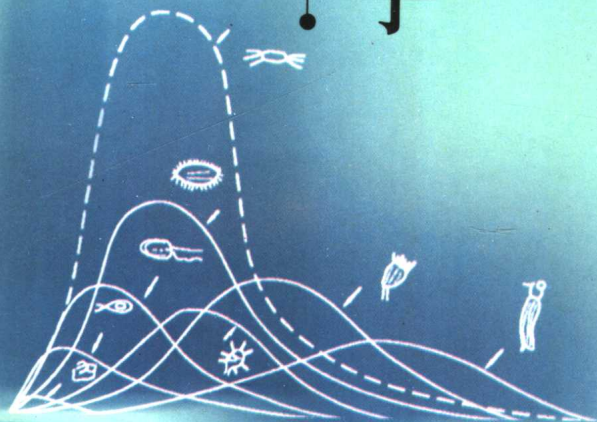


■ 高等学校教材

■ 郭银松 编著

水净化微生物学

■ 武汉水利电力大学出版社



水净化微生物学

郭银松 编著

(鄂) 新登字 15 号

图书在版编目 (CIP) 数据

水净化微生物学 / 郭银松编著. — 武汉: 武汉水利电力大学出版社, 2000

ISBN 7-81063-089-X

I. 水… II. 郭… III. 水污染-微生物-生物净化 IV. X52

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 36431 号

责任编辑: 何玉冰 封面设计: 涂 驰

武汉水利电力大学出版社出版发行

(武汉市武昌东湖南路 8 号, 邮编 430072)

湖北黄冈日报社印刷厂印刷

开本: 850 × 1168 1/32 印张: 9.25 字数: 246 千字

2000 年 12 月第 1 版 2000 年 12 月第 1 次印刷 印数: 1—1300 册

ISBN 7-81063-089-X/X·4 定价: 12.00 元

内容提要

主要介绍污（废）水生物处理及水体污染与自净过程中涉及到的微生物学知识，概括为微生物总论、微生物生态及污水净化中的微生物学问题和微生物实验技术三部分。内容主要包括原核微生物和真核微生物形态、细胞结构及功能；微生物的生理生化和遗传变异；微生物生态学基本原理及水净化的生物学机理。还阐述了与水净化有关的微生物生态演替规律、微生物引起的污泥膨胀以及对水体有害的微生物的检测与控制的基本原理；最后介绍了微生物学重要的实验技术和手段。

前 言

《水净化微生物学》是工科院校环境工程和给排水工程等专业的一门重要技术基础课。笔者根据国家教委关于工科基础课程教学的基本要求及全国高校环境工程专业《环境工程微生物学》课程大纲的要求,总结我校环境工程、给排水工程、水文水环境等专业本科生、研究生多年的《水净化微生物学》教学和科学研究经验,对原有教材内容进行了充实、调整和更新,使其内容更系统化和更有利于教学或参考。

本书包括三大篇,既保证了基本理论、基本知识及基本操作技能,又注重了本学科在废(污)水净化中的应用部分,对废水生物处理的微生物学原理和具体应用等问题作了较详尽的阐述,力求与污水生物处理工程和生物监测实践相结合。因此,本书既能满足初学者和已具有一定微生物学知识的读者要求,适宜作环境工程、给排水工程、环境检测、水文水环境等专业的教材,也可作为其他专业的选修教材以及从事环境保护科技人员的参考书目。

由于课程学时及篇幅的限制,本书虽尽力突出重点,力求基本概念清楚,理论联系工程实际,但因时间及编著者水平所限,缺点错误和不妥之处在所难免,请读者批评指正。

郭银松

目 录

绪 论	1
第一节 微生物概述	1
第二节 水净化微生物学研究的对象和任务	3
第三节 水净化微生物学在水净化工程中的应用	4
 第一篇 微生物总论	7
第一章 原核微生物的形态和构造	7
第一节 细菌的形态结构	7
第二节 放线菌和丝状细菌	18
第三节 蓝细菌	23
第二章 真核微生物	27
第一节 藻 类	27
第二节 原生动物	33
第三节 后生动物	45
第四节 真 菌	47
第三章 非细胞结构的超显微生物——病毒和噬菌体	57
第一节 病毒的一般特性	57
第二节 水中的病毒	60
第四章 微生物的生理特性	65
第一节 微生物的营养	66

