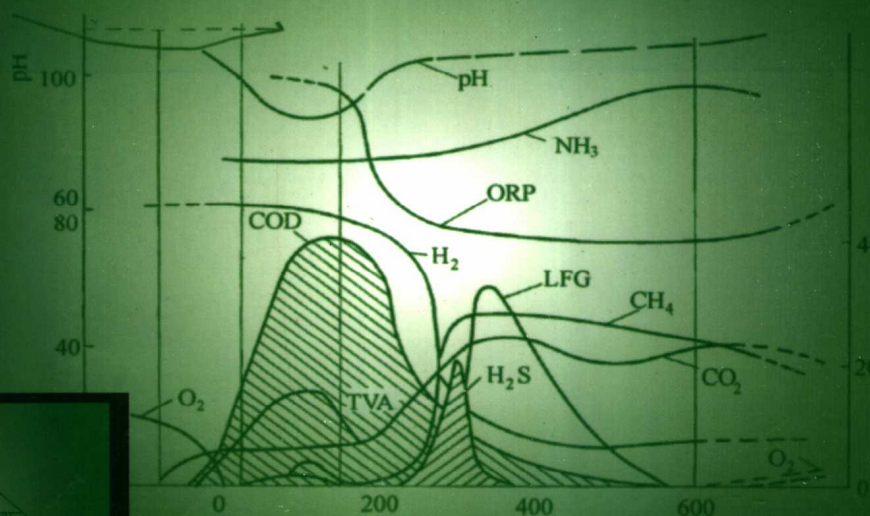
“十五”国家重点图书

现代生物技术丛书

环境生物工程

伦世仪 主 编

陈 坚 副主编
曲音波



化学工业出版社

现代生物技术与医药科技出版中心

“十五”国家重点图书

现代生物技术丛书

环境生物工程

伦世仪 主 编
陈 坚 曲音波 副主编

化 学 工 业 出 版 社
现代生物技术与医药科技出版中心
·北 京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

环境生物工程/伦世仪主编. —北京:化学工业出版社, 2002.5
(现代生物技术丛书)
ISBN 7-5025-3715-5

I. 环… II. 伦… III. 环境生物学 IV. X17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 033089 号

现代生物技术丛书

环境生物工程

伦世仪 主编

陈 坚 曲音波 副主编

责任编辑: 郎红旗 孟 嘉

责任校对: 郑 捷

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
现代生物技术与医药科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010)64982530

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

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷厂印刷

北京市彩桥印刷厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 21¼ 字数 520 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-3715-5/X·152

定 价: 45.00 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

“现代生物技术丛书”编委会

编委会主任 焦瑞身

编委会成员 (以姓氏汉语拼音为序)

郭礼和 中国科学院上海生物化学与细胞生物研究所 研究员
贾士荣 中国农业科学院生物技术中心 研究员
焦瑞身 中国科学院上海植物生理生态研究所 研究员
伦世仪 江南大学 中国工程院院士 教授
俞俊棠 华东理工大学 教授
张树政 中国科学院微生物研究所 中国科学院院士 研究员
朱宝泉 上海医药工业研究院 研究员

本册主编与编写人员

主 编 伦世仪

副 主 编 陈 坚 曲音波

编 写 人 员 (以姓氏汉语拼音为序)

陈 坚 江南大学生物工程学院 教授
堵国成 江南大学生物工程学院 副教授
华兆哲 江南大学生物工程学院 副教授
刘克鑫 中国科学院成都生物研究所 研究员
伦世仪 江南大学 中国工程院院士 教授
曲音波 山东大学生命科学院 教授
任洪强 河北科技大学环境工程学院 教授
汪天虹 山东大学生命科学院 教授
许 平 山东大学生命科学院 教授

序

建立在分子生物学、分子遗传学、生物化学、微生物学、细胞学以及化工、计算技术等基础之上的现代生物技术(生物工程),是20世纪后半期国际上突飞猛进的技术领域之一,它为人类保健、农牧业、食品工业、环境保护以及精细化工等产业的发展提供了前所未有的动力。展望新世纪,可以预料生物技术的前景更为光辉灿烂。本丛书将就该领域的研究动态逐个进行详细介绍,这里我们仅概述其突出进展与读者分享。鉴于各领域发展迅速和编者水平有限,丛书定有遗漏和不足之处,敬请读者指正。

