

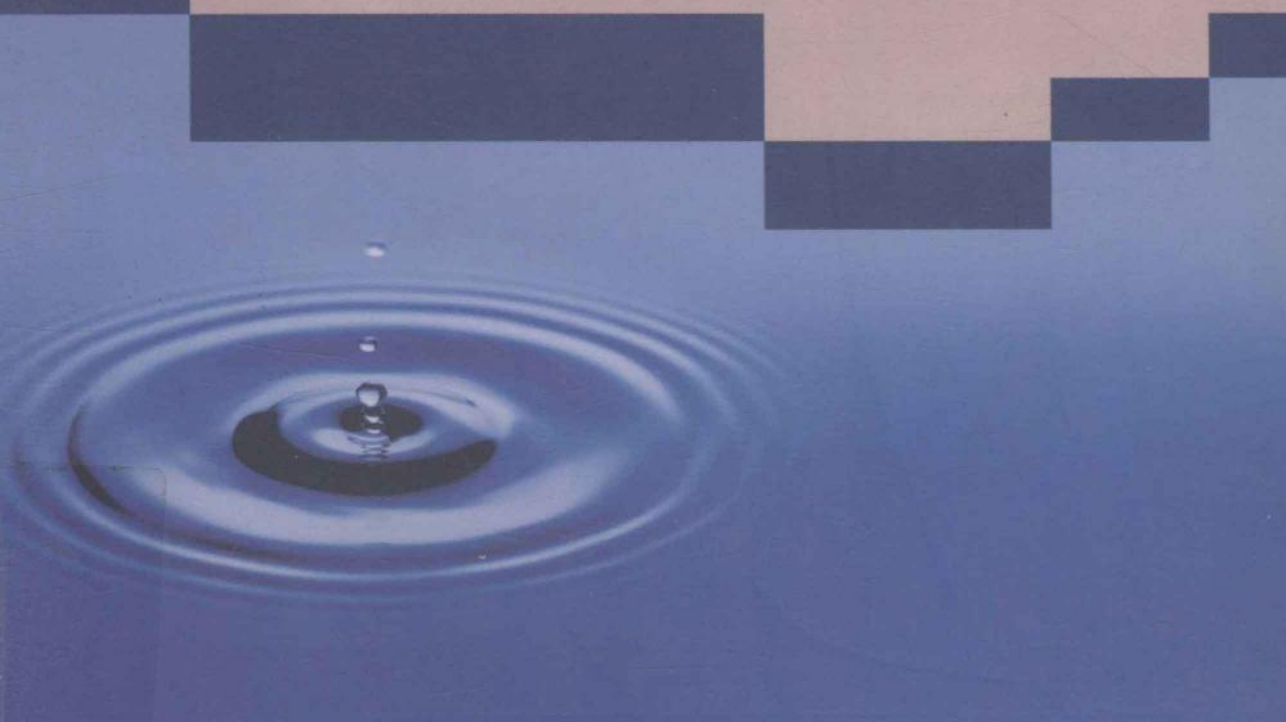
任南琪 马放 杨基先 等编著

# 污染控制微生物学

(修订版)

哈尔滨工业大学出版社

市政与环境工程系列丛书



# 污染控制微生物学

编著 任南琪 马 放 杨基先  
王爱杰 李建政 马汐萍  
冯玉杰

哈尔滨工业大学出版社

·哈尔滨·

## 内 容 提 要

本书除介绍了微生物的形态结构、生理特征、新陈代谢、生长繁殖和遗传变异等知识外,还叙述了难降解物质的降解与转化规律、废水生物处理基本原理和新工艺、新技术及生物修复等方面内容,反映了国内外最新研究成果。此外,还首次在污染控制微生物学中阐述了微生物生态学的基本原理。

本书可作为高等学校的市政工程、环境工程和环境科学等学科本科生和研究生的教材,同时,还可供从事环境保护工作的科研人员、技术人员和相关的工程设计人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

污染控制微生物学/任南琪等编著.—2版.—哈尔滨:  
哈尔滨工业大学出版社,2004.9  
(市政与环境工程系列丛书)  
ISBN 7-5603-1801-0

I.污… II.任… III.微生物—生物工程—应用  
—环境污染—污染控制 IV.X506

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第088763号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区教化街21号 邮编 150006  
传 真 0451—86414749  
印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂  
开 本 787×960 1/16 印张 29 字数 650千字  
版 次 2004年9月第2版 2004年9月第2次印刷  
书 号 ISBN 7-5603-1801-0/X·10  
印 数 5 000~10 000  
定 价 27.00元

## 再版说明

近几年,随着环境污染防治理论与技术的发展,生物处理技术得到了更广泛、深入地研究,而作为其重要的支撑学科——“污染控制微生物学”,就需要不断地加以补充和完善。因此,有必要将本书作适当的调整,一方面是适应相关领域研究和应用的需要,另一方面是力求面向广大学生读者,并突出本书的特色。