第二节	微生物的酶及其在水净化工程中的作用	75
第三节	微生物的产能代谢	95
第五章	微生物的生长繁殖、遗传与变异	106
第一节	微生物的生长繁殖	106
第二节	微生物的遗传变异	112
第二篇	微生物生态及污水净化中的微生物学问题	124
第六章	微生物生态	124
第一节	生态系统概述	124
第二节	生态因子对微生物的影响	129
第三节	自然界的物质循环及污染物质的生物转化	137
第四节	污染水体的微生物生态及水体污染的生物评价	157
第七章	废水(或污水)生物净化的微生物学机理	165
第一节	废水的浓度指标和净化度指标	165
第二节	废水可生化性的判断方法	170
第三节	废水生物净化的作用机理	173
第四节	人工生态系统	175
第八章	污水净化中的其他微生物学问题	191
第一节	活性污泥中的微生物生态演替现象及指示生物的应用	191
第二节	活性污泥的膨胀现象及其控制	199
第九章	水的卫生细菌学检验及控制	211
第一节	水中病原菌的种类及危害	211
第二节	大肠菌群作为卫生指标的意义及生活饮用水的卫生标准	213

第三节	水卫生标准的检验方法	216
第四节	水中微生物控制	220
第三篇	微生物学实验技术	227
实验一	显微镜的结构、原理及使用	227
实验二	活性污泥和生物膜的观察及 微生物大小的测量	233
实验三	细菌、霉菌、酵母菌、放线菌形态观察	235
实验四	微生物的染色	238
实验五	微生物的显微镜直接测数法	241
实验六	微型动物的计数	244
实验七	培养基和无菌水的制备及灭菌	247
实验八(甲)	微生物纯种分离、培养及接种技术	252
实验八(乙)	纯培养菌种的菌体、菌落形态观察	258
实验九	稀释平板测数法(细菌总数的测定)	260
实验十	大肠杆菌群的生理生化试验	263
实验十一(甲)	微生物对含碳化合物的分解和利用	274
实验十一(乙)	微生物对含氮化合物的分解和利用	278
实验十二	活性污泥混合液耗氧速率的测定	282
主要参考文献		284

绪 论

第一节 微生物概述

一、什么叫微生物

微生物这一名词，最早出现于法文，称为“Microbe”。意思是显微镜下的生物。它包括一大群非肉眼所见，必须借助于显微镜把它们放大几百倍、几千倍、甚至几万倍才能看见的结构简单的无细胞形态或单细胞形态或多细胞形态的微小生物。例如细菌、放线菌、枝原体、衣原体、病毒、酵母菌、霉菌以及单细胞藻类和原生动物等。微生物是这一群微小生物统称，不是生物分类学上的概念，在分类学上的新缘关系相距甚远。