一、基因组和后基因组学

人类基因组计划(HGP)正式启动于1990年,这是一个跨世纪、跨国界的最伟大的生命科学工程,经美、英、法、德、日、中6国的合作和努力,已于2001年完成全部序列测定。这一成就可以与原子弹计划和登月计划相媲美。它将对生命科学和人类健康产生巨大影响。应用各种技术,上千个与疾病相关的基因已被定位,并有近百个疾病基因被克隆。毫无疑问,这将为新药研究设计和疫苗制备提供依据,且已有多个物质进入临床试验。

与此同时,小家鼠、果蝇、线虫、拟南芥、水稻、啤酒酵母,以及多种真菌、细菌的基因组研究相继开展,其中拟南芥基因组的全序列测定业已完成。由于微生物的基因组远小于多细胞真核生物,且细菌和酵母基因中不存在内含子,因而便于分析,迄今已在酵母基因组中发现了一些与人类疾病基因同源的基因,研究这些基因在酵母中的生理功能,将有助于了解相关疾病的发病机理。

今天,一个崭新的领域——生物信息学迅速发展,它将基因的结构、蛋白质功能以及物种的进化在基因信息的基础上统一起来。这一学科的发展,对基因组和后基因组学研究及对人类健康和农业发展将产生深远的影响。

二、基因工程(重组DNA技术)

体外DNA重组技术始于1972年,首先在大肠杆菌中获得成功,继而扩展到其他微生物,生产出了多种新型发酵产品。美国批准上市的基因工程产品有人类胰岛素、人类生长因子、白介素、干扰素、牛型生长激素疫苗等,并不断有新的品种进入临床应用。重组微生物的应用,也为高等生物作为表达外源基因的宿主提供了技术和经验,如哺乳动物细胞株、昆虫细胞株、转基因动物、转基因植物,都有可能作为生产需要糖基化的重组蛋白质的宿主。

我国基因工程研究起步较晚,自1986年“863”计划实施以来,生物技术药物的研究和产业化获得迅猛发展,至1998年已有14种基因工程药物、3个基因工程疫苗和数十个重组诊断试剂投放市场。

三、转基因作物及其他农业生物工程

农业生物技术中最重要的转基因作物 (GMC)。近十年间 GMC 发展速度极快, 1996~2001 年全球 GMC 的种植面积增长了 30 倍。2000 年达 4 420 万公顷, 比 1999 年增长 11%, 2001 年又在 2000 年的基础上增长 19%, 达 5 260 万公顷。GMC 种植面积占相关作物全球种植面积的比例依次为: 大豆 46%、棉花 20%、油菜 11%、玉米 7%。

我国 GMC 的种植面积在 13 个国家中居第四位。国产转基因 Bt 抗虫棉的育成和推广, 开创了国内基因工程农业应用的成功范例, 仅 2001 年种植面积达 60 万公顷。抗虫棉的杀虫性强, 农药用量可减少 70%~80%, 既降低了用工成本, 又保护了环境。

继获得第一代 GMC (抗除草剂、抗虫、抗病等) 之后, 第二代转基因作物已呼之欲出, 重点是进一步改良作物品质, 提高其营养水平 (如“金稻米”等), 或以植物作为生物反应器生产医疗保健产品 (如口服疫苗等)。同时, 针对旱、涝、盐碱、低温等恶劣自然环境, 培育各类抗逆作物。

此外重组根瘤菌、重组联合固氮菌, 抗病杀虫重组微生物的开发和应用也取得了明显的成效。

四、克隆动物及转基因动物

动物体细胞克隆技术的发展为生产蛋白质类药物、器官移植、挽救珍稀濒危动物以及培育优良品种等奠定了基础。最近, Wilmut 等用山羊胚胎的核转入去核未受精的卵母细胞, 产生了克隆动物——Dolly 羊, 成为科学上的重大突破, 并在多种动物中得到重复。

转基因动物的成功引导了一种新型制药工业, 即利用转基因山羊、绵羊和乳牛的乳汁来生产治疗人类疾病的蛋白类药物。转基因动物发展的另一动向是克隆修饰的猪, 为人体器官移植提供外源器官, 以缓解临床上对人体器官的迫切需求。

体细胞克隆山羊在我国的上海市转基因研究中心及陕西的中国杨凌克隆动物基地都获得了成功。

五、细胞工程和组织工程

多年来我国植物组织培养和细胞工程研究在国际上是领先的。我国学者通过花药和花粉单细胞培养培育出烟草、水稻、小麦、大麦、油菜、甘蔗等作物的新品种、新品系, 种植面积逾 100 万公顷。脱病毒快速繁殖的主要作物有香蕉、马铃薯、甘蔗、木薯、香草兰、草莓、柑橘、苹果、葡萄、花卉和观赏植物。紫草、三七等植物细胞已可在发酵罐中大量培养。我国的传统中药涉及 5 000 种左右植物, 细胞培养是中药资源开发的一个重要方面。

