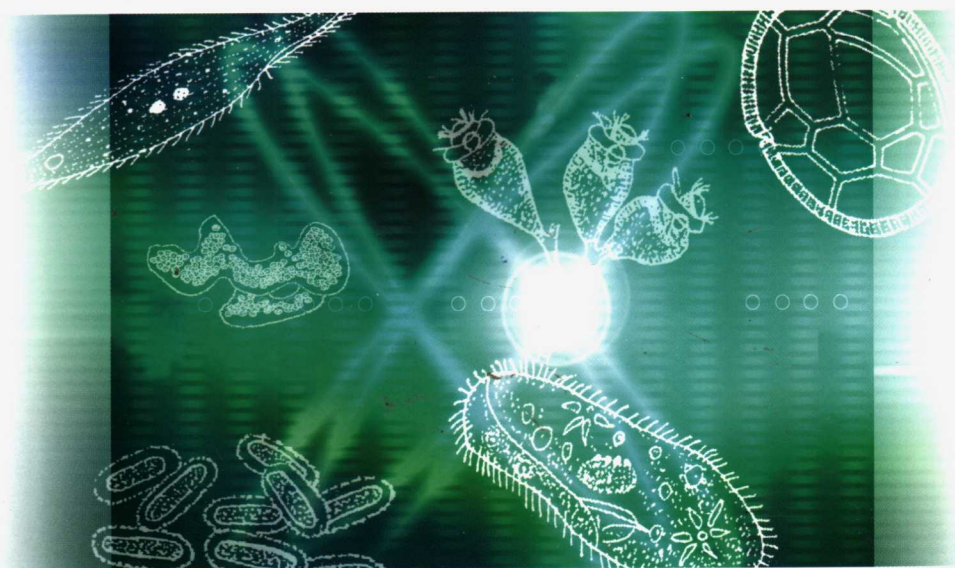


现代环境微生物学

王 兰 主编

张清敏 胡国臣 副主编



Chemical Industry Press



化学工业出版社
环境·能源出版中心

现代环境微生物学

王 兰 主编

张清敏 胡国臣 副主编



化学工业出版社
环境·能源出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

现代环境微生物学/王兰主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 3

ISBN 7-5025-8405-6

I. 现… II. 王… III. 环境生物学: 微生物学
IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 022602 号

现代环境微生物学

王 兰 主编

张清敏 胡国臣 副主编

责任编辑: 徐 娟

责任校对: 郑 捷

封面设计: 关 飞

*

化学工业出版社 出版发行
环境·能源出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

[http:// www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 16 $\frac{3}{4}$ 字数 430 千字

2006 年 5 月第 1 版 2006 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8405-6

定 价: 36.00 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

前 言

人类利用微生物处理各类污染物已有 100 多年的历史,随着生物技术的不断发展和人们对环境质量的日益重视,环境微生物学应运而生。人们利用微生物修复污染环境,处理生产和生活中的污染物;还利用微生物监测环境的质量,分析环境污染物对人类可能造成的危害。因此,环境微生物学已成为现代环境科学一门重要的专业基础学科。

现代环境微生物学既包括微生物学理论和方法的研究,又包括微生物学方法和技术在环境保护中的应用。本书在内容编排上强调以现代科学理论和技术来论述环境微生物学基本原理;以微生物生态学理论和技术为主线,阐述微生物在自然界的分布特点、在其生存环境中的功能、群落特征及与环境特性的关系,以及微生物与环境的相互作用规律等。本书还广泛阐述了微生物在环境污染控制、污染环境修复和环境监测中的应用以及有关新技术的发展趋势,同时也论述了微生物技术在环境保护方面的最新成就。

本书是在参阅了大量国内外有关方面最新文献资料,结合编者多年的教学和科研成果的基础上完成的。全书共分五篇。第一篇环境微生物学基础,主要论述微生物的特性、类群与结构,微生物的营养代谢,微生物菌种选育以及微生物污染与控制技术等。第二篇微生物生态学,主要论述了微生物生态学基本研究方法和研究意义,微生物与环境之间的相互作用关系,包括微生物在自然环境及极端环境中的群落结构和变化规律,以及微生物在自然界物质循环和转化中的作用,如碳、氮、硫、磷的循环以及汞、砷、碲、锡等元素的微生物转化。第三篇环境微生物监测,主要论述了土壤、水、空气环境中微生物监测的常规方法以及现代分子生物学技术在环境监测中的应用,包括基因突变监测、DNA 损伤与修复的监测以及微生物群落结构和群落动态的监测技术等。第四篇环境污染微生物控制,主要论述了环境污染的微生物自净原理和修复原理及技术,介绍了废水、固体废物及废气的生物处理技术和方法。第五篇资源环境微生物,着重介绍了微生物在清洁生产及资源开发方面的应用等。

本书在总体内容上重视基础知识、基本理论、基本规律的阐述,精选具体的内容与实例,反映了学科当代成就与发展趋势。编写上力求结合我国国情,反映我国的环保特色,同时兼具实用性,使之既适合作为大专院校环境科学和工程、生物工程专业教材,也可供作相关人员的参考用书。