微生物虽然不能说用肉眼所见，但与人类的关系密切，它在人们周围发生、发展、变化着。例如食物腐败、衣物发霉、罐藏菜酸、肠炎痢疾等，这些微生物活动现象早为人类所熟知。

二、原核微生物和真核微生物

所有的微生物可分为两大类：非细胞结构的微生物和细胞结构的微生物。前者如病毒、后者又可分为两类，即原核生物和真核生物。

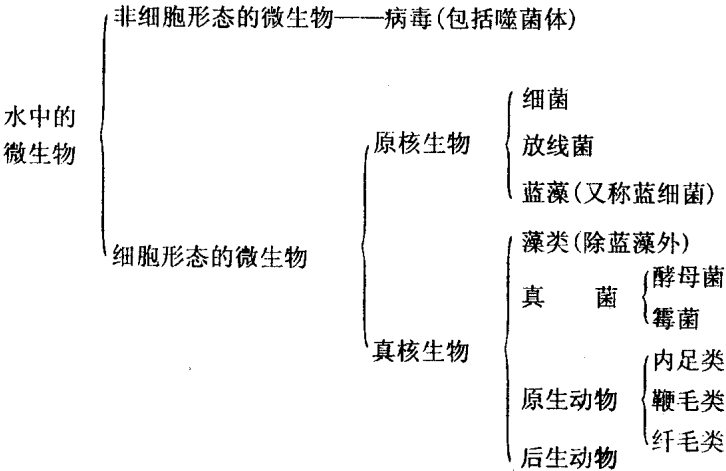
(1) 原核生物 (Prokaryote 或 Procaryote)。即具有原核细胞的生物，例如细菌、放线菌、蓝细菌等。原核细胞在显微镜下观察，其最主要的特点是没有明显的细胞核膜，单个环状染色体附着于细胞膜上，细胞质内无线粒体。

(2) 真核生物 (Eucaryote 或 Eukaryote)。即具有真核细胞的生物，例如酵母、霉菌、藻类和原生动物等。真核细胞在光学显

显微镜下可见有明显的细胞核膜，染色体附着于核膜上，细胞质内存在线粒体。

三、水净化工程中常见的微生物类型

自然界中各种生物的种类繁多，生物学家以客观存在的生物属性为依据，将生物分门别类。目前多按界、门、纲、目、科、属、种来分类。有时在种以下还要进行更细致的区分。目前国内外在分类学方面还不统一，各分类学家提出各自的分类系统，需要时可查阅专门的书籍。根据一般概念，水净化工程中常见的微生物如下：



上述微生物中，大部分是单细胞的，其中藻类在生物学中属于植物学讲授范围，原生动物及后生动物属于无脊椎动物范围。严格地说，其中个体较大者，不属于微生物范围内。

此外，还须注意一种用光学显微镜看不见的生物，例如病毒。一般光学显微镜无法辨认小于 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ 的物体，而病毒个体一般小于 $0.2\text{ }\mu\text{m}$ ，可称为超显微镜微生物。

四、微生物的特点

各类群微生物虽然很不一样，但它们也有共同特点。

(1) 个体小 微生物的大小用微米(μm)量度,细菌的大小由零点几微米到几微米,病毒小于 $0.2\mu\text{m}$,酵母菌由几微米到十几微米,原生动物长度为几十微米到几百微米。总之,它们都得借助显微镜才能看得见。

(2) 分布广、种类繁多 由于微生物极微小,极轻,易随灰尘飞扬,因此,它们是世界性的,分布广泛,例如,钟虫世界各国都有。在江河、湖海、土壤、矿层、高山、泉水、空气、人和动、植物体内、外,以及寒冷的雪地、污水、淤泥、废物堆……到处都有微生物。由于自然界的物质既丰富又多种多样,所以微生物的营养需要和代谢途径也多种多样,其种类和数量繁多。

(3) 繁殖快 大多数微生物以裂殖方式繁殖后代,在适宜的环境中,微生物繁殖一代的时间很短,快的只20 min左右,慢的也不过几小时(专性厌氧菌繁殖速度慢些)。与其他生物比,繁殖时间短得多。

(4) 较易变异 由于大多数微生物为无性繁殖,单细胞,结构简单,整个细胞直接与环境接触,易受外界环境条件的影响,所以容易发生变异,或者菌种退化,或者变异为优良菌种。

第二节 水净化微生物学的对象和任务

水净化微生物学是微生物学的一个应用分支,同时又是微生物学与环境工程相结合而产生、发展起来的一门边缘学科。

微生物学是研究微生物生命活动规律的一门学科。它的内容包括研究微生物的形态结构、分类生态、营养代谢、生长发育、遗传变异等。研究微生物的目的是认识、利用、控制和改造微生物,为人类造福。

