

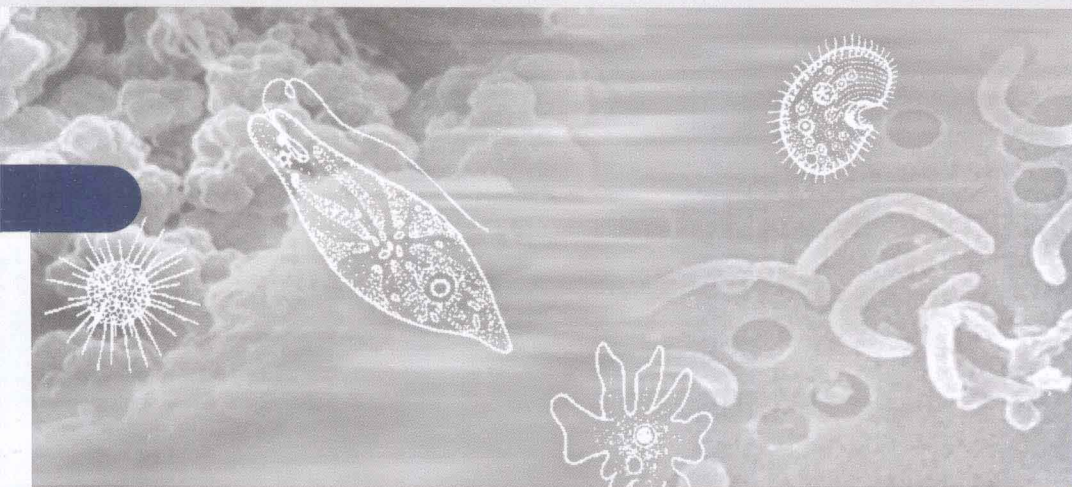
高等学校“十二五”规划教材

给排水科学与工程专业应用与实践丛书

水处理微生物学

赵远 张崇淼 ■ 主编

张小菊 王琴 刘婷 ■ 副主编



化学工业出版社

高等学校“十二五”规划教材

给排水科学与工程专业应用与实践丛书

水处理微生物学

赵远 张崇淼 ■ 主编

张小菊 王琴 刘婷 ■ 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

丛书编委会名单

主 任：蒋展鹏

副 主 任：彭永臻 章北平

编委会成员（按姓氏汉语拼音排序）：

崔玉川 蓝 梅 李 军 刘俊良 唐朝春 王 宏

王亚军 徐得潜 杨开明 张崇森 张林军 赵 远

本书首先介绍了微生物的性状和分类、微生物的生理、微生物的生长繁殖、微生物的遗传和变异以及微生物的生态系统方面的基础知识；之后介绍了水处理工程中的微生物污染，好氧生物处理的原理与应用，厌氧生物处理原理及应用，水体富营养化和脱氮除磷技术，水中病原微生物的检测及去除，以及生物修复技术。

本书在提供基本知识、基本理论和基本操作技能的前提下，结合最新前沿技术，编入更多的案例，理论与实践的结合，使内容更加简单易懂，实用性更强。本书可供给排水科学与工程、环境工程、环境科学、市政工程等相关专业师生阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

水处理微生物学/赵远，张崇森主编．—北京：
化学工业出版社，2013.7

（高等学校“十二五”规划教材 给排水科学与
工程专业应用与实践丛书）

ISBN 978-7-122-17437-6

I. ①水… II. ①赵…②张… III. ①水处理-生物
处理-教材 IV. ①TU991.2②X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 109860 号

责任编辑：徐 娟

装帧设计：关 飞

责任校对：陶燕华

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 刷：北京云浩印刷有限责任公司

装 订：三河市前程装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 486 千字 2014 年 1 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：45.00 元

版权所有 违者必究

给排水科学与工程专业应用与实践丛书

本套丛书邀请知名专家进行组织,突出“回归工程”的指导思想,为适应培养高等技术应用型人才的需要,立足教学和工程实际,在讲解基本理论、基础知识的前提下,重点介绍近年来出现的新工艺、新技术与新方法。丛书中编入了更多的工程实际案例或例题、习题,内容更简明易懂,实用性更强,使学生能更好地应对未来的工作。具体丛书品种如下。

书 名	书号	主编	出版时间	定价(元)
水文与水文地质学	9787122163202	王亚军	2013.5	48
水资源利用与保护	9787122162908	徐得潜	2013.5	45
给排水科学与工程专业英语	9787122162632	蓝梅	2013.3	32
给水排水管网	9787122165053	杨开明,周书葵	2013.6	29.8
水处理微生物学	9787122174376	赵远,张崇森	2014.1	45
建筑给水排水工程		张林军	2014.1	
建筑给水排水工程习题集		王宏	2014.1	
给排水科学与工程专业毕业设计基础及实例		刘俊良,李思敏	2014.1	
城镇污水污泥处理构筑物设计计算		崔玉川	2014.1	
给水排水工程施工		唐朝春	2014	
工业水处理		李杰	2014	
水分析化学		张伟,鄢恒珍	2014	
给水排水工程材料、设备和仪表基础		李军	2014	
水质工程学		章北平	2014	

如需更多图书信息,请登录 www.cip.com.cn 服务电话:010-64518888,64518800(销售中心)

网上购书可登录化学工业出版社天猫旗舰店:<http://hxgyCBS.tmall.com>

也可通过当当网、卓越亚马逊、京东商城输入书号购买

邮购地址:(100011)北京市东城区青年湖南街13号 化学工业出版社

如要出版新著,请与编辑联系。联系电话:010-64519526

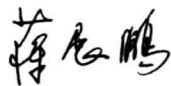
丛书序

在国家现代化建设的进程中，生态文明建设与经济建设、政治建设、文化建设和社会建设相并列，形成五位一体的全面建设发展道路。建设生态文明是关系人民福祉，关乎民族未来的长远大计。而在生态文明建设的诸多专业任务中，给排水工程是一个不可缺少的重要组成部分。培养给排水工程专业的各类优秀人才也就成为当前一项刻不容缓的重要任务。

