

· 高等学校专业教材 ·

环境生物技术

· 陈 坚 主 编 ·



 中国轻工业出版社

高等学校专业教材

环境生物技术

陈 坚 主编

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境生物技术/陈坚主编.-北京:中国轻工业出版社,1999.6
高等学校专业教材
ISBN 7-5019-2488-0

I. 环… II. 陈… III. 环境工程-生物技术-高等学校-教材 IV.X5

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第17099号

责任编辑:唐是雯 李 菁 责任终审:滕炎福 封面设计:崔 云
版式设计:赵益东 责任校对:方 敏 责任监印:徐肇华

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印 刷:北京交通印务实业公司

经 销:各地新华书店

版 次:1999年6月第1版 1999年6月第1次印刷

开 本:850×1168 1/32 印张:16.125

字 数:418千字 印数:1-3000

书 号:ISBN 7-5019-2488-0 Q·005 定价:30.00元

• 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 •

编者说明

环境污染问题目前已成为全球面临的四大难题之一,保护环境也早已定为我国的基本国策。虽然作为高新技术之一的生物技术用于污染物的治理已有悠久的历史,但是由现代生物技术和环境工程技术相结合的新兴交叉学科——环境生物技术只是在80年代才诞生于欧美地区。近10年来,环境生物技术发展极其迅速。一方面其研究领域不断扩大,内容极为丰富,学科的影响和地位日趋提高;另一方面,工程实践表明其已成为一种经济效益和环境效益俱佳的、解决复杂环境污染问题的最有效手段。正是基于这些,轻工高等院校教学指导委员会生物工程教学指导小组决定编写这本教材。

作为一门多学科交叉技术,环境生物技术的范围极其广泛。因此,要在一本书中全面介绍环境生物技术的各个领域是不可能的。根据国内外环境生物技术研究与应用现状,本书共分为十章,重点介绍两部分内容。第一部分为传统环境生物技术,即废水的常规好氧生物处理、厌氧生物处理、除磷脱氮技术和废物的资源化工程。第二部分重点介绍现代环境生物技术,包括危险性化合物的微生物降解、污染场地的生物补救以及有利于环境的可降解材料(如塑料、表面活性剂、农药)的生物合成。

本书由无锡轻工大学陈坚主编,参加编写的人员有华兆哲、堵国成、任洪强。李寅(博士生)协助了第十章的编写。在全书编写过程中,编者得到了轻工高等院校教学指导委员会主任、中国工程院院士伦世仪教授,轻工高等院校教学指导委员会生物工程教学指导小组组长顾国贤教授的热情指导和鼓励;在出版过程中,编者得到了中国轻工业出版社的大力支持。在此,编者向所有对此

书的出版给予关心和支持的前辈、同行和朋友们,表示深切的谢意!

本书中凡成分的含量以%表示的,一般均指质量分数。

由于编者的水平和能力有限,书中一定存在许多遗漏和不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

内 容 简 介

环境生物技术是现代生物技术和环境工程技术相结合的一门新兴交叉学科。近10年来,环境生物技术发展极其迅速,已成为一种经济效益和环境效益俱佳的、解决复杂环境污染问题的最有效手段。本书是轻工高等院校教学指导委员会组织编写的教材。根据国内外环境生物技术研究与应用现状,本书重点介绍两部分内容。第一部分为传统环境生物技术,即废水的好氧生物处理、厌氧生物处理、除磷脱氮技术和废物的资源化工程。第二部分重点介绍现代环境生物技术,包括危险性化合物的微生物降解、污染场地的生物补救、生物可降解塑料和生物表面活性剂以及生物农药的生物合成。

本书可用作高等院校生物工程、环境工程专业教材,也可供从事环境工程、发酵工程、生物可降解塑料生产、科研和设计院所的技术人员以及有关院校的师生参考。

目 录

第一章 环境生物技术的理论基础	(1)
第一节 环境生物技术的基本特征和研究内容	(1)
一、生物技术.....	(1)
二、环境生物技术的基本特征.....	(3)
三、环境生物技术研究内容.....	(5)
第二节 环境生物技术的生物学基础	(8)
一、微生物学基础知识.....	(8)
二、酶学基础知识.....	(19)
第三节 环境生物技术的工程学基础	(26)
一、生化工程基础知识.....	(26)
二、环境工程基础知识.....	(35)
第二章 废水好氧生物处理工程	(46)
第一节 活性污泥法	(46)
一、活性污泥反应过程的理论基础.....	(46)
二、活性污泥反应动力学.....	(59)
三、曝气的作用、影响因素和供气量的计算方法.....	(66)
四、活性污泥系统的主要运行方式.....	(71)
五、活性污泥系统的工艺计算与设计.....	(80)
第二节 生物膜法	(87)
一、生物滤池.....	(87)
二、生物转盘法.....	(99)
三、生物接触氧化法.....	(108)
第三节 好氧生物处理技术进展	(112)
一、活性污泥系统的进展.....	(112)