微生物学有许多分支学科。着重研究微生物基本问题的,有普通微生物学、微生物分类学、微生物生理学、微生物生态学和微生物遗传学等。对不同类群的微生物进行系统研究的,有细菌学、真菌学和病毒学等。根据微生物在国民经济中的应用情况,又可把微生物学分

成农业微生物学、工业微生物学、医用微生物学、食品微生物学和水污染控制工程微生物学等。依微生物分布区域作为研究对象，有空气微生物学、土壤微生物学、水生微生物学和石油微生物学等。

以上各学科的区分，主要是根据研究对象所具有的矛盾的特殊性。例如，水净化微生物学所以能成为独立的一门应用微生物学，主要是因为污水净化工程中利用生活在污水中的各微生物类群降解与转化污染物质，使污水得到净化，同时该微生物类群本身也得到生长和繁殖。因此，水污染物质的降解与转化，和污水中微生物的生长与繁殖之间的矛盾统一，就构成了有别于其他微生物学分支的研究领域。

根据许多研究证明，生活在污水中的微生物，与自然水体中的同类微生物比较，其形态结构、生理生化 and 遗传变异等方面都有某种特异性变化。特别是生长规律和类群分布深刻地受污染浓度、种类的影响。因此，以自然水域中微生物生命活动规律为研究对象的水微生物学就不能代替污水净化工程微生物学了。

水净化微生物学的研究对象是造成水体污染物分解与转化的微生物（它们使水体得到净化）。研究表明，参与净化的微生物主要有细菌、真菌、藻类和原生动物等，它们能够在污染的水体中生长繁殖，使它们之间以及各微生物与各种污染物之间构成了种种复杂关系。阐明这些复杂关系当是本学科的主要任务。具体讲，要搞清楚污水微生物的形态结构、营养类型、生理生化特点，生长繁殖规律、种群分布和遗传变异，并对水净化的作用机理作出解释。此外，探讨如何最有效地清除饮用水中有害人类健康的微生物，如何最有效地净化特种污水，如何快速检测污水中病原微生物等等，都是本门科学亟待研究解决的任务。

第三节 水净化微生物学在水净化工程中的应用

水净化工程一般包括给水净化工程和污水（或废水）处理工程。

两种工程设施和工艺流程虽各不相同，但都针对解决水源无害化问题。在给水净化工程中要严格地消除对人体有害的物质和致病微生物。在污水或废水处理工程中则利用微生物降解与转化各种污染物。它们的工作原理都是微生物学机理。

一、对给水净化工程的作用

人们的饮、食、起、居都离不开水。水是生命的源泉。在人口稠密的大城市，生活饮用水和工业生产用水的日需量很大。例如 20 世纪 80 年代初期，天津市日需水量就在 100 万 t 以上。这么大的供水量，直接影响到城镇居民的身体健康和工业生产的稳定。因而给水必须进行净化处理。而水的卫生细菌学标准正是评价给水净化优劣的一个重要指标，也是污水净化工程微生物学中的一项重要内容。为此，给水工作者应该具备水的卫生细菌学知识，即必须了解水中有害微生物的生长规律和水中病源生物传播规律，进而掌握消毒与灭菌方法。通常，水中的病源体主要通过传染病患者或特殊疾病的带菌者的排泄物进入水源。实验证明，人的排泄物中，常见的细菌性病源体可以引起胃肠道疾病，例如伤寒、副伤寒、痢疾、腹泻和霍乱等。由于这些病菌具有很强的传染性，所以必须在给水处理过程中杀死它们以保证饮水卫生，防止疾病蔓延。除此，其他微生物的存在，也会影响给水水质。例如大量藻类的存在可阻塞给水厂滤池。某些藻类即使少量的存在也会使水中带有异味或增加水的色度、浊度。水中的霉菌则容易在一些工厂的管道内大量繁殖，甚至堵塞管道，影响工厂的正常生产。因此在给水处理过程中应尽可能地除去这些微生物，为社会提供合乎标准的生活用水与生产用水。