本书由王兰主编,张清敏、胡国臣副主编,参加编写的人员还有白京生、李燕、周湘婷、祁凡、陈卫民、董涛、端木正花。

本书在编写过程中得到了南开大学环境科学与工程学院许多老师的关心、指导和帮助,部分博士研究生、硕士研究生参与了其中部分工作,在此一并表示感谢。

限于编者水平和编写时间的限制,难免有疏漏之处,希望广大读者和同行批评指正。

编者

2006 年 1 月于南开园

目 录

第一篇 环境微生物学基础

1

第一章 绪论

第一节 微生物

一、微生物在生物界的地位

二、微生物在自然界中的作用

三、微生物的特性

第二节 环境微生物学的内容、发展及展望

一、环境微生物学的内容

二、环境微生物学的发展

三、21 世纪环境微生物学展望

四、环境微生物学课的任务

思考题

第二章 微生物的类群

第一节 原核微生物

一、原核微生物的细胞结构

二、细菌

三、放线菌

四、蓝细菌

第二节 真菌

一、真菌的细胞结构

二、霉菌

三、酵母菌

第三节 藻类

一、藻类的特征与分布

二、环境中重要的藻类

第四节 原生动物

一、原生动物的形态

二、原生动物的结构

三、原生动物的生态

四、原生动物的繁殖及孢囊的形成

五、原生动物的主要类群

六、原生动物的代表

第五节 病毒

一、病毒的形态和结构

二、病毒的增殖

三、病毒的培养

第六节 各类微生物特性比较

第七节 微生物的分类

一、微生物的分类阶元(单位)和命名法

二、原核生物的分类

三、真菌的分类

四、自然界常见的藻类分类

五、原生动物的类群

思考题

第三章 微生物的营养及代谢

第一节 微生物的营养需求及营养类型

一、微生物的营养需求

二、微生物的营养类型

第二节 微生物酶的合成及调节

一、酶的合成

二、酶的调节

第三节 微生物的代谢

一、微生物的呼吸类型

二、微生物的产能方式

三、营养物质的分解

四、细胞物质的生物合成

第四节 微生物的生长

一、微生物生长的测定方法

二、微生物的群体生长规律

三、生长期之间的过渡期

思考题

第四章 微生物菌种的选育

第一节 微生物遗传和变异

一、遗传的物质基础

二、DNA 的突变及修复

三、基因重组

第二节 菌种选育

一、菌种的分离与筛选

二、诱变育种

三、基因重组育种

四、基因工程育种

第三节 菌种的保藏

思考题

第五章 环境污染的微生物控制

第一节 概述

一、生物控制技术

二、微生物死亡的形式和死亡率

三、影响抗微生物剂作用效果的条件

四、杀灭和抑制微生物因子的作用方式

第二节 微生物的物理因素控制	72
一、温度	72
二、干燥	73
三、渗透压	74
四、辐射	74
五、过滤	75

第三节 微生物的化学因素控制	76
一、杀菌剂的选择	76
二、杀菌剂的使用	77
三、协同消毒	82
第四节 消毒剂和防腐剂的的评价	82
思考题	84

第二篇 微生物生态学

85

第六章 微生物生态学研究方法及意义

85

第一节 微生物生态学研究方法

85

一、微生物生态学传统研究方法

85

二、微生物生态学分子生物学研究方法

86

第二节 研究微生物生态学的意义

89

思考题

90

第七章 微生物与环境的相互关系

91

第一节 微生物生态系统及其特征

91

一、微生物的生态系统

91

二、微生物生态系统的特征

92

第二节 自然环境中微生物群落结构及其

变化规律

93

一、几个基本概念

93

二、土壤中的微生物群落结构及其变化

规律

93

三、水体中的微生物群落结构及其变化

规律

95

四、空气中的微生物群落结构及其变化

规律

98

第三节 极端自然环境中的微生物

99

一、低温环境中的微生物

99

二、高温环境中的微生物

101

三、强酸环境中的微生物

102

四、强碱环境中的微生物

104

五、低营养环境中的微生物

104

六、高压环境中的微生物

104

第四节 微生物的细胞行为

105

一、主动运动

105

二、微生物的向性生长和趋性运动

106

第五节 微生物的群体增长

107

一、微生物的种群

107

二、微生物的群体增长

107

第六节 微生物群体的相互作用

112

一、互养共栖 (0, +)

113

二、协同作用 (+, +)

113

三、互惠共生作用 (+, +)

113

四、拮抗 (-, 0)

113

五、寄生 (-, +)

113

六、捕食与被捕食 (+, -)

114

七、竞争 (-, -)

114

八、中立生活 (0, 0)

