

研究生教学用书

教育部学位管理与研究生教育司推荐

废物生物处理

Biotechnology for Wastes Treatment

郑 平 冯孝善 主编

高等教育出版社

研究生教学用书

教育部学位管理与研究生教育司推荐

废物生物处理

Biotechnology for Wastes Treatment

郑 平 冯孝善 主编

高等教育出版社

内容提要

本书是一本关于“三废”生物处理的教材,以微生物学和反应工程学理论为指导,从代谢途径(分子尺度)、食物网(微生物尺度)和工艺系统(反应器尺度)三个层面揭示了废物生物处理的功能实质和技术特征,并以工艺过程和工艺类型为主线,论述了“三废”生物处理的技术体系。

全书分九章,包括绪论、废物处理的微生物学原理、废物处理的生物反应工程原理、废水生物处理的可行性与工艺条件、废水好氧生物处理技术、废水厌氧生物处理技术、废水生物脱氮除磷技术、固体废物生物处理技术和废气生物处理技术。

本书可作为高等院校有关教师和研究生的教学用书,也可供从事环境工程、环境科学、环境微生物、给水排水等工作的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

废物生物处理/郑平,冯孝善主编. —北京:高等教育出版社,2006.1

ISBN 7-04-018408-7

I. 废... II. ①郑... ②冯... III. 废物处理: 生物处理-高等学校-教材 IV. X7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 137053 号

策划编辑 林琳 责任编辑 陈海柳 封面设计 李卫青 责任绘图 朱静
版式设计 史新薇 责任校对 王雨 责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	北京市白帆印务有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2006 年 1 月第 1 版
印 张	30.75	印 次	2006 年 1 月第 1 次印刷
字 数	520 000	定 价	47.90 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 18408-00

前言

当人类陶醉于经济发展带来的欣喜时,也尝到了环境污染带来的苦恼。世界各国对保护环境和资源形成了高度共识和普遍认同,并在1992年联合国环境与发展大会通过的《21世纪议程》中正式提出了“可持续发展”的号召。我国政府迅速做出了积极的响应,当年即把“实行可持续发展战略”作为第一条列入《中国环境与发展十大对策》,1996年又把“可持续发展”确定为推动经济和社会发展的基本战略。要实施这一战略,解决好环境保护问题,一靠人才,二靠政策,三靠管理,四靠科技。其中,培养环保人才和研发环保科技是摆在高等教育面前光荣而艰巨的任务。

为了提高我国研究生的教育水平,教育部研究生工作办公室组织了研究生教学用书的遴选和出版工作。《废物生物处理理论与技术》有幸被列入出版书单,这是对编者的巨大鼓励和鞭策。鉴于该书成稿至今已十年有余,在此期间不断有理论突破和技术创新,因此编者以近几年的讲稿为基础,对教材进行了重新编写,以适应研究生教学的现实需要。为了与课程名称相统一,采用《废物生物处理》为书名。

废物生物处理不仅历史悠久,积淀丰厚,而且充满活力,发展迅速。在本书的选材编写中,作者力求做到:第一,内容简明,突出基本概念、基本原理和基本方法;第二,兼顾前沿性和系统性,既展示该领域的最新成就,也呈现该领域的理论与技术体系;第三,重视学术思想,不仅传授理论与技术内容,也介绍它们的孕育过程和发展沿革。

废物生物处理是一个庞杂的理论与技术“家族”。本书以微生物学和反应工程学理论为指导,引进当代生化工程上的“多尺度”概念,从代谢途径(分子尺度)、食物网(微生物尺度)和工艺系统(反应器尺度)三个层面系统论述了废物生物处理的功能实质和技术特征;并以工艺过程和工艺类型为主线,全面梳理了“三废”生物处理的技术体系。整体脉络清晰,资料选配合理,阅读理解容易。

浙江大学从1991年开始为硕士生和博士生开设废物生物处理课程。经过多年的试用、修改和补充,逐渐形成了本校相对稳定的废物生物处理教材。原教材共分11章,第一、十章由冯孝善撰写;第二、四、六、九章由郑平撰写;第三、五、七、八章由徐向阳撰写;第十一章由何国庆撰写,其他参编人员还有闵航、沈东升、俞秀娥、方士。本书是在原教材的基础上进

