



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材



水处理生物学

(第六版)

顾夏声 胡洪营 文湘华 王 慧 等 编 著
朱锦福 主 审

中国建筑工业出版社
CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
住房和城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

水处理生物学

(第六版)

顾夏声 胡洪营 文湘华 王慧 等编著
朱锦福 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

水处理生物学/胡洪营等编著. —6 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2018. 8

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材 住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材 高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 978-7-112-22384-8

I. ①水… II. ①胡… III. ①水处理-生物处理-高等学校-教材 IV. ①TU991.2 ②X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 136241 号

本书在《水处理生物学》(第五版)的基础上修改编写,对上一版的章节进行了梳理,增加了新的内容,部分章节增加了思考题。全书分4篇,共17章,第1篇为水处理生物学基础,包括原核微生物、古菌、真核(微)生物、病毒、微生物的生理特性、微生物的生长和遗传变异、微生物的生态、大型水生植物;第2篇为污染物的生物分解与转化,包括微生物对污染物的分解与转化、污水生物处理系统中的主要微生物、水生植物的水质净化作用及其应用;第3篇为水质安全与生物监测,包括水卫生生物学、水中有害生物的控制、水质安全的生物检测;第4篇为微生物学的研究方法,包括微生物的基本研究方法、微生物学基础实验。

本书可作为给排水科学与工程专业、环境工程专业及相关专业教材,也可用作有关专业工程技术人员的参考书。

为便于教师教学和学生学习,作者特制作了电子课件素材,如有需要,请写明书名,发邮件至 cabpbeijing@126.com 索取。

责任编辑:王美玲

责任校对:王雪竹

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材
住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材
高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划推荐教材

水处理生物学

(第六版)

顾夏声 胡洪营 文湘华 王慧 等编著
朱锦福 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京海淀三里河路9号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京科地亚盟排版公司制版

印刷

*

开本:787×1092毫米 1/16 印张:23 字数:569千字

2018年9月第六版 2018年9月第四十七次印刷

定价:49.00元(赠课件)

ISBN 978-7-112-22384-8

(32242)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题,可寄本社退换

(邮政编码 100037)

第六版前言

本教材是高等学校给排水科学与工程学科专业指导委员会规划教材，自1980年第一版出版以来，已有38年的历史，被众多大专院校广泛采用，为给排水科学与工程和环境工程专业建设作出了重要贡献。本教材第一版由已故的清华大学顾夏声院士（1918.5.6—2012.2.6）等编纂，且顾先生主持和参与了第二版到第五版的编写、修订，对本教材作出了开创性贡献。本教材被评为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材、住房城乡建设部土建类学科专业“十三五”规划教材，在内容上，根据《高等学校给排水科学与工程本科指导性专业规范》对本课程要求的知识点编写，做到知识点全覆盖，并且根据课程需要有所拓展。

本教材在总体保持《水处理生物学》（第五版）原有体系、章节和顺序的基础上进行了编写和修订，对重要概念重新进行了细致的审核、调整、修改，增加了部分思考题，在第4篇增加了“环境中四环素抗性细菌的分离鉴定”实验，更新了部分文献，尽量使教材的内容更加丰满、完善，突出教材理论联系实际和产学研相结合的传统特色。

全书由胡洪营和陆韵统稿，各章节的编写、修订人员如下：第1章胡洪营；第2、3、4章文湘华、陆韵；第5章胡洪营、陆韵；第6章文湘华、陆韵；第7、8章王慧、陆韵；第9章胡洪营、种云霄；第10、11章胡洪营；第12章胡洪营、种云霄；第13、14、15章胡洪营；第16、17章王慧、陆韵。

清华大学环境学院助教李曼收集和整理了书中的重要概念和定义；白苑、任韵如协助对文献进行了更新。中国建筑工业出版社的王美玲编辑为本书的出版付出了大量心血。本教材由同济大学朱锦福教授主审。在此对他们的帮助和支持表示诚挚的感谢。

在编写、修订过程中参考了大量的教材、专著和相关资料，在文中难以一一注明，在此对这些著作的作者表示感谢。

由于编者水平所限，难免有误、不妥之处，请广大读者批评指正。

编者

2018年8月于清华园

第五版前言

本教材是在《水处理生物学》(第四版)的基础上修订、编写的,其前身是1980年出版的《水处理微生物学》(顾夏声和李献文编写)。1988年,《水处理微生物学》教材由原编者和俞毓馨修订出版第二版;1998年由顾夏声、李献文和竺建荣再次修订出版第三版,并被列为国家级“九五”重点教材;2006年由顾夏声、胡洪营、文湘华和王慧修订出版第四版,并被列为普通高等教育土建学科专业“十五”和“十一五”规划教材和高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材,同时根据给水排水工程学科专业指导委员会的部署,更名为《水处理生物学》。

《水处理生物学》(第四版)在继承《水处理微生物学》主要内容和风格的基础上,对内容和章节顺序做了较大的调整和增补,内容由原来的8章调整为17章;在体系上分为“水处理生物学基础”、“生物对污染物的分解与转化”、“水质安全与生物监测”和“微生物学的研究方法”4部分。

本次修订基本上保留了第四版的章节顺序,在文字和内容上做了一些增删和修改,主要有:(1)增加了病毒与水污染防治、古菌与水污染防治、微生物生态学研究方法、抗生素抗性菌、消毒抗性病原微生物、生物毒性分类、生物膜观察方法等方面的内容;(2)对病毒、原生动物、基因调控、微生物的基本研究方法等章节进行了重新梳理;(3)部分章节增加思考题。

