

普通高等教育“十二五”规划教材

现代 环境生物工程

王家德 成卓韦 | 编著



ENVIRONMENTAL
BIOENGINEERING



化学工业出版社

普通高等教育“十二五”规划教材

现代环境生物工程

Environmental Bioengineering

王家德 成卓韦 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

现代环境生物工程基于自然界物质循环规律,利用微生物、植物、动物的生命代谢活动,将废弃物和危害物转化为资源利用或矿化为自然界的组成成分,是现代生物技术与环境工程的紧密交叉。因此,本书从系统介绍生物代谢、基因工程、酶(蛋白质)工程、细胞工程、发酵工程等基础理论和技术入手,讲述现代生物技术在污染治理、环境修复、生物质能源、环境友好材料、环境生物监测等领域的应用实践。本书注重结构的合理性和知识的完整性,并反映学科发展的前瞻性,可作为高等学校环境工程、环境科学等相关专业的本科生和研究生教材或教学参考书,也可供相关专业的教师 and 科技人员使用。



图书在版编目(CIP)数据

现代环境生物工程/王家德, 成卓中编写. —北京:
化学工业出版社, 2014. 2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-19361-2

I. ①现… II. ①王…②成… III. ①环境生物学-
高等学校-教材 IV. ①X17

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 311059 号

责任编辑: 赵玉清

文字编辑: 周 侗

责任校对: 顾淑云 李 爽

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 21 $\frac{3}{4}$ 字数 538 千字 2014 年 5 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 39.80 元

版权所有 违者必究

前 言

地球——人类赖以生存的星球，正处于疾速奔驰的人类文明车轮的碾压下，蓬勃发展的世界经济活动开始搅乱这个星球上的物质循环。四季周而复始，但万物渐失轮回，建立以自然的及与人类之间的物质循环为基础的社会体系，成为了 21 世纪“环境革命”的核心思想。环境保护——这项人类掀起的漫长而艰难的保护地球行为，涉及意识、技术、经济、政策等社会众多领域，是一个多学科交叉的科学领域。

环境生物工程基于自然界物质循环规律，利用微生物、植物、动物的生命代谢活动，将废物和危害物转化为资源利用或矿化为自然界的组成成分，本质是自然界物质循环力的强化，整个过程充满无穷的魅力。

环境生物工程涵盖内容十分广泛，不仅涉及生物代谢、基因工程、酶（蛋白质）工程、细胞工程、发酵工程等基础理论和技术，还包括在清洁能源制造业、污染控制与修复、废弃物资源化等领域的大量应用实践。可以说，环境生物工程所阐述的思想、方法和技术是对现有资源能源利用和废弃物处理方式的有益修正和补充。

伴随生物工程等相关学科的快速发展，环境生物工程的发展前景令人振奋，其在社会可持续发展模式中所展现的分量日益扩大。编写本书的目的是全面准确地描述目前用于解决环境问题的生物学方法和技术，并为读者提供相关的科学知识。因此，本书注重结构的合理性和知识的完整性，并反映学科发展的前瞻性，力求概念准确、语言通俗易懂。

本书可作为环境工程、环境科学等相关专业的本科生和研究生教材或教学参考书，也可供相关专业的教师和研究人員使用。本书编著过程参阅众多的文献资料，主要出版图书列在参考文献中，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免有疏漏和不妥之处，在此欢迎读者提出宝贵意见。

编著者
2013 年 10 月

目 录

第 1 章 概 述

1.1 生物技术	1	1.2 环境生物技术	5
1.1.1 生物技术的定义	1	1.2.1 环境生物技术的定义	6
1.1.2 生物技术的发展	1	1.2.2 污染控制技术	6
1.1.3 现代生物技术的应用	3	1.2.3 环境生物技术的发展	7

第 2 章 生物及其代谢

2.1 生物	9	2.3.4 脂类代谢	15
2.1.1 微生物	9	2.3.5 蛋白质代谢	15
2.1.2 植物	9	2.3.6 能量代谢	16
2.1.3 动物	10	2.4 主要元素循环	17
2.2 新陈代谢	11	2.4.1 氧循环	17
2.3 与环境生物技术密切相关的代谢 途径	12	2.4.2 碳循环	18
2.3.1 糖酵解	12	2.4.3 氮循环	19
2.3.2 TCA 循环	13	2.4.4 硫循环	20
2.3.3 乙醛酸循环	14	2.4.5 磷循环	20
		2.4.6 铁循环和锰循环	21

第 3 章 基因工程

3.1 概述	23	3.2.5 重组体的筛选技术	34
3.2 基因工程技术	23	3.3 基因工程技术在环境污染治理中的 应用	37
3.2.1 工具酶	23	3.3.1 微生物基因改造	38
3.2.2 目的基因	26	3.3.2 基因工程技术与污染治理	40
3.2.3 载体技术	29	3.3.3 基因工程安全性问题	41
3.2.4 目的基因导入技术	32		

第 4 章 酶 工 程

4.1 酶及酶工程	42	4.4.1 可逆性抑制作用	48
4.2 酶的催化特性及作用原理	42	4.4.2 不可逆性抑制作用	50
4.2.1 酶的催化特性	42	4.5 酶的生产	51
4.2.2 酶催化反应原理	44	4.5.1 微生物发酵产酶	51
4.3 酶催化反应动力学	45	4.5.2 动植物细胞产酶	52
4.3.1 浓度	46	4.6 酶的分离纯化	52
4.3.2 温度	47	4.6.1 沉淀技术	53
4.3.3 pH	47	4.6.2 离心技术	55
4.3.4 激活剂	48	4.6.3 色谱分离技术	55
4.4 酶的抑制作用	48	4.6.4 电泳技术	58