21 世纪我国的工程教育改革趋势是“回归工程”，工程教育将更加重视工程思维训练，强调工程实践能力。针对工科院校给排水工程专业的特点和发展趋势，为了培养和提高学生综合运用各门课程基本理论、基本知识来分析解决实际工程问题的能力，总结近年来给排水工程发展的实践经验，我非常高兴化学工业出版社能组织编写全国几十所高校的一线教师编写这套丛书。

本套丛书突出“回归工程”的指导思想，为适应培养高等技术应用型人才的需要，立足教学和工程实际，在讲解基本理论、基础知识的前提下，重点介绍近年来出现的新工艺、新技术与新方法。丛书中编入了更多的工程实际案例或例题、习题，内容更简明易懂，实用性更强，使学生能更好地应对未来的工作。

本套丛书于“十二五”期间出版，对各高校给排水科学与工程专业和市政工程专业、环境工程专业的师生而言，会是非常实用的系列教学用书。



2013 年 1 月

前 言

目前,水污染问题日益严重。城市污染水和工业废水排放造成大部分水体的污染。污染控制和水环境修复是水资源可持续利用长期必须面对的重大问题之一。利用先进的生物技术处理污染物越来越引起人们的普遍重视,许多水处理技术与环境生物技术已成功地应用于与环境污染相关的诸多领域与环节,更多的技术则正在不断开发、拓展和完善。而处理污染物相关的微生物学发展非常迅速,新技术、新方法不断涌现,特别是分子生物学技术的发展更是令人瞩目。针对目前本科生毕业有相当一部分学生又要继续攻读研究生的现状,从科研和实际工作需求的角度,本书除介绍水处理微生物学基本知识、基本原理、处理的基本工艺外,结合水处理工程的实际需要,介绍了与水处理工程有关的内容和理论,并适当补充了水环境饮用水等方面内容,使读者能够适时了解并掌握水处理微生物学的最新发展动态和技术应用情况。

水处理微生物学与水处理工程有密切的关系,它是一门实践性很强的学科。本书紧扣水处理工程和微生物学两条紧密结合的主线,在介绍基本原理、技术的基础上,注重于环境生物技术在水处理领域的应用,并且给出许多实践中丰富的案例,旨在深入阐述水处理微生物技术的基础上,建立一个有效的水处理微生物技术选择的定性和定量模式,以期更好地指导我国水环境领域污染处理技术开发、应用推广。我们希望本书能对高等院校师生和广大科技工作人员有所帮助,同时对我国环境教育的发展做出贡献。

全书共12章。第1章绪论,概述水处理微生物学的研究对象和任务以及微生物的基础知识;第2章微生物的性状和分类,简述真核生物、原核生物及病毒的基础知识;第3章微生物的生理,简述微生物发生生化反应的酶相关知识,微生物的营养、呼吸、物质代谢,难降解物质等;第4章微生物的生长,简述微生物培养和分离技术及微生物生长条件;第5章微生物的遗传和变异,简述微生物的遗传物质基础,基因技术,菌种培育及保存技术;第6章微生物的生态系统,简述微生物在自然界中的存在状态,微生物在自然界中的循环等;第7章水环境中的微生物污染,简述水处理污染的微生物来源及途径,微生物污染种类,水处理工程中的细菌污染和病毒污染;第8章水处理工程中好氧生物处理的原理与应用,简述好氧生物处理的基本原理及生物处理方法、工艺;第9章水处理工程中厌氧生物处理的原理及应用,简述厌氧生物处理的微生物原理及生理特征以及厌氧处理工艺;第10章水体富营养化和脱氮除磷技术,简述水体富营养化现象、原因、危害及控制水体富营养化的措施与方法,生物脱氮除磷基本原理、基本流程、基本工艺;第11章水中病原微生物的检测及去除,简述水中的病原微生物及其检测技术,饮用水的深度净化技术,饮用水消毒,及病原微生物的去除工艺;第12章生物修复技术,简述生物修复技术原理、水处理工程中微生物修复技术,并介绍了一些案例。

参与本书编写的有赵远研究员(第1章、第4章部分、第9章部分、第12章部分)、王琴副教授(第2章)、张小菊老师(第3章)、孙向武副教授(第4章)、张崇森副教授(第5章、第7章、第12章部分)、张翠英副教授(第6章、第11章部分)、刘婷老师(第8章)、代红艳老师(第10章)、申蓉艳博士(第9章部分)、马伟芳副教授(第11章部分)、蓝梅副教授(第12章部分)等。最后由赵远研究员统稿。本书在编写的过程中,除参考了相关书籍外,还参考了大量国内外学者、科研单位、生产企业等的研究成果及资料,在此一并表示感谢。

由于本书涉及多学科交叉,内容广泛,加之科学技术发展迅速,新成果不断涌现,以及编者水平和编写时间的限制,难免有遗漏之处,热忱希望广大读者和同行提出宝贵意见,以利于以后进一步修改提高。

主编
2013年7月

目 录

第1章 绪论	1	2.3.4 病毒的测定和培养	37
1.1 微生物在自然界的主要作用	1	2.3.5 病毒对物理、化学、抗生 素的抵抗力	38
1.2 水处理微生物学的研究对象和 任务	1	参考文献	39
1.3 微生物学在水处理过程中的 作用	1	第3章 微生物的生理	41
1.4 微生物概述	2	3.1 微生物的酶	41
1.4.1 微生物的定义	2	3.1.1 酶的组成和结构	41
1.4.2 原核微生物与真核微生物	2	3.1.2 酶的命名和分类	42
1.4.3 微生物的分类	3	3.1.3 酶的催化特性	43
1.4.4 微生物的分类单位、命名和 分类依据	3	3.1.4 影响酶促反应的因素	43
1.4.5 微生物的生物学特点	4	3.2 微生物的营养	45
参考文献	4	3.2.1 微生物细胞的化学组成和 营养要素	45
第2章 微生物的性状和分类	5	3.2.2 微生物的营养类型	47
2.1 原核微生物	5	3.2.3 微生物对营养物质的吸收	48
2.1.1 细菌	5	3.2.4 培养基	49
2.1.2 放线菌	13	3.3 微生物的代谢	52
2.1.3 蓝细菌	16	3.3.1 新陈代谢的有关概念	52
2.1.4 其他原核生物类群	17	3.3.2 微生物的产能代谢	53
2.1.5 水环境中常见的原核微生 物类群	20	3.3.3 微生物的合成代谢	57
2.2 真核微生物	22	3.3.4 微生物代谢的调节	58
2.2.1 真菌	22	3.4 微生物对难降解物的降解和 转化	60
2.2.2 藻类	25	3.4.1 污染物的生物降解性	60
2.2.3 原生动物	27	3.4.2 石油类物质的分解与转化	61
2.2.4 后生动物	27	3.4.3 合成有机物的降解和转化	63
2.2.5 水环境中常见的真核微生 物类群	29	3.4.4 微生物对重金属污染物的 转化	64
2.3 非细胞生物的超微生 物——病毒	34	参考文献	65
2.3.1 病毒的一般特征及主要 类群	35	第4章 微生物的生长	66
2.3.2 病毒的形态结构	35	4.1 微生物生长的测定	66
2.3.3 病毒的增殖	35	4.1.1 细胞数的测定	66
		4.1.2 细胞生物量的测定	68
		4.2 微生物的生长规律	69