全书由顾夏声负责审定,胡洪营统稿,各章节的修订、编写人员如下:第1章胡洪营;第2、3、4章文湘华;第5章胡洪营;第6章文湘华;第7、8章王慧、陆韻;第9章胡洪营、种云霄;第10、11章胡洪营;第12章胡洪营、种云霄;第13、14、15章胡洪营;第16、17章王慧。

陆韻认真审阅了书稿,并提出了许多修改建议;清华大学环境学院博士生巫寅虎、2007级本科生黄海伟、李佳琦、刘聪、吕佳辰、肖赛、张雪莹、张一帆、张麒麟、郑光洁和周星婷等同学阅读了部分章节,并提出了一些具体的修改建议。中国建筑工业出版社的王美玲编辑为本书的出版付出了心血。本教材由朱锦福教授主审。在此对他们的帮助和支持表示诚挚感谢。

在修订、编写过程中参考了大量的教材、专著和相关资料,在文中难以一一注明,在此对这些著作的作者表示感谢。

由于编者水平所限,难免有误、不妥之处,请广大读者批评指正。

编者

2010年10月于清华园

第四版前言

《水处理生物学》是根据全国高等学校给水排水工程专业指导委员会制订的“水处理生物学”课程内容和教学基本要求编写的大学教材，适用于给水排水工程（给排水科学与工程）以及环境工程和环境科学专业大学生，也可供给水排水和环境污染控制领域的科研工作者、技术人员以及研究生参考。

“水处理生物学”课程是高等学校给水排水工程专业指导委员会提出的给排水科学与工程学科新课程体系中10门主干课程之一，是给水排水工程（给排水科学与工程）专业的必修课。该课程是在原“水处理微生物学”课程的基础上发展起来的。近年来，随着水处理和环境水体水质净化技术的不断发展，水生生物和水生/湿生植物在水处理、自然水体水质净化与污染控制以及水生生态修复工程中的应用越来越受到关注。为适应水质净化技术的新发展，高等学校给水排水工程专业指导委员会决定拓宽原有的“水处理微生物学”课程的内涵，改为“水处理生物学”，并组织编写了“水处理生物学”课程内容和教学基本要求。2002年，建设部将《水处理生物学》教材列为建设部“十五”重点规划教材。在2003年7月召开的高等学校给水排水工程专业指导委员会第3届第7次（扩大）会议（张家口）上，确定由清华大学负责《水处理生物学》教材的编写工作。

本教材是在顾夏声、李献文和竺建荣合编的《水处理微生物学》（第三版）的基础上修订、编写的。《水处理微生物学》教材第一版由清华大学顾夏声和北京建筑工程学院李献文编写，于1980年出版。1988年，该书由原编者和俞毓馨修订出版第二版。1998年，该书由顾夏声、李献文和竺建荣再次修订出版第三版，并被列为国家级“九五”重点教材。《水处理微生物学》出版以来，许多高等院校给水排水工程专业和部分环境工程专业广泛选作本科生的教科书，本专业的科技人员也选本书作为参考书。该书需要量较多，曾多次重印。该教材对我国水处理（微）生物学的发展以及给水排水工程专业人才培养和科学研究做出了一定的贡献。

为了适应“研究型”、“应用型”和“教学型”等不同类型学校对“水处理生物学”课程的要求，《水处理生物学》在继承《水处理微生物学》主要内容和风格的基础上，根据近年来的教学实践，对体系、内容和章节顺序做了较大的调整和增补，由原来的八章调整为十七章。在体系上，本书分为“水处理生物学基础”、“生物对污染物的分解与转化”、“水质安全与生物监测”和“微生物学的研究方法”四部分。在内容上，主要增加了古细菌、光合细菌、微生物的生态、大型水生/湿生植物及其在水质净化中的应用、污染物的生物分解性评价、生物对污染物的吸附与浓缩作用、水体富营养化及水华控制、有害水生植物的控制、水质生物毒性检测等相关内容，同时对原书的相关内容进行了增补，力图反映国内外最新的成果。

本教材适用于32~64学时的教学，各学校可根据全国高等学校给水排水工程专业指导委员会制定的课程要求，结合本校的特点和学时数，确定教学重点。

全书由顾夏声负责审定，各章节的修订、编写人员如下：

第一章 胡洪营；第二、三、四章 文湘华；第五章 胡洪营；第六章 文湘华；第七、八章 王慧；第九章 胡洪营、种云霄；第十、十一章 胡洪营；第十二章 胡洪营、种云霄；第十三、十四、十五章 胡洪营；第十六、十七章 王慧。

本教材主审由同济大学朱锦福教授担任。本书在修订、编写过程中得到了高等学校给排水工程专业指导委员会的大力支持和兄弟院校的热情鼓励和帮助，使用《水处理微生物学》教材的兄弟院校教师对本书的编写提出了许多宝贵的意见。在此对他们的帮助和支持表示诚挚的感谢。

在修订、编写过程中参考了大量的教材、专著和相关资料，在文中难以一一注明，在此对这些著作的作者表示感谢。

特别感谢《水处理微生物学》的编者，他们长年辛勤的劳动和知识的积累，为本书的修订、编写和出版打下了良好的基础。

由于编者水平有限，仍不免有错误、不妥之处，望广大读者批评指正。

编 者

2005 年 10 月于清华园

第三版前言

本书第一版由顾夏声和李献文编写。1980年出版以后，许多高等院校给水排水专业和部分环境工程专业广泛选作本科生的教科书，本专业的科技人员也选本书作为参考书。1988年，本书由原编者和俞毓馨修订出第二版。因该书需要量较多，曾多次重印。在使用过程中，有些兄弟院校曾对本书提出了宝贵意见。

