

环境科学与技术应用系列丛书



厌氧微生物学与污水处理

马溪平 等编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

环境科学与技术应用系列丛书

厌氧微生物学与污水处理

马溪平 等编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

厌氧微生物学与污水处理/马溪平等编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 5
(环境科学与技术应用系列丛书)
ISBN 7-5025-6992-8

I. 厌… II. 马… III. 厌氧微生物-应用-污水处理
IV. X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 038340 号

环境科学与技术应用系列丛书

厌氧微生物学与污水处理

马溪平 等编

责任编辑: 董琳 刘兴春 徐娟

责任校对: 宋玮

封面设计: 关飞

*

化学工业出版社 出版发行

环境科学与工程出版中心

(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](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 20 字数 369 千字

2005 年 7 月第 1 版 2005 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6992-8

定 价: 48.00 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

总 序

随着社会经济的发展,各种环境问题层出不穷,环境污染和生态破坏已严重危及到人类自身的生存与发展。从全球范围来看,环境问题已成为影响国际关系的重要因素,引起了世界各国政府首脑的极大关注。环境科学是一门新兴的综合性学科,其特点体现在发展历史较短。在发达国家,它只有 50 余年的发展历史,在中国则只有近 30 年的发展历史。随着经济的发展,人们对环境问题的认识不断提高,环境科学学科体系也一直处于完善与发展之中。从环境科学的主要任务来看,环境科学应是探索全球范围内的环境演化规律,揭示人类活动同自然生态系统之间的关系,探索环境变化对人类生存的影响,研究区域环境污染综合防治技术和管理措施等。可以说,环境科学是自然科学、社会科学、人文科学、工程技术的交叉学科,综合性是它与其他学科相比的一个最基本的特点。

目前,环境科学与工程学科在中国的发展极为迅速,环境市场日益繁荣。为了满足从事环境生物学、环境化学、环境生态学、污染环境生物修复、水污染控制、环境经济与管理等方面的教学、科研、技术和管理人员的需要,由辽宁大学环境与生命科学学院和哈尔滨工业大学环境工程系牵头,组织中国科学院生态环境研究中心、中国科学院沈阳应用生态研究所、中国科学院南京土壤研究所、中国社会科学院城市发展与环境研究中心、湖南农业大学资源与环境学院和日本亚细亚大学经营学部等单位的中外专家编写了《环境科学与技术应用系列丛书》。

本套丛书的编写人员都是在各自研究领域具有较高声望和一定造诣的专家和学者,并有国外学者参与编写。中国工程院院士孙铁珩研究员、“长江学者”特聘教授任南琪先生担任本套丛书的主审。概括起来,本套丛书具有如下特点。

(1) 学科的交叉性:根据环境科学学科新兴、综合性的学科特点,突出学科之间的交叉与渗透。

(2) 内容的系统性:围绕当前环境科学与技术的主要研究方向,对相关学科的基本理论进行了系统的介绍。

(3) 技术的实用性:针对当前的热点环境问题,原理与实践相结合,突出环境科学原理在解决实际环境问题中的应用。

(4) 知识的前沿性:瞄准环境科学学科的研究前沿,突出环境科学领域的最新研究进展,力求知识的新颖性。

为了全面落实科学发展观,促进环境科学技术的发展,化学工业出版社一直将环境保护类图书的出版作为出书的主要方向之一。本套丛书在编写过程中,得到了化学工业出版社的大力支持,在此表示感谢。

《环境科学与技术应用系列丛书》编辑委员会

2005 年 2 月

前 言

近年来高浓度有机废水的处理是环境保护工作者研究的热门课题，厌氧生物处理是对高浓度有机废水处理的有效途径之一。特别是在当今污染严重、能源短缺的双重压力下，厌氧生物处理显得尤为重要。近些年来，经过各国学者的潜心研究，废水厌氧生物处理技术在理论和生产应用方面取得了巨大进展，对废水处理有着重大意义。

