

贺延龄 陈爱侠 编著



HUANJING WEISHENGWUXUE

环境微生物学



中国轻工业出版社

环境微生物学

贺延龄 陈爱侠 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

环境微生物学/贺延龄 陈爱侠编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2001.4
ISBN 7-5019-3082-1

I. 环… II. ①贺…②陈… III. 环境生物学: 微生物学 IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 04432 号

责任编辑: 李 菁 责任终审: 滕炎福 封面设计: 崔 云
版式设计: 赵益东 责任校对: 李 靖 责任监印: 胡 兵

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 北京市卫顺印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

开 本: 850×1168 1/32 印张: 9.625

字 数: 245 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-3082-1/Q·009 定价: 22.00 元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

前 言

人类赖以生存的自然界中，处处都有微生物的存在，它们种类繁多、特性千差万别，虽然小到肉眼难以察觉，却在自然界建立了极其庞大的群体，其质量与人类和动物的总和处于同一数量级。它们是生态系统和食物链不可缺少的环节，它们对自然界的生态平衡、物质和能量的循环流动、环境的自净、土壤的形成以至人和高等动物的生存起着不可缺少的作用。因此，许多环境科学的基本问题，都以环境微生物学的研究为其基础。

微生物有着千变万化的酶系、极大的代谢能力和适应性，它们在消除各类污染物上显示出极大的能力。近 20 年来，环境科学和技术以令人惊讶的速度发展着，以环境微生物学为基础的生物技术在其中起着最重要的作用。可以说，没有环境微生物学的知识，先进的环境生物治理技术的开发和应用是不可能的。环境微生物学与污染控制技术的联系是如此密切，它们之间“你中有我，我中有你”，两者之间的界限难以分清。

我国环境和微生物学工作者在环境微生物学的科研和教学方面作了大量的工作，积累了丰富的经验，作者本人从他们的经验和著述中也获益匪浅。然而过去 20 年来环境和生物科学技术的发展速度，大大领先于许多其他科学技术领域，这种发展极大地丰富了环境微生物学的内容，这使作者感到编著本书是一件有意义的工作。

为反映环境科学技术和微生物学新的发展，本书广泛参阅了国内外文献，力求在相对系统地介绍微生物学知识的基础上，适应环境工作者的需要，较多地联系环境方面的基本问题，并达到一定的深度，以便本书既适用于初学者，也利于有一定基础的人

员阅读。本书宜作为环境工程、环境科学、环境检测、给水排水等专业的科研、教学或工程技术人员的参考书和教材。本书的第一至第七章、第八章 1~4 节、第九章由贺延龄编写，第八章 5~6 节、第十和十一章由陈爱侠编写，全书由贺延龄定稿。

虽经作者努力，但限于水平，书中仍难免有不妥甚至谬误之处，在此敬希广大读者批评指正。

作 者

二〇〇〇年五月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 微生物学与环境	1
第二节 微生物、植物和动物	2
第二章 细菌的形态和结构	9
第一节 细菌的形态和大小	9
第二节 细菌细胞的结构	11
一、细菌细胞的一般结构	12
二、细菌细胞的特殊结构	13
第三节 细菌的菌落形态	19
第三章 微生物遗传学基础	21
第一节 DNA 的结构和基因	21
第二节 遗传物质在细胞中的存在方式	24
第三节 DNA 的复制和蛋白质的合成	25
一、DNA 的复制	25
二、蛋白质的合成	26
第四节 基因型、表型和突变	27
第四章 微生物生理学	30
第一节 代谢的基本概念	30
第二节 酶	31
一、酶的作用及其特点	31
二、酶促反应和酶的分类	33

三、影响酶作用的因素	37
第三节 微生物的能量来源	43
一、微生物的能量来源	43
二、生物氧化作用的三种类型	45
第四节 不同呼吸类型的微生物	50
一、好氧微生物	50
二、厌氧微生物	51
三、兼性微生物	52
第五节 多糖的分解	53
一、葡萄糖降解为丙酮酸的途径——酵解途径	54
二、有氧呼吸中丙酮酸的分解	56
三、无氧条件下丙酮酸的分解	57
第六节 蛋白质和脂肪的分解	59
一、脂肪的分解	59
二、蛋白质的分解	60
第七节 微生物的营养	61
一、微生物细胞的化学组成	61
二、微生物的营养需求	63
第八节 微生物的营养类型	65
一、光能自养型	65
二、光能异养型	66
三、化能自养型	66
四、化能异养型	66
 第五章 微生物的生长	 68
第一节 微生物的生长、发酵工程和废水生物处理	68
第二节 间歇培养时微生物的生长	71
一、停滞期与诱导酶	72
二、对数生长期和细胞生长的数学表达	74
三、稳定期	75
四、衰亡期和奇克氏定律	76