二、生物膜法的进展——生物流化床	(119)
第三章 废水厌氧生物处理工程	(127)
第一节 厌氧生物处理的基本原理	(127)
一、厌氧生物处理过程及其特征	(127)
二、厌氧消化微生物	(129)
三、厌氧生物处理的影响因素	(132)
四、厌氧生物处理沼气产量的估算	(136)
五、厌氧生物处理工艺的发展及其应用	(136)
第二节 厌氧消化池	(138)
一、消化池类型与构造	(138)
二、消化池的设计	(140)
三、沼气的收集与利用	(147)
第三节 厌氧接触法	(149)
一、厌氧接触法的工艺流程和特点	(149)
二、厌氧接触法的工艺设计	(152)
三、厌氧接触法的几种形式	(153)
四、厌氧接触法的应用实例	(154)
第四节 升流式厌氧污泥层反应器	(155)
一、升流式厌氧污泥层反应器的特征及构造	(155)
二、升流式厌氧污泥层反应器的设计	(159)
三、升流式厌氧污泥层反应器应用实例	(168)
第五节 厌氧生物滤池	(169)
一、厌氧生物滤池的工艺特征	(169)
二、厌氧生物滤池的设计计算	(174)
三、厌氧生物滤池的应用实例	(176)
第六节 其他厌氧生物处理法	(177)
一、厌氧附着膜膨胀床和厌氧流化床	(177)
二、厌氧生物转盘	(179)
三、厌氧挡板反应器	(180)

四、两相厌氧消化工艺	(182)
第四章 废水生物脱氮除磷技术	(186)
第一节 水体中的氮及其危害性	(186)
第二节 废水生物脱氮技术	(188)
一、生物脱氮原理	(188)
二、生物脱氮工艺	(197)
第三节 废水生物除磷与同步脱氮除磷技术	(203)
一、生物除磷原理	(203)
二、生物除磷工艺	(215)
三、同步脱氮除磷工艺	(218)
四、生物脱氮除磷技术的实用举例	(221)
第五章 废物资源化工程	(224)
第一节 废物生产单细胞蛋白	(224)
一、前言	(224)
二、生产SCP的微生物	(228)
三、生产SCP的基质	(232)
四、SCP生产的工艺技术	(234)
五、SCP生产及研究展望	(241)
第二节 纤维质原料生产酒精	(242)
一、前言	(242)
二、用于酒精生产的纤维素原料	(243)
三、纤维的预处理	(245)
四、纤维素酸水解	(248)
五、纤维素酶水解	(254)
六、纤维质原料酒精生产工艺流程	(267)
七、半纤维素制酒精工艺流程	(274)
第六章 危险性化合物的微生物降解	(277)
第一节 微生物降解危险性化合物的基本概况	(277)
一、危险性化合物微生物降解的发展过程	(277)

二、微生物菌群的生态学地位	(279)
第二节 卤代有机化合物的微生物降解	(284)
一、卤代有机化合物在好氧混合培养条件下的微生物降解	(284)
二、卤代有机化合物在厌氧混合培养条件下的微生物降解	(290)
第三节 烃类化合物的微生物降解	(296)
一、烃类化合物在好氧混合培养条件下的微生物降解	(296)
二、烃类化合物在厌氧混合培养条件下的微生物降解	(305)
第四节 其他危险性化合物的微生物降解	(311)
一、偶氮染料	(311)
二、表面活性剂	(312)
三、亚硝胺	(316)
第五节 危险性化合物处理的降解生态系统	(317)
一、好氧生态系统	(317)
二、厌氧生态系统	(319)
三、新型混合培养系统	(319)
第六节 结论	(321)
第七章 污染事故的生物补救和污染场地的生物修复	(323)
第一节 生物补救和生物修复概述	(323)
一、生物修复的发展过程与基本概念	(323)
二、生物修复的分类	(324)
三、生物修复的优点	(324)
四、生物修复的前提条件	(325)
五、生物补救的基本措施	(325)
六、生物补救的可行性评估程序	(329)
第二节 地下水污染的生物补救技术	(330)
一、概述	(330)
二、地下水污染生物补救的技术要点	(330)
第三节 土壤污染的生物补救	(333)
一、概述	(333)