我国学者在动物细胞工程方面也作出了重要贡献。例如亲缘关系远近不同的鱼类可进行各种核质组合, 在变种间、属间及科间都获得了具有独特性状的

核质重组鱼。

动物发育工程中另一重大进展是干细胞株的建立,这已成为国际上研究的热点。干细胞是指未充分分化、但具有再生为各种组织器官和个体潜在功能的细胞。血液干细胞能够分化、生成整个血液系统,用造血干细胞移植来治疗白血病和一些遗传血液病,是医学界正在探索的课题。最近,以色列科学家首次从胚胎干细胞培养出人类心脏组织,它可以正常跳动,并且有新生心脏组织的电特性和机械特性。波兰科学家用脐血干细胞成功地培育出了脑细胞,有可能被用于帕金森病、脑震荡等疾病的治疗和脑部损伤的修复。美国科学家最近成功地将胚胎干细胞分化成人类骨髓中的造血先驱细胞,并进一步培养成红细胞、白血球和血小板。这些结果预示着人类有可能获得取之不尽的血源。我国科学家已成功地将干细胞体外培养成胃和肠黏膜组织,这是继利用干细胞原位培养皮肤组织全能修复之后,人类再生组织器官方面的又一重大成果。

六、环境生物工程

我国是环境污染较严重的国家,环境生物工程在防治各种污染中将起重要作用。众所周知,油轮海上倾油可引起大面积海域污染,国外虽采用“超级细菌”(含有多个降解烃类的质粒)进行海面浮油处理,但其效果尚有待改进。化学农药对土壤的污染虽可用具专一性降解能力的特种细菌处理,但作用也甚缓慢。相对而言,较为先进的方法是采用可被降解的生物农药。此外,河流、湖泊水域的污染防治、酸雨危害以及城市垃圾的处理等,也都是亟待解决的问题。

七、酶工程

酶工程是现代生物技术的重要组成部分,其特点是利用酶、含酶细胞器或细胞(微生物、植物、动物)作为生物催化剂来完成某些重要的化学反应。应用范围包括医药、食品、化学工业,诊断分析和生物传感器等。涉及的品种不少,诸如糖化酶、淀粉酶、洗涤用酶以及与 β -内酰胺抗生素生产有关的青霉素酰化酶、7-ACA酰化酶等,其市场需求、生产规模和产值均很可观,并已产生巨大的经济效益。随着酶的大量应用,各种酶反应器和固定化技术应运而生,更进一步地推动了酶工程的发展。

当代酶工程发展的趋势之一是寻找耐极端条件的酶,如耐高温、耐酸碱、耐盐等。这些酶存在于嗜高温、嗜酸碱、嗜高盐的细菌中。近年来对这些细菌的研究进展迅速,这将为酶工业提供源源不断的新型酶类。

八、新型能源和清洁能源的开拓

随着化石能源逐年减少,再生能源的研制开发已备受国际关注。虽然我国石油和煤炭储量丰富,但从长远考虑,还需对这一课题予以重视。展望未来,新型能源,特别是清洁能源的开发很有必要。

氢气是无污染的清洁能源,燃烧后不产生二氧化碳、硫、氮氧化物等有害物质,国外的燃氢汽车已研制成功。产氢的微生物甚多,值得重视的是光合细

菌，该菌可利用工业废水产氢，同时具有农用肥效的作用。

巴西和美国是燃料乙醇生产技术和商业应用比较成熟的国家。作物秸秆、废报纸等生物材料是生产再生能源的最廉价原料，所生产的燃料乙醇成本可低到每加仑 1.10 美元，虽然仍高于每加仑 0.80~0.90 美元的汽油批发价，但随着技术的改进，生产成本将会逐步降低。

九、新型生物传感器的研制

要研制新型生物传感器，需要新型的酶和生物材料，这些酶需能耐高温、酸、碱或低温。已发现的这类特殊生物材料有嗜盐细菌的紫膜，这是一种光敏材料，可转化光子为 ATP。另一个例子是磁细菌细胞中的微小磁石 (Fe_3O_4)，对细胞起导航作用。当代正竞相研制 DNA 芯片，以色列学者已用其建成简单的计算机。