114

第七节 环境因子与生长抑制

114

一、理化因素的致死作用

114

二、微生物间的致死作用

115

三、致死作用与环境条件的关系

115

四、理化因素对微生物的抑制作用

115

第八节 微生物群落的发展与演替

116

一、微生物基因组与环境的关系

117

二、微生物对环境的适应

117

三、微生物与环境相互作用类型

119

四、微生物对环境的适应方式

119

五、微生物群落的演替

120

六、成熟生态系统的特征

121

思考题

121

第八章 微生物与自然界中的物质循环

122

第一节 概述

122

一、物质循环的必要性

122

二、物质生物地球化学循环

122

三、参与物质生物地球化学循环的

元素

122

四、物质生物地球化学循环的复杂性

122

第二节 微生物与碳循环

123

一、微生物在 CO₂ 还原固定中的作用

123

二、有机物在食物链网中的传递

124

三、微生物在碳循环中所起的特殊作用

125

四、微生物在有机物矿化中的作用

126

第三节 微生物与氮循环

131

一、微生物与 N₂ 的生物固定

131

二、硝化作用

132

三、反硝化作用

134

四、氮化合物的微生物同化

134

五、氨化作用

135

六、厌氧氨氧化

135

第四节 微生物与硫的循环

136

一、H₂S 的产生

136

二、硫及还原性硫化化合物的氧化

137

三、硫酸盐的微生物还原

139

第五节 微生物与磷的循环

140

一、磷在自然界的循环	140	二、砷的微生物转化	142
二、磷的价态变化和生物同化	141	三、碲的微生物转化	144
三、磷污染与水体富营养化	141	四、锡的微生物转化	144
第六节 其他元素的微生物转化	141	第七节 各种元素循环之间的相互关系	144
一、汞的微生物转化	141	思考题	145
第三篇 环境微生物监测		146	
第九章 生态系统的微生物监测	146	第十章 微生物基因和功能基因组监测	164
第一节 土壤生态系统微生物的监测	146	第一节 DNA 损伤与修复的监测	164
一、土壤环境样品采集和处理	146	一、微生物的基因和基因组	164
二、土壤微生物的监测与评价	150	二、从环境样品中提取微生物群落的基因及基因组	164
第二节 水生态系统微生物的监测	152	三、基因扩增技术	164
一、水样的采集与处理	152	四、限制性片段长度多态性检测	168
二、细菌总数的测定	153	五、随机扩增多态性基因组检测	169
第三节 空气微生物的监测	154	第二节 基因监测微生物群落结构和功能	169
一、空气微生物的特点	154	一、FISH 技术	169
二、样品的采集与监测方法	155	二、PCR-DGGE 技术	174
三、空气微生物标准	156	三、PCR-SSCP 技术	177
第四节 微生物毒理学检测方法	157	第三节 微生物传感器和生物芯片在环境监测中的应用	179
一、原核微生物检测方法	157	一、微生物传感器	179
二、真核微生物检测方法	159	二、生物芯片	181
三、活性污泥毒性检测方法	161	思考题	181
四、环境微生物毒理学检测方法的评价	162		
思考题	163		
第四篇 环境污染微生物控制		182	
第十一章 环境污染与自净	182	二、湖泊污染微生物修复	195
第一节 污染物、污染源和危害	182	三、河流污染微生物修复	195
第二节 水体的富营养化	183	四、地下水污染微生物修复	195
一、富营养化水体的特征和危害	183	思考题	196
二、水体富营养化的评价	183	第十三章 废水生物处理	197
三、湖泊富营养化的防治	188	第一节 废水的可生物处理性	197
第三节 污染物对微生物的影响	189	一、废水的分类	197
第四节 污染环境的微生物自净	190	二、废水的可生物处理性评价	197
一、环境微生物自净的原理	190	三、废水生物处理对水质的要求	199
二、环境中微生物自净的限制因素	190	四、废水生物处理的流程和方法	200
思考题	191	第二节 废水生物处理的原理	201
第十二章 污染环境微生物修复	192	一、废水生物处理中的微生物	201
第一节 概述	192	二、生物污泥培养中产生的现象	201
一、污染环境微生物修复原理	192	三、废水净化进程与微生物群落状态	204
二、起作用的微生物	192	第三节 废水稳定塘	204
三、影响微生物修复的理化因素	192	一、稳定塘的类型及特点	204
第二节 土壤污染微生物修复	193	二、稳定塘的净化机理	205
一、有毒有害有机物污染的微生物修复	193	三、稳定塘的运行管理	206
二、重金属污染土壤的微生物修复	194	第四节 活性污泥法	206
第三节 污染水体的微生物修复	194	一、活性污泥	206
一、海洋污染微生物修复	195	二、活性污泥法的基本工艺过程	207

三、活性污泥的培养驯化	207	一、固体废物的来源和危害	221
四、反应器技术与其微生物学原理	209	二、固体废物生物处理中的微生物	221
五、异常运行条件下的生态特点	213	三、固体废物的生物处理	221
第五节 生物膜法	214	四、堆肥过程的影响因素	223
一、生物膜法原理	215	五、堆肥的腐熟度	223
二、生物滤池法	216	第二节 废气的生物处理	223
三、生物转盘法	218	一、废气生物处理原理	223
四、生物接触氧化法	218	二、废气生物处理中的微生物	224
思考题	220	三、废气生物处理法	224
第十四章 固体废物和废气生物处理	221	四、工业废气生物处理的发展	225
第一节 有机固体废物的生物处理	221	思考题	225
第五篇 资源环境微生物	226		
第十五章 资源微生物	226	第十六章 环境友好微生物制剂	240
第一节 微生物脱硫	226	第一节 微生物絮凝剂	240
一、脱硫微生物	226	一、微生物絮凝剂的微观结构	240
二、微生物脱硫机理	226	二、微生物絮凝剂的分类	240
三、影响微生物脱硫的环境因素	227	三、微生物絮凝剂的生物合成	240
第二节 生物制浆	228	四、微生物絮凝剂产生菌	241
一、生物制浆和漂白	228	五、微生物絮凝剂的生产	241
二、木质素降解菌及降解酶系	228	第二节 微生物肥料	242
第三节 微生物湿法冶金	229	一、微生物肥料的分类	243
一、微生物湿法冶金的原理	230	二、微生物肥料的生产	243
二、湿法冶金的微生物	230	第三节 微生物农药	244
三、微生物湿法冶金的基本过程	231	一、病毒杀虫剂	244
四、微生物湿法冶金的主要影响因素	231	二、细菌杀虫剂	245
第四节 微生物采油	231	三、真菌杀虫剂	246
一、地上微生物采油	232	四、农用抗生素	247
二、地下微生物采油	232	五、生物除草剂	248
三、微生物采油的影响因素	233	第四节 生物表面活性剂	248
第五节 微生物生产甲烷	234	一、生物表面活性剂的种类及其产生菌	249
一、甲烷发酵	234	二、生物表面活性剂的生产与控制	249
二、产甲烷菌	234	第五节 可生物降解塑料	250
三、甲烷发酵工艺	234	一、聚 β -羟基烷酸的生物合成	250
第六节 微生物生产乙醇	236	二、乳酸聚合物	251
一、乙醇发酵微生物	236	三、乳酸的生产	252
二、乙醇发酵工艺	237	四、聚乳酸的应用及存在的问题	253
思考题	239	思考题	254

第一篇 环境微生物学基础

第一章 绪 论

第一节 微 生 物

微生物无时无刻不与人和其他生物相随相伴。我们随时都享受着微生物的恩惠，例如很多美味的食物、药物和多种工业原料来自微生物代谢，一些微生物活动可使污染环境的质量和功能得到恢复，使我们生活得更舒适等。同时，我们也承受着微生物带来的经济损失和困苦，例如：由病原微生物引起的疾病、动植物病害、微生物引起的生活资料和生产资料的腐败；在某些条件下，微生物也引起环境的损害、甚至崩解等。对人类的生存和发展而言，微生物就像一把双刃剑。因此，限制它们对人类的危害，了解微生物，研究微生物，对于人类绝对是十分必要的。