为此我们从内容到结构都有一定的调整,补充了产能代谢及微生物生长繁殖规律的基础理论,增加了厌氧微生物学的最新研究成果等。同时,在附录中增加了近两年的硕士及博士研究生考试试题。

本书第一版发行以来,得到了广大读者的关注和好评,并已被多所高校相关专业作为教材,同时给予我们极大的鼓励与支持,又提出宝贵意见。另外,本书再版期间,哈尔滨工业大学出版社给予了大力支持和帮助,在此一并表示深深地感谢。本书再版是由哈尔滨工业大学市政环境工程学院环境科学与工程学环境生物技术学科的集体讨论,最后由任南琪、马放、杨基先、王爱杰执笔并审稿。

本书尽管再版,也难免有疏漏及不妥的之处,恳请广大读者及时批评指正,以便于本书的更加完善。

作者

2004年8月

# 前 言

20世纪80年代以来,我国在污染控制微生物学方面的深入研究促进了污染控制工程领域的进一步发展,利用污染控制微生物学研究和开发的新技术、新工艺相继出现。同时,污染控制工程的深入研究也扩展和充实了本学科的研究范畴和基础理论,使本学科发生日新月异的变化,并对本学科提出了更新的要求。

污染控制微生物学是一门实践性很强的学科,与污染控制工程有着密切联系。因此,在本书编写中除介绍基础理论、基础知识和基本技能外,还力求联系实际,反映本学科领域的最新成就。本书汲各家所长,结合自己的教学和科研实践经验,本着污染控制工程的实际需要,增添了与污染控制工程科学研究和运行管理等有关的内容和理论。

本书除介绍了有关微生物的形态结构和生理特征外,还对以下问题进行了较深入的讨论:微生物的产能代谢、物质代谢与代谢调节;微生物的培养;微生物生态学基本原理;细菌的基因重组;难降解物质的降解与转化规律;各种生物处理工艺技术及生物类群;好氧生物处理基本原理;厌氧生物处理新技术,以及非产甲烷细菌和产甲烷细菌的生理、生态学特征;生物脱氮、除磷基本原理和工艺技术;生物修复技术。在某些章节中,融入了作者近年来的科研成果和观点,并反映了国内外最新研究成果,有些内容在同类著作中至今还尚未涉足,但从现代污染控制工程的角度来看,这部分内容具有较重要的实际意义。

本书中的大部分章节已在哈尔滨工业大学、辽宁大学等学校讲授过多年,而今,为了适应市政工程、环境工程等工程类学科以及环境科学等理科类学科在新形势下的不同需要撰写了本书。本书得以促成撰写,用于教学并正式出版,要感谢国际水协会(IWQ)理事、国际水科学院终身院士、哈尔滨工业大学王宝贞教授的鼓励与指导,辽宁大学周大石教授、蒋志学教授的悉心指教。三位老先生的理论与著作在本书的撰写过程中给予了莫大的启迪与帮助,在此向三位老先生表示衷心的感谢。本书既阐述了微生物学基础理论和应用,又系统地介绍了污染控制的生物处理工艺和技术,可供读者根据不同学科的需要选择所需章节作为详读和简读。此外,某些理论较深的章节可作为市政工程、环境工程和环境科学等学科研究生的学习内容。

参加本书编写的有哈尔滨工业大学任南琪、马放、杨基先、李建政、冯玉杰,辽宁大学马沙萍。编写分工是:马放第一、二、三章,杨基先第四、五、十五章,任南琪第六、七、八章,冯玉杰第九章,李建政第十、十二、十四章,马沙萍第十一、十三章,最后由任南琪、马放、杨基先统稿。

本书可以作为市政工程、环境工程、环境科学等学科的教材或参考教材,并可作为非生物专业的市政工程和环境工程学科的研究生和从事环境保护与给排水工程设计人员的参考书。

由于时间紧迫,作者水平有限,书中不妥之处在所难免,敬请专家学者、广大师生和读者批评指正。

作 者

2002年10月

# 目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 污染控制微生物学的研究对象和任务	(1)
第二节 污染控制中的微生物作用	(2)
第三节 微生物概述	(4)
第四节 微生物学的发展简史	(8)
第五节 污染控制微生物学的发展简史	(10)
思考题	(11)
第二章 原核微生物	(12)
第一节 细菌	(12)
第二节 放线菌	(27)
第三节 鞘细菌	(31)
第四节 滑动细菌	(34)
第五节 蓝细菌	(36)
第六节 光合细菌	(38)
思考题	(38)
第三章 真核微生物	(39)
第一节 真菌	(39)
第二节 藻类	(46)
第三节 原生动物	(51)
第四节 后生动物	(56)
思考题	(58)
第四章 非细胞生物——病毒	(59)
第一节 病毒的形态结构	(59)
第二节 病毒的增殖	(61)
第三节 影响水中病毒存活的因素	(64)
第四节 水中病毒的去除与破坏	(65)
第五节 微生物主要类群形态特征比较	(66)
思考题	(66)