本书已列为国家级“九五”重点教材。现根据全国高等学校给水排水工程学科专业指导委员会的要求，进行修订。此次修订由顾夏声、李献文和竺建荣3人完成，俞毓馨则参加了修订前的准备工作并提供了一些有关资料。主审仍由同济大学朱锦福和陈世和两教授担任。

这次修订基本上保留了原有的章节顺序，但在内容上做了一些增删和修改，主要有：针对细菌在水处理中的重要作用，增加了有关细菌结构和代谢反应方面的内容；根据微生物学的发展，对书中的部分概念和解释进行了修改；对废水生物处理中微生物学部分做了重写和补充，等等。李献文主要负责第六章的修改和补充；竺建荣主要负责其余各章的修改和补充；顾夏声负责全书的审定和校核。

由于编者水平有限，仍不免有错误、不妥之处，望广大读者批评指正。

编者
1997年3月

第二版前言

本书的第一版由清华大学顾夏声和北京建筑工程学院李献文编写。1980年4月出版以后，许多高等院校的给水排水专业和部分环境工程专业广泛选作本科生的教科书，部分专业的技术人员也选本书作为参考书，因而需要量较多，曾3次重印。在此期间有些兄弟院校曾提出了一些宝贵意见并鼓励我们进行修订再版。

1986年4月“城乡建设环境保护部给水排水及环境工程专业教材编审委员会”决定，此书由原编者修订再版，增补俞毓馨参加修订工作。此次修订于1986年9月开始由顾夏声、李献文、俞毓馨3人共同完成。主审仍由同济大学朱锦福和陈世和两同志担任。

此次修订仍保留了原有的章节顺序。但作了以下修改：（1）根据1984年颁布的《中华人民共和国法定计量单位》，做了必要的改动；（2）更改了部分微生物的名称；（3）对下列章节做了较多的增补和修改；引言；第二章：第二节、第三节；第三章：第二节；第四章：第一节、第六节；第五章：第三节；第八章：实验一至九等。

由于编者水平及时间有限，仍不免有不妥之处，务望广大读者批评指正。

编者

1987年8月

第一版前言

本书是根据 1978 年高等院校建筑类教材编写会议所制订的《水处理微生物学基础》教材编写大纲编写的，供给水排水工程专业学生使用。在编写过程中得到兄弟院校和有关单位的热情帮助，提出了宝贵的意见，在此表示感谢。

参加编写的有清华大学顾夏声（编写第一、二、三、七、八章及第六章第二、三、四、五、六节与附录）和北京建筑工程学院李献文（编写引言、第四、五章及第六章第一节）。参加审稿的有同济大学、重庆建筑工程学院、北京建筑工程学院、哈尔滨建筑工程学院、湖北建筑工程学院、湖南大学、北京工业大学、河北化工学院、清华大学等院校，同济大学朱锦福、陈世和同志担任主审。

由于我们水平有限，深入实际不够，时间也较仓促，书中定有不少错误之处，请读者批评指正。

编者
1979 年 5 月

目 录

第 1 章 绪论	1
----------------	---

第 1 篇 水处理生物学基础

第 2 章 原核微生物	7
2.1 细菌	7
2.2 放线菌	18
2.3 丝状细菌	24
2.4 光合细菌	27
2.5 蓝细菌	29
2.6 支原体、立克次氏体和衣原体	30
第 3 章 古菌	34
3.1 古菌的特点与分类	34
3.2 常见的古菌	35
3.3 古菌与水污染防治	38
第 4 章 真核（微）生物	40
4.1 真核微生物概述	40
4.2 酵母菌	45
4.3 霉菌	48
4.4 藻类	52
4.5 原生与微型后生动物	55
4.6 底栖动物	64
第 5 章 病毒	68
5.1 病毒的基本特征	68
5.2 病毒的繁殖	70
第 6 章 微生物的生理特性	74
6.1 微生物的营养	74
6.2 酶及其作用	82
6.3 微生物的代谢	89
6.4 环境因素对微生物生长的影响	101

第 7 章 微生物的生长和遗传变异	106
7.1 微生物的生长及其特性	106
7.2 微生物的遗传	115
7.3 微生物的变异	128
7.4 遗传工程	134
7.5 微生物的驯化与保藏	137
第 8 章 微生物的生态	143
8.1 生态系统的基本概念及特征	143
8.2 微生物在环境中的分布	146
8.3 微生物之间的相互关系	153
8.4 微生物生态学研究方法	156
第 9 章 大型水生植物	162
9.1 大型水生植物的特点	162
9.2 常见的大型水生植物	164

第 2 篇 污染物的生物分解与转化

第 10 章 微生物对污染物的分解与转化	173
10.1 微生物对有机物的分解作用	173
10.2 有机物的生物分解性	179
10.3 不含氮有机物的生物分解	183
10.4 含氮有机物的生物分解	189
10.5 微生物对无机元素的转化作用	193
10.6 生物对污染物的浓缩与吸附作用	196
第 11 章 污水生物处理系统中的主要微生物	200
11.1 污水生物处理的基本原理	200
11.2 有机污染物好氧生物处理的基本原理及其主要微生物	201
11.3 有机污染物厌氧生物处理的基本原理及其主要微生物	211
11.4 无机污染物生物处理的基本原理及其主要微生物	214
11.5 生物处理法对污水水质的要求	219
第 12 章 水生植物的水质净化作用及其应用	225
12.1 水生植物的水质净化作用	225
12.2 水处理与水体修复生态工程技术	228