4.7 酶分子修饰	59	4.9 酶在环境污染治理中的应用	65
4.7.1 化学修饰	59	4.9.1 几种重要的降解酶	65
4.7.2 生物修饰	61	4.9.2 酶在废水处理中的应用	68
4.8 酶的固定化技术	61	4.9.3 酶在土壤修复中的应用	69
4.8.1 酶的固定化方法	62	4.9.4 酶在环境监测中的应用	70
4.8.2 固定化酶的性质	64		

第5章 细胞工程

5.1 细胞及细胞工程	72	5.2.3 动物细胞工程	77
5.1.1 细胞	72	5.3 细胞工程在环境污染治理中的应用	79
5.1.2 细胞工程	74	5.3.1 细胞融合技术的应用	79
5.2 细胞工程技术	74	5.3.2 抗性植物的应用	80
5.2.1 微生物细胞工程	75	5.3.3 微生物表面展示技术的应用	81
5.2.2 植物细胞工程	76		

第6章 发酵工程

6.1 概述	84	6.4 发酵设备	98
6.2 工业发酵菌种	84	6.4.1 机械搅拌式发酵罐	98
6.2.1 微生物代谢产物类型	85	6.4.2 通风搅拌式发酵罐	99
6.2.2 常见微生物及其代谢产物	85	6.4.3 厌氧发酵设备	100
6.2.3 工业发酵菌种的选育	87	6.5 发酵工程在环境保护中的应用	100
6.3 发酵工艺及其控制	91	6.5.1 利用废渣液生产单细胞蛋白	101
6.3.1 发酵类型	91	6.5.2 利用废渣液生产颗粒复混肥料	102
6.3.2 发酵工艺	92	6.5.3 亚硫酸盐纸浆废液乙醇发酵	102
6.3.3 发酵方式	92	6.5.4 酵母循环系统	102
6.3.4 发酵过程控制	93		

第7章 废水生物处理

7.1 废水生物处理特性	103	7.2.2 生物膜法	111
7.1.1 概述	103	7.2.3 厌氧生物处理工艺	115
7.1.2 废水生物处理原理	103	7.2.4 其他废水生物处理工艺	120
7.1.3 废水生物处理中的微生物生长特性	104	7.3 现代生物处理技术在废水处理工程的应用	122
7.1.4 废水生物处理中的动力学	105	7.3.1 生物强化技术	123
7.1.5 影响废水生物处理的因素	106	7.3.2 废水生物脱氮除磷新技术	124
7.2 废水生物处理工艺	108	7.3.3 生物絮凝剂	129
7.2.1 活性污泥法	108		

第8章 废气生物处理

8.1 废气生物处理原理	137	8.1.4 废气生物处理的填料	139
8.1.1 概述	137	8.2 废气生物处理工艺	139
8.1.2 废气生物净化原理	137	8.2.1 生物吸收法	140
8.1.3 废气生物处理的微生物	138	8.2.2 生物洗涤法	140

8.2.3 生物过滤法	141	8.5.1 脱硫微生物	149
8.2.4 生物滴滤法	142	8.5.2 含硫污染物的脱硫机制	150
8.2.5 新型废气生物处理法	142	8.5.3 生物脱硫技术	150
8.3 废气生物处理的影响因素	144	8.6 CO ₂ 的生物处理	151
8.3.1 温度	144	8.6.1 植物固定 CO ₂	151
8.3.2 pH	145	8.6.2 微生物固定 CO ₂	152
8.3.3 湿度	145	8.6.3 生物固定 CO ₂ 的发展趋势	152
8.4 有机废气生物处理发展	145	8.7 NO _x 的生物处理	154
8.4.1 微生物净化有机废气	145	8.7.1 生物法处理 NO _x 的原理	154
8.4.2 植物净化有机废气	147	8.7.2 降解 NO _x 的主要微生物	154
8.4.3 有机废气生物净化的研究热点	147	8.7.3 生物法处理 NO _x 的研究现状及发 展趋势	155
8.5 含硫废气的生物处理	149		

第9章 固体废物的生物处理

9.1 固体废物	157	9.3.2 填埋渗滤液处理	168
9.2 固体废物堆肥化处理	157	9.3.3 填埋气体产生、收集与利用	169
9.2.1 堆肥的基本原理	158	9.4 固体废物的其他生物处理技术	171
9.2.2 好氧堆肥技术	160	9.4.1 有机固体废物的蚯蚓处理技术	171
9.2.3 厌氧堆肥技术	163	9.4.2 蚯蚓处理的主要影响因素	172
9.3 固体废物填埋	166	9.4.3 利用蚯蚓处理固体废物的优势及局 限性	172
9.3.1 填埋的基本原理	166		

第10章 生物修复基础

10.1 生物修复的概念	174	10.4 生物修复的主要方法	179
10.2 生物修复特点及原则	175	10.4.1 原位生物修复	179
10.2.1 生物修复特点	175	10.4.2 异位生物修复	180
10.2.2 生物修复原则	176	10.5 生物修复的影响因素	182
10.3 生物修复原理	176	10.5.1 受体特性	182
10.3.1 微生物修复	176	10.5.2 污染物特性	187
10.3.2 植物修复	178	10.5.3 环境条件	188
10.3.3 动物修复	179		