第三节 影响微生物生长的因素	76
一、培养基的组成和营养物的浓度	76
二、温度	79
三、pH	80
四、渗透压	81
五、流体静压力	81
六、氧气和氧化还原电位	82
七、抑制剂和杀菌剂	83
八、生长条件的变化	84
第四节 微生物生长的测量	85
一、细胞总数的测定	85
二、活菌计数	86
三、细胞质量的测定	86
第五节 连续培养中微生物的生长	87
一、充分混合模式的连续培养	88
二、稳定和不稳定状态下的充分混合连续培养	88
三、带有细胞物质回流的充分混合连续培养	91
 第六章 细菌的分类及重要的细菌类群	94
第一节 细菌的分类单位和命名	94
第二节 细菌分类的依据	95
一、形态特征	95
二、生理生化特征	96
三、遗传学特征	96
第三节 细菌的实用分类系统	96
第四节 重要的细菌类群	101
一、普通的化能异养细菌	101
二、普通的化能自养细菌	108
第五节 丝状细菌	111
一、放线菌	111
二、鞘细菌	113

第七章 其他微生物	118
第一节 真菌	118
一、真菌的一般特征	118
二、真菌的分类	121
三、真菌的利用	123
第二节 原生动物	124
一、原生动物的一般特征	124
二、原生动物的主要类群	126
三、原生动物在废水处理中的作用	130
第三节 藻类和蓝细菌	135
一、藻类	135
二、蓝细菌	140
三、藻类和蓝细菌的生理与环境生态	140
四、藻类的利用	144
第四节 微型后生动物	146
一、轮虫	147
二、微型甲壳动物	148
三、其他微型后生动物	148
第五节 病毒	150
一、病毒的一般特征	150
二、病毒的繁殖	152
三、病毒研究的意义	153
四、病毒存活的影响因素	155
 第八章 微生物生态	157
第一节 生态系统与生态平衡	157
一、生态系统	157
二、食物链	158
三、生态系统的功能	160
四、生态平衡	160

五、微生物生态研究的意义	161
第二节 微生物在自然界的分布	162
一、土壤中的微生物	163
二、水中的微生物	164
三、空气中的微生物	166
四、食品和工业产品中的微生物	167
第三节 微生物生态系统	170
一、微生物生态系统的特点	170
二、土壤内的微生物生态	172
三、土壤形成中微生物的作用	175
四、水中的微生物生态	176
第四节 水体的自净作用	179
一、水体的自净	179
二、衡量水体自净的参考指标	181
三、污染水体的微生物生态	183
第五节 微生物之间的相互关系	186
第六节 微生物与自然界中的物质循环	189
一、碳素循环	189
二、氮素循环	191
三、硫素循环	195
第九章 微生物学在环境工程中的应用	198
第一节 废水生物处理简介	198
一、废水生物处理的实质	198
二、废水生物处理的机制	200
第二节 废水好氧生物处理的生物学原理	201
一、废水好氧处理时 COD 的转化	201
二、好氧处理的生物化学特点	203
三、好氧活性污泥处理的生物类群	206
第三节 废水厌氧生物处理的生物学原理	208
一、复杂有机物厌氧降解的过程	208

二、厌氧生物处理中的微生物类群	211
三、废水厌氧处理中 COD 的转化	212
第四节 废水生物处理的主要影响因素	216
一、温度	216
二、溶解氧	216
三、pH	217
四、营养	217
五、有毒物质	218
六、有机负荷率	218
第五节 废水生物处理工艺简介	220
一、废水好氧生物处理工艺	220
二、废水厌氧生物处理工艺	225
第六节 固体废物的生物处理	228
 第十章 环境卫生工作及微生物的检验和控制	230
第一节 空气的微生物检验和消毒	230
一、空气的微生物检验	230
二、空气和生物洁净室的消毒	231
第二节 水的细菌学检验	232
一、细菌总数的测定	232
二、大肠菌群的测定	233
三、水的病毒检验	236
第三节 水的消毒	236
 第十一章 微生物学实验	239
实验一 显微镜的使用及细菌、放线菌和蓝细菌个体 形态的观察	239
实验二 活性污泥中菌胶团及生物相的观察	245
实验三 微生物直接计数法	246
实验四 微生物的染色	248