一步整合编写而成的,全书共分9章,第一章和第九章由冯孝善编写,第二章至第八章由郑平编写。

在本书的编写出版过程中,教育部提供了“研究生教学用书建设专项经费”的资助;浙江大学环境工程系胡宝兰协助完成了教育部“研究生教学用书”的申请;浙江大学环境工程系金仁村、邓良伟、李金页、陈旭良、蔡靖参与了书稿的校对工作。在此谨向提供帮助的全体同仁表示衷心的感谢!在本书的撰写过程中,参考了众多国内外的专著、教材和杂志,书末列出了主要参考文献,编者 also 向取材引用过的文献作者表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中不足和错漏在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2005年8月于浙江大学

目 录

第一章 绪论	1
1.1 废物生物处理的作用	1
1.1.1 环境污染及其危害	1
1.1.2 环境污染的根源	2
1.1.3 环境污染的防治	2
1.2 废物生物处理的学科归属及其特点	3
1.2.1 学科归属	3
1.2.2 学科特点	4
1.3 废物生物处理的研究内容	6
1.3.1 菌种	6
1.3.2 工艺条件	7
1.3.3 反应动力学	9
1.3.4 生物反应器	11
1.3.5 各类废物生物处理技术	12
1.4 本书编写思路和内容体系	13
1.4.1 编写思路	13
1.4.2 内容体系	15
第二章 废物处理的微生物学原理	17
2.1 微生物的营养需要和营养类型	17
2.1.1 营养需要	17
2.1.2 营养类型	19
2.2 微生物的通透屏障与营养吸收	20
2.2.1 通透屏障	20
2.2.2 营养吸收	23
2.3 微生物的代谢与调控	28
2.3.1 能量代谢	28
2.3.2 物质代谢	34
2.3.3 酶活性调节	40
2.3.4 酶合成调节	42
2.4 微生物的生长繁殖与遗传变异	45
2.4.1 微生物的生长	46
2.4.2 微生物的遗传	49

2.4.3 微生物的变异	58
2.4.4 微生物的基因重组	60
2.5 微生物生态系统	61
2.5.1 生态系统的组成和结构	62
2.5.2 生态系统的功能	64
2.5.3 生物与生物之间的关系	65
2.5.4 生物与环境之间的关系	68
2.5.5 群落的形成和发展	75
2.5.6 群落演替的致因	76
2.6 微生物团聚体	79
2.6.1 生物膜	80
2.6.2 生物絮体	82
2.6.3 颗粒污泥	85
2.6.4 团聚体利弊分析	86
第三章 废物处理的生物反应工程原理	89
3.1 反应动力学	89
3.1.1 化学反应动力学	89
3.1.2 酶促反应动力学	98
3.1.3 种群反应动力学	110
3.1.4 群落反应动力学	120
3.1.5 质粒行为动力学	121
3.2 宏观反应动力学	128
3.2.1 单个细菌的传质 - 反应模型	128
3.2.2 生物絮体的传质 - 反应模型	131
3.2.3 生物膜的传质 - 反应模型	135
3.2.4 生物膜颗粒的传质 - 反应模型	141
3.3 生物反应器理论	144
3.3.1 物料的混合与返混	145
3.3.2 理想反应器	146
3.3.3 非理想反应器	150
3.3.4 停留时间分布	154
第四章 废物生物处理的可行性与工艺条件	159
4.1 废物生物处理的可行性	159
4.1.1 可生物降解性	159
4.1.2 可生物降解性的评定	160
4.2 工艺条件	165
4.2.1 菌种	165
4.2.2 养料	172