第 3 篇 水质安全与生物监测

第 13 章 水卫生生物学	235
13.1 水中的病原微生物	235

13.2	水质生物学指标	243
13.3	水的卫生学检验方法	249
第 14 章	水中有害生物的控制	255
14.1	水中病原微生物的控制	255
14.2	水体富营养化及水华控制	265
14.3	有害水生植物及其控制	273
第 15 章	水质安全的生物检测	277
15.1	水体污染的生物监测	277
15.2	生物毒性检测	282
 第 4 篇 微生物学的研究方法 		
第 16 章	微生物的基本研究方法	291
16.1	微生物的观察	291
16.2	灭菌与无菌操作	292
16.3	微生物的培养和纯种分离	294
第 17 章	微生物学基础实验	300
实验 1	显微镜的使用及微生物形态的观察	300
实验 2	微型动物的计数	304
实验 3	细菌、霉菌、酵母菌、放线菌形态的观察	305
实验 4	微生物的染色	306
实验 5	培养基的制备及灭菌	308
实验 6	微生物纯种分离、培养及接种技术	311
实验 7	纯培养菌种的菌体、菌落形态观察	314
实验 8	微生物的生理生化特性	315
实验 9	大肠杆菌生长曲线的测定	326
实验 10	活性污泥微生物呼吸活性(耗氧速率)的测定	328
实验 11	发光细菌毒性测试实验	330
实验 12	藻类生长及其抑制实验	332
实验 13	大肠杆菌的荧光质粒转化及其表达与稳定性的研究	335
实验 14	环境中四环素抗性细菌的分离鉴定	337
附录		340
附录 1	鱼类毒性试验	340
附录 2	污水生物处理过程中常见的微生物	343
主要参考文献		349

第 1 章 绪 论

1. 水处理生物学的研究对象与任务

水处理生物学主要研究水处理工程和环境水体水质净化、保持过程（即水中污染物的迁移、分解与转化过程）中所涉及的生物学问题，特别是微生物学问题，是一门由普通生物学、普通微生物学、环境微生物学和水质工程学相结合，为了满足水处理和环境水体水质净化、保持工程的需要而发展起来的一门边缘性学科。水处理生物学在学科体系上属于应用（微）生物学的范畴，在研究对象和内容上与环境微生物学有一定交叉。

“生物学”（Biology）涉及的研究对象和内容广泛而又庞杂，“水处理生物学”研究的对象则主要集中在与水中的污染物迁移、分解及转化过程密切相关的微生物、微型水生动物和水生/湿生植物，特别是应用于水处理工程实践的生物种类。细菌等原核微生物在水处理工程中通常起着关键的作用，是水处理生物学研究的重点对象。鱼类等大型水生生物在地表水体水质净化与保持中扮演重要的角色（如在富营养水体中放养适宜和适量的鱼类，可有助于控制水华的产生），但在水处理工程中的应用将受到很大的限制，不是水处理生物学研究的重点对象，本教材不涉及这方面的内容。值得提出的是，鱼类是生物毒性试验中常用的水生生物种类，在水质安全评价中起着重要的作用。

“水处理生物学”的主要研究内容包括：

- (1) 与水处理工程和环境水体水质净化、保持相关的生物种类的形态、生理特性及生态；
- (2) 水中（微）生物种类间的相互作用；
- (3) （微）生物与水中污染物的相互作用关系；
- (4) 水中污染物的生物分解与转化机理；
- (5) 生物在水体净化和水处理中的作用机理和规律；
- (6) 水中有害（微）生物的控制方法；
- (7) 水处理（微）生物学的研究方法等。

“水处理生物学”课程的主要任务是使学生掌握与水处理相关的（微）生物学基本知识，掌握微生物、水生植物、水生动物等在水体净化和水处理中的作用机理和规律，学习水中微生物的检验方法等。

2. 生物的分类和命名法

自然界中生物种类繁多，截至目前，地球上记载的生物种类达 200 多万种，这些生物个体大小相差悬殊，小到几个纳米，大到数十米，以致体重以吨计。如此众多的生物，需要进行科学的分类。

生物学家以客观存在的生物属性为依据，将生物分门别类。根据生物之间相同（或相异）的程度以及亲缘关系的远近，可将生物划分为：界（kingdom）、门（division）、纲（class）、目（order）、科（family）、属（genus）、种（species），有时在种以下还要进行

更细致的区分。

关于生物的分类，目前国际上还没有统一的标准。1866 年，E. H. Haeckel 提出三界系统：原生生物界、植物界和动物界；1938 年 H. F. Copeland 又提出四界系统：原核生物界、原始有核界、后生植物界和后生动物界；1969 年 R. H. Whittaker 提出了五界系统：原核生物界、原生生物界、植物界、真菌界和动物界；1977 年我国学者在 Whittaker 五界系统的基础上，把病毒独立出来，划为一界，成为六界分类系统。本教材不深究这些分类方法，主要根据水处理工程的实际需要和习惯，对有关生物种类进行阐述。

关于物种的命名，目前都采用瑞典博物学家林奈（Linnaeus，1707~1778）创立的双命名法。双名法规定，每种生物的学名由两个拉丁词组成，前一词为该种的所在属的署名，常用名词（斜体），第一个字母大写；第二个词为种名，常用形容词（斜体），表示该物种的主要特征或产地，第一个字母小写。双名后面可附定名人的姓氏或其缩写（正体）。如：

水稻 *Oryza sativa* L.