4.2.1 单细胞微生物的典型生长曲线	69
4.2.2 生长的数学模型	71
4.2.3 微生物的同步培养	72
4.2.4 厌氧培养	75
4.3 环境因子对微生物的影响	77
4.3.1 微生物生长的环境条件	77
4.3.2 生物因子	80
参考文献	81
第5章 微生物的遗传和变异	82
5.1 微生物遗传变异的物质基础	82
5.1.1 遗传和变异的物质基础	82
5.1.2 DNA的结构和复制	84
5.1.3 DNA的存在形式	86
5.2 微生物的基因突变	87
5.2.1 突变的类型	87
5.2.2 基因突变的机制	88
5.3 微生物的基因重组	90
5.3.1 原核微生物的基因重组	90
5.3.2 真核微生物的基因重组	91
5.4 微生物的菌种选育	92
5.4.1 水处理工程菌种筛选程序	92
5.4.2 微生物的诱变育种	92
5.4.3 原生质体融合育种	93
5.4.4 基因工程技术用于高效工程菌种改良	95
5.5 微生物菌种保藏及复壮	95
5.5.1 微生物菌种保藏	95
5.5.2 菌种的退化与复壮	98
5.6 分子生物学技术及其在水处理工程中的应用	98
5.6.1 聚合酶链反应技术	98
5.6.2 变性梯度凝胶电泳 (DGGE) 技术	100
5.6.3 荧光原位杂交技术	101
5.6.4 分子生物学技术在水处理中的应用	102
5.7 微生物新技术的研究与应用	104
5.7.1 固定化技术及应用	104
5.7.2 水处理工程中生物强化技术及应用	106
5.7.3 微生物制剂的开发和应用	107
参考文献	109

第6章 微生物的生态系统	111
6.1 水处理生态系统的基本概念及特征	111
6.1.1 生态系统及其基本结构	111
6.1.2 生态系统的功能	112
6.1.3 水生生态系统的基本特征与类型	113
6.1.4 微生物在生态系统中的作用	115
6.2 微生物在各生态系统中的分布	116
6.2.1 水体微生物生态	116
6.2.2 土壤微生物生态	118
6.2.3 空气微生物生态	120
6.3 微生物的生物群落	121
6.3.1 生物群落及其基本特征	121
6.3.2 微生物群落的演替	122
6.3.3 微生物群落的基本特征	123
6.4 微生物之间的相互关系	123
6.4.1 互生	123
6.4.2 共生	124
6.4.3 寄生	125
6.4.4 拮抗	125
6.4.5 捕食	126
6.5 微生物与自然界的物质循环	126
6.5.1 碳素循环	126
6.5.2 氮素循环	127
6.5.3 硫素循环	129
6.5.4 其他元素的微生物转化	130
参考文献	131
第7章 水环境中的微生物污染	133
7.1 水体中的微生物来源及相关的水污染	133
7.1.1 水体中的微生物来源	133
7.1.2 与微生物相关的水污染	134
7.2 水中病原微生物的种类和特性	135
7.2.1 病原菌	135
7.2.2 病毒	139
7.2.3 病原性原生动物	141
7.2.4 蠕虫	144
7.2.5 蓝绿藻	145
7.3 水中病原微生物的存活、分布	

和传播	146	9.2.3 产酸发酵菌群代谢的 NADH/NAD ⁺ 调节	188
7.3.1 病原微生物在水中存活的 影响因素	146	9.2.4 产甲烷菌的生态分布	189
7.3.2 病原微生物在水环境中的 分布	148	9.3 厌氧生物处理工艺学	189
7.3.3 水中病原微生物的传播及 控制	149	9.3.1 厌氧生物处理工艺条件及 其控制	189
7.3.4 指示微生物及其水质卫生学 意义	150	9.3.2 废水厌氧生物处理工艺	194
参考文献	153	参考文献	198
第 8 章 水处理工程中好氧生物 处理的原理及应用	155	第 10 章 水体富营养化和脱氮除 磷技术	200
8.1 好氧生物处理的基本原理	155	10.1 水体富营养化现象	200
8.2 活性污泥法	155	10.1.1 水体富营养化产生的 原因	200
8.2.1 好氧活性污泥中的微生物 群落	155	10.1.2 水体富营养化的危害	200
8.2.2 活性污泥法的各种演变及 应用	164	10.1.3 富营养化水体中的常见 藻类	201
8.3 生物膜法	166	10.1.4 评价水体富营养化的 指标	201
8.3.1 好氧生物膜中的微生物 群落	167	10.1.5 控制水体富营养化的措施 和方法	202
8.3.2 生物膜法的基本流程及 特征	168	10.2 生物脱氮	204
8.3.3 生物膜反应器	170	10.2.1 水体中氮化物的危害	204
8.4 自然处理法	171	10.2.2 生物脱氮的基本原理	204
8.4.1 稳定塘	171	10.2.3 生物脱氮的基本流程	206
8.4.2 污水的土地处理系统	174	10.2.4 影响脱氮作用的环境 因素	209
参考文献	175	10.2.5 同步硝化反硝化	211
第 9 章 水处理工程中厌氧生物 处理的原理及应用	176	10.3 生物除磷	213
9.1 厌氧生物处理的微生物原理及 生理特征	176	10.3.1 生物除磷的基本原理	213
9.1.1 厌氧生物处理的原理	176	10.3.2 生物除磷的基本流程	214
9.1.2 厌氧生物处理的主要特征	179	10.3.3 影响生物除磷的主要 因素	216
9.1.3 非产甲烷菌	179	10.4 同步脱氮除磷技术	218
9.1.4 产甲烷菌	180	10.4.1 A ² /O 法同步脱氮除磷 工艺	218
9.2 厌氧生物处理的微生物生 态学	184	10.4.2 巴颠甫 (Bardenpho) 脱氮 除磷工艺	219
9.2.1 厌氧生物处理过程中微生物 优势群的演替	184	10.4.3 Phoredox 工艺	220
9.2.2 非产甲烷菌和产甲烷菌之间 的关系	186	10.4.4 UCT 工艺	220
		10.4.5 VIP 工艺	220
		10.4.6 氧化沟同步脱氮除磷 工艺	221
		10.4.7 其他传统同步脱氮除磷 工艺	221