第11章 生物修复技术的应用

11.1 污染土壤的生物修复	189	修复	194
11.1.1 微生物修复技术	189	11.3.2 绿色植物对降尘的修复	195
11.1.2 植物修复技术	190	11.3.3 绿色植物对生物性污染物的 修复	196
11.2 污染水体的生物修复	191	11.3.4 绿色植物的释氧修复	196
11.2.1 污染地表水的生物修复	191	11.4 固体废物污染的生物修复	197
11.2.2 污染海洋的生物修复	193	11.4.1 矿山的生物修复	197
11.2.3 污染地下水的生物修复	193	11.4.2 垃圾场的生物修复	198
11.3 污染大气的植物修复	194		
11.3.1 绿色植物对气态污染物的			

第12章 恢复生态科学与技术

12.1 恢复生态学形成及发展	200	12.1.3 恢复生态学的研究内容	201
12.1.1 恢复生态学概念	200	12.2 恢复生态工程技术	202
12.1.2 恢复生态学的发展历程	200	12.2.1 生态恢复的目标与原则	202

12.2.2 生态恢复的方式和一般操作程序	203	12.3.1 相关概念	206
12.2.3 生态恢复的技术体系	204	12.3.2 湿地生态恢复的指导理论	207
12.2.4 生态工程技术	204	12.3.3 湿地生态恢复的关键技术	209
12.3 湿地生态恢复	206	12.3.4 湿地生态恢复的常用模式	213

第 13 章 生物质能源

13.1 能源	215	13.3.2 化学转化	221
13.1.1 能源的类型	215	13.3.3 生物转化	223
13.1.2 能源发展	215	13.4 生物技术在生物质能源利用中的应用	224
13.2 生物质能	217	13.4.1 生物制沼气	224
13.2.1 生物质能的分类及特点	217	13.4.2 生物制燃料乙醇	224
13.2.2 生物质能的发展	218	13.4.3 生物制氢	225
13.3 生物质能源利用技术	220	13.4.4 生物柴油	226
13.3.1 物理转化	221		

第 14 章 生物制烷

14.1 概述	227	14.4 产甲烷过程的热力学分析	234
14.2 产甲烷的生化机制	227	14.5 产甲烷过程的工艺和反应器	235
14.2.1 产甲烷菌	227	14.6 影响产甲烷过程的因素	236
14.2.2 产甲烷的生化机制及途径	228	14.6.1 有机负荷	236
14.3 产甲烷过程的过程化学和微生物学	230	14.6.2 混合方式	236
14.3.1 过程化学	230	14.6.3 加热方式	236
14.3.2 微生物学	233	14.6.4 气体收集	237
		14.6.5 反应器运行	237

第 15 章 生物制氢

15.1 氢能源	238	15.3.2 光发酵制氢	243
15.2 制氢技术	238	15.3.3 暗发酵制氢	244
15.2.1 热化学制氢	238	15.3.4 光发酵和暗发酵耦合制氢	246
15.2.2 裂解水制氢	239	15.4 生物制氢反应器	247
15.2.3 生物制氢	240	15.4.1 光生物反应器	247
15.3 制氢微生物及制氢机制	241	15.4.2 厌氧发酵制氢反应器	249
15.3.1 光解水制氢	241	15.5 生物制氢研究展望	250

第 16 章 生物制醇

16.1 概述	251	16.2.2 纤维素生物质的预处理技术	254
16.1.1 生物燃料乙醇特点	251	16.2.3 纤维素的水解	256
16.1.2 生物燃料乙醇的生产	252	16.2.4 纤维素的发酵	257
16.2 纤维素生物质生产燃料乙醇	253	16.3 生物燃料丁醇	260
16.2.1 纤维素生物质原料	253	16.3.1 主要菌株及代谢过程	260

16.3.2 生产工艺	261
-------------------	-----

第 17 章 生物采油与生物制油

17.1 生物采油	263	17.1.4 微生物采油工艺	266
17.1.1 石油开采	263	17.2 生物制油	267
17.1.2 微生物采油原理	263	17.2.1 微藻制油	268
17.1.3 油藏微生物	264	17.2.2 微生物制油	271

第 18 章 生物燃料电池

18.1 燃料电池	276	18.3.1 阳极室的操作条件	279
18.2 生物燃料电池	276	18.3.2 阴极室的操作条件	280
18.2.1 工作原理	276	18.3.3 电池的外电阻	280
18.2.2 生物燃料电池构型	277	18.4 生物燃料电池的应用	280
18.3 影响生物燃料电池性能的因素	279		

第 19 章 环境友好材料生物技术

19.1 概述	282	19.4 微生物农药	292
19.2 环境友好材料分类	282	19.4.1 微生物农药定义	292
19.2.1 可再生天然材料	282	19.4.2 活体微生物杀虫剂	293
19.2.2 仿生材料	284	19.4.3 微生物杀菌剂	296
19.2.3 生物质材料	285	19.4.4 微生物除草剂	299
19.3 可降解塑料	286	19.5 微生物肥料	301
19.3.1 可降解塑料定义	286	19.5.1 微生物肥料定义	301
19.3.2 光降解塑料	287	19.5.2 微生物肥料的作用机制	301
19.3.3 生物降解塑料	288	19.5.3 重要的微生物肥料	303
19.3.4 光-生物双降解塑料	291		