<b>第五章 微生物的营养</b> .....	(67)
第一节 微生物的营养物质 .....	(67)
第二节 微生物细胞的化学组成 .....	(69)
第三节 物质的运输 .....	(70)
第四节 微生物的营养类型 .....	(71)
第五节 培养基 .....	(73)
思考题 .....	(77)
<b>第六章 微生物的代谢</b> .....	(78)
第一节 微生物的酶和酶促反应 .....	(79)
第二节 化能异养型微生物的产能代谢——发酵与呼吸 .....	(93)
第三节 化能自养型微生物的产能代谢 .....	(108)
第四节 微生物的有机物质代谢 .....	(111)
第五节 代谢调节 .....	(117)
思考题 .....	(121)
<b>第七章 微生物的生长繁殖</b> .....	(122)
第一节 微生物纯培养的生长 .....	(122)
第二节 微生物的生长曲线 .....	(125)
思考题 .....	(134)
<b>第八章 微生物的生态</b> .....	(135)
第一节 自然环境中的微生物生态分布 .....	(135)
第二节 微生物个体的生态条件 .....	(149)
第三节 微生物种群的生存竞争 .....	(173)
第四节 微生物群落的生态的演替 .....	(181)
第五节 生态系统 .....	(184)
第六节 微生物与自然界中的物质循环 .....	(189)
第七节 环境微生物分子生态学 .....	(191)
第八节 水的卫生细菌学 .....	(224)
思考题 .....	(239)
<b>第九章 微生物的遗传和变异</b> .....	(240)
第一节 微生物的遗传 .....	(240)
第二节 微生物的突变 .....	(246)
第三节 细菌的基因重组 .....	(249)
第四节 基因工程在环境科学与工程中的应用 .....	(254)
思考题 .....	(263)

<b>第十章 微生物对难降解物质的降解与转化</b> .....	(264)
第一节 有机污染物的生物降解性 .....	(264)
第二节 微生物对自然界中难降解物质的分解与转化 .....	(267)
第三节 微生物对石油化工废水中烃类化合物的分解与转化 .....	(271)
第四节 微生物对合成有机化合物的分解与转化 .....	(273)
第五节 微生物对无机污染物的转化 .....	(280)
思考题 .....	(285)
<b>第十一章 废水生物处理基本原理和主要微生物类群</b> .....	(286)
第一节 废水生物处理基本原理 .....	(286)
第二节 好氧生物处理 .....	(288)
第三节 氧化塘 .....	(304)
第四节 厌氧生物处理简介 .....	(312)
第五节 废水生化处理中主要微生物类群 .....	(313)
思考题 .....	(319)
<b>第十二章 厌氧生物学原理及厌氧生物处理技术</b> .....	(320)
第一节 非产甲烷细菌 .....	(321)
第二节 产甲烷细菌 .....	(324)
第三节 厌氧生物处理微生物生态学 .....	(327)
第四节 厌氧生物处理工艺学 .....	(320)
思考题 .....	(377)
<b>第十三章 水体的富营养化和氮磷的去除</b> .....	(378)
第一节 水体富营养化 .....	(378)
第二节 生物脱氮 .....	(383)
第三节 生物除磷 .....	(389)
思考题 .....	(391)
<b>第十四章 污染控制微生物学的应用</b> .....	(392)
第一节 微污染水源水的生物预处理 .....	(392)
第二节 污染控制微生物学在废水处理中的应用 .....	(397)
第三节 污染控制微生物学在大气治理中的应用 .....	(404)
第四节 微生物在固体废弃物处理中的应用 .....	(408)
思考题 .....	(410)
<b>第十五章 生物修复技术</b> .....	(411)
第一节 概述 .....	(411)
第二节 生物修复技术的原理 .....	(414)



第三节	生物修复的可行性研究	(425)
第四节	生物修复工程技术	(427)
第五节	海洋石油污染的生物修复	(431)
第六节	无机污染物的生物积累和生物吸着	(434)
第七节	湖泊的生物修复	(438)
第八节	污染土壤的植物修复	(440)
	思考题	(447)
附录		(448)
附录一	2003 哈尔滨工业大学硕士研究生考试试题	(448)
附录二	2004 哈尔滨工业大学硕士研究生考试试题	(450)
附录三	2004 哈尔滨工业大学博士研究生考试试题	(453)
参考文献		(454)

# 第一章 绪 论

## 第一节 污染控制微生物学的研究对象和任务

污染控制微生物学是环境污染治理与微生物学相结合而产生发展起来的一门边缘性学科,属于环境微生物学的研究范畴,重点是研究污染控制工程中涉及到的微生物学问题,是在普通微生物学的基础上,着重研究栖息在自然环境、受污染环境 and 人工处理系统中的微生物生态、环境的自净作用、环境污染及其生物处理工程中的微生物学原理。

