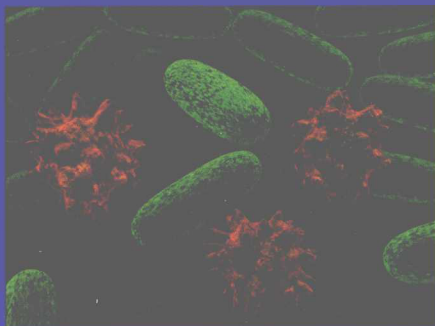


张小凡◎主编

环境微生物学

Environmental Microbiology



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

环境微生物学

主编 张小凡

编委 张小凡 周伟丽 王志平

上海交通大学出版社

内 容 提 要

环境微生物学(Environmental Microbiology)是环境科学中的一个重要分支,主要包括环境污染与生物治理工程中涉及的主要微生物类型(原核微生物、真核微生物及病毒)的个体形态结构与群体特征,环境微生物的营养要素与类型、生长特征,环境微生物的生理、生化特性,环境微生物的遗传变异等分子生物学原理及分子遗传学技术在环境保护与环境工程中的应用。本书还介绍了微生物在自然界物质循环和转化中的重要作用及环境微生物生态学在分子水平的发展;环境工程中各种生物处理方法的微生物机制;微生物对环境污染物的降解及其在污染控制中的应用;生物修复技术、固定化微生物、微生物絮凝剂、沉淀剂以及微生物能源的开发与应用等。

本书可作为高等院校有关环境保护专业教材,也可供与微生物学有关的科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境微生物学 / 张小凡主编. —上海: 上海交通大学出版社, 2013
ISBN 978 - 7 - 313 - 08806 - 2

I. ①环… II. ①张… III. ①环境微生物学—教材
IV. ①X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 165675 号

环境微生物学

张小凡 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787 mm×960 mm 1/16 印张: 26 字数: 444 千字

2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 313 - 08806 - 2/X 定价: 68.00 元

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话: 021 - 54742979

■ 前 言

环境微生物学(Environmental Microbiology)是环境科学中的一个重要分支,是一门新型交叉学科,主要是以微生物学的理论与技术为基础,并与环境科学和环境工程相互交融,它涉及面广,实践性强,发展迅速。

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。

本书系统阐述环境微生物学的基本知识与原理:包括环境污染与生物治理工程中涉及的主要微生物类型(原核微生物、真核微生物和病毒)的个体形态与群体特征,环境微生物的营养要素与类型、生长特征,环境微生物的生理、生化特性,环境微生物的遗传变异等分子生物学原理及分子遗传学技术在环境保护与环境工程中的应用;深入讨论微生物在环境保护中的作用与地位:包括微生物生态学基本研究方法及其研究意义,微生物与环境之间的相互作用关系,微生物在自然环境及极端环境中的群落结构和变化规律,微生物在自然界物质循环和转化中的重要作用,如碳、氮、硫、磷的循环,以及环境微生物生态学在分子水平的发展;具体介绍微生物对人类生存环境的作用及其实际调控与应用:包括环境工程中各种生物处理方法的微生物机制,微生物对环境污染物的降解及其在污染控制中的应用,环境微生物学技术在废水脱氮除磷工艺、厌氧反应器、固体废物处理及废气治理中的应用,生物修复技术,固定化微生物、微生物絮凝剂等的开发与应用,以及微生物能源的开发与应用。

本书以微生物对人类环境可持续发展的影响为主线,在总体内容上重

视基础知识、基本理论、基本规律的阐述,力求内容简明、概念清晰、逻辑严谨、覆盖面广、深入浅出,兼顾前沿性和系统性,既反映现代环境微生物学的总体面貌,也展示学科的发展趋势及最新研究成果。适用于高等院校有关环境保护类专业作为专业基础课教材使用,也可供与微生物学有关的科技人员、管理人员参考。