第 20 章 环境生物监测

20.1 概述	307	20.3.2 动物监测	318
20.1.1 生物监测原理和方法	307	20.3.3 微生物监测	319
20.1.2 生物监测特点	308	20.4 土壤污染的生物监测	319
20.1.3 指示生物	308	20.4.1 植物监测	319
20.2 水环境污染生物监测	309	20.4.2 动物监测	320
20.2.1 监测原理	309	20.4.3 微生物监测	320
20.2.2 水污染的生物监测手段和 方法	309	20.5 生物污染监测	321
20.2.3 生物群落监测法	311	20.5.1 基本概念	321
20.2.4 细菌学检验法	313	20.5.2 生物对污染物的吸收及在体内 分布	321
20.2.5 生物测试法	314	20.5.3 生物样品的采集和制备	323
20.2.6 发光细菌毒性检测法	314	20.5.4 生物样品的预处理	324
20.2.7 其他方法	315	20.6 生态监测	325
20.3 空气污染生物监测	315	20.6.1 生态监测定义	325
20.3.1 植物监测	316	20.6.2 生态监测的类型及方法	325

20.6.3	生态监测指标体系	326	20.7.2	生物传感器的分类	330
20.6.4	生态监测方案	328	20.7.3	生物传感器在环境监测中的 应用	330
20.7	生物传感器	329	20.7.4	生物传感器的发展前景	334
20.7.1	生物传感器的原理	329			

参考文献

第 1 章 概 述

1.1 生物技术

1.1.1 生物技术的定义

生物技术 (biotechnology 或 biotechniques) 一词最初由匈牙利工程师 Karl Ereky 于 1917 年提出, 其含义是指用甜菜作为饲料进行大规模养猪, 即利用生物将原材料转化为产品。20 世纪中叶, DNA 双螺旋结构的发现及基因重组的成功, 使生物技术的发展进入了一个崭新的阶段, 相应地, 生物技术定义的内涵与外延也有了很大拓展。1982 年, 国际合作与发展组织将生物技术定义为: “应用自然科学及工程学的原理, 依靠微生物、动物、植物体对物料进行加工, 以提供产品为社会服务的技术。”

1986 年, 我国在制定《中国生物技术政策纲要》时, 将生物技术进一步定义为: “以现代生命科学为基础, 结合先进的工程技术手段和其他基础学科的科学原理, 按照预先的设计改造生物体或加工生物原料, 为人类生产出所需产品或达到某种目的。”在这个定义中, “先进的工程技术手段”是指基因工程、细胞工程、酶工程、细胞工程和发酵工程等新技术, “生物体”包括动物、植物、微生物, “生物原料”则指生物的某一部分或生物生长过程中所能利用的一些物质, 如淀粉、糖蜜、纤维素等有机物, 也包括一些无机化合物等。因此, 生物技术不仅仅与生命科学相关, 还包含设备、工艺等工程学内容, 是一门涉及多学科的综合性技术。

目前, 生物技术被世界各国视为一项高新技术, 广泛应用于医药卫生、农林牧渔、轻工、食品、化工、能源和环境保护等众多领域, 对于解决人类所面临的各类挑战 (如食品短缺、健康问题、环境问题及经济问题等) 是至关重要的。生物技术既是现实生产力, 也是具有巨大经济效益的潜在生产力, 是 21 世纪高技术革命的核心内容, 生物技术产业是 21 世纪的支柱产业。我国《高技术研究发展计划纲要》(863 计划) 将生物技术列为对中国未来经济和社会发展有重大影响的高技术之一, 并组织力量攻关追踪、突破世界前沿技术。

1.1.2 生物技术的发展

生物技术的发展可以划分为两个不同的阶段: 传统生物技术和现代生物技术。一般认为, 前者以酿造为代表, 以微生物发酵为主题; 后者以重组 DNA 与转基因技术为主导。

(1) 传统生物技术

传统生物技术的发展和应用可以追溯到几千年以前, 酿酒制醋是人类最早通过实践所掌握的生物技术之一。相传古埃及和中亚两河流域人民在 5000~6000 年以前已开始酿酒, 中国在龙山文化时期 (距今 4000~4200 年) 已有酒器出现。但人们在很长时间内, 只知其然而不知其所以然。随着自然科学不断发展, 传统生物技术的面纱才被逐渐揭开。1857 年, 法国生物学家 L. Pasteur 通过长期研究用实验证明了酒精发酵是酵母作用的结果; 1881 年, 德国细菌学家 Robert Koch 建立了微生物纯培养技术; 1897 年, 德国生物化学家 Eduard

Buchner 阐明了发酵本质是由酶引起的一类化学反应。19 世纪开始,人类开始有意识进行大规模发酵生产,主要发酵产品有乳酸、酒精、面包酵母、柠檬酸等微生物的初级代谢产物;1928 年, Alexander Fleming 发现了青霉素。20 世纪 40 年代,以获得细菌的次生代谢产物——抗生素为主要特征的抗生素工业成为生物技术产业中的支柱产业,通风搅拌培养技术得以建立,随后氨基酸发酵、酶制剂工业分别在 20 世纪 50 年代和 20 世纪 60 年代成为生物技术产业的新成员。