微生物学(microbiology)是研究微生物及其生命活动规律的一门基础学科。研究的内容涉及到微生物的形态结构、分类鉴定、生理生化、生长繁殖、遗传变异、生态分布,微生物各类群之间、微生物与其他生物之间及微生物与环境之间的相互作用、相互影响的复杂关系等,目的是为了更好地了解、利用、控制和改造微生物,造福于人类。而污染控制微生物学是研究环境污染治理中的微生物,虽然有其特殊性,但它也离不开普通微生物学的基本原理,只有掌握这些基本原理,才能在此基础上把微生物学原理应用到污染控制中去。本学科就是要在认真学习微生物学原理的基础上,着重讨论与环境污染控制有关的微生物学问题。微生物在整个自然界的物质循环和转化过程中起着巨大的作用,作为分解者,是整个生物圈维持生态平衡不可缺少的部分。不难想像,如果没有微生物的分解作用,地球上将会尸骨遍野,堆积如山,人类将无法生存和发展。正是因为分解转化的作用,我们才能够利用微生物进行环境污染的生物处理,使污染物得以去除,环境得到净化。参与环境污染净化的微生物主要有细菌、真菌、藻类和原生动物等类群,它们彼此之间、它们同污染物之间构成了种种复杂关系,而且微生物本身又在污染的环境中生长繁殖,不断演变,所以,阐明微生物自身的生长变化规律以及与环境的复杂关系是本学科的主要任务之一。具体来讲,就是要搞清楚被污染环境中微生物的种类、生态分布、生长繁殖和遗传变异的规律,同时,还要阐明污染控制的作用机理。

事物的发展总是辩证的,大多数微生物对人类是有益的。例如,在酿造业、石油发酵、抗生素药品生产中,特别是在环境污染控制等方面,微生物都起着重要作用。但是有少数微生物是有害的,例如,病原微生物\* (病毒、细菌、霉菌、变形虫的某些种)能引起人类和牲畜等动植物产生疾病;环境中的蓝藻、绿藻和甲藻等中的某些种,若极度生长,将引起湖泊发生“水华”和海洋发生“赤潮”;硫细菌和铁细菌能造成管道的生物腐蚀和堵塞等。因此,如何最有效地去除环境中有害于人类健康的病原微生物,防止和控制微生物造成的危害,也是污染控制微生物学研

\* 能够引起人或动植物产生疾病的微生物,叫病原微生物

究的主要任务之一。此外,如何发挥学科的支撑作用,开发新的处理工艺,解决处理中的微生物学问题,把微生物的新技术应用到污染控制工程中去,也属于本学科亟待研究解决的问题之一。

## 第二节 污染控制中的微生物作用

### 一、在给水处理工程中的作用

给水工程和排水工程(废水处理)二者虽然在工程设施和工艺流程方面各不相同,但目的都是解决水源的无害化问题。

#### (一)在给水处理工程中的作用

水是生命的源泉,是国民经济发展和人类生存的一个基本条件。在 5.1 亿  $\text{km}^2$  的地球总表面积中,71%被水覆盖,因此,人们把地球称为水球。但是,这些水中的 97.3%是海水,淡水仅占地球总水量的 2.7%,而淡水中能够被人类开采利用的只有 0.2%。随着人类的进步、科学的发展,环境污染也日趋严重,出现了全球性的水资源危机。特别是在人口稠密的大城市,用于生活的饮用水和工业生产用水的水量日益增大,水的供需之间矛盾越来越大。1977 年联合国曾向全世界发出警告:“水资源匮乏将成为一种严重的社会危机”。联合国大会已从 1993 年开始,将每年的 3 月 22 日定为世界水日,足可见水资源危机的严重性。在我国,像北京、上海、天津、沈阳、哈尔滨、青岛、深圳等许多大城市都普遍存在水资源短缺和供水不足的问题,加之水污染的严重性更使水资源危机加深,同时,也使给水的净化增加很大的困难。评价给水水质的重要内容就是水的卫生细菌学标准,这也是污染控制微生物学中的一项重要内容。水是病原微生物主要的传播媒介,如伤寒、痢疾、霍乱和腹泻等疾病,就是由于水中存在的细菌性病原体引起的。所以,给水工作者都应具备水的卫生细菌学知识,了解水中病原微生物的生长及传播规律,进而掌握消毒和杀菌的方法,以保证饮水卫生,防止疾病蔓延。水中往往存在致突变污染物,这些物质可以利用微生物检测出来。另外,藻类大量滋生时会堵塞给水厂的滤池,并会使水中带有异味或增加水的色度、浊度等,因此,在给水处理中应尽可能除去这些微生物,以提供符合标准的生活饮用水和工业生产用水。同时,也可利用工程菌形成固定化生物活性炭,来消除水中的微量有机物;利用微生物生产生物絮凝剂,取代无机和有机絮凝剂,以进一步提高饮用水水质。