4.2.3 温度	176
4.2.4 酸碱度	182
4.2.5 搅拌	188
4.2.6 HRT	190
4.2.7 抑制剂与活化剂	192
4.3 工艺条件的灵敏度	206
4.3.1 灵敏度比	206
4.3.2 灵敏度指数	209
第五章 废水好氧生物处理技术	211
5.1 曝气原理	211
5.1.1 概述	211
5.1.2 气-液间的氧传递	212
5.1.3 液-固间的氧传递	214
5.1.4 氧传递的强化	219
5.2 活性污泥法	224
5.2.1 概述	224
5.2.2 动力学模型	231
5.2.3 工艺设计	237
5.2.4 工艺类型	246
5.3 生物膜法	259
5.3.1 概述	259
5.3.2 生物滤池法	261
5.3.3 生物流化床法	270
5.3.4 其他生物膜法	274
第六章 废水厌氧生物处理技术	281
6.1 概述	281
6.1.1 厌氧生物处理过程	281
6.1.2 厌氧生物处理生化反应	282
6.1.3 厌氧生物处理特点	284
6.1.4 厌氧生物处理技术发展思路	285
6.2 厌氧生物膜法	288
6.2.1 厌氧滤器工艺	288
6.2.2 厌氧静态固定膜工艺	298
6.2.3 管道厌氧消化工艺	309
6.2.4 其他厌氧生物膜工艺	314
6.3 厌氧活性污泥法	318
6.3.1 上流式厌氧污泥床工艺	318
6.3.2 膨胀颗粒污泥床工艺	339

6.3.3 内循环厌氧反应器工艺	342
6.3.4 厌氧折流板反应器工艺	344
6.4 厌氧相分离法	346
6.4.1 两相厌氧消化工艺	346
6.4.2 阴离子交换基质往复工艺	353
6.5 厌氧生物处理的专家系统	361
6.5.1 知识基础	362
6.5.2 工艺系统与专家系统	362
6.5.3 氨扰乱模拟	367
第七章 废水生物脱氮除磷技术	370
7.1 硝化工艺	370
7.1.1 硝化作用	370
7.1.2 硝化反应动力学	375
7.1.3 环境条件对硝化反应的影响	376
7.1.4 硝化工艺类型	378
7.2 反硝化工艺	379
7.2.1 反硝化作用	379
7.2.2 反硝化动力学	384
7.2.3 环境条件对反硝化的影响	385
7.2.4 反硝化工艺类型	386
7.3 Sharon 工艺	387
7.3.1 Sharon 工艺的概念	387
7.3.2 Sharon 工艺的经济性	388
7.3.3 Sharon 工艺的实施策略	388
7.3.4 Sharon 工艺的技术要点	391
7.3.5 Sharon 工艺的应用	397
7.4 厌氧氨氧化工艺	400
7.4.1 厌氧氨氧化作用	400
7.4.2 厌氧氨氧化工艺的经济性	404
7.4.3 厌氧氨氧化工艺的技术要点	404
7.4.4 厌氧氨氧化工艺的应用	409
7.5 生物除磷工艺	411
7.5.1 生物聚磷作用	411
7.5.2 生物除磷动力学	413
7.5.3 环境条件对生物除磷的影响	415
7.5.4 生物除磷工艺类型	416
第八章 固体废物生物处理技术	418
8.1 污水污泥生物处理	418

8.1.1 污泥厌氧消化	419
8.1.2 污泥好氧消化	429
8.2 垃圾生物处理	439
8.2.1 城市垃圾现状	439
8.2.2 城市垃圾厌氧生物处理	441
8.2.3 城市垃圾好氧生物处理	444
8.3 农业废物生物处理	449
8.3.1 禽畜废物状况	449
8.3.2 禽畜废物厌氧消化	450
第九章 废气生物处理技术	453
9.1 概述	453
9.1.1 恶臭物质的种类和性质	453
9.1.2 恶臭物质的发臭、嗅觉和评价	453
9.1.3 恶臭物质对人类的危害	456
9.2 生物除臭	457
9.2.1 生物除臭原理	457
9.2.2 生物除臭技术	458
9.2.3 生物除臭实例	463
参考文献	466

第一章 绪 论

废物生物处理是环境工程的一个分支,在污染控制上起着重要而独特的作用。废物生物处理也是生物技术的一个分支,现代生物技术的崛起为废物生物处理注入了强大的生命力。在过去的一百多年中,人们以微生物学和反应工程学理论为指导,构建了“三废”生物处理的技术体系。掌握这些理论和技术,将有助于该领域的科技创新。