生物传感器应用范围广泛，包括临床检测、免疫反应、反应罐过程检测、环保毒物检测等，不胜枚举。

十、生化工程

包括发酵工艺、过程检测与控制、反应模型建立、反应器的设计和应用，以及包括产品提取纯化、包装在内的下游加工工艺等方面，这是生物技术产业化的最后重要过程。

本丛书以应用生物技术为主，包括必要的基础知识和前景展望。丛书包括 15 个分册，即基因工程、蛋白质工程、酶工程、生物信息学、植物细胞工程、动物细胞工程、微生物工程、生物制药技术、高级生物传感器、环境生物工程、农业生物工程、糖生物工程、生物技术与疾病诊断——兼论基因治疗、组织工程、生物工程下游技术。

每册均由工作在第一线的专家撰写，概要阐述了国内外生物技术的进展和趋势。期望本丛书的出版能够对推动我国生物技术的研究开发及产业化作出微薄的贡献。

编者衷心寄语青年朋友，认识生物技术的光辉前景，祝愿你们以聪明才智为我国的生物技术作出创新贡献。

焦瑞身 曾士学

2002 年 1 月

前 言

生物技术是环境保护中应用最广、最为重要的单项技术,其在水污染控制、大气污染治理、有毒有害物质的降解、清洁可再生能源的开发、废物处置(资源化)、环境监测、环境友好材料的合成、污染环境的修复和污染严重的工业企业的清洁生产等环境保护的各个方面,发挥着极为重要的作用。

环境生物工程(environmental biotechnology 或 environmental bioengineering)是近20年来发展起来的一门由现代生物工程与环境工程相结合的新兴交叉学科。国际环境生物工程学会(ISEB)认为,环境生物工程是开发、利用和调节生物系统进行污染环境(土地、水、空气)补救和环境友好产品生产的过程(包括绿色加工技术和可持续发展技术)。环境生物工程目前已成为一种经济效益和环境效益俱佳、解决复杂环境污染问题的最有效手段。

本书对近10年来环境生物工程的主要内容进行了简单介绍,包括:①废水、废气和固体废弃物生物处理工程的先进设计方法和最新应用状况;②部分对环境友好、用于环境保护或可替代严重污染物的产品的生物合成过程和可能的应用前景;③污染场地的生物修复技术和环境工程菌的应用状况。在这些方面,书中均通过一些典型的介绍,说明污染物生物降解所需要的条件、过程和技术关键,生物合成环境友好材料的微生物、培养和生产技术及其应用方式,以及应用于环境工程的基因工程菌的构建方法和应用安全性。

本书对当前环境生物技术从工程设计、应用和研究前景的角度进行了总体描述。每章的作者都是直接参与开发该项技术的学者。在每章中不仅对过程的设计或产品生产方法进行技术阐述,而且结合作者的研究经验,提出了进一步研究和工业化的方向,这些将给读者以广泛的参考价值。考虑到应用问题,书中也给出了这些技术和产品商业化的状况、程度或应用情况,以及技术或产品生产的经济性。

环境生物技术的发展需要多学科交叉和支撑,特别是生物技术、环境工程、化学工程、材料工程等。本书试图通过将分属各个学科的信息进行汇总,以加强这些学科的交流。生物技术专家将会从书中了解到环境工程和化学工程专家所关注的废物处理过程、物质生产过程的效率和成本,环境工程等方面的专家也会被告知废物降解和材料生产的微生物、生化过程。

本书由伦世仪主编,陈坚、曲音波副主编。各位作者的具体分工为:第一章 陈坚、伦世仪;第二章 陈坚、任洪强;第三章 华兆哲、伦世仪;第四章 华兆哲、伦世仪;第五章 许平、曲音波;第六章 任洪强、陈坚;第七章 陈坚、堵国成;第八章 陈坚、堵国成;第九章 陈坚、华兆哲;第十章 伦世仪(第一、二节)、刘克鑫(第三节);第十一章 汪天虹、曲音波。

尽管作者力图在本书中注重系统性、实践性和前沿性,但由于环境生物工程是一门新兴、交叉学科,作者从事这一领域的研究时间不长,书中难免会有错误。若蒙赐教,不胜感激!

编 者

2002年3月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 我国的环境状况和生物工程技术解决环境污染的特点.....	1
第二节 生物和环境工程的基本内容.....	3
一、生物工程.....	3
二、环境工程.....	4
第三节 环境生物的历史和基本特征.....	6
第四节 环境生物的研究内容.....	8
第五节 环境生物的进展	10
一、废水生物处理技术	10
二、可降解塑料的生物合成	11
三、污染场地的生物修复	12
四、城市生活垃圾的生物处理技术	13
五、高硫煤微生物脱硫技术	15
第六节 环境生物工程展望	16
参考文献	17
第二章 废水生物处理工程技术	18
第一节 废水好氧生物处理工程技术与应用	18
一、活性污泥法	18
二、吸附生物降解法	31
三、序批式活性污泥法	37
四、生物滤池	47
五、生物接触氧化法	54
第二节 废水厌氧生物处理过程设计与优化	57
一、厌氧生物处理过程及其特征	57
二、厌氧消化微生物	58
三、厌氧生物处理的影响因素	60
四、厌氧消化工艺的发展及其应用	62
五、升流式厌氧污泥床反应器的设计	63
六、升流式厌氧污泥床反应器的启动和应用	72
七、第三代厌氧反应器	77
参考文献	85
第三章 危险性化合物的微生物降解	86
第一节 微生物降解理论基础	86
一、概述	86
二、微生物菌群的生态学地位	87

