

# 环境微生物学

史家樑 徐亚同 张圣章 编著



华东师范大学出版社

# 环境微生物学

史家樑

徐亚同 编著

张圣章

华东师范大学出版社

(沪)新登字第201号

环境微生物学

史家樑 徐亚同 张圣章 编著

---

华东师范大学出版社出版发行

(上海中山北路 3663 号)

邮政编码: 200062

新华书店上海发行所经销 江苏句容县排印厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 12.75 字数: 328 千字

1993 年 12 月第一版

1993 年 12 月第一次印刷

印数: 001—2,500本

---

ISBN 7-5617-1084-4/N·085

定价: 12.00 元

# 前 言

环境微生物学是大专院校环境学科类专业开设的一门重要的专业基础课。要求通过本课程的学习,了解环境中微生物的主要类群(第二章)及它们的生理、生态特性(第三、四章),并在此基础上进一步学习、掌握微生物与环境污染的关系,污染物的微生物降解与转化规律(第五章),以及微生物在环境污染防治中的应用(第六章)等有关环境微生物学的基本知识。与此同时,通过实验和参观、实习,使学生增强感性认识,帮助理解、消化课堂讲授的内容,并学会环境微生物学试验、研究的基本方法和技能(第七章),为其他相关课程的学习和从事科研、生产实践提供必要的基础。

在环境保护事业和环境科学迅速发展的70年代末,我校曾率先开设了“环境微生物学”课程,并于1985年编写出版了我国第一本“环境微生物学”专著。作为一门新兴学科,近年来环境微生物学发展十分迅速,该课程的教学实际又急需有一本既简明扼要、便于自学,又反映学科新进展的入门教材。正是在这一强烈愿望的驱使下,总结了多年教学和科研实践的经验,学习、借鉴有关环境微生物学多种专著、教材的成功之处,吸取、参考国内外在该领域的最新研究成果,编著了这本“环境微生物学”,把它献给我们已故的老师——翁稣颖副教授,献给我们现在和将来的同行们。

少而精、理论联系实际是本书编写的两大原则。编者在该课程的教学实践中,深切体会到要在54~72学时的有限时间内,完成包括实验、参观实习在内的教学任务,迫切需要有一本简明的环境微生物学入门教材。因此“少而精”是本书编写中始终遵循的重要原则。

环境微生物学又是一门应用性极强的学科。本书在编写中，在介绍环境微生物的基本概念之后，集中撰写了微生物在环境污染防治中的应用，作为应用篇。

编写中编者结合了本研究室多年来在高浓度有机废水的光合细菌法处理、生物脱氮、生物除磷以及污染物高效降解微生物的分离和应用等方面的科研实践，介绍了废水生物处理技术的新进展，力求体现理论联系实际的原则，所以该章所占篇幅也为全书各章之最。

本书除了可作为理工科开设的环境微生物学课程的教材或参考书外，还可供从事废水生物处理的研究及工程技术人员参考。

全书共分七章。除第三章由张圣章编写，第六章中“生物脱氮”部分和第七章由徐亚同编写外，其他各章均由史家樑编写。

由于环境微生物学涉及的专业面很广，本书在内容的精选和编排上可能有不当之处；又限于作者水平，缺点和错误也在所难免。恳请专家学者和广大读者批评指正。

# 目 录

第一章 绪论	1
第一节 微生物的特点	1
一、种类多、分布广、代谢类型多样	1
二、繁殖快	2
三、代谢强度大	2
四、数量多	3
五、易变异	3
第二节 环境微生物学的研究内容	4
一、自然环境中的微生物生态学研究	4
二、污染环境中的微生物生态学研究	4
三、废水、废物的生物处理中微生物学原理和方法的研究	4
四、环境监测与评价的微生物学方法和原理的研究	5
第三节 学习环境微生物学的意义	5
一、了解并揭示微生物在生态系统中的地位与作用	5
二、避免或防止微生物对人类的麻烦及危害	6
三、开发、利用微生物以保护环境、造福人类	6
第二章 环境中微生物的主要类群	7
第一节 细菌	8
一、细菌的形状和大小	8
二、细菌细胞的结构	11
三、环境中常见的细菌种类	26
第二节 放线菌	29
一、放线菌的特征	29
二、放线菌的主要类群	31
第三节 其他原核微生物	32