本书是编者参阅了大量国内外资料编写而成的。立足于对厌氧微生物处理技术理论与实践的探讨，围绕厌氧微生物处理工艺和应用实例，系统介绍了研究厌氧微生物的实验室方法和最新分子生物学技术在厌氧微生物学中的应用。全书共分 11 章，分别对厌氧生物处理过程中微生物学的能量代谢、生化机理、厌氧生物处理反应动力学、厌氧消化过程的控制、影响因子、厌氧生物处理工艺、设计方法、应用实例和试验技术进行了全面论述和介绍，是广大环境保护工作者和环境科学、环境工程专业本科生和研究生的参考书。

本书编写的具体分工是：第 1 章由马溪平和李清华编写；第 2 章由李清华编写；第 3 章由马丽编写；第 4 章和第 5 章由孙大鹏编写；第 6 章由徐成斌、李清华编写；第 7 章由薛爽编写；第 8 章由孙学凯编写；第 9 章由解宏端编写；第 10 章由徐成斌编写；第 11 章由孙学凯编写。全书由马溪平统稿。

本书在编写过程中，得到了周大石教授的悉心指教及逐字修改，也得到了辽宁大学环境与生命科学学院全体教师的大力支持和帮助，在此表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，敬请专家和广大读者批评指正。

编 者

2005 年 3 月

目 录

1 绪论	1
1.1 厌氧微生物学的研究概况	1
1.1.1 国内厌氧微生物学的研究概况	1
1.1.2 国外厌氧微生物学的研究概况	3
1.2 厌氧生物处理技术	3
1.2.1 厌氧生物处理的产生与发展	4
1.2.2 厌氧生物处理的基本原理	4
1.2.3 厌氧生物处理的特点	6
1.3 厌氧生物处理工艺	7
1.3.1 厌氧接触工艺	7
1.3.2 厌氧滤池工艺	8
1.3.3 厌氧生物流化床工艺	8
1.3.4 厌氧折流板反应器	9
1.3.5 上流式厌氧污泥床反应器	9
1.3.6 膨胀颗粒污泥床反应器	10
1.3.7 内循环厌氧反应器	12
1.3.8 两相厌氧消化工艺	12
1.3.9 厌氧生物转盘	13
2 厌氧微生物学	14
2.1 厌氧微生物在生物地球化学循环中的作用	14
2.1.1 自然环境中的厌氧微生物	14
2.1.2 厌氧微生物在污染物(元素)生物地球化学转化中的作用	14
2.2 不产甲烷菌及其作用	15
2.2.1 发酵细菌	15
2.2.2 产氢产乙酸细菌	17
2.2.3 同型产乙酸细菌	19
2.3 产甲烷菌及其作用	21
2.3.1 产甲烷菌的分类和形态	21

2.3.2	产甲烷菌的生理学特性	24
2.3.3	产甲烷菌的能量代谢	26
2.4	产甲烷菌与不产甲烷菌的相互作用	27
3	废水厌氧生物处理的生物化学原理	29
3.1	厌氧处理过程的生化机理	29
3.1.1	废水中复杂基质的厌氧降解	30
3.1.2	水解反应阶段	30
3.1.3	发酵酸化反应阶段	31
3.1.4	产乙酸反应阶段	33
3.1.5	产甲烷反应阶段	34
3.1.6	厌氧条件下脱氮和还原硫酸盐	36
3.2	厌氧过程的能量代谢	38
3.2.1	动力学原理	38
3.2.2	标准状态与环境条件	43
3.2.3	H_2 分压对转化自由能的影响	43
3.2.4	氧化还原电位	44
4	影响厌氧生物处理的环境因素	46
4.1	厌氧生物处理的酸碱平衡及 pH 值控制	46
4.1.1	厌氧微生物适应的 pH 值	47
4.1.2	厌氧生物处理的缓冲体系	48
4.1.3	厌氧生物处理系统中的酸碱平衡	49
4.1.4	厌氧生物处理系统中的碱度	51
4.2	温度对厌氧生物处理的影响	51
4.2.1	温度对厌氧微生物的影响	51
4.2.2	温度对厌氧反应过程中动力学参数的影响	54
4.2.3	温度突变对厌氧消化的影响	55
4.2.4	厌氧消化反应温度的选择与控制	57
4.3	厌氧消化过程中的营养物质	58
4.3.1	厌氧微生物对碳的需求	59
4.3.2	厌氧微生物对氮的需求	60
4.3.3	厌氧微生物对磷的需求	60
4.3.4	厌氧微生物对硫的需求	60
4.4	微量元素对厌氧生物处理的影响	61
4.4.1	微量金属元素	61