参考文献	222
------------	-----

第 11 章 水中病原微生物的检测及去除

223

11.1 常用水质卫生学指标的检测方法	223
11.1.1 细菌总数的测定	223
11.1.2 大肠菌群的测定	223
11.1.3 粪大肠菌群的测定	224
11.1.4 噬菌体的测定	224
11.2 水中病原微生物的浓缩和检测方法	225
11.2.1 病原微生物浓缩方法	225
11.2.2 病原微生物检测方法	226
11.3 微污染水源水的生物预处理	227
11.3.1 微污染水源水污染源、污染物及预处理的目的	227
11.3.2 微污染水源水生物预处理的特点和可行性	227
11.3.3 生物氧化预处理技术	228
11.4 饮用水的深度净化技术	230
11.4.1 臭氧活性炭吸附	230
11.4.2 活性炭吸附	231
11.4.3 光催化氧化	232
11.4.4 生物活性炭	233
11.4.5 吹脱法	233
11.4.6 膜技术	234
11.5 饮用水消毒	236

11.5.1 氯和含氯物质消毒	236
11.5.2 碘消毒	237
11.5.3 臭氧氧化	237
11.5.4 银离子消毒	237
11.5.5 紫外线消毒	237
11.5.6 超声波消毒	238
11.5.7 饮用水的加热消毒	238
11.6 污水处理工艺对病原微生物的去除	238
11.6.1 污水处理工艺对病原菌的去除	239
11.6.2 污水处理工艺对病毒的去除	241
参考文献	242

第 12 章 生物修复技术

244

12.1 生物修复技术原理	244
12.1.1 生物修复概述	244
12.1.2 用于生物修复的微生物类型	246
12.1.3 微生物修复的影响因素	247
12.2 水处理工程中微生物修复技术	250
12.2.1 主要的生物修复技术	250
12.2.2 生物修复技术的优点和局限性	251
12.2.3 评价生物修复可行性的程序	251
参考文献	252

第1章

绪论

1.1 微生物在自然界的主要作用

微生物分布广、繁殖快、代谢强的特点,使它们在自然界的物质循环中,肩负着矿化作用的责任,尤其在地球化学方面有宏伟的转化作用。其实,微生物在自然界不仅进行矿化作用,并且还控制着大气中二氧化碳的分压和植物可利用二氧化碳的比例。如果,微生物分解动、植物尸体或它们的代谢产物的速度低时,则地球表面便累积动植物尸体和它们的代谢产物,同时,由于二氧化碳供应受阻,在地球上生存的各种生物都会因食物不足而慢慢完结;反之,如果微生物代谢作用过高,则地球表面就要迅速累积一层不含有有机物质的砂土和黏土,而不利于植物的生长。因此,只有微生物适量的活动下,使矿化作用的速度维持这样一个平衡:既分解有机物质免于尸体累积,又保留适当的有机物质于土壤中,以便保持土壤的肥沃性和植物能以继续得到必需的二氧化碳及其他营养物质。维护整个自然界的生态平衡,保证自然界的繁荣昌盛。由此可见,微生物在自然界中的作用是不可估量的。

大部分微生物对人有利,它们在自然界物质的转化中,起重大的作用,没有这些微生物,无论动物和植物,都将不能生存。但也有一小部分微生物可使人 and 动植物患病,这类微生物称为病原微生物,或称致病微生物。研究微生物在一定环境条件下生活规律和微生物在自然界中所起作用的科学,称微生物学。微生物学是生物学的一部分,由于它在人类生活中具有很大的意义,故发展成一门独立的生物学科。

1.2 水处理微生物学的研究对象和任务

微生物都是个体很小的生物,其大小要用微米(μm)来量测,因此一般用肉眼都不见,只有在显微镜下把它们放大后才能看到。微生物学研究微生物的形态、分类和生理等特性,研究它们生活的环境条件和它们在自然界物质转化中所起的作用以及控制它们生命活动的方法。由于微生物的种类繁多、应用广泛,在医学、农业、环境保护、工业生产等领域中,对微生物的研究各有侧重。本书在研究微生物的一般形态和生理特性的基础上,着重讨论与水处理有关的问题。

微生物在水处理工程中起着很重要的作用。水处理和环境保护的工程技术人员,必须掌握水处理微生物学的基本知识,了解微生物的形态、生理特性和控制它们的方法,基本掌握微生物在水处理中的作用机理和规律,以便有效地去除水中有害的微生物,或者为有益的微生物创造适宜的繁殖条件,而提高废水处理的效率;同时还必须掌握水环境微生物的检验方法,根据检测结果来确定水和废水的生物学性质,判定水体污染和自净的程度。总而言之,《水处理微生物学》是水处理和环境保护工作者必须掌握的重要技术基础知识。

1.3 微生物学在水处理过程中的作用

早在19世纪,人们就对介水病原菌进行研究,并通过对饮用水采取过滤和消毒等措施,大

大降低了伤寒和霍乱的发病率。至今,由水体自净过程发展而来的废水微生物处理技术,已在环境工程上广泛应用。污水的微生物处理是利用微生物的代谢反应进行的一种处理方法,因此在微生物处理设施的运转管理中,必须创造微生物的最适环境和营养条件。污水的微生物处理是包括细菌、原生动物等很多种类生物的混合生物体系的共同作用结果,其中存在着各种微生物种群之间复杂的生存竞争和生态平衡关系,因而会出现纯培养中想象不到的现象,这就是生物处理的难度所在。