本书在编写过程中参考了国内外许多优秀教材及科研论文,在此向其作者谨致谢忱。最后,限于编者水平和编写时间的限制,疏漏和错误之处,恳请广大读者和业内同仁批评指正。

编 者

2013 年 2 月

■ 目 录

第一章 绪论	001
第一节 微生物及微生物学	001
一、微生物的定义	001
二、微生物的特点	002
三、微生物与人类的生存与发展	006
四、微生物学	008
第二节 微生物学的发展及应用	010
一、微生物学的发展简史	010
二、微生物学对生命科学的贡献	015
三、微生物与 21 世纪产业	018
第三节 微生物与环境科学	023
一、环境微生物学的研究对象及任务	023
二、环境生物技术	025
第二章 环境中的原核微生物	030
第一节 真细菌	030
一、细菌的大小与形态	030
二、细菌的结构	035
三、细菌的繁殖	049
四、细菌的培养特征	050
五、细菌的物理化学性质	051
六、环境工程中常见的细菌种属	053
第二节 古菌	055

一、古菌的细胞结构	055
二、古菌的特点	056
三、古菌的分类	057
第三节 蓝细菌	060
一、蓝细菌的形态特征	060
二、蓝细菌的繁殖方式	061
三、蓝细菌的分类	061
四、蓝细菌的危害	062
五、蓝细菌的检测	063
第四节 放线菌	063
一、放线菌的形态和大小	064
二、放线菌的菌落特征	065
三、放线菌的繁殖	066
四、放线菌的代表属	066
第三章 环境中的真核微生物	068
第一节 原生动物	068
一、原生动物的一般特征	068
二、原生动物的营养类型	071
三、原生动物的繁殖	072
四、原生动物的分类及各纲简介	073
五、原生动物的胞囊	079
第二节 微型后生动物	080
一、轮虫	080
二、线虫	081
三、寡毛类动物	082
四、浮游甲壳动物	082
五、苔藓虫、羽苔虫	083
第三节 藻类	083
一、藻的形态与结构	083
二、藻的繁殖与生活周期	084

三、引发赤潮与水华的藻类	084
第四节 真菌	088
一、酵母菌(yeast)	089
二、霉菌(mould, mold)	095
第四章 非细胞微生物——病毒	111
第一节 病毒的一般特征及其分类	111
一、病毒的类型	112
二、病毒的分类	114
第二节 病毒的形态和结构	114
一、病毒的形态	114
二、病毒的大小	115
三、病毒的化学组成	117
四、病毒的结构	120
第三节 病毒的增殖	123
一、吸附(adsorption)	124
二、侵入(penetration)与脱壳(encoating)	124
三、复制(replication)	125
四、装配(assembly)	127
五、释放(release)	127
六、病毒增殖的细胞效应	128
七、病毒的异常增殖	131
第四节 病毒对物理、化学因素的抵抗力	132
一、病毒对物理因素的抵抗力	132
二、病毒对化学因素的抵抗力	133
三、病毒对抗菌物质的抵抗力	134
第五节 环境中的病毒及病毒的应用	134
一、病毒在环境中的存活	134
二、污水处理过程中对病毒的去除效果	135
三、病毒的应用及危害	135

第五章 微生物的营养	138
第一节 微生物的营养元素	138
一、微生物细胞的元素组成	138
二、微生物细胞中的物质组成	139
三、微生物的营养物质	139
第二节 微生物的营养类型	144
一、光能无机营养(光能自养)型(photoautotrophic)	144
二、光能有机营养(光能异养)型(photoheterotrophic)	145
三、化能自养(无机营养)型(chemoautotrophic)	145
四、化能有机营养(化能异养)型(chemoheterotroph)	145
第三节 微生物对营养物的吸收	146
一、单纯扩散(simple diffusion)	147
二、促进扩散(facilitated diffusion)	149
三、主动运输(active transport)	150
四、基团转位(group translocation)	152
五、微生物对营养物的各种吸收方式比较	153
第四节 微生物的培养基	154
一、培养基的分类	155
二、培养基的选择	157
三、培养基的设计	158
四、培养条件的控制	158
第五节 微生物的分离和纯化	159
一、原理	160
二、微生物的接种	160
三、微生物的分离纯化	162
四、二元培养与共培养	164
五、分批培养与连接培养	165
六、同步培养	167
第六章 微生物的繁殖与生存因子	169
第一节 微生物个体与群体的生长和繁殖	169