#### (二)在排水工程中的作用

排水工程主要是对废水进行处理,去除废水中的各种污染物,达到无害化的目的。废水处理有物理、化学和生物等多种方法,其中生物处理法占有很重要的地位。生物处理法的基本原理就是利用各种微生物的分解作用,对废水中的污染物进行降解和转化,使之矿化且使水中的重金属得以适当转化。由于生物处理法具有高效、经济等优点,因此被普遍采用。

生物处理法主要包括活性污泥法、生物膜法(生物转盘、生物滤池、接触氧化)、自然处理法(氧化塘、氧化沟等)、厌氧消化法等等。在实际处理中,可以根据被处理的废水性质以及各种

处理法的特点来选择较为适宜的组合式处理工艺。另外,在受污染水体的生物修复技术中,微生物起着极为重要的作用。

## 二、在土壤净化工程中的作用

土壤是生态环境的重要组成部分,是人类赖以生存的主要资源之一,也是物质、生物、地球化学循环的储存库,对环境变化具有高度的敏感性。

由于农业上不断增加化肥、农药的使用量,工业废水的农田排放、有毒有害固体废物的堆放与填埋所引起的有毒有害物质的泄漏等原因,造成了土壤环境质量的日益恶化。特别是在油田地区,土壤油污染十分严重。被污染的土壤通过对地表水和地下水形成二次污染和经土壤-植物系统由食物链进入人体,直接危及人体健康。因此,土壤生态环境的保护与治理已引起人们的普遍关注,土壤污染治理技术与开发,已成为当前国内外环境保护领域的热点课程,如利用土壤微生物或筛选驯化的工程菌来进行污染土壤修复的生物修复技术研究就是其中之一。

## 三、在污染空气净化工程中的作用

空气与人类的生存息息相关,空气质量对人类健康有着直接的影响。空气中缺乏微生物可直接利用的营养物质,微生物不能独立地在空气中生长繁殖,它不是微生物生长繁殖的天然环境,所以,空气中没有固定的微生物种群。正因如此,利用微生物对污染空气进行净化并不普遍,但在可控条件下采用微生物处理法还是比较经济、高效的。例如,城市垃圾中转站的恶臭空气,可以通过向空气中喷洒有效菌群加以净化;在污泥消化过程中产生的含  $H_2S$  的气体,也可以通过生物滤塔得以净化。

另外,在“废水”、“废气”、“废物”的资源化、废旧物质的回收利用,以及环境污染防治中的生物监测与评价等方面,微生物将发挥更大的作用。

随着人类社会的发展和科学的进步,特别是现代化工业的出现,人类的物质生活条件大大改善,同时,也造成了日益严重的环境污染,尤其是水污染已成为严峻的社会问题。现在人们已经充分认识到,环境污染治理离不开微生物的作用。就目前的研究来看,污染控制微生物学的研究大致有以下几方面的内容:

- ① 自然环境以及污染环境中的微生物生态学;
- ② 污染控制中的微生物学原理以及微生物资源的开发与利用;
- ③ 特种废水的处理技术以及高效、经济、节能废水处理技术的开发与应用;
- ④ 生物工程和一些微生物新技术在污染控制中的应用;
- ⑤ 环境中有害微生物的去除以及病原微生物的快速检测技术;
- ⑥ 废水及固体废弃物生物处理过程中的减量化和资源化技术。

随着研究的不断深入,微生物在污染控制方面将发挥更为巨大的作用。因此,从事污染控制工作的科技人员和研究者都应该具备扎实的微生物学知识。本着这一宗旨,在阐述微生物学基本概念、基础理论和基本方法的同时,着重讨论微生物学在污染控制中的应用。

## 第三节 微生物概述

### 一、微生物的定义

微生物(microorganisms)一词并非生物分类学上的专用名词,而是指所有形体微小单细胞的,或个体结构较为简单的多细胞,甚至无细胞结构的,必须借助光学显微镜甚至电子显微镜才能观察到的低等生物的通称。因此,微生物类群十分复杂,其中包括不具备细胞结构的病毒,单细胞的细菌和蓝细菌,属于真菌的酵母菌和霉菌,单细胞藻类和原生动物、后生动物等。

### 二、原核微生物与真核微生物

如果按细胞核结构和细胞器分化程度的不同,可将全部生物分为两大类,即原核生物(procaryotic organisms)和真核生物(eucaryotic organisms)。同样,微生物也被分为原核微生物和真核微生物两大类。

凡是细胞核发育不完全,仅有一个核物质高度集中的核区(叫拟核结构),不具核膜,核物质裸露,与细胞质没有明显的界限,没有分化的特异细胞器,只有膜体系的不规则泡沫结构,不进行有丝分裂的细胞称为原核细胞,由原核细胞构成的微生物称为原核微生物。反之,凡是具有发育完好的细胞核,有核膜(使细胞核与细胞质具有明显的界限),有高度分化的特异细胞器(如线粒体、叶绿体、高尔基体等),进行有丝分裂的细胞称为真核细胞,由真核细胞构成的微生物称为真核微生物。