1.1 废物生物处理的作用

1.1.1 环境污染及其危害

人类是环境的产物,人类的生存和发展离不开环境;人类又是环境的改造者,力图通过社会性活动来利用和改造环境,使其更适合自身的需要。由于无度地向环境索取资源,人类最终尝到了贪婪所致的苦果,即环境问题。环境问题包括生态破坏和环境污染两个方面,其中后者与本书的主题直接相关。

环境污染(environmental pollution)是指人类活动导致环境质量下降而有害于人类及其他生物正常生存和发展的现象。虽然环境污染可以追溯到遥远的人类诞生之初,但环境污染造成的公害则显现于工业革命以后。西方国家率先进入工业化社会,最早享受工业化带来的繁荣,也最早蒙受工业化引发的环境灾难。20世纪五六十年代,环境污染所致的“世界八大公害事件”震惊全球,数万人中毒,上千人丧生。

我国经济于20世纪80年代驶入高速发展的快车道,二十多年来取得了举世瞩目的成就,与此同时也产生了严重的环境污染。在一些大城市的空气中,颗粒物和 SO_2 浓度超过国家标准和世界卫生组织标准的2~5倍。全国七大水系,属于《地面水环境质量标准》4类和5类水体的高达38.9%。近海赤潮频发,20世纪60年代的赤潮发生率为5~6年1次,70年代为两年1次,80年代为每年4次。城市垃圾正以10%的幅度快速递增,许多地区已经“垃圾围城”。随着环境污染加剧,经济损失越来越大。1986年,全国环境污染所致的经济损失约为380亿元人民币;1992年上升到1085亿元;1997年,仅空气和水污染所致的经济损失就

达 580 亿美元,相当于当年国民生产总值的 3% ~ 8%。环境污染已成为制约社会和经济可持续发展的重大障碍。

1.1.2 环境污染的根源

我国工业化起步较晚,总体水平不高,至今没有摆脱资源型经济的发展模式。所取得的经济增长是在低技术基础上依靠高物质投入而支撑的。从 1952 年到 1989 年,我国国民收入增长 8.6 倍,同期能源消耗增加 14.9 倍,有色金属消耗增加 23 倍,铁矿石消耗增加 24 倍。我国农田用水的利用率为 25% ~ 40%;工业用水的重复利用率为 20% ~ 30%;单位产品的耗水量比发达国家高 5 ~ 10 倍。“高投入、低产出”的经济增长方式是滋生环境污染的温床。

我国的能源平均利用率在 30% 左右,而发达国家的能源平均利用率都在 40% 以上。换言之,我国每发 1 kW·h 的电,平均耗煤要比发达国家多 0.1 kg。仅此一项,全国每年就要多耗煤 7×10^7 t。如果继续保持目前的低能源利用率,至 2010 年我国的 SO_2 排放量将达 3.3×10^7 t。20 世纪 80 年代,原化工部曾对 200 家化工企业进行调查,结果发现每年投入生产的原料只有 2/3 转化成产品,其余皆以废物排入环境。资源低效利用所致的“三废”(废水、废气和废渣)排放,是造成环境污染的根源。

1.1.3 环境污染的防治

面对资源低效利用所致的环境污染,人们提出了清洁生产的理念。清洁生产(cleaner production)是一种新的创造性思想,该思想将整体预防的环境战略持续地应用于生产过程、产品和服务中,以增加生态效率和减少人类及环境风险。对生产过程,要求节约原材料,淘汰有毒原材料,削减所有废物的数量和毒性;对产品,要求减少从原材料提炼到产品最终处置的全生命周期的不利影响;对服务,要求将环境因素纳入服务的设计和提供之中。清洁生产体现了“预防为主”的方针,强调“源削减”,尽量将污染物消除或削减在生产过程中,减少污染物的排放量,并综合利用最终产生的废物。清洁生产通过加强管理、改造工艺、更新设备、回用废物等措施,不仅可提高资源利用率,而且可减少污染物排放量(图 1-1-1)。因此,推行清洁生产是预防污染的有效手段。

虽然清洁生产能够从源头上削减污染物的排放量,但末端治理依然是控制污染的必要保障(图 1-1-1)。生物处理是废水处理的主流技术。英国共有 3 000 座污水处理厂,几乎全部采用生物处理。美国共有 18 000 座污水处理厂,其中 84% 采用生物处理。日本共有 2 703 座污水