微生物与水处理工程是以解决 21 世纪世界面临的水污染日趋严重、水资源急剧短缺,实现水环境恢复和水资源可持续发展为目的的科学,其研究内容是人类经济建设和社会发展中待解决的重要问题。微生物与水处理工程的关键是污水处理的微生物及处理工艺,而贯穿其间的是微生物学基础理论及微生物处理污水的相关技术和方法,工程技术的实施、构筑物及设备的设计和运行是去除污染物、净化污水的手段,其最终目的是净化水环境,建立污水的资源化工艺,造福人类。

污水生物处理技术已有 100 多年的历史。长期以来,污水生物处理技术以其特有的技术、经济和环境优势,一直是水处理的主要技术,在城市污水和工业废水的处理、深度处理和再生利用,以及微污染水源水和饮用水的深度处理等各个方面发挥着越来越重要的作用。微生物有其容易发生变异的特点,随着新污染物的产生和数量的增多,微生物的种类可随之相应增多,显现出更加的多样性。随着微生物学中各个分支学科相互渗透,尤其是分子生物学、分子遗传学的发展,促进了微生物分类学的完善,促进了微生物应用技术的进步,推动了生物工程、酶学和基因工程在各个领域的应用和长足的发展,也有力地促进了水处理微生物工程的发展。随着水处理微生物工程技术的发展,水和污水生物处理的新技术、新工艺不断出现,如固定化酶、固定化微生物细胞处理工业废水,筛选优势菌,筛选处理特种废水的菌种,甚至在探索用基因工程菌处理污水;在传统的生物处理技术基础上,出现了许多革新的技术和代用的技术,有力地促进了水处理技术的进步,推动了环境工程、给水排水等学科的发展。

1.4 微生物概述

1.4.1 微生物的定义

微生物是指肉眼看不见的、需借助显微镜才能观察到的一类微小生物的总称。它是一大群种类各异、独立生活的生物体。这些微小的生物包括无细胞结构不能独立生活的病毒、亚病毒(类病毒、拟病毒、朊病毒)、原核细胞结构的真细菌、古细菌和有真核细胞结构的真菌(酵母、霉菌等)。有的也把藻类、原生动物包括在其中。在以上这些微小生物群中,大多数是肉眼看不见的,有的像病毒等生物体,即使在普通光学显微镜下也看不到,必须在电镜下才能观察得到。

1.4.2 原核微生物与真核微生物

微生物按其结构分为细胞型和非细胞型两类。凡是有细胞形态的微生物称为细胞型微生物,按其细胞结构又可分为原核微生物和真核微生物。原核生物细胞没有明显的核区,核区内只有一条双螺旋结构的脱氧核糖核酸(DNA)构成的染色体;原核生物细胞的核区没有核膜包围,称为原核。真核生物细胞内有一个明显的核,其染色体除含有双螺旋结构的脱氧核糖核酸(DNA)外还含有组蛋白,核由一层核酸包围,称为真核。

原核微生物包括细菌、放线菌、立克次氏体、衣原体、支原体、蓝细菌和古细菌等。它们都是单细胞原核生物,形态结构简单,单生或聚生;个体微小,一般为 $1\sim 10\mu\text{m}$,仅为真核细胞的十分之一至万分之一;无细胞核结构,只有核物质存在的核区;大都为无性生殖,多行分裂生殖,有的以孢子繁殖;生理类型多样,多数需有机养料,有的进行光合自养或化能自养;需氧、厌氧或兼性好氧。原核微生物中的某些属种能利用空气中的氮。

真核微生物,是具有由核膜、核仁及染色体(质)构成的典型细胞核,有丝分裂,细胞质中有线粒体等多种细胞器的微生物。真核微生物的基本类群有真菌、显微藻类、原生动物及黏菌。

1.4.3 微生物的分类

微生物分类的任务是在全面了解微生物生物学特征的基础上,研究它们的种类,探索其起源、演化以及与其他生物种群之间的亲缘关系,进而提出能反映自然发展的分类系统,并将微生物加以分门别类。所谓分类,就是在对大量微生物进行逐一观察、分析与描述的基础上,按照它们个体发育的形态、培养特征、生理生化特性和细胞化学组分等一系列性状的异同和主次,并根据它们的亲缘关系和应用方便,加以分门别类(归纳为纲、目、科、属和种),从而制定为鉴定用的检索表。所谓鉴定,则是对某一具体的微生物的性状进行细致的观察和测试,参照一定的检索表,用对比分析的方法来确定该微生物的分类地位。对与已知菌相同的种,就采用已知菌的名称;与已知菌不同者,可按照国际命名法则,给新种定名。

自然科学在不断发展,人们对客观事物的认识也总是在不断深化。当然,对微生物的分类也在不断进行修改、完善和补充。目前,虽然对微生物的认识比以前深入了许多,但在很多方面还了解得不够;对它们彼此之间的亲缘关系还不十分清楚。所以,目前还不能完全按照亲缘关系进行分类,在微生物的分类系统中仍有人为的分类参与;即使是按照亲缘关系来分类,由于人们的认识不一致,在分类系统的问题上就会发生分歧。因此,就形成了不同的分类系统。就细菌来说,目前就有三个比较全面的分类系统。几种分类系统现在还没法统一起来。这样往往同一微生物在不同的分类系统中,就会有不同的归属,给微生物的鉴定带来了困难。微生物分类与其他较大的生物(动、植物)分类相比较,显得很不够成熟。

1.4.4 微生物的分类单位、命名和分类依据

微生物和其他生物分类一样,分为七个基本的分类等级(taxonomic rank)或分类阶元(taxonomic category),由上而下依次是:界、门、纲、目、科、属、种。在分类上,若这些分类单元的等级不足以反映某些分类单元之间的差异时也可以增加亚等级,即亚界、亚门、……、亚种。

