

和文祥 洪坚平 主编

环境微生物学

HUANJINGWEISHENGWUXUE

中国农业大学出版社

环境微生物学

和文祥 洪坚平 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

环境微生物学/和文祥,洪坚平主编. —北京:中国农业大学出版社,2007.2

ISBN 978-7-81117-137-2

I. 环… II. ①和…②洪… III. 环境生物学:微生物学 IV. X-172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 142995 号

书 名 环境微生物学

作 者 和文祥 洪坚平 主编

策划编辑 张秀环

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路 2 号

电 话 发行部 010-62731190,2620

编辑部 010-62732617,2618

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

经 销 新华书店

印 刷 北京时代华都印刷有限公司

版 次 2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

规 格 787×980 16 开本 22.5 印张 413 千字

印 数 1~3 000

定 价 26.00 元

责任编辑 孟 梅

责任校对 陈 莹 王晓凤

邮政编码 100094

读者服务部 010-62732336

出 版 部 010-62733440

e-mail cbsszs@cau.edu.cn

图书如有质量问题本社发行部负责调换

主 编 和文祥 洪坚平

副 主 编 陈 强 赵秀兰

参 编 胡文峰 来航线 张维庆 陈 宏 颜 霞

主 审 沈德中

前 言

微生物是生态系统的重要组成部分,是自然界绝大多数物质的转化者和分解者,在物质转化分解、循环和能量代谢流动等方面,尤其在环境中有机和无机污染物的降解中发挥着十分重要的作用。

近几十年来,随着工业化程度的提高,环境污染事件不断出现,污染频率加大,造成的危害愈来愈严重。尤其是与人类生活密切相关的3大要素土、水、气污染的加剧,导致了农产品安全降低、人畜健康受到严重威胁,正如奥地利学者 W. M. Stigliani(1991)指出的那样,土壤中农药的污染和残留犹如“化学定时炸弹”,如不及时进行治理,后果将会如美国作家 R·卡逊女士 1962 年在《寂静的春天》中描述的那样悲惨,可见环境污染已经成为人类面临的最大挑战之一。为此各国政府和国际组织采取许多措施并投入了大量的人力、物力、财力开展这方面的研究工作,如美国仅在 20 世纪 90 年代中期就投入了上百亿美元进行土壤修复研究。

随着科学技术的发展,以及人类对微生物认识研究的不断深入,环境微生物学的重要性和优越性日益凸现,对其研究也日益深入、广泛。

本教材是在吸取了环境微生物学及环境工程领域的最新研究成果基础上编写而成,全书共分 3 篇。第 1 篇为微生物的基础知识,介绍环境中的微生物类群、微生物的营养、生长和遗传以及微生物生态与含碳、氮、磷、硫等物质转化的关系;第 2 篇为微生物在环境污染治理中的作用,该部分在阐述微生物对环境中有机污染物转化降解的基础上,系统介绍了微生物在污水、废气、固体废弃物及土壤污染的生物治理原理、方法和技术等,并简要介绍了废弃物的处理及资源化、环境污染的生物监测以及土壤污染治理及环境监测中的应用,以及微生物学新技术在环境保护中的应用等内容;第 3 篇为实验,包括普通微生物学和环境微生物学部分,使学生学会微生物学的基本操作和环境中微生物的监测技术。

《环境微生物学》由全国 6 所农林高等院校(西北农林科技大学、山西农业大学、西南农业大学、四川农业大学、华南农业大学、沈阳农业大学)从事环境微生物学教学科研的教师共同编写而成,主编和文祥、洪坚平,副主编陈强、赵秀兰。第 1 章由和文祥(西北农林科技大学)编写,第 2 章由洪坚平(山西农业大学)、赵秀兰(西南农业大学)完成,第 3、4、12 章由陈强(四川农业大学)编写,第 5 章由颜霞、来航线(西北农林科技大学)编写,第 6 章由洪坚平编写,第 7 章由陈宏(西南农业大学)编写,第 8 章由颜霞编写,第 9 章由和文祥、张维庆(沈阳农业大学)编写,第 10

