



普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材  
高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

# 水处理生物学 (第四版)

顾夏声 胡洪营 文湘华 王慧 等 编著

中国建筑工业出版社

CHINA ARCHITECTURE & BUILDING PRESS

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材  
高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

# 水处理生物学

(第四版)

顾夏声 胡洪营 文湘华 王慧 等 编著



中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

水处理生物学/顾夏声等编著. —4 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2006

普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材. 高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材

ISBN 7-112-08051-7

I. 水... II. 顾... III. 水处理: 生物处理 - 高等学校 - 教材 IV. ①TU991.2②X703.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 066805 号

责任编辑: 刘爱灵

责任设计: 董建平

责任校对: 张景秋 张 虹

**普通高等教育土建学科专业“十五”规划教材  
高等学校给水排水工程专业指导委员会规划推荐教材  
水处理生物学  
(第四版)**

顾夏声 胡洪营 文湘华 王 慧 等 编著

\*

中国建筑工业出版社出版 (北京西郊百万庄)

新华书店总店科技发行所发行

北京华艺制版公司制版

北京市彩桥印刷有限责任公司印刷

\*

开本: 787×960 毫米 1/16 印张: 25 字数: 520 千字

2006 年 5 月第四版 2006 年 5 月第二十二次印刷

印数: 100 206—104 205 册 定价: 35.00 元

ISBN 7-112-08051-7  
(14005)

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)

本社网址: <http://www.cabp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

# 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水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**

## 《水处理微生物学》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

## 《水处理微生物学》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

# 《水处理微生物学》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、北京建筑工程学院、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

第一章 绪论	1
--------	---

## 第一篇 水处理生物学基础

第二章 原核微生物	7
第一节 细菌	7
第二节 放线菌	21
第三节 丝状细菌	27
第四节 光合细菌	31
第五节 蓝细菌	32
第六节 支原体、立克次氏体和衣原体	34
第三章 古菌	38
第四章 真核(微)生物	43
第一节 真核微生物概述	43
第二节 酵母菌	49
第三节 霉菌	53
第四节 藻类	57
第五节 原生与微型后生动物	62
第六节 底栖动物	71
第五章 病毒	76
第一节 病毒的基本特征	76
第二节 病毒的繁殖	78
第六章 微生物的生理特性	81
第一节 微生物的营养	81
第二节 酶及其作用	90
第三节 微生物的代谢	99
第四节 环境因素对微生物生长的影响	112
第七章 微生物的生长和遗传变异	118
第一节 微生物的生长及其特性	118
第二节 微生物的遗传	129

第三节	微生物的变异	144
第四节	遗传工程	152
第五节	微生物的驯化与保藏	155
<b>第八章</b>	<b>微生物的生态</b>	<b>161</b>
第一节	生态系统的基本概念及特征	161
第二节	微生物在环境中的分布	164
第三节	微生物之间的相互关系	173
<b>第九章</b>	<b>大型水生植物</b>	<b>178</b>
第一节	大型水生植物的特点	178
第二节	常见的大型水生植物	180

## 第二篇 污染物的生物分解与转化

<b>第十章</b>	<b>微生物对污染物的分解与转化</b>	<b>189</b>
第一节	微生物对有机物的分解作用	189
第二节	有机物的生物分解性	196
第三节	不含氮有机物的生物分解	201
第四节	含氮有机物的生物分解	208
第五节	微生物对无机元素的转化作用	212
第六节	生物对污染物的浓缩与吸附作用	216
<b>第十一章</b>	<b>污水生物处理系统中的主要微生物</b>	<b>220</b>
第一节	污水生物处理的基本原理	220
第二节	有机污染物好氧生物处理的基本原理及其主要微生物	221
第三节	有机污染物厌氧生物处理的基本原理及其主要微生物	234
第四节	无机污染物生物处理的基本原理及其主要微生物	236
第五节	生物处理法对污水水质的要求	242
<b>第十二章</b>	<b>水生植物的水质净化作用及其应用</b>	<b>249</b>
第一节	水生植物的水质净化作用	249
第二节	水处理与水体修复生态工程技术	252

## 第三篇 水质安全与生物监测

<b>第十三章</b>	<b>水卫生生物学</b>	<b>259</b>
第一节	水中的病原微生物	259
第二节	水质生物学指标	268
第三节	水的卫生学检验方法	275

<b>第十四章 水中有害生物的控制</b> .....	282
第一节 水中病原微生物的控制.....	282
第二节 水体富营养化及水华控制.....	292
第三节 有害水生植物及其控制.....	302
<b>第十五章 水质安全的生物检测</b> .....	307
第一节 水体污染的生物监测.....	307
第二节 生物毒性检测.....	313

## 第四篇 微生物学的研究方法

<b>第十六章 微生物的基本研究方法</b> .....	323
第一节 微生物的观察.....	323
第二节 微生物的培养和纯种分离.....	324
第三节 灭菌与无菌操作.....	329
<b>第十七章 微生物学基础实验</b> .....	333
实验一 显微镜的使用及微生物形态的观察.....	333
实验二 微型动物的计数.....	338
实验三 细菌、霉菌、酵母菌、放线菌形态的观察.....	339
实验四 微生物的染色.....	340
实验五 培养基的制备及灭菌.....	343
实验六 微生物纯种分离、培养及接种技术.....	346
实验七 纯培养菌种的菌体、菌落形态观察.....	349
实验八 微生物的生理生化特性.....	350
实验九 大肠杆菌生长曲线的测定.....	364
实验十 活性污泥微生物呼吸活性（耗氧速率）的测定.....	366
实验十一 发光细菌毒性测试实验.....	369
实验十二 藻类生长及其抑制实验.....	371
实验十三 大肠杆菌的荧光质粒转化及其表达与稳定性的研究.....	374
<b>附录</b> .....	377
甲、鱼类毒性试验.....	377
乙、污水生物处理过程中常见的微生物.....	381
<b>主要参考文献</b> .....	388

# 第一章 绪 论

## 一、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的交叉。

“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，是水处理生物学的重点。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，可有助于水华的控制），但在水处理工程中的应用将受到很大的限制，不是水处理生物学的重点，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相关的生物种类的形态、生理特性及生态；
- (2) 水中生物种类间的相互作用；
- (3) 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) 水中有害生物的控制方法；
- (7) 水处理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。

## 二、生物的分类和命名法

自然界中生物种类繁多，截止目前，地球上记载的生物达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，以致以吨重计。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认识。1866年，E. H. Haeckel 提出三界系统：原生物界、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属名，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*

### 三、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。

#### （一）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。

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：



图 1-1 水处理工程中常见的微生物种类

(1) 种类多。由于微生物的种类繁多，因而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（所谓无机化或矿化），或将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重要的作用。

(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。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二个拉丁文单词组成，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。有时候在前面所述的 2 个单词之后还会有一个单词，这个单词往往是说明微生物的命名人。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。举例如下:

*Escherichia coli* 大肠杆菌

*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

(二)常见的小型水生动物

小型动物多指1~2mm以下的后生动物,它们与水处理过程,特别是环境水体水质净化过程有密切的关系,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。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。

(三)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体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?为什么?
4. 微生物命名常用的双名法的主要规定是什么?
5. 水中小型动物和水生植物在水体水质净化中各起什么样的作用?

# 第一篇

## 水处理生物学基础