真核细胞与原核细胞的主要区别见表 1.1。

此外,病毒的大小在  $0.2 \mu\text{m}$  以下,属于非细胞型生物,也是污染控制微生物学中极为重要的研究对象。由病毒引起的流行疾病有许多例子,但是,因为条件所限,在这方面的研究工作尚少,有待于今后更加深入地开展研究。

### 三、微生物的分类地位

地球上的生物都是从无到有、从少到多、从简单到复杂、从低级到高级逐渐进化形成的。为了更好地、更深入地了解 and 认识生物,需要把它们进行分类。最初,生物学的分类仅仅是根据生物有无细胞壁、能否进行光合作用、运动与否等,将所有生物分为植物界和动物界两大类。20 世纪 30 年代,电子显微镜的发明揭示了生物细胞的微细结构,尤其是核结构。近年来,科学技术的迅猛发展,特别是分子生物学的发展,新技术和新方法越来越多地被用于生物分类,尤其是微生物分类。自从林耐(Linnaeus)第一次尝试对生物进行综合分类之后,分类学家不断提出各自的分类系统。其中,1969 年魏塔克(Whitaker)提出的五界分类系统被普遍接受,即原核生物界,包括细菌(放线菌在内)和蓝细菌(亦称蓝绿藻);原生生物界,包括大部分藻类和原生动物;真菌界,包括酵母菌和霉菌等;植物界;动物界。在此基础上,我国学者提出应补上病毒这类不具细胞结构的生物类群,建议将所有的生物分为六界,即病毒界、原核生物界、真核原

生生物界、真菌界、植物界和动物界。据此,污染控制微生物学的研究对象在生物分类系统中分别属于病毒界、原核生物界、真核原生生物界和真菌界、动物界中的微型后生动物。本书采用六界分类系统,并将污染控制微生物学研究对象在生物分类中所处的地位归纳于图 1.1。图中带 \* 号者为本学科的主要研究对象。

表 1.1 原核细胞与真核细胞的主要区别

区别项目	原核细胞	真核细胞
核	拟核	完整的核
核膜	-	+
核仁	-	+
DNA 个数	只有一条,不与 RNA 和蛋白质结合	一至数条,与 RNA 和蛋白质结合
DNA 复制	单一的复制源双向复制	多源双向复制
核糖体	70 s,在细胞质中	80 s,在细胞质中 70 s,在某些细胞器中
细胞分裂	二分裂	有丝分裂,减数分裂
有性繁殖	通常没有或有	+
中体	+	-
呼吸链位置	细胞膜	线粒体
细胞壁组成	肽聚糖或脂多糖	几丁质、多聚糖或寡糖
运动器官	较细的鞭毛	较粗的鞭毛或纤毛
细胞大小	1 ~ 10 μm	10 ~ 100 μm
固氮作用	某些细菌和蓝细菌具此能力	尚未发现
与氧的关系	好氧、兼性、厌氧	好氧、少数兼性厌氧