4.4.2 维生素	63
4.5 厌氧消化过程中的抑制物质	63
4.5.1 无机抑制性物质	64
4.5.2 有机抑制性物质	65
5 厌氧生物处理的废水特性	67
5.1 废水的碳和氮参数	67
5.1.1 碳参数	67
5.1.2 氮参数	68
5.2 废水的厌氧生物可降解性	69
5.2.1 生物降解性能含义	69
5.2.2 影响有机物生物降解性能的因素	70
5.2.3 难降解有机物的分类及来源	72
5.2.4 废水中常见有机物的生物降解性	75
5.3 废水中常见的毒性物质	78
5.3.1 影响厌氧生物处理微生物综合活性的因素	78
5.3.2 无机毒性物质	80
5.3.3 有机毒性物质	83
5.3.4 厌氧微生物对毒性物质的适应与驯化	86
6 厌氧生物处理工艺	88
6.1 厌氧接触工艺	88
6.1.1 厌氧接触工艺的原理	88
6.1.2 厌氧接触工艺的特点	90
6.2 厌氧滤池	90
6.2.1 AF的原理与特点	90
6.2.2 AF的运行与影响因素	91
6.3 厌氧折流板反应器	93
6.3.1 ABR的工作原理	93
6.3.2 ABR的特点	94
6.3.3 ABR的主要工艺性能	95
6.3.4 ABR在几种废水条件下的运行性能	96
6.3.5 ABR工艺的研究及应用现状	98
6.4 升流式厌氧污泥床反应器	98
6.4.1 UASB的结构	99
6.4.2 UASB的原理	101

6.4.3	UASB 的工艺特点	102
6.4.4	UASB 反应器的启动	103
6.4.5	UASB 的应用	104
6.4.6	UASB 在污水处理中的应用前景	104
6.5	膨胀颗粒污泥床反应器	105
6.5.1	EGSB 的产生背景及其特征	105
6.5.2	EGSB 反应器的结构特征与工作原理	105
6.5.3	EGSB 反应器中颗粒污泥的特征	106
6.5.4	EGSB 的工艺特点	107
6.6	内循环厌氧反应器	108
6.6.1	IC 反应器的构造及工作原理	108
6.6.2	IC 的工艺特点	109
6.6.3	IC 反应器与 UASB 反应器的参数比较	111
6.7	两相厌氧生物处理工艺	111
6.7.1	两相厌氧工艺的发展	112
6.7.2	两相厌氧工艺的基本原理	112
6.7.3	两相厌氧工艺的特点	113
6.7.4	两相厌氧工艺的适用范围	114
6.7.5	相分离方法	115
6.7.6	两相厌氧工艺反应器的选择和构造	116
6.7.7	两相厌氧工艺的流程和参数选择	117
7	厌氧反应器和废水处理工艺设计	119
7.1	废水厌氧处理工艺流程的选择	119
7.1.1	预处理	119
7.1.2	厌氧处理	123
7.1.3	后处理	124
7.1.4	剩余污泥的处理	127
7.2	厌氧反应器的设计	127
7.2.1	反应器容积的确定	127
7.2.2	反应器高度的确定	128
7.2.3	反应器平面形状的确定	128
7.2.4	反应器上流速度的确定	129
7.2.5	单元反应器最大体积的确定	129
7.2.6	配水系统的设计	129