章由和文祥、胡文峰(华南农业大学)编写,第11章由来航线编写,第13章由赵秀兰、胡文峰编写,全书由和文祥、陈强、洪坚平定稿。

本教材适合农林高等院校、理工科大学及其他院校环境工程专业、农业资源与环境专业及相近专业(环境科学专业、给排水专业等)的教师、学生作为教材和教学参考书使用,也可作为其他从事环境保护的科技人员参考。

由于我们水平有限,经验不足,难免有缺点和错误之处,敬请专家及各位读者批评指正。

编 者

2005 年

目 录

第 1 篇 微生物学基础

1 绪论	(3)
1.1 环境污染与环境微生物	(3)
1.2 环境微生物学	(5)
1.3 环境微生物学的发展	(6)
2 环境中的微生物类群	(8)
2.1 原核微生物	(8)
2.2 真核微生物	(25)
2.3 非细胞生物——病毒	(48)
3 微生物的营养与代谢	(55)
3.1 微生物的营养	(56)
3.2 微生物的能量代谢	(66)
3.3 微生物的生长繁殖	(80)
3.4 环境因素对微生物生长的影响	(86)
4 微生物遗传与变异	(95)
4.1 微生物的遗传	(95)
4.2 微生物的变异	(100)
4.3 原核微生物的基因重组	(102)
4.4 真核微生物的基因重组	(104)
4.5 基因工程	(105)
5 微生物生态与物质转化	(108)
5.1 生态系统与微生物生态系统	(108)
5.2 微生物与自然界的物质转化	(115)

第 2 篇 微生物在环境污染治理中的作用

6 微生物对污染物的降解与转化	(131)
6.1 有机污染物的生物降解	(131)

6.2	微生物对有机物的降解	(142)
6.3	微生物对无机污染物的转化	(166)
7	污水的生物处理	(172)
7.1	水体自净作用	(172)
7.2	污水生物处理原理及种类	(173)
7.3	活性污泥法	(175)
7.4	生物膜法	(185)
7.5	稳定塘法	(193)
7.6	厌氧处理法	(199)
7.7	污水的深度生物处理	(209)
8	固体废弃物和废气的生物处理	(217)
8.1	固废、废气污染的来源和种类	(217)
8.2	固废的生物处理	(218)
8.3	废气的微生物处理方法	(226)
9	污染环境的微生物修复	(231)
9.1	概述	(231)
9.2	有机污染土壤的微生物修复	(235)
9.3	重金属污染土壤的微生物修复	(241)
9.4	地下水生物修复工程	(244)
9.5	富营养化水体的微生物修复	(246)
10	微生物污染及其检测技术	(248)
10.1	微生物与环境污染	(248)
10.2	水体富营养化	(254)
10.3	污染环境的微生物学监测方法	(258)
11	微生物与废弃物资源化	(267)
11.1	微生物饲料	(267)
11.2	微生物能源	(272)
11.3	微生物冶金技术	(281)
12	微生物学新技术在环境工程中的应用	(284)
12.1	遗传工程与环境保护	(284)
12.2	基因工程技术与环境保护	(287)
12.3	固定化微生物	(290)
12.4	酶工程与环境保护	(293)

12.5	PCR 技术在环境保护中的应用	(297)
12.6	报告基因与环境保护	(300)

第 3 篇 环境微生物学实验技术

13	环境微生物学实验	(307)
13.1	显微镜的使用及细菌形态的观察	(307)
13.2	细菌的简单染色和革兰氏染色	(311)
13.3	放线菌形态观察	(314)
13.4	霉菌水浸标本片的制备与形态观察	(316)
13.5	微生物细胞大小的测定	(318)
13.6	微生物细胞数量的直接测定	(320)
13.7	培养基的制备及灭菌	(322)
13.8	微生物的计数和分离	(327)
13.9	水中细菌总数的测定	(333)
13.10	空气微生物的检测	(335)
13.11	大肠菌群总数的测定	(337)
13.12	利用 Ames 法检测环境中致癌物	(343)
13.13	藻类和原生动物的形态观察	(347)
	参考文献	(349)