芦苇 *Phragmites communis*

3. 与水处理相关的主要生物种类

根据生物自身的大小、形态和生理特性，结合水处理工程实际和习惯，与水处理工程有关的生物种类可分为微生物、小型水生动物和大型水生植物等。下面简单介绍这些生物的基本特点。

(1) 水中常见的微生物及其特点

微生物（microorganism, microbe）是肉眼看不见或看不清楚的微小生物的总称，不是生物分类学上的概念。微生物具有个体微小、结构简单、进化地位低等特点。

水处理工程中常见的微生物如图 1-1 所示。

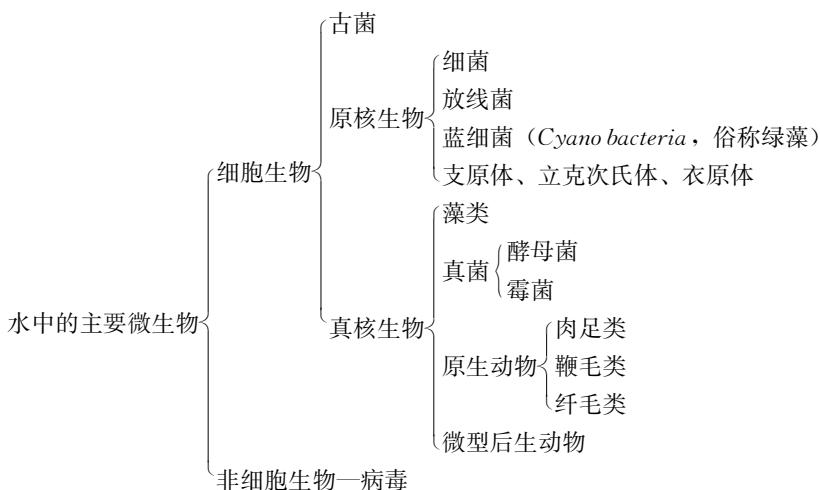


图 1-1 水处理工程中常见的微生物种类

在上述微生物中，大部分是单细胞生物。在生物学中，藻类属于植物学的范畴，原生动物和后生动物属于无脊椎动物范畴。一些个体较大的藻类、原生动物和后生动物，严格地讲，不属于微生物的范畴。在本书，基于水处理工程实践的实际，将微藻、原生动物和微型后生动物列入微生物的范畴。

微生物除具有个体非常微小的特点外，还具有以下特点：

1) 种类多。由于微生物的种类繁多，因而各自对营养物质的要求也不同。它们可以分别利用自然界中的各种有机物和无机物作为营养，将各种有机物分解成无机物（即无机化或矿化），或利用各种无机物合成复杂的碳水化合物、蛋白质等有机物。所以微生物在自然界的物质转化和污染物的分解过程中起着不可替代的作用。

2) 分布广。微生物个体小而轻，可随着灰尘四处飞扬，因此广泛分布于土壤、水和空气等自然环境中。例如，土壤中含有丰富的微生物所需要的营养物质，所以土壤中微生物的种类和数量很多。

3) 繁殖快。大多数微生物在几十分钟内可繁殖一代，即由一个分裂为两个。如果条件适宜，经过 10h 就可繁殖为数亿个。

4) 易变异。这一特点使微生物较能适应外界环境条件的变化。

微生物的生理特性以及上面列举的特点，是污水生物处理法的重要依据。污水在处理构筑物中与微生物充分接触时，能作为养料的物质（污染物）被微生物利用、转化，从而使污水水质得到改善。当然在处理后的污水排入水体之前，还必须除去其中的微生物，因为微生物本身也是一种有机杂质。

在各类微生物中，细菌与水处理的关系最密切。细菌的形态结构和生理特性以及它们在水处理过程中所起的作用等是本教材讨论的重点。

细菌等微生物的命名，与动物和植物的命名一样，都是采用林奈（Linnaeus）双命名法。即一种微生物的名称由两个拉丁文单词组成，第一个是属名，用拉丁文名词表示，词首字母大写，它描述微生物的主要特征；第二个是种名，用拉丁文形容词表示，词首字母不大写，它描述微生物的次要特征。有时候在种名词之后还会有微生物定名人的名字和定名时间。如果微生物只鉴定到属，对具体的种地位还不能肯定，则可以用 sp.（单数）或 spp.（复数）来表示，属名和种名用斜体字表示，其他均用正本字，不用斜体。另外，同一个菌种会有多个不同的菌株，每个研究人员分离出的菌株都有其独特性，菌株名的写法为属名+种名+菌株代号（可以为任意字母编号）。举例如下：

Escherichia coli (Migula) Csatellani et Chalmers 1919 大肠杆菌（原定名人）现定名人定名年份

Escherichia coli O157: H7 大肠杆菌 O157: H7 菌株

Bacillus subtilis 枯草芽孢杆菌

Bacillus sp.（一种）芽孢杆菌

Staphylococcus aureus 金黄色葡萄球菌

Saccharomyces cerevisiae Hansen 汉逊氏啤酒酵母

(2) 常见的小型水生动物

小型水生动物多指 1~2mm 以下的后生动物，它们与水处理过程，特别是与环境水体水质净化和保持过程有密切的关系，具有重要的生态功能。

底栖小型动物寿命较长，迁移能力有限，且包括敏感种和耐污种，故常称为“水下哨兵”，能长期监测有机污染物的慢性排放情况。底栖生物链是水体生态环境健康的标志之一，底栖生物对水体内源污染控制极其重要。近年来，底栖生物在污染水体生物修复中的作用得到了较多关注。