7.2.7	三相分离器的设计	130
7.2.8	管道设计	135
7.2.9	出水系统	135
7.2.10	浮渣清除装置	136
7.2.11	气体收集装置	136
7.2.12	污泥排放设备	136
7.2.13	反应器采用的材料	137
7.2.14	辅助设备	137
7.3	UASB反应器的设计及工程实例	137
7.3.1	UASB反应器的设计	137
7.3.2	UASB设计举例	140
7.3.3	UASB在国内外的应用情况	141
7.3.4	UASB工程实例	143
7.4	厌氧接触法工艺设计及工程实例	147
7.4.1	厌氧接触法的工艺设计	147
7.4.2	厌氧接触法设计举例	150
7.4.3	厌氧接触工艺的应用	151
7.5	两相厌氧生物处理工艺	152
7.5.1	两相厌氧反应器容积的确定	152
7.5.2	两相厌氧工艺工程实例	153
7.6	厌氧膨胀床和厌氧流化床的设计及工程实例	157
7.6.1	厌氧膨胀床和厌氧流化床的设计	157
7.6.2	厌氧膨胀床和厌氧流化床的试验研究	158
7.6.3	厌氧膨胀床和厌氧流化床的工程实例	159
8	厌氧生物处理工艺运行管理与控制	160
8.1	厌氧工艺中污泥的培养与驯化	160
8.1.1	厌氧活性污泥的培养与驯化	160
8.1.2	厌氧生物膜的培养与驯化	161
8.1.3	厌氧颗粒污泥	163
8.2	厌氧生物处理运行条件控制	168
8.2.1	相关名词	168
8.2.2	温度	170
8.2.3	氧化还原电位	174
8.2.4	厌氧消化过程的pH值	177

8.2.5	中间产物	182
8.2.6	营养元素	185
8.2.7	监测与控制	185
8.3	厌氧生物处理中容易出现的问题及其解决办法	187
8.3.1	复杂废水中含有不溶解物质	188
8.3.2	废水中的某些物质容易导致沉淀	189
8.3.3	毒性物质	189
8.3.4	泡沫问题	195
8.3.5	厌氧反应器中产气的异常现象及解决方案	195
8.3.6	污泥厌氧消化沼气的安全问题	196
8.3.7	污泥膨胀	197
9	难降解有机物的厌氧生物降解	203
9.1	概述	203
9.1.1	难降解有机物的定义	203
9.1.2	难降解有机物的分类	204
9.1.3	难降解有机物的来源和循环转化	204
9.1.4	难降解有机物的特点	204
9.1.5	难降解有机物的危害	205
9.2	废水中难降解物质生物降解的机理	205
9.2.1	有机物难生物降解的原因	205
9.2.2	共基质代谢机理	207
9.2.3	种间协同代谢机理	208
9.2.4	有效微生物菌群的筛选和驯化	208
9.2.5	影响废水中难降解物质生物降解的因子	209
9.3	难降解有机物厌氧处理的评价方法	211
9.3.1	应用难降解有机物在厌氧降解时产生气体的量来评价的方法	211
9.3.2	综合因素评价	212
9.4	杂环化合物和多环芳烃的厌氧生物降解	213
9.4.1	杂环化合物和多环芳烃的定义和分类	213
9.4.2	杂环化合物和多环芳烃的主要来源	214
9.4.3	杂环化合物和多环芳烃的毒性和危害	214
9.4.4	杂环化合物和多环芳烃的厌氧生物处理机理	215
9.5	有机染料的厌氧生物降解	218
9.5.1	有机染料废水的来源和特点	218

9.5.2	有机染料废水传统处理方法	218
9.5.3	有机染料废水厌氧菌及厌氧降解机理	219
9.5.4	有机染料废水生物处理方法	219
9.6	制浆造纸废水的厌氧生物降解	220
9.6.1	制浆造纸废水的定义、来源和分类	220
9.6.2	造纸工业的环境污染与危害	221
9.6.3	制浆造纸废水的传统处理方法	221
9.6.4	制浆造纸废水的厌氧生物处理机理	222
9.6.5	制浆造纸废水厌氧处理的不利因素及去除方法	222
10	废水厌氧处理应用实例	224
10.1	啤酒废水的厌氧处理	224
10.1.1	啤酒废水	224
10.1.2	啤酒废水的厌氧处理技术	225
10.1.3	啤酒废水的厌氧处理工艺应用	227
10.2	制浆造纸废水的厌氧处理	230
10.2.1	制浆造纸废水	230
10.2.2	制浆造纸废水的厌氧处理技术	231
10.2.3	制浆造纸废水的厌氧处理工艺应用	233
10.3	含硫酸盐废水的厌氧处理	237
10.3.1	含硫酸盐废水	237
10.3.2	含硫酸盐废水的厌氧处理技术及应用	239
10.4	含油脂类废水的厌氧处理	242
10.4.1	含油脂类废水的产生与特点	242
10.4.2	含油脂类废水的厌氧处理技术	243
10.4.3	含油脂类废水的厌氧处理工艺应用	245
10.5	城市污水的厌氧处理	249
10.5.1	城市污水概况	250
10.5.2	城市污水的厌氧处理技术	250
10.5.3	城市污水的厌氧处理应用实例	253
11	废水厌氧生物处理的研究和分析方法	259
11.1	废水厌氧生物处理监测中 ORP 的测定	259
11.1.1	ORP 测定的基本原理	259
11.1.2	ORP 的测定	260
11.2	生物化学甲烷势的测定	261