第 1 篇

微生物学基础



- 1 绪论
- 2 环境中的微生物类群
- 3 微生物的营养与代谢
- 4 微生物遗传与变异
- 5 微生物生态与物质转化

1 绪论

1.1 环境污染与环境微生物

1.1.1 环境及环境污染

环境是指周围的事物或状态以及影响中心事物发展变化的外部因素。这个中心一般是指人类。在过去相当长的时间里,人类和周围的环境保持着一种良好协调的发展关系。

随着 18 世纪工业革命的发展、人口数量剧增、资源耗竭,以及“三废”物质种类和数量急剧增加,导致了人类生存环境不断恶化,环境灾难频频发生,环境污染引起的危害也越来越大。根据污染对象不同,可将环境污染划分为如下几种类型。

1.1.1.1 大气污染

CO_2 、 NO_x 会引起全球气候变化异常,形成全球性的温室效应和厄尔尼诺现象。据测算,全球最近 200 年里,大气中 CO_2 含量增加了 40%,全球平均气温升高了 1.5°C ,而在其前的几千年里,全球气温仅升高了 0.5°C 。

1.1.1.2 水体污染

据统计,全国每年排放的污水约为 584 亿 t,80% 没有经过处理。我国 5 个内陆湖中,4 个湖泊不同程度出现富营养化现象。1998 年、1999 年我国沿海海域发生大面积赤潮,受影响总面积达到 $5\,000\sim 6\,500\text{ km}^2$,约占我国海域面积的 50%,近海水产养殖受到严重影响。

1.1.1.3 土壤污染

据报道,目前我国受镉、砷、铬、铅等重金属、农药等污染的耕地面积近 2 000 万 hm^2 ,约占总耕地面积的 1/5,其中工业“三废”污染耕地 1 000 万 hm^2 ,污水灌溉的农田面积已达 330 多万 hm^2 ;有些农田质量达到了严重污染程度,如沈阳张士灌

区污水灌溉 20 多年后,污染耕地 2 500 多 hm^2 ,镉污染十分严重,稻田的含镉量达到 5~7 mg/kg 。

土壤污染由于其隐蔽性(潜伏性)、不可逆性和长期性,治理和恢复的难度很大,而且通过水、植物等介质最终影响人体健康。

1.1.2 环境微生物

环境微生物是一个极为广泛的概念,从生物学的定义出发,环境微生物不是一个类群,实际上是跨界的微生物的集群。除非细胞生物病毒外,原核生物、真核生物以及一些低等的微型植物都可以是环境微生物。

微生物是一些肉眼无法看到的个体微小、形态结构简单的生物,它包括原核生物(细菌、古细菌、放线菌、立克次氏体、支原体、衣原体)、真核生物(原生动物、真菌、藻类)、非细胞生物噬菌体、病毒。