一、立克次氏体 .....	32
二、衣原体 .....	33
三、支原体 .....	34
四、螺旋体 .....	35
五、粘细菌 .....	36
六、鞘细菌 .....	38
七、蛭弧菌 .....	39
八、蓝细菌 .....	40
<b>第四节 真核微生物</b> .....	<b>43</b>
一、酵母菌 .....	43
二、霉菌 .....	46
三、原生动物 .....	48
四、微型后生动物 .....	55
五、微型藻类 .....	57
<b>第五节 病毒</b> .....	<b>60</b>
一、病毒的特征 .....	60
二、病毒的基本结构 .....	61
三、病毒的感染过程 .....	63
四、毒性噬菌体和温和噬菌体 .....	64
五、病毒的培养与计数 .....	65
六、环境因子对病毒的影响 .....	66
七、类病毒 .....	67
<b>第三章 环境中微生物的生理特性</b> .....	<b>68</b>
<b>第一节 微生物的营养</b> .....	<b>68</b>
一、微生物细胞的化学组成 .....	68
二、微生物必需的营养物质 .....	69
三、微生物的营养类型 .....	70
四、微生物的培养基 .....	70
五、物质的运输 .....	72
<b>第二节 微生物的生长</b> .....	<b>76</b>
一、微生物生长的概念 .....	76

二、测定微生物群体生长的方法 .....	76
三、微生物群体生长的规律 .....	78
四、理化因子对微生物生长的影响 .....	81
五、消毒与灭菌 .....	83
11 第三节 微生物的能量代谢 .....	85
一、化能异养微生物通过对有机物的氧化,产生能量获得 ATP ...	86
二、光能利用微生物转化太阳能为化学能、产生 ATP .....	92
三、无机物氧化产生 ATP .....	94
<b>第四章 微生物生态</b> .....	98
第一节 微生物生态研究中必须注意的几个问题 .....	98
一、微环境(或微生境) .....	98
二、表面环境与附着 .....	99
三、营养 .....	100
四、生长速度 .....	100
五、影响生态系统的群体水平 .....	100
第二节 环境中微生物群落的组成 .....	101
一、空气中的微生物 .....	101
二、土壤中的微生物 .....	102
三、陆地水域中的微生物 .....	109
四、海洋中的微生物 .....	112
第三节 微生物群落的发展和演替 .....	115
一、演替及其类型 .....	115
二、微生物群落的演替实例 .....	116
第四节 微生物在自然界物质循环中的作用 .....	123
一、碳素循环 .....	124
二、氮素循环 .....	128
三、硫素循环 .....	137
四、磷素的转化 .....	142
第五节 微生物间以及它与其他生物间的相互关系 .....	145
一、微生物间的相互关系 .....	145
二、微生物与高等植物间的相互关系 .....	149



三、微生物与人体及动物间的相互关系 .....	151
第六节 极端环境中的微生物 .....	154
一、好热菌 .....	154
二、对微生物的冷冲击 .....	158
三、抗射线的细菌及其机理 .....	159
四、海洋细菌的盐适应机理 .....	162
14 第五章 微生物对环境污染和净化的影响 .....	165
第一节 微生物引起的环境污染问题 .....	165
一、耗氧有机物对水体的污染 .....	165
二、耐酸细菌与酸性矿水的污染 .....	166
三、微生物引起的管道堵塞与厌氧锈蚀 .....	167
四、微生物引起的硝酸盐还原对人体的影响 .....	168
五、汞的生物甲基化 .....	169
六、砷的还原与甲基化 .....	174
七、微生物毒素与食品污染 .....	175
16 第二节 污染物的微生物降解与转化 .....	180
一、微生物的化学作用 .....	181
二、有机污染物的生物降解性 .....	183
三、有机污染物生物降解性的测试方法 .....	185
四、污染物的微生物降解与转化 .....	189
第六章 微生物在环境污染防治中的应用 .....	223
19 第一节 废水处理与微生物 .....	223
一、废水处理的方法 .....	223
二、废水的污染指标和净化度指标 .....	226
三、废水生物处理的原理 .....	234
四、废水生物处理法的类型 .....	238
五、废水生物处理技术的新发展 .....	272
18 第二节 固体废弃物处理与微生物 .....	316
一、城市垃圾和剩余污泥处理的概况 .....	316
二、城市垃圾和剩余污泥的生物处理 .....	318
第三节 环境监测与微生物 .....	325