以酿酒酵母为例,它在分类系统中的归属情况为:真菌门;子囊菌纲;原子囊菌亚纲;内孢霉目;内孢霉科;酵母亚科;酵母属;酿酒酵母。

在上述分类单位中,种是最基本的分类单位。作为分类单元的等级,微生物的种可以看做是:具有高度特征相似性的菌株群,这个菌株群与其他类群的菌株有很明显的区别。正是由于微生物种的划分缺乏统一的客观的标准,分类学上已经描述的种潜藏着不稳定性,有的种可能会随着认识的深入,分种依据的变化而进行必要的调整。

亚种,当某一个种内的不同菌株存在少数明显而稳定的变异特征或遗传性而又不足以区分成新种时,可以将这些菌株细分成两个或更多的小的分类单元——亚种。亚种是正式分类单元中地位最低的分类等级。

型,常指亚种以下的细分,当同种或同亚种不同菌株之间的性状差异,不足以分为新的亚种时,可以细分为不同的型。例如,按抗原特征的差异分为不同的血清型;按对噬菌体裂解反应的不同分为不同的噬菌型等。

菌株,从自然界分离得到的任何一种微生物的纯培养物都可以称为微生物的一个菌株;用实验方法(如通过诱变)所获得的某一菌株的变异型,也可以称为一个新的菌株,以便与原来的菌株相区别。菌株是微生物研究相应应用中最基本的操作实例。一般地讲,自然界中的“种”应该是有限的,但菌株是无限的。菌株的表示方法是在种名后面加编号、字母或其他符号以示区别。

同一种微生物在不同的国家或地区常有不同的名称,这就是俗名(vernacular name)。俗名在局部地区可以使用,但不便于交流,容易引起混乱。为在世界范围内交流和开展工作,要求给每种微生物取一个公认的科学名称,微生物的命名同样采用生物学中一贯沿用的林奈(Linnae-

us) 氏的“双名法”(Binomial nomenclature)命名。这种国际命名法的一般规则如下。(1) 每种具有显著特征的微生物,称之为“种”。(2) 每个种给一个名字,其学名通常由两个拉丁词组成,斜体书写。如大肠杆菌的学名是 *Escherichia coli*。(3) 第一个词是属名,属名的第一个字母要大写。属名是由拉丁词或希腊词或拉丁化了的其他文字所构成。(4) 学名的第二个词为种名,是拉丁语中的形容词,表示微生物的次要特征。种名的首字母不大写。(5) 通常在种名的后面是命名人的姓以及命名的时间。(6) 亚种名为三元式组合,即由属名、种名和亚种名构成。(7) 有时只讲某一属的菌,不讲某一个具体的种,或没有种名时,用属名后加 sp. (单数) 或 spp. (复数) 表示。

1.4.5 微生物的生物学特点

微生物除具有生物的共性外,也有其独特的特点,正因为其具有这些特点,才使得这样微不可见的生物类群引起人们的高度重视。

(1) 种类繁多,分布广泛。微生物的种类极其繁多,目前已发现的微生物达 10 万种以上,并且每年都有大量新的微生物菌种报道,微生物的多样性已在全球范围内对人类产生巨大影响。首先微生物为人类创造了巨大的物质财富,目前所使用的抗生素药物,绝大多数是微生物发酵产生的,以微生物为劳动者的发酵工业,为工、农、医等领域提供各种产品。

微生物分布非常广泛,可以说微生物无处不有、凡是有高等生物生存的地方,都有微生物存在,甚至某些没有其他生物生存的地方,也有微生物存在,例如在冰川、温泉、火山口等极端环境条件下也有大量微生物分布。土壤是微生物的大本营,尤其是耕作的土壤中,微生物的含量很大,1g 沃土中含菌量高达几亿甚至几十亿,一般土壤越肥沃,其含菌量越高,表层土中比深层土中的含菌量高。

(2) 生长繁殖快,代谢能力强。微生物生长繁殖的速度是高等生物所无法比拟的,大肠杆菌在适宜的条件下,每 20min 即繁殖一代,24h 可繁殖 72 代,由一个菌细胞就可繁殖到 4.7×10^{21} 个,如果将这些新生菌体排列起来,可绕地球一周有余。微生物生长繁殖的速度之所以如此之快,是因为微生物的代谢能力很强,由于微生物个体微小,单位体积的表面积相对很大,有利于细胞内外的物质交换,细胞内的代谢反应较快。正因为微生物具有生长快、代谢能力强的特点,才使得它们在地球上的物质转化以及工农业生产上起到重要作用,但也正是由于这些特点,微生物也曾经或随时都有可能给人类带来疫病的灾难。

(3) 遗传稳定性差,容易发生变异。微生物个体微小,对外界环境很敏感,抗逆性较差,很容易受到各种不良外界环境的影响。另外,微生物的结构简单,缺乏免疫监控系统(如高等动物的免疫系统),所以很容易发生遗传形状的变异。微生物的遗传不稳定性,是相对高等生物而言的,实际上在自然条件下,微生物的自发突变频率在 10^{-6} 左右。

微生物的遗传稳定性差,给微生物菌种保藏工作带来一定不便,一般在能满足生产需要的情况下,尽量减少菌种的转接代数,并且不断检测菌种的纯度和活力,一旦出现菌种因突变而退化的现象,就必须对菌种进行复壮工作。另一方面,正因为微生物的遗传稳定性差,其遗传的保守性低,使得微生物菌种培育相对容易得多。通过育种工作,可大幅度地提高菌种的生产性能,其产量性状提高幅度是高等动植物所难以实现的。目前在发酵工业上,所用的生产菌种大多是经过突变培育的,其生产性能比原始菌株提高几倍、几十倍、甚至几百倍。

参 考 文 献

- [1] 车振明主编. 工科微生物学教程. 成都: 西南交大出版社, 2007.
- [2] 杨汝德主编. 现代工业微生物学. 北京: 科学出版社, 2001.
- [3] 高鼎主编. 食品微生物. 北京: 中国商业出版社, 1996.
- [4] 贾英民主编. 食品微生物. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
- [5] 顾夏声等编. 水处理微生物学. 第 5 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.