尽管环境中的微生物在形态、结构等方面具有较大的差异,但具有共性:①个体小:大多数微生物以微米(μm)或纳米(nm)来量度其大小;②种类多:据估计,细菌(含放线菌)约有 4 万种,已知种仅占总数的 12%,已发现真菌有 69 000 种,已知种占真菌总数的 5%;③繁殖快:在适宜的条件下,微生物繁殖的速度要比动、植物快上千倍或上万倍,例如大肠杆菌,适宜条件下繁殖一代所需要的时间为 20 min,经 24 h,1 个细胞的后代为 4.722×10^{21} 个,重量可达 $4.722 \times 10^5 \text{ kg}$,因此环境中的微生物数量巨大;④分布广:微生物细胞由于个体较小,可以在自然界中很好地生长繁殖,除了在普通的土壤、水体、空气中有大量的微生物存在,而且在生活的动、植物体内和体外,以及一些极端环境条件下如冰川、海底、盐湖、沙漠,酸性矿水和高温这些不同的生境中都存在着一些特有的生理群;⑤易变异:由于微生物细胞较小,进化程度较低,只是一些单细胞、多细胞和非细胞微生物,没有高等生物的组织、系统等分化,所以其更易受到外界环境的影响,而在短时间内发生变异;⑥适应能力强:微生物能够在自然界大量存在的一个主要原因是其对外界环境的适应能力极强,对营养物质和生存空间等要求可以说是十分宽松,即使在许多生物无法生活的极端环境条件下,也有相应的微生物适得其所地生活着;⑦代谢能力强:由于微生物细胞具有较高的比表面积,因而物质的吸收、废物的排出的速率要远远高于动植物;⑧利生产:容易大量生产满足需要。这些特点都为微生物在环境保护和治理中发挥更大作用奠定了基础。

许多资料研究表明,环境污染与治理都和环境中的微生物有着千丝万缕的关系,环境中的微生物对自然界物质循环、转化、污染物的降解有较大的调节作用,对环境污染治理具有不可替代的作用,对环境中微生物资源的利用,是改变环境污染

状况的最佳途径之一。

1.2 环境微生物学

1.2.1 概述

环境微生物学可以简明定义为是研究保护环境的微生物学。是利用微生物多种多样的代谢活动来解决环境中出现的众多问题的一门学科。具体来讲,环境微生物学的研究对象是人类生存环境中的微生物;研究内容是微生物对人类环境所产生的有益和有害的影响,阐明微生物在人类生存环境中的活动情况与作用规律;研究防治环境污染、改善与提高环境质量的微生物学原理、途径、技术与方法,最终达到保护环境造福人类的目的。

1.2.2 环境微生物学的作用、任务

环境微生物学主要研究内容及在环境保护中的具体作用如下:

1.2.2.1 微生物在自然环境中存在的基本情况与活动规律

研究自然环境条件下的微生物种群、组成、类群、数量细胞结构、功能与动态以及物质转化、能量流动等,不同生态系统(未遭受污染的水体、土壤和大气)的微生物背景和资源,了解各类微生物在生态系统中所发挥的作用,为保存和开发有益微生物和控制有害微生物提供重要依据。

1.2.2.2 污染环境的微生物学

一方面研究人类污染对微生物活动的影响,也就是污染环境中微生物的群体生长繁殖和消亡、群落结构和功能及演变规律。另一方面研究微生物由于其代谢能力较强、种类代谢类型的多样性,对污染物质能较快适应的特点,以及微生物对环境污染物的降解与转化的机理,包括对有(无)机污染物、农药、石油、塑料以及城市生活垃圾、人畜粪便、植物秸秆等农业废弃物转化方面作用的研究。

1.2.2.3 微生物对环境的污染

部分微生物的生长也会给人类和环境带来不利影响,有些微生物产生有毒物质,可致癌、致畸、致突变,这些物质积累于环境中严重地威胁着人体健康。如黄曲

霉在潮湿的条件下,会产生一种毒性极强的毒素物质——黄曲霉毒素,其毒性是氰化钾的 10 倍;含硫有机物质在厌氧条件下生成 H_2S 污染空气;厌氧条件下, Hg^0 甲基化后毒性更强;硝酸盐转化为致癌的亚硝胺类化合物;水体中无机氮、无机磷超标后会引发水体富营养化的发生,使水体发生赤潮、水华等严重影响水产养殖业的发展;近年来,许多新的致病微生物不断出现,禽流感(Bird Flu)、SARS 冠状病毒等,既危及人类健康,也造成巨大的经济损失。