一、微生物在生物界的地位

动物和植物在细胞结构、个体形态和生理特性等很多方面具有明显特征，微生物则不同，它们个体微小，结构简单，在六界分类系统中，地球上的生物分为植物界、动物界、真核原生生物界、真菌界、原核生物界和病毒界，而微生物的分类、地位如表 1-1 所示。

表 1-1 微生物的分类、地位

微生物的类群	所属生物界	微生物的类群	所属生物界
病毒、噬菌体	病毒界	霉菌、酵母菌	真菌界
细菌、放线菌、蓝细菌	原核生物界	原生动物、藻类	真核原生生物界

由此可知，微生物是一群个体微小、结构简单的微小生物的总称。微生物一词不是分类学上的名词。

二、微生物在自然界中的作用

微生物在自然界中的作用是指它们在各种生态系统中能量流动、物质循环和转化过程中的作用。微生物中，有的是具有与植物相似功能的初级生产者，如藻类、光合细菌和化能的自养细菌；有的是具有与高等动物相同功能的消费者，如原生动物；而大量微生物具有比动植物强得多的有机物分解氧化能力，所以它们被称为地球上有机物的分解者。因此，就整个微生物群体而言，微生物比动物、植物有着更广泛和强烈的作用。

1. 微生物在能量流动中的作用

在能量流动中，初级生产者可将光能转化为化学能贮存于有机物和生命物质中，为其他生物提供能源物质；消费者则可将有机物贮存的化学能一部分转化为动物性有机物的化学能，部分释放于环境中，是地球上能量的重要中间传递者；化能异养菌类（多数细菌、放线菌和真菌）具有强大的有机物分解氧化能力，从而将有机物分解氧化，并将化学能转化为自由能。

2. 微生物在物质循环中的作用

在物质循环过程中，微生物不仅在 CO_2 转化为有机物、有机物分解氧化产生 CO_2 的一系列碳循环过程中的每个阶段都起着重要作用，而且在氮循环、硫循环、磷循环和其他一切可以组成生命物质的元素（如氢、氧、铁、镁等）循环过程的每个阶段都起着重要作用。

3. 微生物在物质转化中的作用

微生物不仅在能形成生命物质的元素的循环中起着重要的作用，而且在很多不能形成生命物

质的元素,甚至具有强烈生物毒性的某些元素价态与其他元素的结合形式的转化中也起着重要的作用。

(1) 在汞转化中的作用 汞元素在自然界中广泛存在,但它不是生物生活的必需元素,更不是生命物质的组成元素。而且汞及其各种形态的化合物都具有强烈毒性,在很低浓度(或剂量)情况下就对生物具有抑制、损害和杀死作用。

然而,有些微生物在长期接触较高浓度的汞及其化合物的过程中,形成了对汞毒害作用的抗性,并且能转化汞的价态和形态。例如:在元素汞和二价汞之间的转化,汞的甲基化过程中的作用和甲基汞转化为离子汞的过程中都起着重要作用。

(2) 砷的微生物甲基化作用 砷在自然界可以以 As_2O_3 、 As_2O_5 、砷酸盐、甲砷酸盐、二甲次砷酸盐、二甲基砷、三甲基砷、亚砷酸盐等多种形态存在。而且,各种砷化合物都具有生物毒性,以 As_2O_3 毒性最大。微生物可以参与自然界中多种砷化合物的转化过程,有的可使三价砷氧化,有的可使五价砷还原,已知参与转化的微生物不仅有细菌、真菌,还有藻类。

此外,还有多种其他不能形成生命物质的元素可在微生物作用下转化。

三、微生物的特性

微生物具有各种生物都具有的共性,如:①能从其环境中摄取营养,并将其代谢废物排入环境中去;②具有能将自身的形态及生理特性传递给后代的遗传性和发生形态、生理特性改变的变异性;③能够生长繁殖;④对其生存环境条件的变化做出反应等。

除此之外,微生物与高等动物、植物相比还具有很多特性,归纳如下。

1. 个体微小,结构简单

微生物的共同特点之一是个体微小,人的肉眼只能看到由大量个体形成的群体,其个体大小只能用微米(μm)作单位测量,所以只能在显微镜下观察它们。微生物结构简单,如细菌、原生动物、单细胞藻类、酵母菌都为单细胞生物;霉菌是微生物中结构最复杂的类群,它们也只是多细胞的简单排列,无组织器官分化,因此,它们的每个细胞都能与其环境直接进行物质交换。认识微生物这一特性对于研究微生物生理、遗传、代谢、生态和在环境科学中的应用都具有重要意义。

2. 易变异,种类多

由于微生物个体微小、结构简单,在环境发生变化时每个细胞都能直接感觉环境的刺激或压力,所以它们比其他生物对环境变化更敏感,易对变化了的环境发生适应作用,在不适宜理化因素的压力下易发生遗传上的变异。因此,微生物的种类很多,目前已知细菌有数千种,霉菌有十万多种,原生动物约有7万种等。

3. 分布广

由于微生物的生理类型多,使它们可以在多种环境条件下生长繁殖,所以就整个微生物群来说,在自然界分布极广,可以说在整个生物圈内凡是有生物的地方都有微生物的存在。例如在地球的两极和高山寒冷地带、在大气层中、在温度高达 $90^{\circ}C$ 的温泉中、在深达万米以上的海底、在深层土壤中以及人和其他高等生物的体表和体内都有微生物生存。在土壤和地表水中微生物的种类和数量都是最丰富的。这对于利用微生物进行环境研究和在不同环境中应用都是非常重要的。

4. 繁殖快,作用大

微生物结构简单,其中每一个细胞都可与其环境直接进行物质交换,吸收和利用环境中的营养,不需在体内组织和器官中传递,可直接用于细胞物质的合成。生物学家们的研究表明,生物的代谢速率与比表面积成正相关关系,而微生物个体微小,比表面积大,以直径为 $1\mu m$ 的球菌为例,其比表面积是体积 $1cm^3$ 的生物的10000倍,所以微生物能以极高的速度同化其环境中的营养物质,同时进行快速的繁殖。试验表明,一头重500kg的牛在24h内仅可产0.5kg的蛋白质;而500kg酵母菌,在同样时间内则可产生50000kg的蛋白质。这使微生物在消除环境污染物