第2章

微生物的性状和分类

2.1 原核微生物

原核微生物的核原始且发育不全，核质裸露，与细胞质没有明显的界线，称为拟核或类核。原核微生物没有细胞器。只有由细胞质膜内陷形成的不规则的泡沫结构体系，如中间体和光合作用层片及其他内折，也不进行有丝分裂。原核微生物主要包括细菌门和蓝细菌门中的所有微生物。

2.1.1 细菌

细菌 (bacterium) 是一种具有细胞壁的单细胞原核生物，多以二分裂方式繁殖，个体微小，细胞细短，结构简单，多数在 $1\mu\text{m}$ 左右，通常用放大 1000 倍以上的光学显微镜或电子显微镜才能观察到。各种细菌在一定的环境条件下，有相对恒定的形态和结构，是一个完整的生命体。

2.1.1.1 细菌的形态和大小

就单个有机体而言，细菌的基本形态有三种：球状、杆状和螺旋状，分别称为球菌、杆菌和螺旋菌（包括弧菌）。在自然界所存在的细菌中，杆菌最为常见，球菌次之，而螺旋菌最少。此外，近些年来还陆续发现了少数其他形态，如三角形、方形和团盘形等形态的细菌。

(1) 球菌。细胞呈球形或椭圆形，其大小以细胞直径来表示，一般为 $0.5 \sim 1.0\mu\text{m}$ 。有些球菌在分裂后子细胞并不立即分开，这样，由于球菌分裂面的不同，使得分裂后各子细胞相互黏连方式和程度不同而呈现不同的空间排列方式（图 2-1）。如果只有一个分裂面，新个体分散而单独存在，或成对排列，或链状排列，就形成了单球菌，如尿素微球菌 (*Micrococcus ureae*)；双球菌，如肺炎双球菌 (*Diplococcus pneumoniae*)；链球菌，如乳链球菌 (*Streptococcus lactis*)。如果有两个分裂面并且相互垂直就形成四联球菌，如四联微球菌 (*Micrococcus tetragenus*)。如果有三个分裂面并相互垂直，就形成八叠球菌，如巴氏甲烷八叠球菌 (*Methanosarcina barkeri*)。如果分裂面不规则，子细胞排列无次序而像一串葡萄，就形成葡萄球菌，如金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)。

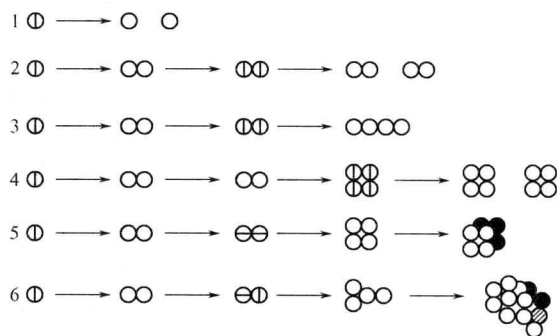


图 2-1 球菌的排列

1—单球菌；2—双球菌；3—链球菌；4—四联球菌；
5—八叠球菌；6—葡萄球菌

(2) 杆菌。该菌细胞呈杆状或圆柱形，其大小以宽度和长度表示。杆菌的宽度一般为 $0.5 \sim 2.0\mu\text{m}$ ，长度为宽度的一倍或几倍。杆菌按大小可细分为小型杆菌 [$(0.2 \sim 0.4\mu\text{m}) \times (0.7 \sim$

1.5 μm)]、中型杆菌 [(0.5~1.0 μm) $\times$ (2~3 μm)] 和大型杆菌 [(1~1.25 μm) $\times$ (3~8 μm)]；按着细胞排列方式有单杆菌、双杆菌和链杆菌，如图 2-2 所示。常见的枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、大肠杆菌 (*Escherichia coli*)、奥氏甲烷杆菌 (*Methanobacterium omelianskii*) 等都属于这类细菌。一般来讲，同一种杆菌的粗细比较稳定，但长度常因发育阶段或培养条件的不同而有较大的变化。

(3) 螺旋菌。该菌细胞呈弯曲的杆状。根据弯曲的程度不同又可分为弧菌和螺旋菌。螺旋菌的大小也是以长度和宽度来表示，但是螺旋菌的长度是菌体空间长度而不是它的真正长度，螺旋菌宽度常在 0.5~5.0 μm ，长度差异很大，约在 5~15 μm ，如图 2-3 所示。

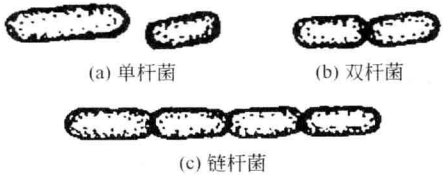


图 2-2 杆菌的排列



图 2-3 螺旋菌和弧菌的形态

细菌的形状和大小受多种因素的影响，如培养温度、培养时间、培养基组分与浓度等都可能引起细菌形状和大小的改变。细菌在适宜的环境里，其形态和排列一般是比较一致而有规则的，这对于细菌的鉴定具有一定的意义。当环境条件改变时，可能出现不规则现象，将细菌再转移到适宜的环境条件后，又可迅速恢复正常状态。

2.1.1.2 细菌的细胞结构

细菌虽然个体微小，但是它有很复杂的内部结构。细菌的细胞结构可分为基本结构和特殊结构两部分。细菌细胞的基本结构主要由细胞壁、细胞质膜、细胞质、核质及内含物等构成，是全部细菌细胞所共有的。有些细菌还可能有荚膜、芽孢或鞭毛等特殊结构，如图 2-4 所示。