第二节 烃类化合物的微生物降解	89
一、烃类化合物在好氧混合培养条件下的微生物降解	89
二、烃类化合物在厌氧混合培养条件下的微生物降解	94
第三节 卤代有机化合物的微生物降解	98
一、卤代有机化合物在好氧混合培养条件下的微生物降解	98
二、卤代有机化合物在厌氧混合培养条件下的微生物降解	101
第四节 其他危险性化合物的微生物降解	106
一、偶氮染料	106
二、表面活性剂	106
三、亚硝胺	109
四、氰化物	109
五、化学农药	109
参考文献	112
第四章 污染场地的生物修复	113
第一节 概述	113
第二节 地下水污染的生物修复	114
一、概述	114
二、地下水污染生物修复的技术要点	114
第三节 土壤污染的生物修复	115
一、土壤污染生物修复的技术要点	115
二、土壤污染生物修复的工程要求	116
第四节 石油污染水域的生物修复	117
一、海洋石油污染生物修复的技术要点	117
二、海岸生物修复效果的评价	119
第五节 生物修复的工程方法	120
一、生物修复的分类	120
二、生物修复的优点	120
三、生物修复的前提条件	120
四、生物修复的基本措施	120
五、生物修复的可行性评估程序	122
六、生物修复的工程方法	123
第六节 研究应用实例	129
参考文献	130
第五章 化石燃料的生物脱硫	131
第一节 生物脱硫的反应机制	131
一、化石燃料中的硫	131
二、传统的脱硫方法	132
三、微生物脱硫的机制	133
第二节 煤炭生物脱硫技术	138
一、分批脱硫技术	138

二、连续脱硫技术	139
三、大规模细菌脱硫实验	140
第三节 石油生物脱硫技术	141
一、石油微生物脱有机硫技术的发展	141
二、石油馏分生物脱硫理论和实践的最新进展	141
三、研究展望	146
参考文献	146
第六章 生物吸附剂的开发与重金属的去除	148
第一节 概述	148
第二节 废水中重金属的来源及其环境影响	149
第三节 生物吸附材料的种类	151
第四节 生物吸附机理	154
一、微生物细胞壁的结构特征	154
二、金属对生物分子的亲和性	156
三、微生物对金属的吸附	156
第五节 生物吸附剂的制备	158
一、细菌生物吸附剂的制备	158
二、真菌生物吸附剂的制备	160
三、海藻生物吸附剂的制备	161
第六节 生物吸附工艺过程	162
第七节 生物吸附技术的可行性分析	164
第八节 生物吸附剂的应用	164
一、细菌和真菌生物吸附剂的应用	165
二、海藻生物吸附剂的应用	168
参考文献	172
第七章 生物可降解塑料的生产与应用	174
第一节 塑料废物污染和可降解塑料种类	174
第二节 聚 β -羟基烷酸的生物合成与应用	175
一、PHAs 的结构、物理化学性质和应用	176
二、PHAs 的生物合成	178
三、PHAs 的发酵生产	185
四、PHAs 的提取技术	190
五、PHAs 的生物降解	193
六、PHAs 的工业化和研究进展	195
第三节 乳酸聚合物的生产与应用	198
一、概述	198
二、乳酸的合成和纯化	199
三、乳酸的聚合	210
四、乳酸聚合物的性质	212
五、乳酸聚合物的应用	215