二、土壤污染的生物补救的技术要点·····	(333)
三、土壤污染的生物补救的工程要求·····	(335)
第四节 海洋石油泄漏的生物补救·····	(336)
一、概述·····	(336)
二、海洋石油污染生物补救的技术要点·····	(337)
三、海岸生物修复效果的评价·····	(338)
第五节 生物修复技术的工程方法·····	(339)
一、概述·····	(339)
二、原位处理·····	(339)
三、生物反应器处理·····	(342)
四、异位处理·····	(347)
第六节 研究应用实例·····	(349)
第八章 可降解塑料的生物合成·····	(351)
第一节 可降解塑料概述·····	(351)
第二节 PHAs的结构、物理化学性质和应用·····	(353)
第三节 PHAs的生物合成·····	(356)
一、合成PHAs的主要微生物·····	(356)
二、合成PHAs的主要基质·····	(361)
三、PHAs的代谢途径与调控·····	(365)
第四节 PHAs的发酵生产·····	(371)
一、PHAs的流加发酵·····	(371)
二、PHAs的发酵动力学和过程控制·····	(380)
第五节 PHAs的提取技术·····	(393)
一、有机溶剂法·····	(394)
二、次氯酸钠法·····	(395)
三、酶法·····	(396)
四、表面活性剂/次氯酸钠法·····	(397)
五、其他方法·····	(398)
第六节 PHAs的生物降解·····	(399)

一、降解机制	(399)
二、PHB在环境中的降解	(402)
三、展望	(404)
第七节 PHAs的工业化	(405)
一、影响PHAs工业化的因素	(405)
二、国内外研究PHAs的水平	(406)
三、展望	(408)
第九章 生物表面活性剂	(410)
第一节 生物表面活性剂概述	(410)
一、前言	(410)
二、生物表面活性剂的基本特性	(411)
三、生物表面活性剂的类型	(415)
四、生物表面活性剂的鉴定方法	(425)
第二节 生物表面活性剂的生产	(435)
一、生物表面活性剂的生物合成及其遗传学	(435)
二、生物表面活性剂的生产试验	(442)
三、生物表面活性剂的生产	(444)
第三节 生物表面活性剂的合成代谢调节与提取	(448)
一、生物表面活性剂生产中的代谢调节	(448)
二、产物提取	(451)
第四节 生物表面活性剂的应用与前景	(452)
一、生物表面活性剂的应用	(452)
二、微生物生物表面活性剂与酶合成表面活性剂	(455)
三、生物表面活性剂大规模生产的条件	(456)
第十章 生物农药	(457)
第一节 生物农药概况	(457)
第二节 微生物农药	(458)
一、细菌杀虫剂	(458)
二、病毒杀虫剂	(464)

三、真菌杀虫剂	(471)
四、放线菌杀虫剂	(473)
五、线虫杀虫剂	(473)
六、拮抗微生物	(477)
七、微生物除草剂	(478)
第三节 农用抗生素	(480)
一、研究历史	(481)
二、杀真菌剂	(482)
三、杀细菌剂	(483)
四、杀病毒剂	(483)
五、杀虫剂	(484)
六、展望	(484)
第四节 源于植物的生理活性物质	(485)
一、杀虫剂	(486)
二、杀菌剂	(487)
三、除草剂	(487)
四、其他	(488)
第五节 昆虫生长调节剂	(489)
一、控制昆虫变态的化合物	(489)
二、抑制昆虫几丁质合成的化合物	(490)
三、其他	(491)
第六节 生物农药的发展趋势	(491)
一、生物农药存在的问题	(491)
二、生物农药的希望	(492)
三、生物农药未来的研究课题	(494)
主要参考文献	(495)

第一章 环境生物技术的理论基础

第一节 环境生物技术的基本特征和研究内容

一、生物技术

生物技术(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,不妨将生物技术理解为“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”。

生物技术已经被使用了几个世纪,传统上它曾被集中地用于生产多种食品,如面包、奶酪、啤酒、葡萄酒以及酱油、米酒和发酵的乳制品(如酸奶)。虽然这种技术体系的原始应用可以追溯到十分古老的主副食品发酵,但最初人们并不知道其中的道理。今天,生物技术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,现代生物技术的形成和发展也与酿造工业、制药工业和化学工业中的一系列工艺改革和装备更新息息相关。总之,当代较高水平的科学技术背景和社会的需求,推动、促进了生物技术从传统技术转化为高技术,并形成了现代生物技术这一高科技领域。

一般认为,生物技术包括基因工程、细胞工程、酶工程和发酵

工程四个方面。

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织进行控制。在农业上，基因工程已用于品种改良，如对玉米(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(高固体含量、强风味)等。基因工程在其他机体如酵母、植物、动物中的应用也正在迅速发展，使微生物可以获得本来只有动植物细胞才具有的生产特性。