一、粪便污染的指示菌 .....	326
二、评价水质的污水生物系统 .....	329
三、致癌物的微生物检测 .....	333
四、环境毒物的发光细菌检测法 .....	336
<b>第七章 环境微生物学实验、研究方法</b> .....	<b>338</b>
<b>第一节 环境中微生物类群的观察</b> .....	<b>338</b>
一、目的和原理 .....	338
二、材料与器皿 .....	338
三、方法与步骤 .....	338
四、染液的配制 .....	340
五、结果 .....	341
<b>第二节 活性污泥或生物膜生物相的观察</b> .....	<b>341</b>
一、活性污泥或生物膜微生物的显微镜观察及微型动物的计数 ..	341
二、活性污泥中丝状微生物的鉴别 .....	345
<b>第三节 污染物高效降解微生物的分离</b> .....	<b>350</b>
一、酚分解微生物的分离和解酚能力的测定 .....	350
二、垃圾堆肥中纤维素分解菌的分离 .....	352
三、分解石油微生物的分离与计数 .....	355
四、光合细菌的培养及其对高浓度有机废水的净化作用 .....	357
<b>第四节 活性污泥耗氧速率及脱氢酶活性的测定</b> .....	<b>359</b>
一、活性污泥耗氧速率的测定及废水可生化性与毒性的评价 .....	359
二、活性污泥脱氢酶活性的测定 .....	363
<b>第五节 废水生物处理的模型试验</b> .....	<b>367</b>
一、目的和原理 .....	367
二、材料与设备 .....	367
三、方法与步骤 .....	368
四、结果与分析 .....	369
<b>第六节 水质的细菌学检测</b> .....	<b>370</b>
一、水中细菌总数的检测 .....	370
二、水中大肠菌群(Coliform group)细菌的检测 .....	372

第七节 环境中毒物及致突变物的监测.....	379
一、利用发光细菌监测环境中有毒污染物 .....	379
二、用 Ames 法检测环境中致癌物 .....	384
主要参考文献.....	390

# 第一章 绪 论

微生物是一类形体微小、结构简单,必须借助显微镜才能看清它们面目的生物。它既包括细菌、放线菌、立克次氏体、支原体、衣原体、蓝细菌等原核微生物,也包括酵母菌、霉菌、原生动物、微型藻类等真核微生物,还包括非细胞型的病毒和类病毒。因此,“微生物”不是分类学上的概念,而是一切微小生物的总称。

微生物具有那些重要特点,值得我们如此重视它呢?

## 第一节 微生物的特点

### 一、种类多、分布广、代谢类型多样

目前已确定的微生物种数还只有 10 万种左右,其中细菌、放线菌约 1500 种。但近些年来由于分离培养方法的改进,微生物新种的发现正以很快的速度在增长。前苏联微生物学家伊姆舍涅茨基曾估计,“目前我们所了解的微生物总数,至多也不超过生活在自然界中的微生物总数的百分之十”。如果这一估计不错的话,将来的某一天,微生物的总数可能会超过目前动、植物种数之和。

在地球上,微生物的分布可说是无微不至,无孔不入,无远不达。微生物只怕“火”,地球上除了火山的中心区域外,从生物圈、土壤、水圈直至大气圈、岩石圈,到处都有微生物的踪迹。例如,在 70 年代,美国科学家发现了东太平洋深达一万米的海底温泉中有一个不依赖太阳能的独特生态系统。支持这一生态系统的生产者是一类硫细菌。它们以地壳中逸出的硫化氢气体为能源,以  $\text{CO}_2$  为碳源,在  $100^\circ\text{C}$  高温、1140 个大气压和厌氧条件下进行自养生活。这类硫细菌的数量达每毫升海水 100 万~100 亿个。大量的硫细