六、乳酸聚合物的经济性·····	216
参考文献·····	218
第八章 环保用酶制剂的生产与应用·····	220
第一节 酶与环境保护·····	220
一、酶学基础知识·····	220
二、酶与环境保护·····	222
第二节 单加氧酶·····	225
一、单加氧酶产生菌·····	226
二、单加氧酶催化的化学反应及催化机制·····	227
三、单加氧酶的应用·····	230
四、单加氧酶模拟体系的研究·····	233
第三节 木质素过氧化物酶·····	233
一、前言·····	233
二、木质素过氧化物酶的性质·····	234
三、木质素过氧化物酶的生产·····	237
四、木质素过氧化物酶在有机污染物降解中的应用·····	241
第四节 漆酶·····	250
一、菌种·····	251
二、漆酶的分析方法·····	252
三、漆酶的发酵工艺·····	253
四、漆酶的应用·····	254
五、展望·····	256
第五节 环保用酶的固定化·····	256
一、环保用酶固定化的必要性·····	256
二、环保用酶固定化的研究情况·····	256
参考文献·····	258
第九章 工业废气生物处理系统的设计与应用·····	260
第一节 工业废气生物处理系统的原理和种类·····	260
一、概述·····	260
二、原理·····	260
三、分类·····	261
第二节 生物洗涤法·····	262
第三节 生物过滤法·····	263
一、土壤滤池·····	264
二、堆肥滤池·····	265
三、微生物过滤箱·····	266
四、生物滴滤池·····	266
五、生物滤池生化降解动力学研究·····	267
六、生物滤池的性能参数及其影响因素·····	268
七、生物过滤法的应用范围和发展趋势·····	270

第四节 活性污泥法	272
一、运行系统问题	274
二、运行情况	276
三、活性污泥法处理废气的优点	277
第五节 工业废气生物处理系统的现状与展望	278
参考文献	280
第十章 城市生活垃圾的生物处理技术	281
第一节 卫生填埋场	283
一、现代卫生填埋场概述	284
二、垃圾稳定化过程的生物学原理	285
三、渗滤液及其收集与处理	286
四、填埋场气体的收集及利用	290
五、卫生填埋场的终场封顶	291
第二节 生物反应器式填埋场	292
一、生物反应器式填埋场的特点及类型	292
二、厌氧生物反应器式填埋场	293
三、BL 可持续运行的设想	297
第三节 城市固体废物的堆肥技术	297
一、好氧堆肥	299
二、厌氧堆肥	303
三、堆肥与焚烧、填埋相结合的综合处理工艺	305
参考文献	307
第十一章 环境工程菌的遗传改造及其应用	309
第一节 微生物及其酶系的分子生物技术改造	309
一、重组细菌	310
二、转基因植物用于生物修复	314
三、以提高生物降解为目的的蛋白质工程	315
四、分子工具	317
第二节 生物修复遗传工程菌在现场的应用	317
第三节 环境基因工程菌的稳定性和安全性问题	318
一、GEMs 在其目的小生境中的生存和繁殖	319
二、重组 DNA 由假单孢菌向其他微生物中的转移	319
三、基于底物可利用性的生物围堵	320
参考文献	321
中西文名词对照	323

第一章 绪 论

第一节 我国的环境状况和生物工程技术解决环境污染的特点

环境保护已成为当前国际关系、经贸合作中的一个极为重要的问题，也日益严重地影响着我国国民经济的可持续发展。在我国过去几十年的经济发展中，由于忽视了发展中的环境保护，目前环境状况十分严峻。近年来虽采取了大量控制措施，但环境质量下降的趋势仍在继续。我国是世界上环境污染最为严重的国家之一，从城市到乡村，我国的大气、河流、湖泊、海洋和土壤等均受到不同程度的污染。贵阳、重庆、北京、兰州等 5 个城市位于世界十大空气污染最严重的城市之列，全国 600 多个城市中，大气质量符合国家一级标准的不足 1%。全国范围的酸雨危害的程度和区域日益扩大。全国每年污水排放达 360 亿吨，仅 10% 的生活污水和 70% 的工业废水得到处理，其中约有一半工业污水处理设施的出水达不到国家排放标准。其他未经处理的污水直接排入江河湖海，致使我国的水环境遭受严重污染和破坏。据统计，全国七大水系和内陆河流的 110 个重点河段中，属 4 类和 5 类水体的占 39%；城市地面水污染普遍严重，并呈进一步恶化的趋势，136 条流经城市的河流中，水质属 4 类、5 类和超过 5 类标准的高达 76.8%；约 50% 的城市地下水受到不同程度的污染；全国大淡水湖（如滇池、太湖和巢湖等）富营养化程度逐年加剧；一些地区的饮用水源受到严重污染，对人民健康造成严重危害。城市垃圾和工业固体废弃物与日俱增，工业废弃物累计堆积量已超过 66 亿吨，占地超过 5 万公顷，使 200 多个城市陷入垃圾包围之中。严重的生态破坏，给人民的生命财产及国民经济造成了严重损失。