的净化中、在废水处理和工业生产中具有巨大的应用潜力。

5. 代谢方式灵活

不仅不同种类微生物具有不同的代谢方式,使之适应不同生境,而且有些种类在不同环境中具有不同的代谢方式,如酵母菌等兼性厌氧菌,既能在有氧环境中生活,又能在无氧环境中生活,而且在不同环境中对营养的利用方式和产物不同。这使它们具有应付环境条件变化的能力,在环境条件发生较大变化时,也能快速适应,并执行新的功能。

第二节 环境微生物学的内容、发展及展望

一、环境微生物学的内容

环境微生物学是利用微生物学的原理、方法和技术研究微生物与其环境的作用规律,从而对人类环境质量进行监测、污染控制和调控的新兴学科。因此,环境微生物学是微生物学的分支学科,也是环境科学的分支学科。

1. 微生物学的基础理论和技术

环境微生物学的研究和应用实践实际上是微生物学原理和技术的应用。学习环境微生物学的理论和技术就必须有微生物学的基础,掌握:①微生物所包括的生物类群及其特征;②微生物的生理特性和代谢规律;③微生物的遗传特性及其遗传变异与环境条件的关系;④微生物生态学原理和研究方法;⑤微生物的生长和生长测定技术;⑥微生物在自然界物质循环中的作用等。

2. 环境污染微生物净化

环境污染微生物净化,实际是一个污染微生物生态学问题。其内容主要是:研究污染物对污染环境中微生物群落的影响;了解微生物对污染物净化能力;了解对典型污染物具有较强净化能力的微生物的特性和强化环境自净能力的措施等;研究污染物、环境和微生物三者之间相互关系、相互作用的规律和技术。

3. 微生物对环境污染

微生物造成的环境污染可分为下列三类。一是微生物病原体污染,也是最重要的微生物污染,如水体常由于生活污水、医院污水、畜禽食品加工废水、皮革加工废水等污染,使水体中含有致病微生物,如沙门氏菌(*Salmonella*)、霍乱弧菌(*Vibrio cholerae*)、军团菌(*Legionella*)、钩端螺旋体(*Leptospira*)等致病微生物。二是微生物代谢产物的污染,主要包括微生物代谢产生的毒素,如真菌产生的黄曲霉毒素、曲酸和孢子素;藻类产生的石房蛤毒素、铜绿微囊藻所产生的一种小分子环肽化合物等;以及污染物微生物降解、转化产物,如亚硝酸、硫化氢、甲基汞等。三是微生物引起的材料腐败和腐蚀,它们不仅侵害大多数有机物,而且侵害金属、水泥、电子元件和玻璃等。因此,研究、了解微生物对环境和人类生活资料、生产资料及人体健康的危害和防治技术是必要的。

4. 环境微生物监测

环境微生物监测的主要内容包括常规微生物监测的原理和技术,以及监测结果在环境影响评价中的应用,同时研究环境微生物监测新技术和环境预测评价新技术。

5. 微生物与环境污染控制

环境污染微生物控制包括废水、废物和废气的生物处理以及污染环境的修复。它们都是利用微生物对污染物强大的代谢能力,使污染物无害化的过程;都是强化了的环境污染物自然净化过程。废物生物处理系统是生态系统的一类,其中部分环境条件是可人为控制的。其研究工作主要是了解处理过程中微生物的生理特点和生化特性,并据此尽可能创造微生物群体净化污染物所需环境条件,以提高处理效率,所以废物处理微生物学实际上是废物处理微生物生态学问题。污染环境的修复则是研究污染物的特性和污染环境的生态条件,通过改善微生物的生活条件和改变污染环境中的微生物群落组成(通常是加入有效微生物)强化环境自净能力,使污染环境的特性和功能尽快恢复的过程。因此,二者都是力求使环境条件与微生物对环境的要求达到和谐统一,最

大限度地发挥微生物的净化作用,为工艺改革打下良好的理论基础。

6. 友好微生物的选育

人们常将有利于人类生活、生产、经济发展和能使人类生存环境向良性化发展的微生物称为友好微生物。它们可用来:①生产人类生活和生产所需物质,例如酱油、醋、味精等调料,馒头、面包等食品,抗生素、细胞色素 C、辅酶 A、ATP 等药品,酒精、柠檬酸、丙酮、丁醇等化工原料;②废物资源化,例如植物秸秆纤维素和木质素的饲料化、沼气化、堆肥化等,高浓度有机废水的沼气化,废水的净化再用等;③生产微生物农药,减少化学农药的使用,保护环境;④利用特效微生物实现有毒物质的无害化;⑤提高环境的自净能力,实现污染环境质量和功能的恢复等。

友好微生物的获得方法如下。

(1) 筛选 筛选是从含微生物种类和数量丰富的样品中,通过分离获得单菌株,再通过筛选获得有用菌株。采用何种样品常与欲获得的菌株特性和用途有关,如:①欲获得对某种有毒物质有较多接触,或受该种有毒物影响较大的地方的含菌物;②欲获得能使纤维素资源化的微生物则可以取用土壤或腐肥中的腐烂植物茎秆等。

在筛选过程中,如不能获得含目的菌株较丰富的含菌样品,可以采集含微生物丰富的样品,经富集培养后再分离。

(2) 育种 育种是在选出的有效微生物的某种特性不利于其应用时,通过人为干预改变其某些特性,提高其利用价值。

7. 废物微生物资源化的原理和技术

废物是放错地方的资源,之所以称废物是暂时还没有找到其利用技术和应用途径。废物微生物资源化,就是利用微生物的代谢过程改变废物中某些物质的存在状态,使之容易纯化变为有用之物。例如:尾矿中贵重金属的微生物冶炼,高浓度有机废水厌氧微生物处理产生沼气。也就是说对于人类生产、生活中所产生的废物,只要我们找到了能转化它们的微生物和相应的有利用价值的技术,就可以使废物变为可利用的资源。