11.2.1	概述	261
11.2.2	测定方法	261
11.3	沼气的测定	262
11.3.1	两种液体置换系统	262
11.3.2	测定沼气的组成	263
11.3.3	CH ₄ 的 COD 换算	265
11.4	厌氧污泥产甲烷活性的测定	266
11.4.1	测定目的	266
11.4.2	产甲烷菌的氢化酶活性分析法	266
11.5	最大比产甲烷速率的测定	268
11.5.1	意义	268
11.5.2	测定方法	268
11.5.3	产甲烷速率公式	270
11.6	厌氧生物可降解性的测定	271
11.6.1	测定目的和原理	271
11.6.2	测定条件	271
11.6.3	测定装置	272
11.6.4	测定步骤	272
11.6.5	计算	273
11.7	厌氧消化污泥性质的研究	274
11.7.1	污泥的分类	274
11.7.2	污泥的性质指标	274
11.8	反应器内污泥的测定	275
11.8.1	测定目的和原理	275
11.8.2	仪器和设备	275
11.8.3	总固体、挥发性固体和灰分的测定	276
11.8.4	污泥量测定中的采样	276
11.8.5	污泥量测定的步骤	276
11.8.6	计算	277
11.9	产甲烷毒性的测定	277
11.9.1	概述	277
11.9.2	测定装置	278
11.9.3	情况分析	278
11.9.4	产甲烷毒性测定	278

11.9.5 毒性的表示方法和计算方法·····	279
11.10 厌氧毒性测定方法·····	279
11.10.1 概述·····	279
11.10.2 测定方法·····	279
11.10.3 对毒物的敏感性·····	279
11.10.4 实例·····	279
11.11 厌氧微生物的分离与鉴定·····	280
11.11.1 产酸细菌·····	280
11.11.2 产甲烷菌·····	284
11.11.3 硫酸盐还原菌·····	289
11.12 PCR 技术在废水厌氧生物处理中的应用·····	291
11.12.1 PCR 的原理及其试验方法·····	291
11.12.2 提高 PCR 检测准确率的方法·····	292
11.12.3 厌氧废水处理系统中微生物群落结构变化的 PCR 技术监测 手段·····	293
11.13 微生物传感器在厌氧工艺测定中的应用·····	295
11.13.1 微生物传感器的构成和原理·····	295
11.13.2 微生物传感器的应用·····	296
参考文献 ·····	297

绪论

近年来,我国水资源匮乏和水污染问题日益严重,发展水污染防治新技术迫在眉睫。但是利用传统的好氧生物处理方法要消耗大量能源,负担沉重。因此,既可节能又可产能的厌氧生物处理技术日益为世人所瞩目。

厌氧生物处理是一种低成本的废水处理技术,又是把废水的处理和能源的回收利用相结合的一种技术,可以作为能源生产和环境保护体系的一个核心部分,其产物可以被积极利用而产生经济价值。近 20 年来,经过各国学者的潜心研究,废水厌氧生物处理技术已有了飞速发展,在厌氧微生物学和生物化学等基础研究方面取得了很大进展,同时又成功开发了一批废水厌氧生物处理新工艺。目前,厌氧生物法不仅可以处理高浓度有机废水,而且能处理中等浓度的有机废水,还成功地实现了处理低浓度有机废水的可行性,为废水处理方法提供了一条既高效能又低能耗的,且符合了可持续发展原则的处理废水途径。