当前我国社会经济仍然保持着高速发展的态势，环境保护的压力将进一步加重，由人类活动所造成的环境污染和环境质量的恶化已成为制约我国社会和经济可持续发展的障碍。据中国社会科学院 1998 年度调查和估计，我国环境污染和生态破坏造成的经济损失每年超过 2 000 亿元人民币。如何在经济高速发展的同时控制环境污染，改善环境质量，以实现社会、经济可持续发展之目标是我国目前亟待解决的重要问题。当今世界各国已普遍接受“可持续发展”这一全新的概念，并围绕它制定和实施本国的环境保护及其相关的产业政策。可持续发展要求在保持经济高速发展的同时，必须保护好人类赖以生存的环境。环境和经济及贸易挂钩是当前国际政治及经济关系发展中的新形势。例如，在日元贷款中，环保贷款已成为非常重要的组成部分。ISO 14000 系列国际环境管理标准，将要求企业承担相应的环境保护责任，并对达到该标准的企业给予认证。没有得到认证的企业的产品，在出口时将有可能面临被国外政府以未承担环境保护的责任而拒绝进口；同时，国外大型企业也可能因害怕和这些未达到该标准的企业合作而影响其形象，从而中止和这些企业的合作。至 2003 年，ISO 9000 系列质量标准将和 ISO 14000 系列环境管理标准统一成一个标准，从而将进一步强化环境保护对企业发展的意义。因此，良好的环境保护将是加强我国企业国际竞争力的当务之急。然而，我国现有的环保科技水平仍较低，缺乏实用的高科技成果及高技术人才。而可持续发展这一方针的最终实现必须依靠科技进步，特别是高新技术的应用。仅靠传统的污染防治技术和手段，已远远不能满足人类对生存环境质量的要求，必须另辟新的途

径, 生物工程及其与环境工程的渗透与结合就是其中之一。

生物是构成生态系统的要素, 生态系统内物质循环主要是依靠生物过程来完成的。生物技术在解决环境问题过程中所显示的独特功能和显著优越性充分体现在它是一个纯生态过程, 从根本上体现了可持续发展的战略思想。生物技术在处理环境污染物方面具有速度快、消耗低、效率高、成本低、反应条件温和以及无二次污染等显著优点, 加之其技术开发所预示的广阔的市场前景, 受到了各国政府、科技工作者和企业家的高度重视。随着生物技术研究的发展和人们对环境问题认识的深入, 人们已越来越意识到, 现代生物技术的发展, 为从根本上解决环境问题提供了无限的希望。目前生物技术应用与环境保护中主要是利用微生物, 少部分利用植物作为环境污染控制的生物。生物技术已是环境保护中应用最广的、最为重要的单项技术, 其在水污染控制、大气污染治理、有毒有害物质的降解、清洁可再生能源的开发、废物处置(资源化)、环境监测、环境友好材料的合成、污染环境的修复和污染严重的工业企业的清洁生产等环境保护的各个方面, 发挥着极为重要的作用。应用生物技术解决环境污染问题的特点如下。

① 生物技术处理污染物时, 最终产物大都是无毒无害、稳定的物质, 如二氧化碳、水、氮气和甲烷等。利用生物方法处理污染物通常能一步到位, 避免了污染物的多次转移, 因此它是一种消除污染安全而彻底的方法。特别是现代生物技术的发展, 尤其是基因工程、细胞工程、酶工程和发酵工程等生物高新技术的飞速发展和应用, 大大强化了上述环境生物处理过程, 使生物处理具有更高的效率、更低的成本和更好的专一性, 为生物技术在环境保护中的应用展示了更为广阔的前景。美国环保局(EPA)在评价环境生物工程时也指出“生物治理技术优于其他新技术的显著特点, 在于其是污染物消除技术而不是污染物分离技术”。此外, 利用生物技术可治理用其他方法难以处理的环境介质, 如用生物修复(bioremediation)技术净化环境, 使受污染的宝贵资源如水资源(包括地面水和地下水)、土壤等得以重新利用, 同时还可进一步强化环境的自净能力。

② 由于大部分有机污染物适于作为生物过程反应的底物, 其中一些有机污染物经生物过程处理后可转化成沼气、酒精、生物蛋白质等有用物质, 因此, 生物处理方法也常是有机废物资源化的首选技术。

③ 生物过程是以酶促反应为基础的, 作为催化剂的酶是一种活性蛋白质, 因此, 生物反应过程通常是在常温、常压下进行的。另外, 酶对底物有高度的特异性, 因此, 生物转化的效率高, 副产物少, 这与常常需要高温、高压条件的化工过程相比, 反应条件大大简化, 因而投资省、费用少、消耗低, 而且效果好、过程稳定、操作简便; 同时, 在多数情况下它还可和其他技术结合使用。