8. 微生物资源的开发

微生物资源的开发利用日益受到重视,这除了因为微生物资源的利用同工业、农业、林业、畜牧渔业、医药、环境保护等领域关系密切外,还因为其发展潜力巨大。众所周知,微生物在自然界的物质循环和转化中作用巨大,而且由于微生物个体微小、易变异形成具有新功能的种群,从而成为地球上最具有应用前景的生物类群。但是,目前人类对它们的开发还刚刚开始,因此丰富的微生物资源和相关技术将是长期受到重视和深入研究的课题。

二、环境微生物学的发展

环境微生物学是环境科学的一个分支学科,又是微生物学的分支学科。因此,环境微生物学学科的建立既是环境科学理论和技术发展的结果,也是微生物学,尤其是微生物生态学理论和技术发展的结果。1914 年废水生物处理法(活性污泥法)在英国诞生以后,有关科学工作者逐渐认识到其中起主要作用的是包括细菌、原生动物在内的微生物;其处理效果的好坏直接与其中微生物的生活条件有关,由此也引起了在一个生态系统中微生物组成和功能与环境因素关系的探索。以上探索也促进了微生物监测理论和技术的发展。微生物学的发展和微生物生态学理论和研究技术的进步,因其产生的环境效益、社会效益和经济效益巨大而使越来越多的微生物学工作者投入这一新领域,而且成绩斐然。

鉴于环境科学中微生物应用的理论和技术的快速发展,微生物生态学理论和技术的发展,在第十次国际微生物学学会上成立了国际微生物生态学会。由于环境问题的日益严重和微生物在污染治理、环境净化和环境微生物监测中的重要作用,因而日益受到人们的关注,也大大促进了环境微生物学的发展。1975 年美国率先将“应用微生物学”杂志更名为“应用及环境微生物学”,这就标志着环境微生物学——一个新的学科诞生了。

此后,环境微生物学专业队伍快速扩大,研究领域不断拓展、不断深入,很快遍及全球,学术活动十分活跃,发展迅速,成绩斐然。环境微生物学相关教学也从工科院校的水处理专业迅速扩展到综合大学、工业工程院校、农林院校、医学院校和师范院校。其研究和应用领域也从废水生物处理,扩展到环境污染物容量研究、污染物在环境中迁移转化机理研究、环境的微生物现状和预断评价、环境的微生物监测、污染环境的微生物修复等领域。目前,环境微生物学正在与分子生物学和基因工程学相结合,在污染控制和环境监测与评价中发挥着重要作用,并且有力地促进了微生物学和环境科学的发展。

我国环境微生物学的发展稍落后于发达国家,于20世纪70年代开始开展有关工作,1979年出现有关讲座,1980年国外有关专家对我国有关人员进行了培训,有力地推动了我国有关科研和教学的发展。目前,我国在微生物污染生态、废物处理微生物学、环境微生物监测和评价、微生物毒理和生物工程菌研究等方面已经有了很大的发展,并且已接近世界先进水平。环境微生物的研究和教学也正在不断充实和完善,在环境保护和环境科学研究中将发挥越来越大的作用。

三、21世纪环境微生物学展望

环境微生物学自建立以来,在理论研究和应用技术方面的发展取得了令人瞩目的成绩,而且呈现出强劲的发展势头。展望21世纪的环境微生物学,将在以下几个领域中取得更大的进展。

① 深入开展微生物功能基因组学研究。这将大大促进污染控制、废物资源化、生物农药、清洁生产方面的特效微生物菌种和有益微生物剂的研究、开发和利用的发展,而且可带动整个生物功能基因组计划的发展。

② 开拓微生物生态学研究的新方法。在了解微生物之间、微生物与其他生物之间、微生物与理化环境因素之间相互作用关系研究的基础上,引入环境微生物基因组信息,研究微生物基因组与环境理化因子和环境功能之间的关系,为提高废物生物处理效率和强化环境自净和修复能力提供理论和技术支撑;推动新的快速、准确的生物监测技术的开发;为人类生存环境的健康发展发挥更大的作用。

③ 开发利用微生物有益的生命现象。微生物除具有生长、繁殖、代谢和对环境条件的刺激能做出反应等生物学共同特性外,微生物还具有多种特性,例如:高等生物都不具有的代谢途径和功能,如化能自养、厌氧生活、生物固氮作用和放氧的光合作用等;微生物个体微小、代谢速度极高、生长快、易大量培养等;微生物对外界条件变化敏感、易变异等。这些都将是21世纪研究的重要课题。人类发现,利用微生物的特性不仅可以解决很多重大的科学理论问题,如生命起源与进化问题、物质运动基本规律问题,还可促进解决人类能源材料问题、食品和营养品等问题。

④ 开发与其他学科交叉的研究。环境科学形成于多学科交叉结合的过程中,环境微生物学是环境科学研究中不可缺少的学科。微生物学与建筑工程学结合形成了废物(废水、废气、固体废物)处理系统;微生物学与生态学理论结合建立了环境微生物监测的理论、方法和技术。而在21世纪微生物基因组学与分子生物学、数学、物理学、化学、电子学和计算机科学交叉结合,必能大大推进和丰富环境微生物学的研究深度。微生物学与能源、材料、计算机交叉结合也一定能推动资源微生物学的发展,丰富环境微生物学的内容。此外,环境微生物研究技术和方法也会在吸收其他学科研究成果的基础上得到进步。

⑤ 环境微生物产业的发展。微生物在20世纪中期就得到广泛应用,并形成了庞大的微生物产业。环境微生物学建立仅30年的时间就硕果累累,例如:用于农、林、渔、牧业的菌剂,不仅为农、林、渔、牧业增产、增收、增益起到了巨大的作用,而且可以减少生产废物的产生,环境效益显著;用于“三废”处理、废物资源化的菌剂不断推陈出新,在污染控制领域的发展方面起到了很大的作用。21世纪基因工程微生物的研究和应用必然得到大发展,将为难降解有毒有机物的生物净化打下良好的基础;DNA芯片的发展,将推动分子生物监测技术的发展,并使生