实验五	培养基的制备及灭菌	250
实验六	微生物的纯种分离、培养和接种技术	256
实验七	纯培养菌种的菌体、菌落形态观察	259
实验八	水中大肠菌群的检测	261
实验九	水中细菌总数的测定	266
附录		270
附录一	常用染色液的配制	270
附录二	几种常用染色方法	273
附录三	常用培养基	275
附录四	书中引用的专业名词中外文对照	276
主要参考文献		295

第一章 绪 论

第一节 微生物学与环境

环境微生物学是由普通微生物学发展起来的环境科学和环境工程的一门基础学科。它以普通微生物学为基础，在研究微生物学一般规律的同时，注重微生物和环境之间相互作用的规律、微生物活动对环境和人类产生的有益和有害的影响以及在环境污染控制工程中有关的微生物学原理的研究，是环境科学和环境工程的重要理论基础。

在自然界，微生物的活动使有机物和无机物之间的转化得以不断进行，这对于维持生物圈（biosphere）的完整性是必不可少的，而生物圈是其他高等生物赖以生存的基础。C、O、N、S、P 等元素的微生物转化是已发现的重要例证，这种转化现在被称为生物地质化学循环（biogeochemical cycle）。

自然界水体在接受污染物后，具有恢复其原来洁净状态的能力，这称之为水体的自净作用。自净作用即是在微生物的参与下完成的，当进入水体的污染物量过高以致超过微生物自净能力的限度，就会引起严重污染。有机污染源可能导致水中溶解氧消耗殆尽，使高等的水生生物无法存活，生态系统遭受严重破坏。过量的无机污染物则可能导致光合微生物的大量生长，引起所谓的“富营养化”（eutrophication）。可见水生态系统与微生物活动关系是十分密切的。

在环境工程中，人们已经把微生物作为水和固体废弃物处理和回用时的重要工具，所谓的生物处理即是微生物参与下去除污

染物的工艺过程。这样的例子很多，简单列举如下：

—好氧的生物处理，如活性污泥法工艺、生物膜工艺（好氧滤器或滴滤池）、好氧塘、氧化沟等。

—废水的厌氧生物处理和废渣的厌氧消化，处理的同时产生沼气作为能源。例如厌氧接触法、厌氧滤池、厌氧塘以及上流式厌氧污泥床等工艺。

—废水中生产藻类作为饲料。

—生产混合肥料。

—除去废水中的氮和磷。

—由固体废弃物中生产蘑菇等。

以上仅是现代微生物技术用于环境工程的一些例子。

不到总数 0.1% 的少量微生物能引起人畜或植物的传染病，它们被称作致病菌（pathogens）或病原微生物（pathogenic microorganisms）。相反，非病原微生物常被称为腐生菌（saprophytes）。

为了防止传染病的流行，在卫生防疫系统和环境工程部门应当采取有效的防范措施。在多数的人类传染病中，致病菌大量出现在病人的分泌物中。因此饮用水和废水的输送及处理必须采取专门措施以防止人类排泄物的污染。水污染可引起一些疾病，例如霍乱、伤寒、斑疹伤寒、痢疾、脊髓灰质炎（小儿麻痹）、传染性肝炎等等。

无疑，环境工程工作者对微生物在自然界的作用必须有一定的了解，并具有开发微生物技术用于污染控制的能力。为此，对环境微生物中基本知识的学习是非常需要的。

第二节 微生物、植物和动物

简单说，微生物可定义为大小在 $1 \sim 100 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m} = 10^{-3} \text{mm}$) 范围的微小生物。由于大多数微生物不能肉眼看到，

人们对微生物通常远没有对植物和动物那么熟悉，正因为如此，微生物的发现很晚。1676 年，凡·列文虎克（van Leeuwenhoek）才在荷兰的德尔夫特首次发现微生物，但对于微生物在自然界中作用的深入认识仅开始于 19 世纪后半叶。巴斯德（Louis Pasteur）和科赫（Robert Koch）科学地指出微生物的生理活动及其重要性，微生物学的真正研究自此开始。作为将微生物学自觉地进行技术开发、为人类利益服务的生物技术则是近些年间才开始的，并且正处于发展阶段。

微生物是地球上最古老的生命形式，植物和动物即是由其演化而来。对所有生物分类的方法有许多种，但从实用角度看，海克尔（Haeckel）的分类法是非常有用的分类法。1866 年，海克尔将所有生物分为三界（kingdoms），即微生物界（或原生生物界 Protista）、植物界（Plantae）和动物界（Animalia）。植物和动物都是细胞高度分化的多细胞生物，其主要区别如表 1-1 所示。微生物则是单细胞的或没有分化的多细胞。