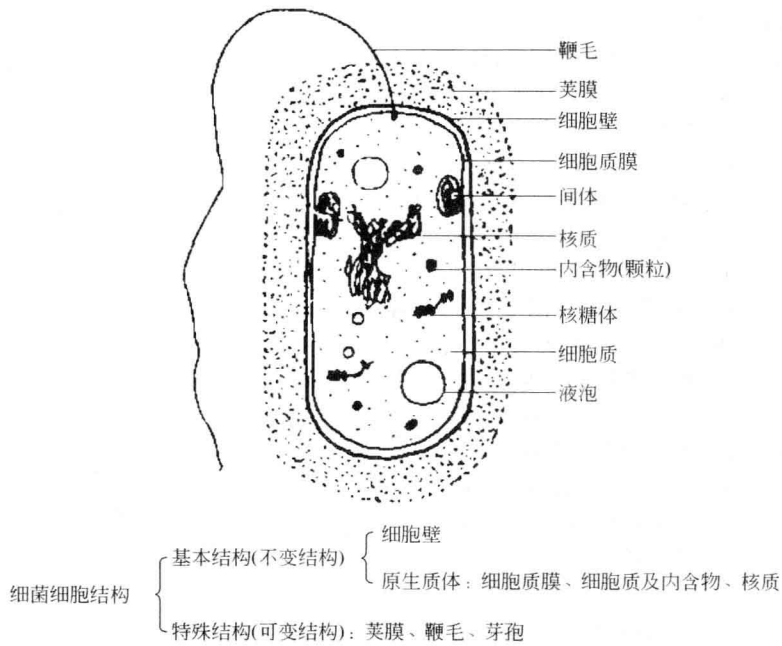


图 2-4 细菌细胞结构模式

(1) 细胞壁。细胞壁 (cell wall) 是包在原生质体外面，厚约 10~80 μm 的略有弹性、一定硬度与韧性的网状结构，其质量约占总细胞干重的 10%~25%。

① 细胞壁的化学组成及结构。构成细胞壁的主要成分是肽聚糖、脂类和蛋白质。根据细胞壁化学成分和结构的不同（图 2-5），将细菌分为革兰阳性（简称 G+）细菌和革兰阴性（简称 G-）细菌。

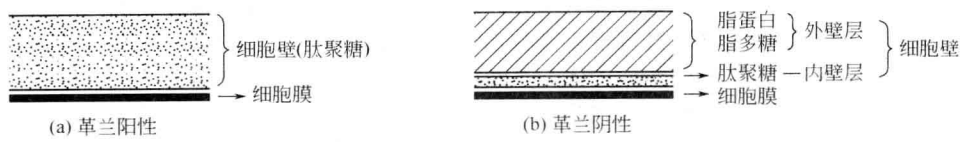


图 2-5 革兰阳性细菌和革兰阴性细菌的细胞壁剖面

革兰阳性细菌的细胞壁是厚约 20~80 μ m 的肽聚糖，并含少量蛋白质和脂类。革兰阴性细菌的细胞壁较薄，约 10nm，分外壁层和肽聚糖层，外壁层主要含有脂蛋白和脂多糖等脂类物质，而肽聚糖层很薄，肽聚糖仅占细胞壁化学组成的 5%~10%。

② 细胞壁的生理功能。细菌失去细胞壁之后，任何形态的细胞均呈球状，这说明细胞壁具有保护作用，使细胞免遭外界损伤。细菌细胞壁的主要功能有：a. 维持细胞形状和保持细胞的完整性；b. 由于细胞壁具有一定的韧性和弹性，这样可以保持原生质体，避免渗透压对细胞产生破坏作用；c. 细胞壁具有多孔性，在营养代谢方面，可以允许水及一些化学物质通过，但对大分子物质有阻挡作用，是有效的分子筛；d. 对于有鞭毛的细菌来说，细胞壁为鞭毛提供支点，支撑鞭毛的运动，如果用溶菌酶水解掉细胞壁，则细菌无法运动；e. 细菌的抗原性、致病性以及噬菌体的敏感性，均取决于细菌细胞壁的化学成分。

(2) 原生质体。原生质体 (protoplast) 包括细胞膜、细胞质和核质。

① 细胞膜 (cell membrane)。细胞膜又称原生质膜 (plasma membrane) 或质膜 (plasma lemma)，是外侧紧贴于细胞壁而内侧包围整个细菌细胞质的一层柔软而富有弹性的半透性薄膜，厚度约 7~10 μ m。细胞膜约占细胞干重的 10%，其化学组成是脂类 (20%~30%) 和蛋白质 (60%~70%)，少量糖蛋白、糖脂 (约 2%) 和微量核酸。

关于细胞膜结构，人们提出了许多假说或模型。比较普遍采用的是“单位膜”假说，认为膜的单位结构是由磷脂双分子层与蛋白质组成，双层磷脂夹在蛋白质分子之间，有的蛋白质分子又镶嵌在磷脂中间，如图 2-6 所示。

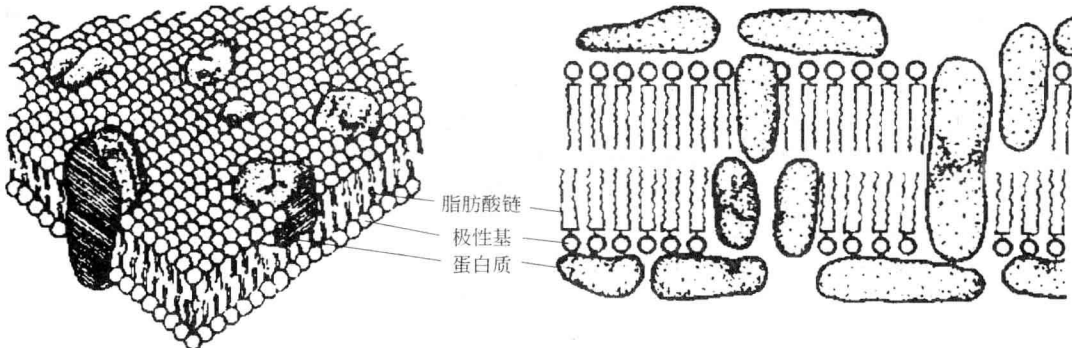


图 2-6 细胞膜结构模式

细胞膜具有很重要的生理功能，主要表现为渗透性与转运作用。细胞膜上特殊的渗透酶 (permease) 和载体蛋白能选择性地转运可溶性的小分子有机化合物及无机化合物，控制营养物、代谢产物进出细胞；转运电子和磷酸化作用，即呼吸作用的场所；排出水溶性的胞外酶 (水解酶类)，将大分子化合物水解为简单化合物，而后摄入细胞内；生物合成功能。

② 细胞质 (cytoplasm) 及其内含物。细胞质又称原生质，是细胞膜内除细胞核质外所有物质的统称，是细菌细胞的基本物质，是一种透明黏稠的胶状物。细胞质的主要成分是水、蛋白质、核酸、脂类、少量的糖类和无机盐类。细胞质中含有各种酶系统，使细菌细胞与其周围环境