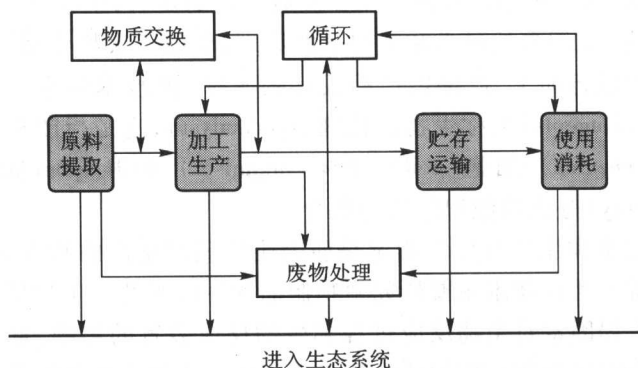


图 1-1-1 源头控制与末端治理的关系

处理厂,其中 99% 采用生物处理。截止到 1996 年,我国建成 153 座并拟建一百余座城市污水处理厂,绝大部分也采用生物处理。生物处理是废渣(固体废物)处理的重要技术,它在污水污泥、禽畜粪便、生活垃圾等处理中发挥着重要作用。1954 年日本建成第一家污泥堆肥厂,到 20 世纪 90 年代末发展至 35 家。1973 年,美国只有几家污泥堆肥厂,至今已数以百计。我国深圳、太原、西安、石家庄等地已开发出污泥堆肥产品。生物处理也是废气净化的有效技术。1957 年美国报道了废气生物净化专利。1970 年后,废气生物净化的研究日趋广泛,并逐渐应用于屠宰厂、食品厂、堆肥厂、畜牧场、化工厂等有机废气的处理。

环境污染的加剧和生物科技的革命,有力地推动了废物生物处理的发展。在“三废”治理中,废物生物处理的应用范围不断拓宽,处理效率逐渐提高,所居地位日趋显要。

1.2 废物生物处理的学科归属及其特点

1.2.1 学科归属

废物生物处理既是环境工程的重要分支,也是生物工艺学的重要分支。按照《辞海》(夏征农主编)的定义,工艺(process)是指“利用生产工具对各种原材料、半成品进行加工或处理,使之成为产品的方法”。工艺学(technology)是指“根据技术上先进、经济上合理的原则,研究各种原材料、半成品、成品的加工方法和过程的学科”。生物工艺学通常称为生物

技术。根据 1982 年国际经济合作和发展组织的定义,生物技术(biotechnology)是指“应用自然科学和工程学的原理,借助于生物作用剂的功能,将各种物料进行加工,以提供产品或社会服务”的技术体系。生物作用剂(biological agents)又称生物催化剂(biocatalyst),它是指能够催化化学反应的酶(enzyme)、细胞(cell)、个体(organism)、种群(population)和群落(community)等生物组织结构的集合。

生物技术和生物反应工程都是研究生物制品生产的基础学科,但两者各有侧重。生物技术主要研究生物制品的生产工艺。生物反应工程则主要研究工程因素对生物反应过程和生物反应装置的影响,重点解决实验室成果走向工业化应用的放大和优化问题。废物生物处理虽然归属于生物技术,但也需借鉴生物反应工程的原理、方法和手段。

1.2.2 学科特点

1. 学科的交叉性

生物技术涉及很多学科,主要有生物学(包括生物化学、分子生物学、细胞学、微生物学、遗传学等)、化学、工程学(化学工程、机械工程、电子工程等)。在《综合生物技术》(Moo-Young 主编)中,以三环图形象地描绘了生物技术与相关学科的交叉关系(图 1-2-1)。

由于生物技术的学科交叉性,废物生物处理也具有学科交叉性,因此要求废物生物处理工作者掌握比较全面的知识,并加强与相关学科人员的协作。

2. 问题的多尺度性

工艺流程(flow sheet)是指从原料投入到成品产出,顺序通过设备或管道的加工处理过程。它是演奏废物生物处理交响曲的乐谱。以工艺流程为乐谱,奏出的是工程水平的废物生物处理交响曲。例如,初沉池、曝气池、