细胞工程则包括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、抗旱能力的遗传性状转移到粮食作物中去的研究也已有成功的例子。人们期望有一天可以实现豆科类植物的共生固氮菌基因转移到非豆科类作物中去，使原来不能与根瘤菌共生的固氮的禾科类植物变成能固氮，从而实现不再需要施氮肥的梦想。利用植物细胞培养可以获得许多特殊的产物，如生物碱类(尼古丁)、色素、激素、抗肿瘤药物等。动物细胞培

养可以用来大规模地生产贵重药品,如干扰素、人体激素、疫苗、单克隆抗体等。因此,细胞工程在医学和免疫学方面具有巨大的应用前景。

酶工程指的是利用生物有机体内酶所具有的某些特异催化功能,借助固定化、生物反应器和生物传感器等,高效优质地生产特定产品的一种技术。它包括酶的生产、分离提取、精制;酶在游离状态下的利用、固定化酶和固定化细胞的制备和利用;酶反应器的应用等技术。简单地说,酶工程就是酶和酶制剂的生产和应用的技术。

发酵工程,也有人称为微生物工程,是给微生物提供最适宜的发酵条件生产特定产品的一种技术。它包括传统的嫌气发酵(酿酒、发酵调味品、酒精等)和通风发酵(如抗生素、氨基酸、有机酸、酶制剂、单细胞蛋白、维生素、激素、疫苗等)。发酵工艺、菌种、代谢调控、新型发酵设备(反应器)和产品的回收、精制工艺和设备,共同构成了发酵工程的主要内容。发酵工程离不开酶,酶工程是发酵工程的组成部分,所以也有人将酶工程称为“分子水平的发酵工程”。发酵工程的主要产品包括细胞的生产,如酵母、食用菌等;酶类的生产,如各种酶制剂、各种曲类;各类代谢产物的生产,如有机酸、氨基酸、维生素、抗生素、多糖、核苷酸等。

二、环境生物技术的基本特征

生物技术,特别是发酵工程,可以说是一项最早涉足于环境保护领域的工程技术。利用农业废物沤制堆肥在我国农村有着十分悠久的历史,作为废水生物处理主要方法的活性污泥法也经历了80年的历程,并被认为是近代生物技术起源的组成部分。即使现今的一些废水生物处理工程,从某种意义上说,也就是大规模的发酵工程。近30年来,现代生物技术的多数内容都已渗入到环境工程领域中。美国国家科学和技术委员会(National Science and Technology Council)在1995年12月向美国政府提供的《21

世纪的生物技术: 新的地平线》(Biotechnology for the 21st Century: New Horizons)报告中认为, 生物技术在解决与环境管理和质量保证有关的问题方面, 所起的作用包括能对良好的生态系统进行评价, 可将污染物转化成无害物质, 能利用再生资源生产生物可降解材料, 可开发对环境安全的产品加工工艺和废物处置技术。

环境生物技术(Environmental Biotechnology, 也有称为 Environmental Bioengineering, 可译为环境生物工程), 简称 EBT, 是近20年来发展起来的一门由现代生物技术与环境工程相结合的新兴交叉学科。广义的环境生物技术涉及的面很广, 凡自然环境中涉及环境控制的一切与生物技术有关的技术, 都可归结为环境生物技术。德国国家生物技术研究中心(GBF)的K.N.Timmis博士认为, 生物技术中的三个部分属于环境生物技术的范畴。一是在环境中应用的生物技术, 这是相对于一些在高度控制条件下的密闭反应器中进行的生物技术而言; 二是涉及到环境中的某些可看作为一个生物反应器部分的生物技术; 三是作用于一些必定要进入环境的材料的生物技术。

由于环境生物技术是一门新兴学科, 因此, 至今对环境生物技术的定义出现了多种说法。南京大学的程树培教授在其1994年出版的国内第一本《环境生物技术》一书中提出, 环境生物技术的定义可以由生物技术的定义延伸扩展而获得, 即直接或间接利用完整的生物体或生物体的某些组成部分或某些机能, 建立降低或消除污染物产生的生产工艺, 或者能够高效净化环境污染以及同时生产有用物质的人工技术系统, 称之为环境生物技术。德国 Timmis博士对环境生物技术下的定义是, 环境生物技术是应用生物圈的某部分使环境得以控制, 或治理预定要进入生物圈的污染物的生物技术, 包括环境中污染物的生物减少 (Bioelimination)、污染场地的生物恢复 (Bioremediation) 和生物可降解材料的开发和应用等。美国Michigan州立大学的J. M. Tiedje教授认