注: + 表示有; - 表示无。

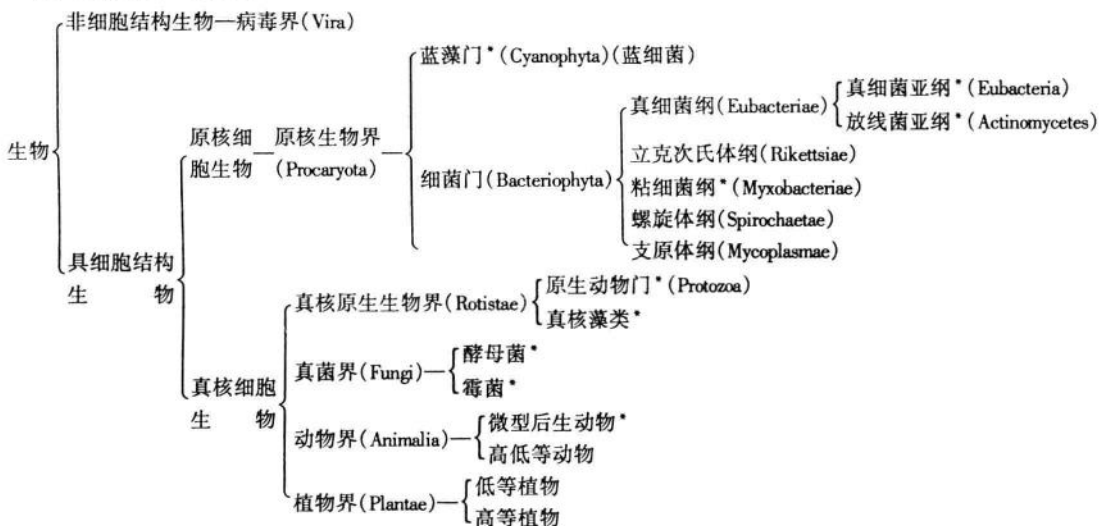


图 1.1 污染控制微生物学在生物分类中的地位

## 四、微生物的分类单位、命名和分类依据

分类学(Taxonomy)是将有机体进行分类或系统地编排成类群(groups),即所谓的分类单位(taxa)。分类学可以分成以下三个部分。

首先是分类(classification),将各单位(units)有规则地编排列入较大单位的类群中去;其次是命名法(nomenclature),对由分类所划分的(测知特征的)并进行过描述的单位给予名称;最后是鉴定(identification),运用上述分类和命名法所规定的标准,按“未知的”和“已知的”单位相互比较来鉴定微生物。鉴定一个“新”分离的微生物,需要充分确定其特征,进行特征描述,并与已知的微生物特征相比较。当然,分类学的这三个部分并非彼此独立,在很大程度上是相互依赖的。

微生物分类,就是把各种微生物按照它们的亲缘关系分群归类,编排成系统,在分类工作中,必然要涉及到大量的微生物种类和排列等级,因此,就需要有一个统一的、为大家所理解和接受的分类单位和命名法则。

### (一)微生物的分类单位

微生物的主要分类单位依次为:界(Kingdom)、门(Phylum)、纲(Class)、目(Order)、科(Family)、属(Genus)、种(Species)。其中,种是最基本的分类单位。种内微生物之间的差异很小,有时为了区别小的差异可用株来表示,但“株”并非分类学单位。具有完全或极多相同特点的有机体构成同种;性质相似,相互有关的各种组成属;相近似的属合并为科;近似的科合并为目;近似的目归为纲;综合各纲成为门,由此构成一个完整的分类系统。这样一个分类方案使我们有可能把生物界极其纷杂的事实加以组织,并有系统地阐述各大类群中的小类群之间的关系。

下面以小口钟虫为例,表示分类顺序。

界……………真核原生生物界(Protistae)  
  门……………原生动动物门(Protozoa)  
    纲……………纤毛纲(Ciliata)  
      目……………缘毛目(Peritrichida)  
        科……………钟形科(Vorticellidae)  
          属……………钟虫属(*Vorticella*)  
            种……………小口钟虫(*Vorticella microstoma*)

另外,在两个主要分类单位之间,可以添加“亚门”、“亚纲”、“亚目”、“亚科”、“亚属”等次要分类单位。在种以下还可以分为变种(或亚种)、型、株等。

### (二)微生物的命名

为了使生物的命名在国际上达到一致,必须建立一个被所有生物学家都遵循的规则。微生物的命名和其他生物一样,均采用国际统一的命名法则,即林耐所创立的“双名法”(binomial)。它是由两个名字组成的命名方法,即一个物种的名字,是由它所属的属名后面加上种名形容词(specificepithet)所组成的。因此,每一种微生物的学名都依据属和种而命名,由两组拉丁字或希腊字或者拉丁化的其他文字组成。属名在前,规定用拉丁字名词表示,字首字

母要大写,由微生物的构造、形状或由科学家名字而来,用以描述微生物的主要特征;种名在后,常用拉丁字形容词表示,字首字母小写,为微生物的色素、形状、来源、病名或科学家的姓名等,用以描述微生物的次要特征。下面举例说明。

金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)

巴斯德酵母(*Saccharomyces pastori*)

破伤风梭菌(*Clostridium tetani*)

以上各学名中的第一个词是属名,为拉丁字名词,用来表示微生物的主要特征是“葡萄球菌”、“酵母菌”、“梭菌”,第二个词是种加词,为拉丁字形容词,用来描述微生物的次要特征是“金黄色的”、“巴斯德的”、“引起破伤风的”。

自然界中的微生物种类太多,有时会发生同物异名或同名异物的现象。为了避免混乱和误解,常需要在种名之后附有定名人的姓,例如,大肠埃希氏杆菌的名称是:*Escherichia coli* Cadtellani et Chalmers。另外,大家熟知的学名,其属名可以缩写,如 *E. coli*,但属名第一个字母应用记号,即用实心圆点。再有,当泛指某一属微生物时,可以在属名后面写上 *sp.* 或 *spp.*,例如,*Pseudomonas sp.* 表明是假单胞菌属的某一种细菌,具体种名不知。

总之,微生物的命名按“双名法”命名,即属名 + 种名(+命名者等)。

### (三)微生物的分类依据

微生物分类是在对大量微生物进行观察、分析和描述的基础上,以它们的形态、结构、生理生化反应和遗传性等特征的异同为依据,并根据生物进化的规律和应用的方便,将微生物分门别类地排列成一个系统。随着微生物分类研究的逐步深入,以及其他学科的不断发 展,一些新技术、新方法被用于微生物分类上,使微生物分类更趋于完善和合理。