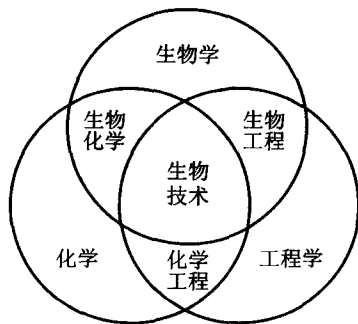


图 1-2-1 生物技术的学科交叉性
生物反应工程包含于生物工程内

二沉池、污泥回流管构成了典型的活性污泥法处理系统,体现了反应器尺度的工艺过程。以食物链(网)为乐谱,奏出的是生态水平的废物生物处理交响曲。例如,水解发酵细菌、产氢产乙酸细菌和产甲烷细菌构成了典型的厌氧消化微生物系统,体现了微生物尺度的工艺过程。以代谢途径(网络)为乐谱,奏出的是细胞水平的废物生物处理交响曲。例如,糖酵

解和三羧酸循环构成了典型的有机物矿化(彻底分解)系统,体现了分子尺度的工艺过程。

从总体上看,废物生物处理过程的时空跨度很大,只有采用不同尺度来考察,才能揭示各层面的特征并找出彼此间的内在联系。在分子尺度上,酶活性的变化(如酶的激活和抑制)常以毫秒或秒计,酶量的变化(如酶合成的诱导和阻遏)则以分计;在微生物尺度上,菌种的倍增时间一般为几十分钟至十几个小时,种群的变化和群落的演替则以小时或天计;在反应器尺度上,水力停留时间一般为数小时至数天,污泥停留时间一般为数天至数月。分子尺度的工艺过程即序列生化反应,发生于细胞内,细胞的大小常以微米计;微生物尺度的工艺过程即序列生物反应,发生于生物团聚体内,生物团聚体(如生物絮体、颗粒污泥和生物膜)的大小常以毫米计;反应器尺度的工艺过程即序列工程反应,发生于处理系统内,生物处理系统的大小常以米计。

3. 过程的复杂性

(1) 原材料

要使废物生物处理过程顺利进行,必须使原材料满足微生物对营养条件和环境条件的要求。在工业发酵(通过微生物培养获得产品的过程)中,原材料可按需选择,人为调配。而在废物生物处理中,原材料是来自工农业生产和日常生活的废物,不可能再做选择;受经济限制,也不可能随意调配。在工业发酵中,原材料的成分和性质相对稳定。而在废物生物处理中,各行业的废物成分多种多样,性质千差万别,即使同一行业,废物的成分和性质也会随生产变化而变化。原材料成分的未知性、复杂性和不确定性,会给原材料的预处理带来很大的困难。

(2) 催化剂

工业发酵所用的生物催化剂主要是酶和纯种(种群),并以纯种居多。采用纯种时,种群成员对工艺条件的响应相对一致;工艺条件波动,只影响种群的活性和大小而引发量变,不会改变种群组成而引发质变,即从代谢的角度看,只改变代谢通量,不改变代谢性质。废物生物处理涉及的生物催化剂有酶、种群、群落等多个生物组织结构层次,并以群落为主。在群落中,生物个体之间的性状彼此不同,当它们以生理群为单位组成食物链(网)时,必须考虑各生理群之间的数量平衡和活性平衡。更值得注意的是,各种群对工艺条件的响应互不相同,工艺条件波动不仅影响当前群落的活性而引发量变,还会改变群落组成而引发质变,即从代谢的角度看,不仅改变代谢通量,也改变代谢性质。

(3) 生物反应

工艺条件是工艺过程的软件保证,与生物反应的进程和效率直接相关。由于原材料成分复杂多变,废物生物处理对工艺条件的要求远比工业发酵苛刻。但是,由于人们对“三废”治理的认识不足,废物生物处理所需的工艺条件远不如工业发酵容易满足。

生物反应器是工艺过程的硬件保证。通过生物反应器的合理设计和操作,可为微生物生长和代谢提供一个优化的理化环境。但在生物反应器从实验室规模放大到工业规模后,反应效能会打折扣(即存在反应器的放大和优化问题)。用于废物生物处理的反应器规模远远大于工业发酵罐,反应器的放大和优化问题也更加突出。