一、微生物的个体生长与繁殖	169
二、微生物的群体生长规律	172
第二节 微生物生长量的测定	176
一、直接计数法(又称全数法)	177
二、活菌计数法(又称间接计数法)	178
三、细胞物质质量测定法	179
第三节 微生物的生长与环境	180
一、温度	180
二、氢离子浓度(pH)	184
三、湿度、渗透压与水活度	185
四、氧和氧化还原电位	185
五、氧以外的其他气体	187
六、辐射	187
七、超声波	188
八、消毒、杀菌剂与化学药剂	188
第四节 微生物对环境的适应与抗性	191
一、微生物的趋向性	191
二、微生物的抗逆性	192
第五节 菌种的退化、复壮与保藏	194
一、菌种的退化(degeneration)	194
二、菌种的复壮	197
三、菌种的保藏	199
第七章 微生物的酶	204
第一节 酶的组成与结构	204
一、酶的组成	204
二、酶蛋白的结构	205
三、酶的活性中心	205
四、酶的辅助因子	207
五、酶的催化特性	210
六、酶的分类与命名	212

第二节 酶的理化性质	214
一、酶的化学本质	214
二、酶蛋白的胶体性质和溶解度	214
三、酶蛋白的带电性和电泳	215
四、酶蛋白的颜色反应	218
五、酶蛋白的紫外光吸收	219
六、酶蛋白的变性	219
第三节 酶的分离纯化	219
一、酶的分离与纯化	220
二、酶蛋白相对分子质量的测定	224
第四节 酶的活力测定	228
一、酶活力、活力单位和测定条件	228
二、比活力	229
三、酶的转换数(K_{cat})	229
四、酶反应的初速度	229
五、酶活力的联合测定法	230
六、影响酶活力的因素	231
 第八章 微生物的代谢	 236
第一节 多糖的细胞外分解	236
一、淀粉的酶促水解	236
二、纤维素的酶促水解	237
三、二糖的酶促水解	238
第二节 微生物的无氧呼吸	238
一、代谢与呼吸作用的关系	239
二、代谢与呼吸类型	240
三、发酵(fermentation)	240
四、无氧呼吸(anaerobic respiration)	247
第三节 微生物有氧呼吸	249
一、三羧酸(TCA)循环	249
二、三羧酸循环的生理学意义	255

第四节 微生物的氧化磷酸化作用	256
一、氧化磷酸化过程中的电子传递	257
二、氧化磷酸化	261
三、氧化磷酸化作用机制	265
第五节 微生物的合成代谢	266
一、产甲烷菌的合成代谢	266
二、化能自养型微生物的合成代谢	267
三、光合作用	268
四、微生物固氮作用	271
 第九章 微生物的遗传和变异	275
第一节 微生物的遗传	276
一、遗传和变异的物质基础——核酸	276
二、微生物遗传物质的存在形式	279
三、基因及表达	283
四、微生物的遗传特性	284
第二节 微生物的变异	287
一、变异的实质——基因突变	287
二、突变的类型	288
三、基因突变的特点	289
四、突变的机制	290
五、Ames 试验	297
第三节 基因重组	300
一、原核微生物的基因重组	301
二、真核微生物的基因重组	306
第四节 遗传工程技术及应用	308
一、基因工程的特点	308
二、基因工程的主要工具	308
三、基因工程的基本操作	311
四、遗传工程技术在环境保护中的应用	313