(3) 常见的水生(湿生)植物

大型水生植物(macrophyte)是除微型藻类以外的所有水生植物类群。根据它们的生活类型,水生植物可分为挺水植物、漂浮植物、浮叶根生植物和沉水植物四大类型。

水生植物作为水生生态系统的重要组成部分,具有重要的环境生态功能。对于水体,特别是浅水水体,大型水生植被的存在具有维持水生生态系统健康、控制水体富营养化、改善水环境质量的作用。

随着水环境污染的加剧,为了寻找高效低耗的水污染控制技术,从 20 世纪 70 年代,大型水生植物开始受到人们的关注,随着研究的不断深入,逐渐发展出了多种以大型水生植物为主体的水处理和水质修复的生态工程技术,如漂浮植物系统和人工湿地等。

思 考 题

1. “水处理生物学”的研究对象是什么?
2. 水中常见的微生物种类有哪些?
3. 微生物有哪些基本特征?并通过这些特征说明微生物为什么适合作为生态系统中的分解者?
4. 微生物命名常用的双命名法的主要规定是什么?
5. 小型水生动物和水生植物在水体水质净化中各起什么作用?

第 1 篇

水处理生物学基础

第 2 章 原核微生物

2.1 细 菌

2.1.1 细菌的形态和大小

细菌 (*bacteria*) 是一类单细胞、个体微小、结构简单、没有真正细胞核的原核生物。其大小一般只有几个 μm 。一滴水里，可以含有数千万个细菌。

细菌的形态大致上可分为球状、杆状和螺旋状（弧菌及螺菌）三种（图 2-1），仅少数为其他形状，如丝状、三角形、方形和圆盘形等。

球菌 (*coccus*) 呈球状，按其排列的形式，又可分为数种。例如：各自分散单独存在的，称单球菌；成双存在的，称双球菌；成串状的，称链球菌；四个联在一起的，称四联球菌；八个叠在一起的，称八叠球菌；积聚成葡萄状的，称葡萄球菌。肺炎球菌、脑膜炎球菌、尿小球菌、产甲烷八叠球菌等都是球状细菌。球菌直径一般为 $0.5\sim 2\mu\text{m}$ 。

杆菌 (*bacillus*) 常呈短杆（球杆）状，一般长 $1\sim 5\mu\text{m}$ ，宽 $0.5\sim 1\mu\text{m}$ 。大肠杆菌、伤寒杆菌、假单胞菌和布氏产甲烷杆菌都属于这一类细菌。

螺旋菌 (*spirilla*) 宽度常在 $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 之间，长度则因种类的不同而有很大差异（约 $5\sim 15\mu\text{m}$ ）。只有一个弯曲的螺旋状细菌称为弧菌，如霍乱弧菌、纤维弧菌等。

以上三种形态（球状、杆状和螺旋状）是细菌的基本形态。各种细菌在其初生时期或适宜的生活条件下，呈现它的典型形态。这些形态特征是鉴别菌种的依据之一。自然界中，以杆菌最为常见，球菌次之，螺旋菌最少。

由于细菌个体极其微小，所以要观察细菌的形状，必须要有一架可以放大一千倍或倍数更高的显微镜。而细菌本身是无色半透明的，即使放在显微镜下，看起来还是比较模糊，不容易看清楚。为了清楚地观察细菌，发展了多种细菌染色方法，使它们在显微镜下看起来轮廓很清楚。以下列出了染色方法的主要类型，根据不同的研究需要，采用不同的染色方法。在这些染色方法中，尤以革兰氏染色法 (Gram stain) 最为重要，其方法原理与意义将在细胞壁构造讨论部分介绍。

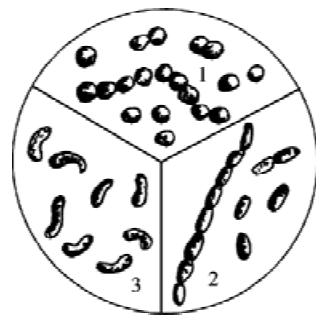
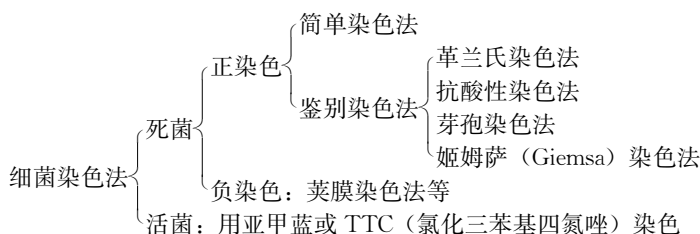


图 2-1 细菌的各种形态

1—球菌；2—杆菌；3—螺旋菌



2.1.2 细菌细胞的结构

1. 基本结构

细菌虽然微小，但是它们的内部构造却相当复杂。一般说，细菌的构造可分为基本结构和特殊结构两种；特殊构造只为一部分细菌所具有。细菌细胞的典型结构如图 2-2 所示。

细菌的基本结构包括细胞壁和原生质体两部分。细菌原生质体为细菌除去细胞壁以外的所有部分，包括细胞膜、细胞质、核质体和内含物。

(1) 细胞壁 (cell wall)

细胞壁是包围在细菌细胞最外面的一层富有弹性的、厚实、坚韧的结构，具有固定细胞外形和保护细胞不受损伤等多种功能，是细胞中重要的结构单元，也是细菌分类最重要的依据之一。