物监测在定量化、分析精密度和可比性等方面取得突出的进展。

四、环境微生物学课的任务

环境微生物学课的任务是通过课堂教学和实验课的教学,使学生在掌握微生物学基本理论和常规实验技能的基础上了解环境微生物学在环境科学研究和实践中的应用原理和技术,了解环境微生物学的发展概况和趋势,为学生继续深造和走上工作岗位打下良好的基础。

(胡国臣、白京生)

思 考 题

1. 概念:微生物、原核微生物、真核微生物、友好微生物
2. 在六界分类系统中,病毒界、原核生物界、真菌界和真核原生动物界包括哪些微生物类群?
3. 微生物一词是生物分类学上的名词吗?为什么?
4. 微生物在自然界中功能的含义是什么?
5. 微生物与高等动植物比有哪些特性?

第二章 微生物的类群

从第一章可知,微生物不是分类学上的名词,它是一群形体微小、结构简单的单细胞或多细胞生物和没有完整细胞结构的微小生物的总称。虽然微生物不属同一分类单位,但是在它们之间也存在着一些共性。例如:①微生物中不论是单细胞的还是多细胞的,都是一个能独立生活的个体,与高等生物的一个细胞或组织具有显著的区别;②每个个体在适宜的条件下都能实现它们的生命过程,如生长、代谢和繁殖等;③它们的培养和研究技术非常相似。

在自然环境中微生物分布极广、种类很多,根据它们的细胞结构特点可将微生物分为:①真核微生物,如真菌、藻类和原生动物;②原核微生物,如细菌、蓝细菌和放线菌;③非细胞生物,如人、动物和植物病毒、噬藻体和噬菌体。

第一节 原核微生物

原核微生物是一群不具有由质膜包围起来的定形细胞核,只有聚集在细胞内一定区域的核质体的微小细胞生物的总称。原核微生物的主要形态特征是它们的大小、形状、结构和群体排列方式。以上特征构成了原核微生物的形态学。

尽管原核微生物的个体都很微小,不能用肉眼直接观察,但可以通过染色技术、切片技术和显微技术研究它们的形态和结构。

一、原核微生物的细胞结构

对原核微生物细胞进行显微观察,发现细胞壁的内部和外部具有一定的结构,其中有的结构是所有原核微生物都具有的,称为一般结构;有些结构只有某些原核微生物具有,称为特殊结构。在原核微生物中细菌最具有代表性,因此以细菌细胞为代表介绍它们的结构。

1. 一般结构

细菌细胞的一般结构主要有细胞壁、细胞膜、中质体、细胞质、核质体和内含物,如图 2-1 所示。

(1) 细胞壁 细胞壁 (cell wall) 是细菌细胞的主要结构之一,它的主要功能是包围原生质和内含物,使细胞具有一定的形态;保护细胞膜免受机械和高渗透压破坏;在有鞭毛的细菌中,保持鞭毛的运动机能。细菌的细胞壁还决定细胞的抗原性、致病性和对噬菌体的敏感性。

1884 年瑞典人革兰 (Christian Gram) 发明了鉴别细菌的革兰染色法。根据革兰染色反应,可把细菌分为革兰阳性 (G^+) 菌和革兰阴性 (G^-) 菌两大类群。染色过程是先用结晶紫染色,随后加碘液 (媒染剂),再用乙醇脱色,最后用番红复染,镜检菌体呈蓝色者为革兰阳性菌,菌体为红色者为革兰阴性菌。试验研究证明,革兰阳性菌和革兰阴性菌具有不同染色效应的原因是它们的细胞壁结构和化学组成不同。

组成细胞壁的化学物质由形成网状结构的肽葡聚糖 (peptidoglycan), 如 *N*-乙酰葡萄糖胺 (*N*-acetylglucosamine)、*N*-乙酰胞壁酸 (*N*-acetylmuramic acid) 和一小组氨基酸,并且以氨

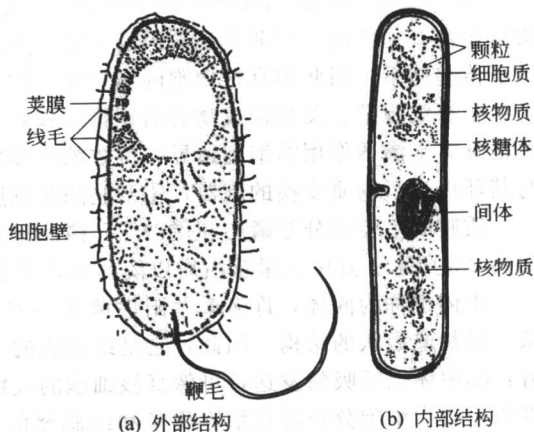


图 2-1 细菌细胞的结构示意

注: 某些结构, 如荚膜、鞭毛、孢子和线毛并不是所有种的细胞都具有的

基酸为交联剂将上述两种肽聚糖交联成重复致密的网状结构；另一部分化学物质为基质，如磷壁（酸）质（teichoic acid）、核糖醇磷壁酸（ribitol teichoic acid）和甘油磷壁酸（glyceryl teichoic acid）。网状结构包埋于基质中形成细胞壁。革兰阳性菌和革兰阴性菌细胞壁见图 2-2，两者的比较列于表 2-1 中。



图 2-2 细菌的细胞壁

表 2-1 革兰阳性菌和革兰阴性菌细胞壁比较

项 目	革 兰 阳 性 菌	革 兰 阴 性 菌
厚度	15~20nm	10nm
肽聚糖含量	高,95%	低,5%~10%
脂类含量	低,1%~4%	高,22%~41%
化学组成	简单、肽聚糖、壁酸	复杂、肽聚糖、脂多糖、脂蛋白
层次	无定型	多层次
壁酸	有	无
对青霉素敏感性	高	低