表 1-1 植物和动物的主要性状差别（Haeckel, 1866）

主要性状	植 物	动 物
能量来源	由阳光中获取能源（光能）	有机物作为能源（化学能）
叶绿体	有	无
碳 源	二氧化碳	有机物
运 动	不运动	运动
生长方式	开放的	闭合的
细胞壁	有	无
自然界中生物物质总量 （以碳计）	$(400 \sim 800) \times 10^{12} \text{kg}$	$(6 \sim 11) \times 10^{12} \text{kg}$

值得注意的是，由微生物形成的自然界生物物质总量为 $(2 \sim 10) \times 10^{12} \text{kg}$ （以碳计），它与所有动物（包括人类）所形成的生物物质总量 $(6 \sim 11) \times 10^{12} \text{kg}$ 处于同一个数量级。

许多微生物借光合作用，由 CO_2 中取得碳源来生长，它们类似于植物。又有一些微生物只利用有机物，通过有机物的氧化

得到能源并同时取得碳源，有些还可以运动，它们类似于动物。但许多微生物又像植物又像动物，例如眼虫藻（euglena）含有叶绿体，能游动且没有细胞壁。一些具有鞭毛可运动的微生物既有具有光合作用的类型，又有非光合作用的对应型。但所有以上微生物都有别于动植物，即它们的个体是单细胞的（包括单核的或无隔多核的）或简单多细胞的。所谓简单多细胞，是指其细胞和组织仅少许分化或不分化。至于动物和植物，都是多细胞的个体并且细胞和组织均高度分化。

自从 20 世纪 50 年代电子显微镜用于细胞超微结构研究后，才发现细胞的核有两种类型的结构，因此所有的生物可以分为原核生物（procaryote）和真核生物（eucaryote）两大类。动物界和植物界的细胞核是真核，因此它们是真核生物。微生物界的藻类、原生动物和真菌的细胞核也是真核，而细菌和蓝细菌（或称蓝绿藻）是原核。因而微生物界又分为原核微生物（或原核原生生物）和真核微生物（或真核原生生物）两大类。

真核和原核微生物不仅细胞核的结构不同，其他性状也有差别。真核和原核微生物的主要类型如表 1-2 所示。真核和原核生物最主要的区别是：

表 1-2 微生物（原生生物）的主要类型

原核原生生物	真核原生生物	
没有核膜， 细胞内部分化低级	有核膜， 更高级的细胞分化	
细菌： 包括蓝细菌（或称蓝绿藻）	行光合作用的藻类	不行光合作用的真菌： 具有多核的、不游动的细胞。 包括霉菌、酵母菌、蘑菇 原生动物： 具有单核的游动细胞

原核生物的细胞没有核膜，其细胞没有分化，细胞内组织分

化水平低；真核生物具有核膜并有高度分化的细胞。

植物由藻类演化而来，动物则起源于原生动物。植物和动物与藻类、真菌及原生动物同为真核动物。

以上所涉及的都是以细胞为个体基本组织单位的生物，无论原核还是真核生物，它们都是细胞生物。然而还有一类生命体，它们赋有生物特性，如遗传、变异、繁殖（或复制）、适应、寄生、特殊的代谢作用等生物性状。但它们不构成细胞，离开别的细胞它们不能够单独存活。这类生命体就是病毒（virus）。病毒是否算作是生物，要看我们对生物下一个什么样的定义。病毒因其微小也属于微生物学研究的对象，当前称之为非细胞微生物。病毒具有以下特征：

- (1) 每个病毒仅由蛋白质和核酸构成；
- (2) 病毒自身具有的酶不足以完成自我复制；
- (3) 只能在活的寄主细胞内复制；
- (4) 高度专性寄生（只在特定寄主细胞内寄生）；
- (5) 几乎都是致病的。

通常狭义的“病毒”一词指以动物、植物或真核原生生物为寄主；寄生于细菌细胞的病毒一般称之为噬菌体（bacteriophage），所以噬菌体是病毒的一种。

病毒由核物质（化学成分为核酸）和一些酶（化学成分为蛋白质）构成，它们的复制（或繁殖）只能在动物、植物或微生物的细胞内进行。病毒微粒一旦进入寄主细胞，寄主细胞的酶系统将会停止自身细胞物质的合成，转而合成新的病毒。病毒的遗传物质取代了寄主细胞的遗传物质并控制了细胞，在此过程中寄主细胞死亡。病毒的行为是极特殊的，许多疾病由病毒引起。一些病毒微粒能形成结晶状的团粒。病毒自身没有代谢活动。

微生物的大小及其观察手段可如图 1-1 所示。

除了海克尔的“三界”分类方法外，1969 年和 1971 年，威特克尔（Whittaker）和马格利斯（Margulis）提出“五界”分类