(4) 产物分离

在工业发酵中,产物分离是指以适当的方法和手段将含量甚少的目的产物从发酵液(胞外产物)或细胞中(胞内产物)提取出来,再进一步精制成产品的过程。由于发酵产品的附加值较高,分离过程的经济压力相对较小。在废水生物处理中,产品附加值较低,分离过程必须考虑经济问题。鉴于此,一般将污染物转化成气态物质(如 CO_2 、 CH_4 、 H_2 、 N_2),以简化产物分离。但产生的副产物——菌体细胞仍需分离。控制工艺条件,使菌体细胞形成团聚体(如生物絮体、颗粒污泥和生物膜),并借助自然过程(菌体附着至填料表面或污泥依靠重力沉淀)分离菌体,这是废水生物处理的重要特征。

1.3 废物生物处理的研究内容

如前所述,废物生物处理归属于生物技术,主要研究废物处理工艺。从工艺过程看,它涉及废物的性质和预处理、菌种的选育和使用、工艺条件的确定和调控、反应器的选择和匹配、产物的分离和处置等多个方面。其中,菌种、工艺条件和生物反应器是整个工艺过程的核心。工艺过程涉及的微生物学和反应工程学理论,形成了废物生物处理的理论框架。在过去一个多世纪中,人们把工艺过程创造性地应用于各种废物治理,建立了废物生物处理的技术体系。这些理论和技术是废物生物处理(领域)的主要研究内容。

1.3.1 菌种

微生物代谢是一个信息(遗传信息)流制导的物流(物质代谢)和能流(能量代谢)过程。遗传信息(即基因型)决定了微生物的代谢途径,代谢网络(代谢途径的集合)控制了物流和能流的性质(所能降解的污染物

种类)与通量(降解污染物的潜在能力)。因此,菌种是废物生物处理的根本。

获得菌种是废物生物处理的必要条件。自从 35 亿年前地球上诞生生命以来,自然界形成了数百万个物种。除了火山中心外,这些物种广泛分布于土壤、空气、水体等生境(特定空间及其生活条件的组合)中。众多的微生物种类,丰富的代谢类型,为人们发掘所需的微生物资源提供了广阔的天地。

改良菌种是废物生物处理的重要工作。自然样品中的微生物种类、活性、数量代表了微生物的背景状况。自然样品中的微生物很难直接满足工业生产的要求。人们可以通过富集和分离,获取所需的微生物种类,并采用诱变技术改良菌种。人们也可以采用细胞融合技术、重组 DNA 技术等现代生物技术,直接操纵细胞的遗传物质,定向改变代谢途径,获得高效基因工程菌。

扩增菌种是废物生物处理的重要任务。菌种的数量通常有限,只有搞清菌种的生理特性,才能实现菌种的顺利扩增,最终满足生产需要。此外,实验室获得的优良菌种未必就能在工业生产中完全发挥作用。有时使用相同的菌种,投加相同的原料,工艺条件稍微改变即可引起废物生物处理效能的巨大差异。只有搞清菌种的生理特性,才能确定合适的工艺条件,实现过程优化。

菌种生态是保证废物生物处理成效的关键因素。在废物生物处理中,大多采用混合菌种,微生物以生理特性为纽带组成生理群,再由生理群组成有序的食物网(图 1-3-1)。初始条件可强烈影响食物网的组成和结构,从而影响代谢网络的性质和通量,最终影响废物生物处理的效能。

1.3.2 工艺条件

只有在特定的环境条件下,微生物的基因型才能转化为表现型,并真正承载物流和能流。因此,工艺条件是影响废物生物处理效能的重要因素。

1. 基本工艺条件

微生物生长和代谢受制于一组特定的营养条件和环境条件。1840 年,德国农业化学家 Liebig 提出了著名的最小因子定律。他认为,就像构成分子的原子一样,构成生物的元素是有特定比例的;生物产量取决于环境中处于最小量状态的营养物质。任何因子的存在量低于某种生物的最小量时,这种因子即成为决定该物种生存的根本因素。最小因子定律揭