第十章 微生物生态	319
第一节 微生物生态系统	320
一、微生物生态的基本概念	320
二、微生物生态系统的构成	322
三、微生物生态系统内的种间关系	323
四、微生物生态系统的种群多样性	324
五、微生物生态系统内的稳定性	325
六、微生物生态群落的演替	326
七、微生物群落中的遗传交流	327
八、微生物生态学研究方法	328
第二节 微生物生态系统的功能	329
一、碳循环	330
二、氮循环	331
三、磷循环	332
四、硫循环	333
五、其他元素循环	335
第三节 微生物生态系统的分类	336
一、土壤微生物生态	336
二、水体微生物生态	339
三、空气微生物生态	343
四、极端环境的微生物	344
第十一章 环境工程中的微生物技术	348
第一节 有机污染物的微生物降解与转化	348
第二节 微生物技术在污水处理中的应用	361
一、废水生物处理简介	362
二、废水生物处理的机制	363
三、好氧废水生物处理	363
四、厌氧废水生物处理	366
五、废水生物脱氮处理	369
六、废水生物除磷	373

第三节 有机固体废弃物的微生物处理	379
一、堆肥法(compost)	380
二、厌氧消化	382
三、卫生填埋	383
第四节 微生物技术在废气治理中的应用	384
一、废气生物处理过程	384
二、废气生物处理工艺	385
第五节 生物修复技术与生物制剂的开发与应用	387
一、固定化微生物技术	387
二、微生物制剂	393
三、微生物胞外多聚物	394
参考文献	396

第一章 绪 论

第一节 微生物及微生物学

一、微生物的定义

微生物(microbe, microorganism)并非分类学上的名词,是来自法语的“Microbe”一词。通常指一切不借助显微镜用肉眼看不见的微小生物。这类微生物包括病毒、亚病毒(类病毒、拟病毒、朊病毒)、具原核细胞结构的真细菌、古菌以及具真核细胞结构的真菌(酵母、霉菌、蕈菌等)、原生动物和单细胞藻类,它们的大小和特征如表 1-1 所示。

表 1-1 微生物形态、大小和细胞类型

微 生 物	细 胞 的 特 性	大 小(近似值)
病毒	非细胞的	0.01~0.25 μm
细菌	原核生物	0.1~10 μm
真菌	真核生物	2 μm 至 1 m
原生动物	真核生物	2~1 000 μm
藻类	真核生物	1 m 至几m

但是有些例外,如许多真菌的子实体、蘑菇等常常肉眼亦可见,某些藻类甚至可长达几米(m)。一般来说,微生物可以认为是相当简单的生物,大多数的细菌、原生动物、某些藻类和真菌是单细胞的微生物,即使为多细胞的微生物,也没有许多的细胞类型。病毒甚至没有细胞结构,只有蛋白质外壳包围着的遗传物质,且不

能独立存活。

二、微生物的特点

各种微生物有一些共同点如下。

1. 体积小、面积大

(1) 体积小: 微生物的个体极小, 仅几纳米(nm)到几微米(μm), 如杆菌的宽度为 $0.5\ \mu\text{m}$, 80 个杆菌“并排”也只是一根头发丝的宽度; 杆菌的长度约 $2\ \mu\text{m}$, 1 500 个杆菌头尾衔接起来仅有一粒芝麻长, 因此必须借助光学显微镜才能看见。病毒直径 $<0.2\ \mu\text{m}$, 在光学显微镜可视范围之外, 需要通过电子显微镜才可看见。

(2) 面积大: 如果把人的表面积和体积之比, 即比表面积值定为 1, 大肠杆菌的比表面积值则可高达 30 万。这样一个小体积大面积系统是微生物与一切大型生物在许多关键生理特征上的区别所在。由于微生物的比表面积大, 所以与外界环境的接触面特别大, 有利于微生物吸收营养和排泄废物。如大肠杆菌在合适条件下, 每小时可以消耗相当于自身重量 2 000 倍的糖类(碳水化合物), 而人类若消耗自身体重 1 000 倍乳糖, 需要 $2.5 \times 10^5\ \text{h}$ 。而且, 可供微生物代谢的基质又非常广泛, 凡是动、植物能利用的营养, 微生物都能利用, 大量的动、植物不能利用的物质, 甚至剧毒的物质, 微生物也有可能代谢。