菌供养了海底特殊的蠕虫、蛤、贝和蟹等无脊椎动物。

微生物的代谢类型极其多样，“食谱”之广是任何生物都不能相比的。凡自然界存在的有机物，都能被微生物利用、分解。例如，假单胞菌属的某些种，甚至能分解 90 种以上的有机物，可利用其中的任何一种作为唯一的碳源和能源进行代谢。有些微生物还可利用有毒物质如酚、氰(腈)化物等作为营养。再如，汞是一种人所共知的环境毒物，有一类微生物能使汞甲基化，加大汞的毒性和危害；又有另一类抗汞微生物，可使甲基汞变为元素汞，从而可应用于回收汞、去除汞害。

## 二、繁殖快

在生物界中，微生物具有最高的繁殖速度。尤其是以二分裂方式繁殖的细菌，其速度更是惊人。例如，大肠杆菌和梭状芽孢杆菌在最合适的条件下，20分钟可繁殖一代。如果它始终处在最适宜的条件下，则一昼夜可由一个细菌产生  $4.7 \times 10^{21}$  个后代，经 48 小时后可产生  $2.2 \times 10^{43}$  个后代。假如一个细菌重量为  $10^{-12}$  克，那么这时的总重量将达到  $2.2 \times 10^{28}$  吨。这个重量相当于 4000 个地球之重。当然，由于种种限制，这种几何级数增殖速度最多也只能维持几个小时。一般进行细菌的液体培养时，每毫升培养液内的细菌浓度通常不超过  $10^8 \sim 10^9$  个。即使如此，微生物繁殖速度之快，也可由此而见一斑。

## 三、代谢强度大

由于微生物形体微小，表面积大，有利于细胞吸收营养物质和加强新陈代谢。我们可用表面积和体积之比来表示生物的代谢活跃程度。例如：

乳酸杆菌                      表面积/体积约为 120,000

鸡蛋                              表面积/体积约为 1.5

体重 200 磅的人              表面积/体积约为 0.3

有人计算，乳酸杆菌一小时内生成的乳酸约为其体重的 1000~10,000 倍，但一个人如要产生相当于其体重 1,000 倍的糖代谢物

则需 40 多年。

#### 四、数量多

由于微生物的营养谱极广,生长繁殖速度快,代谢强度大,因此,凡有微生物生存的地方,它们通常都拥有巨大的数量。以下一些数字可说明环境中微生物数量之多:

(1) 土壤是微生物的“大本营”,其中细菌数量达数亿/克,放线菌孢子达数千万/克,霉菌孢子达数百万/克,酵母菌达数十万/克。

(2) 全世界海洋中微生物的总重量约 280 亿吨。

(3) 人体肠道内菌体总数达 100 万亿左右。

(4) 新鲜叶子表面微生物数量达 100 多万个/克。

(5) 人们使用的钞票,平均每张纸币上的细菌数多达 900 万个,大肠杆菌检出率达 87.9%。

(6) 人的一个喷嚏约含菌 4,500~150,000 个,感冒患者的一个喷嚏含细菌多达 8500 万个。

一系列的调查数据表明,我们是生活在一个被大量微生物包围着的环境中,只是因为肉眼不可见而常常“身在菌中不知菌”。

#### 五、易变异

微生物的个体一般呈单细胞或接近于单细胞,它们通常都是单倍体,加之它们繁殖快、数量多,并与外界环境直接接触,因此,微生物具有易变异的特点,即使变异频率十分低(如 $10^{-5}$ ~ $10^{-10}$ ),也可在短时间内出现大量变异的后代。当环境变化时,微生物会大批死亡,但存活下来的微生物往往会发生结构和生理特性等的变异以适应变化了的环境。

近 50 年来,由于工业化的发展出现了大量人工合成的有机化合物,如杀虫剂、除草剂、洗涤剂、增塑剂、塑料等等。这些有机物对地球来讲是新参加进来的成员。开始,微生物很难降解它们,但由于微生物具有很强的变异性,近些年来,许多难降解的化合物已陆陆续续地找到了能分解它们的微生物种类。微生物易变异的特

点固然会引起菌种的退化,会使致病菌对抗生素等产生抗药性等,而给人类带来许多不利;但人类也可利用微生物易变异的特点,在微生物药品、制剂等的生产中,可较容易地选育出高效、优良的生产菌株,使产量、质量大幅度地提高。在环境保护中,废水生物处理时的活性污泥驯化,选育特定的微生物,以分解难降解有机物等工作,也是这一特点的实际应用。