1.2.2.4 微生物与环境监测

微生物监测是利用生物对环境污染所发出的各种信息来判断环境污染状况的过程。在自然环境中长期生活的生物,不仅能够对多种污染做出综合反映,还能反映污染历史。因此,微生物监测取得的结果具有重要的参考价值。微生物因其细胞结构简单、代谢强、繁殖快、易变异等特点,对环境反应敏感因此必然成为监测中的重要手段之一。

1.3 环境微生物学的发展

环境微生物学是环境科学与微生物学交叉形成的一门学科。可以说是与微生物学一起诞生的,列文·胡克第一次看到的微生物就是污水中的微小生物,随后的 200 年间微生物学的发展也没有离开环境,人们乐于观察不同的环境和物品,了解其上生长的不同微生物种类,为微生物学的全面发展奠定了基础。

环境微生物学作为一门独立的学科,始于 20 世纪 60 年代末。1972 年在斯德哥尔摩召开的人类环境会议上,联合国人类环境宣言的通过标志着环境微生物学成为一门独立的学科。30 多年来,其研究内容和研究手段不断丰富和完善,研究结果为环境保护等做出了巨大贡献。

我国的环境微生物学研究始于 20 世纪 70 年代,最初主要是科学院一些研究所开展了些工作,主要有中国科学院微生物研究所工业废水处理;中国科学院南京土壤研究所开展的 666 等农药的生物降解菌的基础研究;中国科学院沈阳应用生态研究所研究了污灌区土壤微生物区系和石油污染条件下降解微生物的情况;同时一些高校如华东师范大学、同济大学等开展了生活污水的微生物处理研究,均取得较好的结果。为我国环境微生物学的发展奠定了强有力的基础。

20 世纪 90 年代后,我国政府和学者对环境中的微生物问题越来越重视,国家也投入了大量的人力、物力开展此方面的研究工作。在大气、水和土壤污染防治和

治理方面取得了长足的进步。研究队伍不断扩大、研究方向不断拓宽、创新,研究手段日臻完善。

同时,我国学者也编写出版了许多环境微生物学的教材和专著。早期如刘期松等编写的《环境污染与生物净化》、杨惠芳的“微生物与环境保护”的学术报告;20世纪80年代初,华中科技大学和同济医学院自编出版了《环境微生物学》教材。迄今为止,我国已编写出版《环境微生物学》教材10余种,对促进我国环境微生物学教学和研究起到了积极作用。

2 环境中的微生物类群

本章提要:主要介绍了在自然环境中存在的种类繁多的原核生物(细菌、放线菌、蓝细菌、古细菌)、真核生物(真菌、酵母菌、担子菌)、非细胞生物以及蓝藻、原生动物等微生物个体和群体的形态特征、细胞结构,以及在环境中常见的代表类型。

根据微生物的进化水平和各种性状的明显差别,可将其分为原核生物(真细菌和古细菌)、真核微生物和非细胞生物 3 大类群,本章将分别介绍他们的形态构造和功能。

2.1 原核微生物

原核微生物是指一大类没有典型细胞核结构的单细胞微生物。这类微生物只有核物质存在的核区,没有核膜、核孔等结构,包括真细菌和古细菌两大类群。其中除少数属古细菌外,多数的原核生物都是真细菌。原核微生物主要有细菌、放线菌、蓝细菌、古细菌、支原体、立克次氏体和衣原体。

2.1.1 细菌

细菌是一类单细胞、结构简单,主要以二等分裂繁殖的原核微生物。

2.1.1.1 细菌的形态和大小

(1) 细菌的形态

细菌的形态主要分为球菌、杆菌和螺旋菌 3 类(图 2-1)。

①球菌:细胞呈球形,直径 $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$,按其细胞排列方式可分为单球菌、双球菌、链球菌、四链球菌、八叠球菌和葡萄球菌。

典型的球菌有葡萄球菌属(*Staphylococcus*),细胞呈球状,直径 $0.5 \sim 1.5 \mu\text{m}$; G^+ , 单生、成对或堆集成葡萄状,不运动。菌落颜色不一。产胡萝卜类色素。其生