④ 用生物过程代替化学过程可以降低生产活动的污染水平, 有利于实现工艺过程生态化或无废生产, 真正实现清洁生产的目标。据美国环保局估算, 美国现有的化学工业若有5%为生物过程取代, 污染防治费用可降低约1亿美元。

⑤ 生物处理技术除易于大规模应用外, 还可利用天然水体或土壤作为污染物的处理场所, 从而大大节约处理过程的费用。另外, 生物技术的产品或副产品基本上都是可以较快生物降解的。

⑥ 用生物制品代替一切可以取代的化学药物、化石能源、人工合成物等, 有助于把人类活动产生的环境污染降至最低程度, 使经济发展进入可持续发展的轨道。出于这一基本思想, 环境友好材料的合成成为利用生物技术解决环境问题的又一个重要方面, 当前其最主要

的代表是生物可降解塑料, 还有一些环境友好的化学品、农药以及其他生物材料。

生物技术不仅单纯在环境污染治理等方面起着重要作用, 如今已相当广泛地应用于环境监测, 尤其是以生物传感器为核心的环境生物监测技术, 可在线、在位迅速地提供环境质量参数, 成为环境质量预报和报警中的重要组成部分。

第二节 生物和环境工程的基本内容

一、生物工程

生物工程 (biotechnology), 国内外的许多学者曾对它下过多种大同小异的定义。简单地概括起来, 不妨将生物工程理解为“利用生物有机体 (从微生物直至高等动物、植物) 或其组成部分 (包括器官、组织、细胞或细胞器等) 发展新产品或新工艺的一种体系”; 或定义为“操纵生物 (微生物、植物、动物) 的细胞、组织或酶, 进行生物合成、生物转化或生物降解, 大规模地生产预期产品或达到特殊目的的一门技术”^[1]。

生物工程已经应用了几个世纪。虽然这种技术体系的原始应用可以追溯到久远以前的主副食品发酵, 但最初人们并不知道其中的道理。今天, 生物工程已以全新的面貌跻身于现代高科技行列, 这完全要归功于近 30 年来生命科学的飞速发展与辉煌成就, 其中特别是微生物学、遗传学、生物化学、细胞生物学和分子生物学等领域在理论与方法上的突飞猛进。此外, 现代生物工程的形成与发展也与酿造工业、制药工业和化学工业中的一系列工艺改革与装备更新息息相关。总之, 当代较高水平的科学技术背景和社会的需求, 推动、促进了生物工程从传统技术转化为高技术, 并形成了现代生物工程这一高科技领域。

一般认为, 生物工程包括基因工程、细胞工程、酶工程和发酵工程 4 个方面。

1. 基因工程

基因工程主要涉及一切生物类型所共有的遗传物质——核酸的分离提取、体外剪切、拼接重组、转化和转导以及扩增与表达等技术。它是将人们所需要的基因从 DNA 或染色体上切割下来或人工合成, 在细胞体外将该基因连接到载体上, 通过转化或转导将重组的基因组送入受体细胞, 使后者获得复制该基因的能力, 从而达到定向地改变 (菌) 种的遗传特性或创造新 (菌) 种的目的。

目前, 基因工程主要在细菌方面取得了较大的成功。如利用微生物生产动物蛋白、胰岛素、人体生长激素、干扰素等。在食品工业上, 细菌和真菌的改良菌株已影响到传统的面包烘烤和干酪的制备过程, 并对发酵食品的风味和组分进行控制。在农业上, 基因工程已用于品种改良, 如培育出玉米新品种 (高直链淀粉含量、低胶凝温度以及无脂肪氧合酶的甜玉米) 和番茄新品种 (高固体含量、强风味) 等。基因工程在其他生物机体 (如酵母、植物、动物) 中的应用也正在迅速发展。在环境保护领域, DNA 重组菌在毒害性化合物的降解、环境友好材料的合成等方面, 已成为最重要的研究课题和最有效的手段之一。

2. 细胞工程

细胞工程则包括对一切生物类型的基本单位——细胞 (有时也包括器官或组织) 的离体培养、繁殖、再生、融合, 以及细胞核、细胞质乃至染色体与细胞器 (如线粒体、叶绿体等) 的移植与改建等操作技术。简单地说, 细胞工程就是动物、植物细胞的人工培养技术的研究领域, 它包括细胞的原生质体融合技术、植物细胞培养技术、动物细胞培养技术。

利用细胞融合技术, 已有培育得到番茄、马铃薯、烟草和短牵牛等杂种植株的报道。把亲缘关系较远的一些植物的有益性状 (如高蛋白、高赖氨酸含量和抗病、抗旱能力的遗传性