1.1 厌氧微生物学的研究概况

厌氧微生物是微生物世界的一个重要组成部分,在自然界中分布广泛,人类生活的环境和人类本身就生存有种类众多的厌氧微生物,它们与人类的关系十分密切。然而由于厌氧微生物的分离和纯种培养的困难,研究厌氧微生物的技术和方法进展又相当缓慢,致使人类对厌氧微生物的认识和利用远远落后于对好氧和兼性厌氧微生物的研究工作。直到近 20 年来,随着厌氧操作技术的不断完善,厌氧微生物研究方法的不断改进,尤其是近 10 多年来许多新技术和方法的应用,使厌氧微生物学获得很大进展,取得了丰硕的成果。下面简要介绍厌氧微生物学的形成发展过程。

1.1.1 国内厌氧微生物学的研究概况

由于厌氧消化细菌的生长繁殖要求极其严格的厌氧条件,研究厌氧消化细菌工作较为困难,所以直到 1978 年,我国科技工作者才开始了厌氧微生物学的研究工作。1980 年美国著名微生物学家,厌氧操作技术的发明者 Hungate 教授应邀来华讲学,这大大促进了我国厌氧消化微生物的研究工作。自 1980 年后,我

国科技工作者将沼气事业和废水厌氧生物处理相结合,对厌氧发酵微生物学进行了大量的研究工作,在厌氧微生物学的研究方面取得了可喜进展。

1.1.1.1 厌氧生物处理中产甲烷菌的研究

近20年来,我国科技工作者对厌氧生物处理中的产甲烷菌进行了非常深入的研究,取得了可喜的进展,使我们对产甲烷菌的生活习性有了更深入的了解。1980年,周孟津和杨秀山分离出巴氏八叠球菌BTC菌株;1984年,钱泽澍分离出嗜树木甲烷短杆菌和甲酸甲烷杆菌TC708,赵一章和尤爱达分离出马氏甲烷八叠球菌C-44;1985年,刘聿太分离出LYC,赵一章和张辉分离出史氏甲烷短杆菌H13,许宝孝分离出HX的菌株;1986年,赵一章和张辉分离出嗜热甲酸甲烷杆菌HB12。1987年是成果最突出的一年,钱泽澍等人共分离出亨氏甲烷螺菌JZ1、活动甲烷微菌CC81和球状产甲烷菌SN等七种产甲烷菌。1989年赵一章等分离出拉布雷微粒甲烷菌Z。

我国学者分离到的几种产甲烷菌的生理生化特性如下:嗜热产甲烷杆菌CB-12,发酵原料为常温沼气池污泥,呈长杆形,革兰染色阳性,无运动性,发酵底物为甲酸、 H_2/CO_2 ,最适生长温度 $60\sim 65^\circ C$,最适生长pH值 $7.0\sim 7.5$;甲烷八叠球菌8505,发酵原料为猪粪,呈球形,8个或更多个细胞包于1个包裹内,革兰染色阳性,无运动性,发酵底物为甲醇、乙酸盐、甲胺、 H_2/CO_2 ,最适生长温度 $35^\circ C$,最适生长pH值7.4;嗜热甲烷杆菌TH-6,发酵原料为酒精厂发酵底部污泥,呈长杆形,革兰染色阴性,无运动性,发酵底物为 H_2/CO_2 ,最适生长温度 $60^\circ C$,最适生长pH值7.0;马氏甲烷球菌C44,8503,发酵原料为成都狮子山污水厂污泥,球形,大小不等,多个菌包于1个包裹内,革兰染色不定,无运动性,发酵底物为甲醇、乙酸盐、三甲胺和 H_2/CO_2 ,最适生长温度 $30\sim 40^\circ C$,最适生长pH值7.0左右。