二、对废水处理工程的作用

废水处理的目的是去除水体中的各种化学污染物。在所有的处理方法中，生物法占有重要的地位。生物法处理废水，其主要原理是利用各种微生物的生命活动对废水中的污染物进行降解和转

化。这种废水处理方法可使废水中的有机物达到完全矿化作用，并且使废水中的铁、锰、汞等重金属元素得到适当转化，因而它被世界各国广泛采用。生物处理法主要包括活性污泥、生物膜（生物滤池、接触氧化、生物转盘）、氧化塘、厌氧消化等方法。人们根据废水的性质及类型差异而选用较为适宜的处理方法。

20 世纪 70 年代以来，由于水体的污染而造成的环境影响已经成为严峻的社会问题。因而净化污水、控制污染、保护环境已成为今天人类的一项重要工作。作为净化环境、净化水体的重要工具的微生物，在污水净化工程中起着越来越重要的作用。特别是应用遗传工程技术治理大面积海洋石油污染所显示出来的前所未有的高效性，以及应用固定化细胞连续处理工业废水所获得的成功，极大地鼓舞了人们对微生物的研究。随着生物工程技术的不断发展，污水净化工程微生物学将发挥出更大的作用。

生物和环境是一个统一体，当环境条件改变时，就必然在生物相上反映出来，因此生物相的变化与生产实践有着密切的关系。在污水生物处理中，可根据某些生物数量的增减，间接推测处理效果，控制污水处理的正常运行，指导污水生物处理的管理工作。利用某些生物数量的增减和种群变化规律进行生物检测和评价环境质量已被广泛采用。目前，水体的细菌学检验及某些生化指标的测定，已成为评价水质的重要参数，为治理环境，消除污染，提供了可靠的依据。

防治环境污染，维护、调整、恢复生态系统的平衡是环境保护工作的实质，因此环保工作者、环境工程及给排水工程专业的学生应掌握有关微生物学的基本知识，认识微生物在自然界物质循环中的重要作用，尤其要掌握水净化的生物学原理，以期在水污染的生物防治奠定一定的生物学理论基础，使之成为水污染控制的有效手段。

第一篇 微生物总论

第一章 原核微生物的形态和构造

在自然界形形色色的各类微生物中，细菌细胞的结构在原核生物中具有代表性，而且近年来研究得较为深入。与其他微生物类群相比，细菌是自然界中分布最广、数量最大、与人类关系极为密切的一类微生物，是微生物学研究的主要对象。细菌广泛应用于工业、农业、医学、环境工程、给水排水、环境监测等各个方面。在污水净化中引起生化过程的激发者，主要是细菌。因此，细菌是本章讨论的重点。

第一节 细菌的形态结构

一、细菌的个体形态、大小及细胞结构

细菌的种类繁多，形态也多种多样，但基本形态有球状、杆状与螺旋状，分别被称为球菌、杆菌与螺旋菌。细菌都以一分为二的形式进行分裂繁殖，大多数的细菌在裂殖后即分开为两个独立的个体。也有些种类的细菌，在裂殖后不马上分开，而是聚积为一特征性的单细胞集体，这主要发生在球菌和杆菌中，这样，就产生了四联球菌、八迭球菌、链球菌、丝状菌等形态多姿的细菌。

(一) 细菌的基本形态 (见图1-1)

1. 球菌

球菌有单球的, 如脲微球菌 (*Micrococcus ureae*); 双球的, 如肺炎双球菌 (*Diplococcus pneumoniae*); 四个球菌垒叠在一起成“田”字形的, 如四联微球菌 (*Micrococcus tetragenus*); 有八个球菌垒叠成立方体的, 如甲烷八叠球菌 (*Sarcina methanica*); 有连成链条状的, 如乳链球菌 (*Streptococcus lactic*); 还有不规则排列组成一串葡萄状的, 如金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) 等。