我们可以利用微生物这一特性, 发挥“微生物工厂”的作用, 使大量基质在短时间内转化为大量有用的化工、医药产品或食品, 为人类所利用, 使有害物质转化为无害, 将不能利用的物质转变为植物的肥料。

2. 吸收多, 转化快

有资料表明, 3 g 地鼠每天能消耗与体重等重的粮食; 1 g 闪绿蜂鸟每日消耗 2 倍于体重的粮食; 发酵乳糖的细菌在 1 h 内可分解其自重 1 000~10 000 倍的乳糖。产朊假丝酵母(*Candida utilis*)合成蛋白质的能力比大豆高 100 倍, 比食用公牛高 10 万倍; 一些微生物在呼吸速率方面比高等动、植物组织也高得多。

微生物的这一特性为其高速生长繁殖和产生大量代谢产物提供了充分的物质基础。人类对微生物的利用, 主要是基于它们的生物化学转化能力。

3. 生长旺、繁殖快

微生物可以以惊人的速度繁殖后代, 在适宜的环境条件下, 几十分钟至几小时就可繁殖一代。如大肠杆菌在合适的生长条件下, 18~20 min 便可繁殖一代, 每小时可分裂 3 次, 由 1 个变成 8 个。从理论上讲, 每 24 h 可繁殖 72 代, 由 1 个细菌变

成 $4.722\ 366\ 48 \times 10^{21}$ 个(重约 4 722 t)(1 t=1 000 kg);经 48 h 后,则可产生 2.23×10^{43} 个后代,其重量相当于几千个地球。几种微生物的代时(分裂 1 次所需的时间)和每日增殖率如表 1-2 所示。

表 1-2 微生物的代时及日增殖率

微 生 物		代时(min)	日分裂次数	温度(℃)	日增殖率
细菌	乳酸菌	38	38	25	2.7×10^{11}
	大肠杆菌	18	80	37	1.2×10^{24}
	根瘤菌	110	13	25	8.2×10^3
	枯草杆菌	31	46	30	7.0×10^{13}
	光合细菌	144	10	30	1.0×10^3
真菌	酿酒酵母	120	12	30	4.1×10^3
藻类	小球藻	7(h)	3.4	25	10.6
	念球藻	23(h)	1.04	25	2.1
	硅藻	17(h)	1.4	20	2.64
原生动物	草履虫	10.4(h)	2.3	26	4.92

当然,由于营养物质的消耗及代谢产物的积累等种种条件的限制,这样的繁殖速度只能维持几个小时,不可能无限制地繁殖。因而在培养液中繁殖细菌,其数量一般仅能达到 $(1 \sim 10) \times 10^9$ 个/ml,最多达到 10×10^{10} 个/ml。尽管如此,它的繁殖速度仍比高等生物高出千万倍。

微生物的这一特性在发酵工业上具有重要意义,可以提高生产效率,缩短发酵周期。例如,生产发面鲜酵母的酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*)2 h 分裂 1 次,单罐发酵大约每 12 h 即可“收获”1 次,每年可“收获”数百次,这是其他任何农作物都不可能达到的;500 kg 重的食用公牛,每昼夜只能从食物中“浓缩”0.5 kg 重的蛋白质,而同样重的酵母菌,只要以糖蜜和氨水等为原料,在 24 h 内即可真正合成 50 000 kg 的优良蛋白质。这对缓和人类面临的人口增长与食物供应矛盾有着重大的意义。当然,对于危害人、畜和植物等的病原微生物或使物品发生霉腐的微生物来说,这一特性就会给人类带来极大的麻烦甚至严重的灾害。