(2) 质膜 质膜 (plasmic membrane)，或称细胞质膜 (cytoplasmic membrane) 是细胞壁内柔软而富有弹性的一层薄膜。质膜的主要功能是：①细胞质膜的两侧存在适应酶系、呼吸酶系和电子传递体系，因此和真核细胞的线粒体一样，具有电子传递和氧化磷酸化功能；②在细胞质膜上结合有细胞壁、荚膜构成物的前体物质和有关的合成酶，因此与细胞壁和荚膜合成有关；③质膜是具有半渗透作用的细胞边界，可浓缩营养物质于细胞内，并将代谢废物排出细胞外，是细胞与其环境进行物质变换的胞器；④某些酶和胞器如核糖体 (ribosome) 活动的部位。

质膜的主要成分是磷脂和蛋白质，磷脂呈双层排列形成膜的基本结构，蛋白质被嵌在其中，如图 2-3 所示。其中大量蛋白质以酶的形式存在，构成物质转运的通道。

中体也称为间体，许多革兰阳性菌和一些革兰阴性菌的质膜内折形成包埋于细胞质中的管状、层状或囊状的结构。因此，它是细胞膜的一部分，也是原核生物特有的胞器。其功能主要有：①中体上呼吸酶发达，可像真核细胞的线粒体一样，在物质的氧化和能量产生方面负有主要责任；②当细胞分裂时在细胞质膜和细胞壁的合成及核的复制中起作用；③中体直接与外界相通，可将消化酶类（胞外酶）、多糖等大分子产物排出胞外。

(3) 细胞质 质膜内无色透明的胶体物质被称为细胞质 (cytoplasm)，它主要由蛋白质、核酸、脂类、水、少量的糖和盐类组成。其中核糖核酸 (RNA) 含量较高，有较强的嗜碱性，易

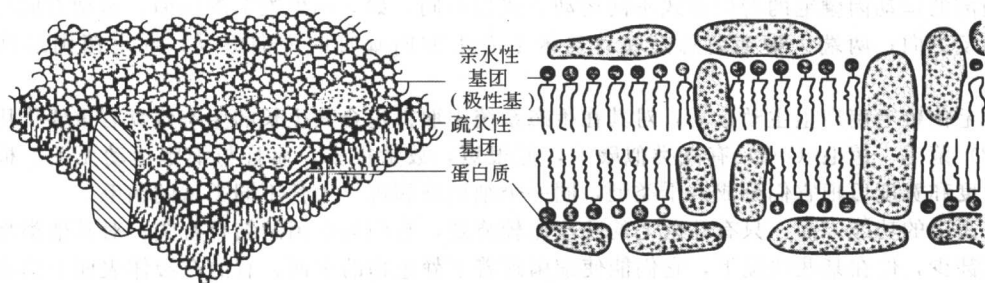


图 2-3 细菌细胞质膜结构模式

被中性或碱性染料染色。

原核生物细胞质中的大分子不被膜包围，而是常以共价键或二级键与膜连接，所以细胞质在细胞内基本上不流动，这与真核生物不同。

(4) 核质体 细菌细胞不具备高等动、植物细胞的特征性的核，但是它们具有一切细胞生物所具有的核物质——DNA。在细菌中 DNA 虽不像真核生物那样被质膜包围起来形成具有一定形状的核，但是通过 DNA 染色（富尔根染色）证明细菌细胞内确有 DNA 存在，而且聚集在一个局部区域。因为不具备特征性核的结构，所以称为核质体（nucleosome）或类核。具有核质体的生物统称为原核生物。

细菌的核质体与真核生物中的细胞核一样，在传递遗传信息、控制形态和生理特性形成中起着重要作用。

(5) 内含物 细菌细胞中除具有以上结构外，还有多种内含物（inclusion），如异染粒、淀粉粒、聚- β -羟基丁酸、核糖体和质粒等。它们可能分别存在于不同细菌细胞内，或某种菌的特定生理状态下，但也具有各自的作用。其中质粒（plasmid）是核区以外能自主复制、有遗传机能的结构，对人类通过生物技术获得在工业、农业和环境保护中有用的多功能微生物是十分重要的。

2. 特殊结构

(1) 鞭毛 鞭毛（flagella）是自细胞内伸出的极细的毛发状细胞附属物。构成鞭毛的化学物质主要是蛋白质，其结构分为基体、钩和细细的长丝三部分，基体固着在质膜上，并与细胞壁连接；丝状物通过钩与基体相连接；基体可能具有将细胞质或质膜上的能量传导给丝状物的作用。

鞭毛是细菌的运动胞器，不同种细菌的鞭毛所具有的鞭毛数量和鞭毛的着生位置不同，如图 2-4 所示。

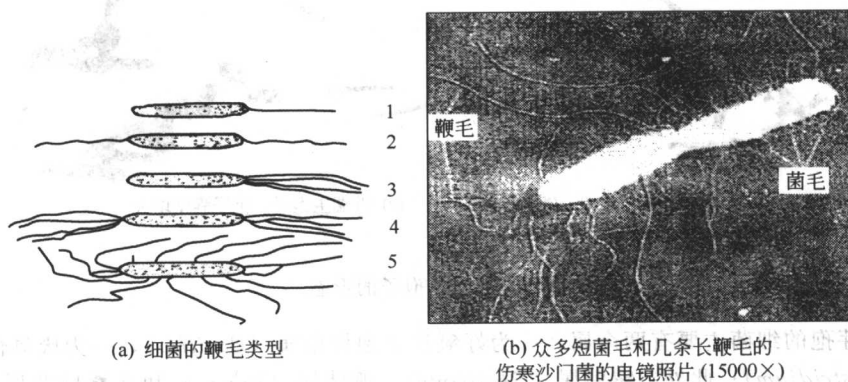


图 2-4 细菌的鞭毛

1—偏端单毛；2—两端单毛；3—偏端丛毛；4—两端丛毛；5—周毛