由于上述生物技术主要是通过微生物的初级发酵来获得产品的,因此被称为传统生物技术,它一般包括三个重要的步骤:

第一步,上游处理过程,主要是对原料进行加工,作为微生物的营养和来源;

第二步,发酵和转化过程,指的是目的微生物大量生长,目的产物大量积累;

第三步,下游处理过程,主要指目的产物的纯化过程。

生物技术研究的主要目标是最大限度地提高上述三个步骤的整体效率,同时寻找一些可以用来制备食品、食品添加剂或药物的微生物。整个微生物生产过程中,生物转化是最难优化的一个环节,人们一般通过诱导突变和代谢控制方法,改良菌种、提高产量。这些传统的工艺和方法对提高产品产量的幅度非常有限,基因工程和细胞培养技术的出现从根本上引发了传统生物技术的革命。

(2) 现代生物技术

现代生物技术是以重组 DNA 技术和细胞融合技术为基础,利用生物体(或者生物组织、细胞及其成分)的特性和功能,设计构建具有预期性状的新物种或新品系,以及与工程原理相结合进行加工生产,为社会提供商品和服务的一个综合性技术体系,是基因工程、细胞工程、酶工程和发酵工程等四大体系组成的现代高新技术。现代生物技术的诞生以 20 世纪 70 年代初 DNA 重组技术和淋巴细胞杂交瘤技术的发明与应用为标志,迄今为止已走过了 40 多年的发展历程。

1953 年,美国生物学家 Waston 和英国物理学家 Crick 用 X 射线衍射法发现了遗传的物质基础——DNA 双螺旋结构,阐明了 DNA 的半保留复制机制,从而使揭开生命秘密的探索从细胞水平进入了分子水平。1973 年,美国加利福尼亚大学旧金山分校 Herber Boyer 教授和斯坦福大学 Stanley Cohen 教授合作,成功地进行了人类历史上第一次有目的的基因重组实验,并据此提出了“基因克隆”策略,标志着现代生物技术的诞生。

淋巴细胞杂交瘤技术是现代生物诞生的又一个标志。细胞融合(cell fusion)是指在自发或人工诱导下,两个不同基因型的细胞或原生质体融合形成一个杂种细胞。1974 年华裔加拿大学者高国楠创立了聚乙二醇(PEG)的细胞化学融合法,1975 年 Kohler 和 Milstein 成功地融合了小鼠 B-淋巴细胞和骨髓瘤细胞而产生能分泌稳定单克隆抗体的杂交瘤细胞,之后 20 世纪 80 年代出现了电融合技术。理论上讲,任何细胞都有可能通过体细胞杂交而成为新的生物资源,这对于种质资源的开发和利用具有深远的意义。

DNA 重组技术和淋巴细胞杂交瘤技术使得传统生物技术中的生物转化过程变得更为有效,利用这些方法不仅可以分离得到高产的微生物菌株,还可以人工制造高产量的菌株;菌株也不仅仅局限于原核生物,植物、动物等真核生物细胞也可以作为发酵菌株。这两项技术的逐步发展与成熟对生命科学的许多领域产生了革命性影响,从而使得生命科学日新月异,使生命科学成为 20 世纪以来发展最快的学科之一。生物技术领域也因此迅速完成了从传统生物技术向现代生物技术的飞越发展,并一跃成为代表着 21 世纪的发展方向、前景远大的

新兴学科和产业。

1.1.3 现代生物技术的应用

近年来,现代生物技术广泛地应用于医药卫生、农林牧、食品、能源和环保等众多领域,产生了巨大的经济效益,为解决人类面临的食物、健康、能源、环境等问题提供新的手段。

(1) 在医药方面的应用

目前,医药卫生领域是现代生物技术应用最广泛、成绩最显著、潜力最大的一个领域。

① 基因工程药物与疫苗 (genetically engineered vaccines) 1982 年,美国 Lilly 公司首次将重组胰岛素投放市场,标志着世界第一个基因工程药物的诞生。迄今为止,已有 50 多种基因工程药物上市,近千种处于研发状态。利用基因工程可以大量生产一些来源稀少价格昂贵的药物,降低生产成本,减轻患者负担;同时,基因工程药物针对一些疑难病症,起到了良好的治疗效果。

基因工程疫苗是将病原体的某种蛋白基因重组到细菌或真核细胞内,利用细菌或真核细胞来大量产生病原体蛋白,将获得的蛋白作为疫苗。利用重组 DNA 技术生产的基因工程药物主要有抗生素、乙型肝炎病毒疫苗、流感病毒疫苗、生长激素抑制剂、白细胞介素、溶菌酶等。

② 基因诊断与基因治疗 (gene therapy) DNA 诊断技术是利用重组 DNA 技术,从基因中寻找病根,主要应用于肿瘤、人类遗传性疾病、传染性疾病等多种疾病的诊断。DNA 诊断技术特点是专一性强、灵敏度高、操作简便,只要检测出该病变基因的存在,就能确诊。目前最新诊断技术是聚合酶链反应的基因诊断技术,它对珠蛋白基因缺陷性贫血、血友病、杜氏肌营养不良症等遗传疾病具有较好的诊断能力。