微生物的分类依据很多,主要有形态特征,包括个体形态、群体形态(即培养特征),生理生化反应,生态特征,血清学反应,细胞成分,红外吸收光谱,GC 含量(G 代表鸟嘌呤, C 代表胞嘧啶),DNA 杂交, DNA - rRNA 杂交, 16S RNA 碱基顺序分析等等。在实际工作中,可以根据需要来选择各种分类依据,以达到区分和鉴定微生物的目的。

## 五、微生物的特点

微生物的种类庞杂,形态结构差异很大,但它们具有以下特点。

### (一)个体微小,分布广泛

微生物的大小用微米( $\mu\text{m}$ )甚至纳米( $\text{nm}$ )来表示,从零点几微米到几百微米不等,而病毒的大小不能用普通光学显微镜观测,因为它无法分辨小于  $0.2 \mu\text{m}$  的物体。尽管微生物之间大小差异显著,但都需要借助显微镜才能观察到。由于微生物个体微小而且轻,故可通过风和水的散播而广泛分布。江、河、湖、海、高山、陆地、人体等,甚至在寒冷的北极冰层中也发现有微生物存在。

### (二)种类繁多,代谢旺盛

据统计,已发现的微生物有十几万种,而且不同种类的微生物具有不同的代谢方式,能用各种各样的有机物和无机物作为营养物质,使之分解和转化,同时,又能将无机物合成复杂的



有机物。因此,微生物在自然界的物质循环中起着重要的作用,正因为微生物的种类繁多,代谢类型的多样化,才能够利用微生物分解和转化各种污染物,使环境得到改善,达到保护环境的目的。

由于微生物的个体微小,与高等生物相比,具有极大的表面积和体积之比,所以,能够迅速和周围环境进行物质交换(营养物质的吸收与废弃物的排泄),代谢十分旺盛。例如,乳酸杆菌的表面积/体积 = 120 000;鸡蛋的表面积/体积 = 1.5;体重 80 kg 的人体表面积/体积 = 0.3。而且,微生物的代谢强度比高等生物的代谢强度大几千倍、几万倍。例如,上述的乳酸杆菌在 1 h 内可分解 1 000 倍于自身体重的乳糖的话,那么人要代谢自身体重 1 000 倍的糖则需要 250 000 h(约 20 年)。相反,像霉腐微生物在代谢强度大了以后,单位时间内破坏的物质就越多,这对人类是有很大害处的。

### (三)繁殖快速,易于培养

微生物在最适宜的条件下具有高速度繁殖的特性。尤其是细菌,其细胞一分为二,即裂殖,繁殖速度非常惊人。例如,大肠杆菌在最适宜的条件下,17 min 可繁殖一代。按此速度计算,它在 24 h 可以繁殖 85 代,即由一个大肠杆菌生成  $3.9 \times 10^{25}$  个;培养 4 ~ 5 d 就能形成与地球体积同样大小的杆菌群体。当然这只是推算,实际上由于营养物质的缺乏及代谢产物的积累等因素的限制,这种现象是不可能发生的,但由此可知微生物惊人的繁殖速度。

大多数微生物都能在常温常压下,利用简单的营养物质生长繁殖,这就使我们容易培养微生物,特别是获得纯种微生物,有利于微生物的研究和利用。如废水生化处理过程中微生物的驯化和培养,是很容易成功的。当然,对于病毒、其他病原微生物和极端微生物的培养较困难,需要探讨新的方法。

### (四)容易变异,利于应用

微生物繁殖后,其子代与亲代在形态、生理等性状上常有差异,这些差异又能稳定地遗传下去,这一特性为变异。由于绝大多数微生物结构简单,多为单细胞且无性繁殖,与环境直接接触,易受外界环境影响,因而容易发生变异或菌种退化,有可能变异为优良菌种,这也是微生物能广泛适应各种环境的一个有利因素,同时也为利用遗传变异手段筛选优良菌种提供了有利条件。例如,在处理某种有毒的工业废水过程中,不能生存的微生物经过培养驯化后,能够忍受毒性并把有毒物质作为养料加以分解,使废水得以净化。

除上述特点外,细胞型微生物还具有其他一些特点:以细胞为结构单位,并随时间的增加而生长;细胞的构成物质大致相同;细胞内的化学反应大致相同,适应能力较强。

## 第四节 微生物学的发展简史

人类利用微生物已有 4 000 多年的历史,但真正发现和认识微生物却是在 17 世纪中叶。当时,荷兰人列文虎克(Leeuwenhoek, 1632 ~ 1723)制成了能放大 200 ~ 300 倍的简单显微镜,观察到了污水、牙垢、腐败有机物中的各种微生物,并作了详尽描述。在此之前,人类对微生物的作用仅有感性知识并加以利用。特别是我国古代劳动人民对微生物的利用和控制有着悠久的