2. 杆菌

杆菌有长杆菌、短杆菌 (有的近似球菌)、产芽孢杆菌, 如枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、溶纤维芽孢梭菌 (*Clostridium cellulosolvens*), 按其细胞排列有单杆状、双杆状、链杆状。

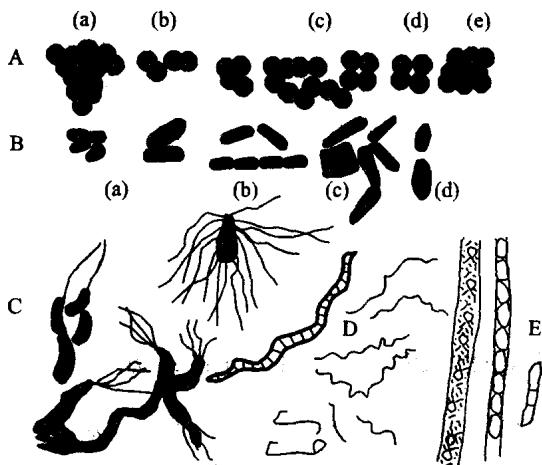


图1-1 细菌的形态

- A. 球菌: (a)-葡萄球菌; (b)-双球菌; (c)-链球菌;
(d)-四联球菌; (e)-八叠球菌
B. 杆菌: (a)-单杆菌; (b)-链杆菌; (c)-棒状杆菌;
(d)-芽孢杆菌
C. 螺旋菌; D. 螺旋体; E. 丝状细菌

3. 螺旋菌

螺旋菌呈螺旋卷曲状，螺旋的数目和螺距随菌种不同而不同。厌氧污泥中有紫硫螺旋菌 (*Thiospirillum violaceum*) 和红螺菌属 (*Rhodospirillum*)。螺纹不满一圈的称弧菌，如脱硫弧菌 (*Vibrio desulfuricans*)；呈逗号形的，如逗号弧菌 (*Vibrio comma*)——霍乱弧菌中的一种，弧菌可互相连接成螺旋形。

除上述三种形态外，在水生境、潮湿土壤及活性污泥中普遍存在着丝状菌，如球衣菌属 (*Sphaerotilus*)、泉发菌属即原铁细菌属 (*Crenothrix*)、纤发菌属 (*Leptothrix*)、发硫菌属 (*Thiothrix*)、贝日阿托氏菌属 (*Beggiatoa*) 等，有 30 多种丝状菌 (见本章第二节)。

水净化微生物学和环境工程微生物学中细菌的形态有四种：即球菌、杆菌、螺旋菌及丝状菌。

(二) 细菌的大小

细菌是微小的单细胞生物，其大小常以微米 (μm) 表示，一般球菌最小，直径只有 $0.2\sim 5\ \mu\text{m}$ ，大多数约 $1\ \mu\text{m}$ 左右，杆菌一般长为 $1\sim 6\ \mu\text{m}$ ，宽 $0.5\sim 1.6\ \mu\text{m}$ 。影响细菌形态变化的因素，同样也影响细菌的大小，除少数例外，一般幼龄细菌比成熟的或老年的细菌大得多。

细菌的大小可用测微尺在显微镜下进行测量。球形菌测其直径，杆菌测其长度与宽度，螺旋菌则测其弯曲形长度。

(三) 细菌细胞结构

细菌细胞主要由细胞壁、细胞质膜、细胞质、核及内含物等构成 (图1-2)，有些细菌还有荚膜和鞭毛，有些细菌可形成芽孢。细菌细胞各种精微的结构，均担负着特定的生理功能。

1. 细胞壁

细胞壁 (cell wall) 是包在细胞表面较为坚韧略具弹性的结构，给细菌以一定形态，保护细胞不致破裂，并有类似分子筛的作用，使某些物质不能通过，起着渗透障碍作用，除枝原体比较特殊，没有细胞壁外，其他细胞都有细胞壁。