人们要掌握这些特点并有效地应用于生产实践就必须深入地加强对它们的研究。

## 第二节 环境微生物学的研究内容

“环境微生物学”是研究人类的生存环境与微生物之间相互关系的科学,是“环境生物学”的一个分支。它是在环境问题日益严重、环境科学逐渐发展的推动下,于60年代后期兴起的一门新型学科。由于微生物在生态系统中、在人与环境的相互关系中占有特殊的地位,因此,这一学科一形成,便成为环境科学的重要组成部分。

环境微生物学的研究内容主要包括以下几方面:

### 一、自然环境中的微生物生态学研究

这是指整个自然环境与微生物种群之间相互关系的研究,以及微生物在自然界生物地球化学循环(biogeochemical cycle)中的作用研究。包括这部分内容在内的环境微生物学可称为广义的环境微生物学。

### 二、污染环境中的微生物生态学研究

这部分内容也有人称它为“污染微生物学”。它研究的是污染环境与微生物种群之间的相互关系,包括污染物质对微生物活动的影响,以及微生物对污染物质的降解、转化及其对环境的影响等等。

### 三、废水、废物的生物处理中微生物学原理和方法的研究

环境微生物学的研究，实际上是从水处理微生物学的研究和污染环境下微生物生态学的研究开始的。以活性污泥法为中心的各种污水处理工程的研究和应用，曾经有力地推动了整个环境微生物学的发展。如今针对特定的污水、废物的处理，进行高效菌种的分离筛选，运用遗传工程方法培育“超级细菌”，以及各种省能、高效的新处理技术的研究、开发，也必将使环境微生物学的内容大大地丰富、充实和发展。

#### 四、环境监测与评价的微生物学方法和原理的研究

细菌总数的测定，大肠菌群和粪链球菌等的检测，都是水体污染程度检测的常用微生物学监测方法。70年代以来，又出现了利用微生物快速检测环境致突变物和致癌物的多种方法，如具有灵敏度高、快速、简便、经济等优点的 Ames 试验法就是其中的一种。

### 第三节 学习环境微生物学的意义

#### 一、了解并揭示微生物在生态系统中的地位与作用

通过环境微生物学的学习、研究，可使我们了解并进一步揭示微生物在自然界生态系统中，在自然界物质与能量的转化、循环中所占有的特殊地位，所发挥的重要作用。

微生物“家族”中，不仅有光合细菌、蓝细菌、微型藻类等能利用光能的微生物，又有从无机物氧化获得能量的化能自养微生物，它们都是生态系统中的初级生产者。更为重要的是微生物中绝大多数细菌和所有真菌又是自然界生态系统中的主要分解者。由于微生物的活动，使地球上一切非生命组分与所有生物联系起来，因此，微生物在自然界中起着生物媒介物的作用。如若没有微生物的分解作用，地球表面的动、植物尸体很快就会堆积如山，而 N、P 等重要元素也将很快被耗尽，人类也就无法生存。主要由于微生物的分解作用，使有机物矿化，不断“清扫”着地球上的“垃圾”，为光合生物的无机营养库源源不断地补充营养物质。



## 二、避免或防止微生物对人类的麻烦及危害

有些微生物的活动会引起或加剧环境的污染甚至会危及人体的健康。通过环境微生物学的学习、研究,可使我们了解并进一步揭示微生物与人类的生产、生活,与人类的生存、发展的密切关系,为**避免或防止微生物对人类及其环境引起的麻烦与危害提供必要的知识。**

## 三、开发、利用微生物以保护环境造福人类

环境中的微生物是人类的一大资源库,其中存在着许多对人类极其有用的微生物。通过环境微生物学的学习、研究,将有助于我们开发微生物资源宝库,以**有效地利用微生物保护环境、保障健康,获取产品、造福人类。**

总之,环境微生物学的学习,无论是对于环境科学理论的深入学习、研究,还是在实际中的应用,都是必不可少的基础。通过学习,掌握其规律和方法,将可在环境保护的实际工作中得到广泛的应用。