基因治疗是一种应用基因工程技术、分子遗传学原理和基因组学对某种基因缺陷引起的遗传病进行治疗。器官异种移植则是实现基因治疗最常用的技术,它是利用现代生物技术,将人的基因转移到另一个物种上,再将此物种的器官取出来置入人体,代替生病的“零件”。目前,基因治疗已扩大到心血管系统疾病、肿瘤、神经系统疾病等的治疗,人类也成功实现了肝、胰、肾、肺等器官的异种移植。

③ 药物作用机制与新药筛选 (drug screening) 应用蛋白质组学 (proteomics) 技术,可以更清楚更详尽地阐明药物的作用机制,从而提供更为有效、合理的药理模型。例如,通过比较抗肝癌化合物 OGT719 和 5-氟尿嘧啶分别处理过的肿瘤细胞株的蛋白质组表达图谱,发现它们二者 2-DE 的表达图谱发生了类似的变化,这表明二者在体内的作用机制相类似。蛋白质组学还可用于对药物不良反应的研究,一般是通过比较正常组织和药物处理过的细胞组织的蛋白质结构,寻找药物具有毒副作用的迹象。

基于上述药理模型和毒理学研究信息,通过分析比较化合物处理(治疗)前后模型细胞或组织的蛋白质组的表达图谱,可快速提取该化合物的有效性和毒性方面有价值的信息。蛋白质组筛选技术将在今后的新药开发中起着越来越重要的作用。

(2) 在农业方面的应用

随着科学技术迅速发展,农业生产正由资源依赖型向科技依赖型转化,以现代生物技术为核心的现代农业方兴未艾。现代生物技术可以培育出优质、高产、抗性强的农作物以及畜禽、林木、鱼类等新品种,提高农产品产量和质量,加快高产、优质、高效、可持续农业的

发展, 并提高农业资源的利用率。

① 农产品品种改良 品种改良可改善农产品色、香、味、形等性状, 提高或降低某种成分含量, 缩短果树生长周期, 增强耐储藏性能、提高作物经济附加值, 使人类有丰富营养的农产品可供选择。常见的品种改良现代生物技术有转基因技术和基因导入技术。转基因技术提高了农作物的单位产量, 改善了它们的品质与口感; 基因导入技术丰富了观赏植物的性状, 蓝色玫瑰花等异色花卉大量出现; 利用转基因技术可以使植物产生疫苗, 通过食用这些植物人类就能达到接种疫苗的目的。

此外, 现代生物技术在动物品种和产品品质改良上也取得了重大突破。利用基因工程方法将某些动物生长激素基因转移到细菌中, 然后由细菌繁殖产生大量有用的激素。这些激素在畜禽新陈代谢过程中, 能促进其体内蛋白质的合成和脂肪的消耗, 从而加快生长发育, 即在不增加饲料消耗的情况下提高畜禽产品产量和品质。科学家已经成功地把某些动物基因转移到牛、猪、羊等的受精卵中, 获得性能优异的畜禽品种, 使这些动物脂肪含量显著减少, 瘦肉率明显提高, 生长速率加快。

② 植物抗性改良 常规育种对农作物抗逆性的培育非常有限, 现代生物技术可有效改善农作物在抗非生物逆境的性能。非生物逆境包括干旱、盐碱、冷冻、高温、营养盆瘤、重金属胁迫、水灾、紫外线等。随着研究的不断深入, 农作物抗非生物逆境的机制得以揭示。目前, 全世界多数国家都在利用现代生物技术从不同角度研究植物抗逆境的生理、生化、分子生物学机制, 并在此基础上进行抗性新品种培育。通过遗传转化获得抗逆境基因, 并构建相应的抗逆性植物, 如耐盐转基因苜蓿、草莓和烟草等, 这些转基因植物都已进入田间试验阶段。

基因工程技术培育的抗虫害植物和抗病毒植物可有效解决农业生产过程中的病虫害问题。例如, 科学家从寄生在异小杆线虫消化道内的一种发光杆菌 (*Photorhabdus luminescens*) 的细胞中找到一个蛋白复合物, 这种蛋白复合物除了对鳞翅目具有杀虫活性外, 对鞘翅目和双翅目也都有很强的毒杀活性, 是一种广谱杀虫蛋白复合物, 导入这种蛋白复合物基因的农作物都有有效抵抗鳞翅目、鞘翅目和双翅目害虫侵害的能力。

③ 植物生物反应器 植物生物反应器是以常见的农作物作为“细胞工厂”, 通过大规模种植生产具有高附加值的医用蛋白、工农业用酶、生物降解塑料、脂类以及其他一些有益的次生代谢产物等的一种“新型反应器”。利用植物生物反应器生产动物口蹄疫、结核病等疾病的兽用疫苗、降钙素和人乳铁蛋白等功能蛋白在植物医药蛋白及植物生产中起到很重要的作用。

(3) 在环境保护方面的应用

环境污染是人类社会在 21 世纪面临的四大难题之一。科技的发展充分证明生物技术是解决环境问题、保护环境的理想方法, 它从根本上体现了可持续发展的战略思想。生物技术可以彻底去除污染物中有害物质, 有效解决环境污染问题, 不仅不会产生二次污染, 还可以对一些污染物进行转化, 使其成为一种再生资源, 费用也通常比一般处理技术低, 是一种安全而彻底的消除污染的方法。