1.1.1.2 厌氧生物处理中不产甲烷菌的研究

我国科技工作者在研究产甲烷菌的同时,也对不产甲烷菌进行了深入的研究,并且对厌氧发酵过程中产甲烷菌和不产甲烷菌的相互关系进行了积极的探索。1980年,刘克鑫、徐洁泉等人分离出肠杆菌科和芽孢杆菌科中6株产氢细菌;1986年,廖连华从污水处理厂污泥中分离出1株中温性纤维素分解菌和纤维二糖梭菌;1987年,谭倍英从猪粪玉米秸作原料的甲烷发酵液中分离出了1株C菌株的纤维分解细菌;凌代文等从豆制品废水发酵液中分离出水解发酵性细菌;刘聿太分离出了氧化丁酸盐的沃氏互营单胞菌和产甲烷菌的互营培养物;1989年,钱泽澍和马晓航详细研究了丁酸盐降解菌沃氏互营单胞菌和氢营养菌共培养物的组成和互营联合条件;1990年,赵宇华、钱泽澍研究了能降解20个碳的硬脂酸的产氢产乙酸菌和产甲烷菌的互营培养物;闵航获得了1株嗜热性苯甲酸厌氧降解菌和产甲烷菌共培养物,并分离到1株能从

H_2/CO_2 形成乙酸又能利用乙酸的硫酸盐还原菌新种——嗜热氧化乙酸脱硫状菌。

1.1.2 国外厌氧微生物学的研究概况

国外对厌氧微生物的研究比我国早 300 多年,早在 1630 年 Vam elmeut 就第一次发现了由生物质厌氧消化可产生可燃的甲烷气体。1776 年意大利物理学家 Volta 认为甲烷气体的产生与湖泊沉积物中植物体的腐烂有关。1868 年 Becbamp 首次指出甲烷形成过程是一种微生物学过程。1875 年俄国学者 Popoff 也发现了沼气发酵是由微生物所引起的。1901 年荷兰的 N. L. Soehngen 对产甲烷菌的形态特性及其转化作用提出了一个比较清楚的概念,观察到低级脂肪酸可转化为甲烷和 CO_2 , H_2 和 CO_2 发酵可形成甲烷。1902 年 Maze 获得了一种产甲烷的微球菌,后命名为马氏甲烷球菌。1916 年 V. L. Omeliansky 分离一株不产芽孢、发酵乙醇产甲烷菌,后被命名为奥氏甲烷杆菌,现证实它不是一个纯种。1934 年 VanNiel 提出了 CO_2 还原为甲烷的理论。1936 年 Barker 采用化学合成培养基培养阴沟污泥,获得了能很好地发酵乙醇、丙醇和丁醇的有机体。同年 HeukeVelekian 和 Heinemann 提出了一个计算产甲烷菌近似数目的技术。1950 年 R. E. Hungate 发明了厌氧培养技术,为厌氧微生物的分离培养转化提供了一种有效的方法,为以后对产甲烷菌的研究创造了条件。1967 年 M. P. Bryant 采用改良的 Hungate 技术将共生的 Omeliansky 产甲烷杆菌分纯。证明了它是产甲烷杆菌 MOH 菌株和“S”有机体的共生体,使人们长达 51 年来一直认为是纯种的经典产甲烷菌得以弄清楚其本来的面目,使产甲烷菌和产氢菌之间的相互关系得到了证实,揭示了种间分子氢转移的理论,为正确认识厌氧消化过程中 H_2 的产生、消耗和调节规律奠定了基础。1977 年 Thaner 等全面阐述了关于厌氧化能营养型细菌中的能量转化的生物力能学。20 世纪 70~80 年代, Widdel 等分离得到了多种性能各异的硫酸盐还原菌,命名了多个新属,开阔了人们对硫酸盐还原菌的认识。

到 1989 年,已分离获得的产甲烷菌有 3 目 16 科 13 属 43 种;到 1991 年已收集了产甲烷菌 65 种,并且已阐明了产甲烷菌的基质、辅酶、培养条件、能量代谢以及不与产甲烷菌之间的相互作用。

随着厌氧微生物学的不断发展以及对厌氧微生物的不断深入研究,人们对有机物的厌氧消化过程的内在规律将有更深刻的认识,厌氧消化工艺将会不断革新,人们将更好地控制厌氧消化过程。

1.2 厌氧生物处理技术

随着世界能源的日益短缺、废水污染负荷的日益加大及废水中污染物种类的