1884 年丹麦病理学家 Hans Christian Gram 提出了一个经验染色法，用于细菌的形态观察和分类。其操作过程是：结晶紫初染，碘液媒染，然后酒精脱色，最后用蕃红或沙黄复染。这就是最常采用的革兰氏 (Gram, 简称为 G) 染色法。根据染色反应特征，可以把细菌分成两大类：G 阳性 (G^+) 和 G 阴性 (G^-)，前者经过染色后细菌细胞仍然保留初染结晶紫的蓝紫色，后者经过染色后细菌细胞则先脱去了初染结晶紫的颜色，而带上了复染蕃红或沙黄的红色。后来的研究发现革兰氏染色的反应结果主要与细菌细胞壁有关。事实上，革兰氏阳性和革兰氏阴性细菌具有截然不同的细胞壁结构 (图 2-3)。

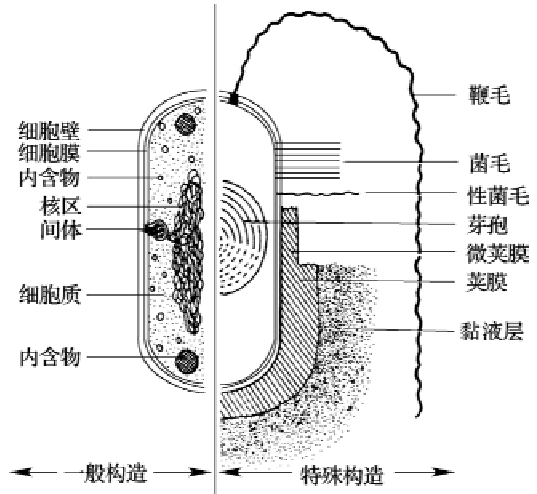


图 2-2 细菌细胞构造的模式图

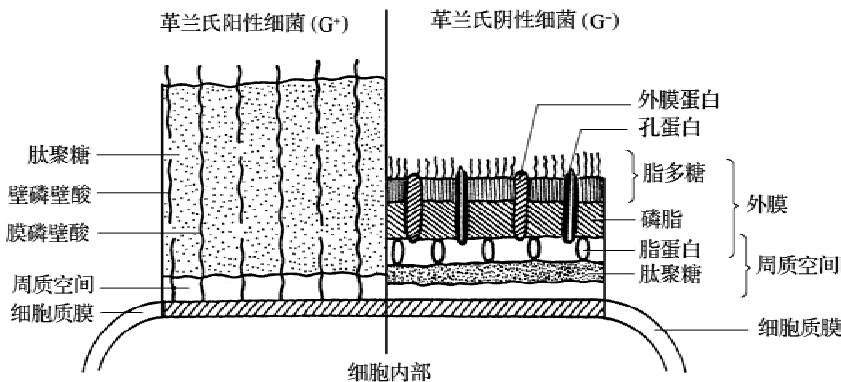


图 2-3 革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌细胞壁的比较

概括地说，革兰氏阳性细菌的细胞壁较厚，约为 20~80nm，单层，其组分比较均匀一致，主要由肽聚糖组成，还有一定数量的磷壁酸，脂类组分很少。肽聚糖实质上是 N-乙酰葡萄糖胺和 N-乙酰胞壁酸这两个双糖单位互相连接起来的有机大分子 (图 2-4)。N-乙酰胞壁酸又连接 4 个氨基酸互连起来的短肽，短肽之间又由 5 个氨基酸组成的肽链相

连，即所谓的“肽桥”。在短肽中除了生物体普遍具有的 L-型氨基酸外，还含有特征性的 D-型氨基酸。这样组织起来的网状大分子层层叠加至几十层就构成完整的细菌细胞壁。革兰氏阴性细菌的细胞壁与此不同，它的整个细胞壁可分为两层：细胞壁外层和内层。外层主要由脂多糖和脂蛋白组成，较厚（8~10nm）。脂类在整个细胞壁中占有的比例很高，可达 40% 以上。这是与革兰氏阳性细胞明显不同的一个特征。内层的主要结构组分是肽聚糖，但是较薄，只有 2~3nm。肽聚糖的结构模式与革兰氏阳性细菌相同。由于 G^+ 和 G^- 细菌的细胞壁之间存在着很大差异，因而染色过程中的反应也不同。