① 污染治理与修复 生物技术在改善传统的工业生产过程、治理污染、净化环境、改善生态方面发挥着非常大的作用。生物技术是水污染控制、大气污染控制、土壤净化等最为重要的单项技术, 人们可以利用特定微生物降解有毒化合物、净化有毒气体和恶臭物质、综合利用废水和废渣, 达到净化环境、保护环境、废物利用并获得新产品的目的。目前, 生物

技术在此领域的研究应用已朝着具有高效净化能力的微生物种类及菌株的寻找分离、筛选以及基因工程菌的人工构建方向迈进。例如,利用质粒 DNA 重组和质粒转化技术,把 4 种假单胞菌的基因组入到同一菌种中,创造了有超常降解石油能力的超级菌,几小时内能降解浮油中三分之二的烃类,而用自然菌需一年多时间;又如,利用基因工程技术,将一种昆虫的耐 DDT 基因转移到细菌体内,培育一种专门“吃”DDT 的细菌,大量培养,放到土壤中,土壤中的 DDT 就会被“吃”得一干二净。应用植物修复不但可净化环境、美化环境,还可以通过采集进行处理和再利用,在这方面,转基因植物,特别是能超量吸收和累积重金属的超量累积植物(hyper accumulator)是当前研究开发的热点。

② 开发清洁能源资源及能源、资源的综合利用 对能源资源的依赖和使用,使人们预感不可再生能源资源的有限性和潜在的危机,现代生物技术的发展为解决这一问题带来了新希望。今天,生物技术这一概念已从消除有害物质和废物扩展到将这些物质的转化和再利用方面,如利用废物生产单细胞蛋白(SCP)、纤维质原料生产酒精等。德国从木糖生产食用酵母,后来发展了从造纸工业的亚硫酸废液制造饲料酵母,单细胞蛋白年产量 $15000 \times 10^4 \text{ t}$,作为肉类代替品以补充蛋白质的不足。我国科学工作者利用味精废水生产热带假丝酵母(*Candida tropicalis*)单细胞蛋白,含蛋白达 60%,产品用作饲料,效果与鱼料相同。英国伦敦一家公司用硬脂嗜热芽孢杆菌将废弃的稻草、玉米芯等转化为乙醇,转化效率明显高于酵母菌。

新资源能源方面,中国科学院遗传所、中国农业科学院将降解除草剂三氮苯的基因转入大豆植株中,转基因大豆不再吸收环境中的三氮苯,利用这一技术可以生产绿色食品供人类安全食用。瑞士和美国科学家利用植物生理生化原理研制出新型太阳能电池。同时,海藻发电、生物絮凝剂、生物表面活性剂、生物农药等其他新型能源资源也已经开发应用。

③ 污染监测 现代生物技术建立了一类新的快速准确监测与评价环境的有效方法,利用指示生物、核酸探针和生物传感器来衡量环境质量的变化。常规的指示生物包括细菌、原生动物、藻类、高等植物和鱼类等,通过监测它们对环境的反应,便能对环境质量作出评价。核酸探针是通过制备特定菌种 DNA 序列的核酸荧光探针来检测环境中的特异性污染物,以此分析和辨认污染源构成和污染物来源。生物传感器是以微生物、细胞、酶、抗体等具有生物活性的物质作为污染物的识别元件,具有成本低、易制作、使用方便、测定快速等优点。这些生物传感器的开发和应用不仅克服了传统检测方法烦琐、准确性差、不能及时反映环境状况的缺点,还为自动连续监测、处理设施连续在线监控提供了可能。

一种新技术的出现对人类历史的发展往往产生前所未有的推动作用和深远的影响。同时也可能产生未知的后果或风险,尤其是当人类不能确保对技术正确、有效运用时,其造成的灾难将是令人震惊的,生物技术作为一种迅速发展起来应用于环境领域的高新技术,也不例外其具有利弊双重性,在创造显著经济效益、社会效益和环境效益的同时,也存在环境安全性问题。自 20 世纪 70 年代基因工程出现以来,生物技术活动本身及其产品对人类和环境的安全问题便引起人们的高度关注,而基因工程更是争论的焦点。

1.2 环境生物技术

生物技术最早应用于环境污染治理的是利用农业废物沤制堆肥,历史之悠久堪与酿酒时间相比。但在环境工程领域,一般将 19 世纪末生物滤池的出现及 1913 年 W. T. Lockett 和

E. Arden 发明的“活性污泥法”(activated sludge) 视为环境生物技术的开端。20 世纪 50~60 年代, 工农业引起的环境污染尤其是水污染的加剧, 促进了环境生物技术的快速发展。1981 年, 欧洲生物技术联盟(European Federation of Biotechnology, EFB) 首次将它用于设立环境生物技术专门机构的名称, 并将污染控制的生物技术概称为环境生物技术(environmental biotechnology, EBT)。1984 年, 美国化学文摘正式出现环境生物技术的关键词条。20 世纪 80 年代后期, 我国国家自然科学基金项目指南设立环境生物技术专题, 1992 年王炳坤编著《现代环境学概论》首次使用环境生物技术这一名词。

1.2.1 环境生物技术的定义

环境生物技术的目的是将微生物、动物或植物应用于农业、环境、工业及人类健康, 因此涉及生物化学、微生物学及工程技术等多个科学。南京大学程树培教授指出, 环境生物技术是一门由生物技术与环境工程相结合的新兴交叉学科, 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。

广义地讲, 环境生物技术是指自然环境中涉及环境污染控制的一切与生物技术有关的技术。现代环境生物技术, 即采用分子生物学方法, 改进传统和常规的生物处理工程, 进行降低或消除污染物产生或者高度净化环境污染, 实现控制污染及维护人体健康与生态安全的目标。

1.2.2 污染控制技术

上述提到的污染控制是指运用环境科学的理论和方法, 减少或降低污染物的产生与排放, 或对污染物的产生、扩散、危害加以控制转化的过程, 生物技术是实施污染控制的众多方法之一。根据控制的环境要素, 污染控制分为水污染控制、大气污染控制、固体废物控制、噪声污染控制和污染生态修复等。

(1) 水污染控制技术

现代水污染控制技术, 按处理的程度, 划分为一级处理、二级处理和三级处理。一级处理主要是去除废水中的悬浮固体和飘浮物质, 同时起到中和、均衡、调节水质的作用; 二级处理主要是去除废水中呈胶体和溶解状态的有机污染物质, 主要应用各种生物处理技术, 处理水可以达标排放; 三级处理是在一级、二级处理的基础上, 对难降解的有机物、磷、氮等营养性物质进一步处理, 处理水可直接排放地表水系或回用。

废水中污染物的组成相当复杂, 往往需要采用几种技术方法的组合, 才能达到处理要求。对于某种废水, 具体采用哪几种技术组合, 要根据废水的水质、水量、污染物特性、有用物质回收的可能性等, 进行技术和经济的可行性论证后才能决定。

(2) 大气污染控制技术

根据污染物的不同形态, 大气污染控制技术分为颗粒物污染控制技术和气态污染物控制技术。

颗粒物污染控制的技术和设备主要有四类: ①通过重力的作用达到除尘目的的机械力除尘技术, 相应的设备包括重力沉降室、惯性除尘器、旋风除尘器、声波除尘器; ②用多孔过滤介质来分离捕集气体中的尘粒的过滤式除尘技术, 相应的设备包括袋式过滤器和颗粒层过滤器; ③利用高压电场产生的静电力、库仑力的作用分离含尘气体中的固体粒子或液体粒子

的静电除尘技术,相应的设备包括干式静电除尘器和湿式静电除尘器;④利用液体所形成的液膜、液滴或气泡来洗涤含尘气体,使尘粒随液体排出,气体得到净化的湿式除尘技术,相应的设备包括文丘里管除尘器等。

气态污染物控制的技术和设备主要有两大类:①分离法,它是利用污染物与废气中其他组分的物理性质差异使污染物从废气中分离出来的方法;②转化法,它则是使废气中污染物发生某些化学反应,把污染物转化成无害物质或易于分离的物质,如利用微生物以废气中有机组分作为其生命活动的能源或养分的特性,经代谢降解转化为简单的无机物(H_2O 和 CO_2)或细胞组成物质的生物处理法等。

近年来,随着大气污染呈现复合型污染的特点,单一的污染治理技术已不再适合,通常是几种技术的优化组合,如吸收-燃烧、高级氧化-生物处理等。

(3) 固体废物污染控制技术

固体废物是指人类在生产建设、日常生活和其他活动中产生的,在一定时间和地点无法利用而被丢弃的污染环境的固体、半固体废物,是一种“放错地方的原料”。固体废物分类方法有很多,按组成可分为有机废物和无机废物;按形态可分为固体(块状、粒状、粉状)和泥状(污泥)废物;按来源可分为工业废物、矿业废物、城市废物、农业废物和放射性废物;按其危害程度可分为有害废物和一般废物。

为有效控制固体废物的产生量和排放量,相关控制技术的开发主要在三个方向:过程控制技术(减量化)、处理处置技术(无害化)、回收利用技术(资源化)。固体废物“减量化”是指通过清洁生产和综合利用等适宜手段减少和减小固体废物的数量和容量。“无害化”处理是将固体废物经过相应的工程处理,达到不影响人类健康和不污染环境的目的,如垃圾焚烧、堆肥、粪便的厌氧发酵等。固体废物的“资源化”是通过采用工艺措施从固体废物中回收有用的物质和能源。世界上的资源并非“取之不尽,用之不竭”,人类传统的工业发展模式中对资源和能源的不合理开采和利用造成了资源和能源的大量浪费,开发和利用“再生资源”或“二次资源”已经成为许多国家经济发展战略的一部分。

(4) 污染生态修复技术

当前,生态环境问题已成为世界各国普遍关注的一个大问题。我国是世界上自然生态系统退化和丧失很严重的国家,土地荒漠化、沙尘暴、洪水灾害、水资源短缺等,已严重威胁我国的社会经济发展和国民生活。

污染生态修复是指对人类活动影响下受到破坏的自然生态系统,停止人为干扰,依靠生态系统的自我调节和自我恢复能力,辅以人工措施,使遭到破坏的生态系统逐步恢复或向良性循环方向发展。

1.2.3 环境生物技术的发展

环境生物技术作为一门新兴交叉学科,具有基础理论和技术应用相结合的鲜明特点。现代生物技术的发展,为环境生物技术向纵深发展增添了强大的推动力。随着细胞融合、基因工程、分子生物等技术的成熟,环境生物技术的研究领域不断扩大,已成为解决环境污染问题既经济又环保的有效手段,具有消耗低、效率高、成本低、反应条件温和、无二次污染等显著特点。美国环境保护局(US Environmental Protection Agency, EPA)在评价环境生物技术时认为“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”。