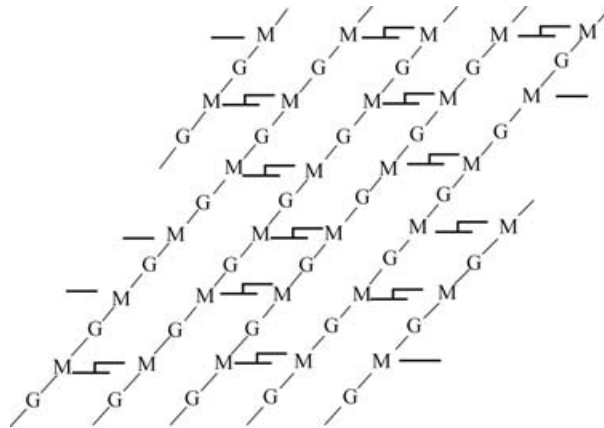


图 2-4 大肠杆菌中肽聚糖单位联结形成肽聚糖片的方式
G—N-乙酰葡萄糖胺；M—N-乙酰胞壁酸；粗线—多肽的交联

革兰氏染色的机理一般解释为：通过初染和媒染后，在细菌细胞的细胞壁及膜上结合了不溶于水的结晶紫与碘的大分子复合物。革兰氏阳性细菌胞壁较厚、肽聚糖含量较高且分子交联度较紧密，故在酒精脱色时，肽聚糖网孔会因脱水而发生明显收缩，再加上它含脂类很少，酒精处理也不能在胞壁上溶出大的空洞或缝隙，因此，结晶紫与碘复合物仍阻留在细胞壁内，使其呈现出蓝紫色。与此相反，革兰氏阴性细菌的细胞壁较薄、肽聚糖位于内层且含量低，交联松散，与酒精反应后其肽聚糖不易收缩，加上它的脂类含量高且位于外层，所以酒精作用时细胞壁上就会出现较大的空洞或缝隙，这样，结晶紫和碘的复合物就很易被溶出细胞壁，脱去了原来初染的颜色。当蕃红或沙黄复染时，细胞就会带上复染染料的红色。

上面介绍的是普通细菌的情况。不管是 G^+ 和 G^- 细菌，其细胞壁中均含有或多或少的肽聚糖及 D-型氨基酸，这是它们的最大特征，这类细菌又叫真细菌。绝大部分细菌都属于真细菌。除了这一共同特征外， G^+ 和 G^- 细菌细胞壁的其他异同详见表 2-1。

革兰氏阳性细菌与阴性细菌细胞壁结构与组成的比较

表 2-1

性质		革兰氏阳性细菌	革兰氏阴性细菌	
			内壁层	外壁层
结构	厚度 (nm)	20~80	2~3	8
	层次	单层	多层	
	与肽聚糖关系 与细胞膜的关系	多层，75%亚单位交联，网格紧密坚固 不紧密	单层，30%亚单位交联，网格较疏松 紧密	

续表

性质		革兰氏阳性细菌	革兰氏阴性细菌	
			内壁层	外壁层
组成	肽聚糖	占细胞壁干重的 40%~90%	5%~10%	无
	磷聚(酸)质	有或无	无	无
	多糖	有	无	无
	蛋白质	有或无	无	有
	脂多糖	1%~4%	无	11%~22%
	脂蛋白	无	有或无	有
对青霉素反应		敏感	不够敏感	

细胞壁的主要功能有：① 保持细胞形状和提高细胞机械强度，使其免受渗透压等外力的损伤；② 为细胞的生长、分裂所必需；③ 作为鞭毛的支点，实现鞭毛的运动；④ 阻拦大分子有害物质（如某些抗生素和水解酶）进入细胞；⑤ 赋予细胞特定的抗原性以及对抗生素和噬菌体的敏感性。

(2) 细胞膜 (cell membrane)

细胞膜又称细胞质膜 (cytoplasmic membrane)、质膜 (plasma membrane) 或内膜 (inner membrane)。细胞膜是一层紧贴着细胞壁而包围着细胞质的薄膜 (厚约 7~8nm)，其化学组成主要是蛋白质 (50%~70%)、脂类 (20%~30%) 和少量糖类。这种膜具有选择性通过的半渗透性，膜上具有与物质渗透、吸收、转运和代谢等有关的许多蛋白质和酶类。

细菌细胞膜中蛋白质是主要成分，约占细胞膜的 70%，比其他任何一种生物的细胞膜都高。根据在膜上的分布情况，蛋白质可分为两大类：一类是外周蛋白，或称贴膜蛋白，占膜蛋白含量的 20%~30%，主要分布在膜内外两侧表面。另一类是整合蛋白，占膜蛋白含量的 70%~80%，它们插入或贯穿于磷脂双分子层中。

脂类占细胞膜的 20%~30%，细菌细胞的脂类几乎全部分布在细胞膜中，主要是极性类脂——甘油磷脂，由甘油、脂肪酸、磷酸和含氮碱组成。磷脂都是两性分子，即有一个亲水的头部和疏水的尾部，膜在水溶液中很容易形成具有高度定向性的双分子层，这样就形成了膜的基本结构。

整体细胞膜的结构，目前大家比较公认的是“流动镶嵌模型” (图 2-5)，其要点是：① 磷脂双分子层组成膜的基本骨架。② 磷脂分子和蛋白分子在细胞膜中以多种方式不断运动，因而膜具有流动性。③ 膜蛋白以不同方式分布于膜的两侧或磷脂层中。

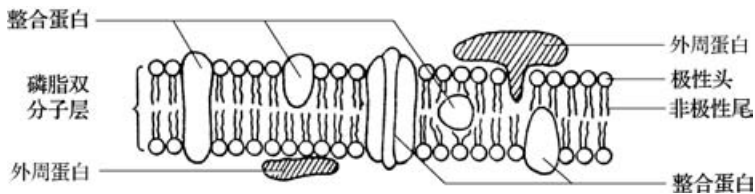


图 2-5 细胞膜模式构造图

细胞膜的主要功能为：① 选择性地控制细胞内外物质（营养物质和代谢产物）的运

责任编辑：王美玲

水处理生物学 (第六版)



建工出版社微信



经销单位：各地新华书店、建筑书店
网络销售：本社网址 <http://www.cabp.com.cn>
中国建筑出版在线 <http://www.cabplink.com>
中国建筑书店 <http://www.china-building.com.cn>
本社淘宝天猫商城 <http://zgjzgyCBS.tmall.com>
博库书城 <http://www.bookuu.com>
图书销售分类：高校教材 (V)

ISBN 978-7-112-22384-8



9 787112 223848 >

(32242) 定价：49.00 元
(赠课件)