

# 活性污泥生物相显微观察

HUOXINGWUNISHENGWUXIANGXIANWEIGUANCHA

高等学校“十二五”规划教材



市政与环境工程系列丛书



主编 施悦 李永峰 李宁 邝柳枝

主审 徐功娣

 哈尔滨工业大学出版社

高等学校“十二五”规划教材  
市政与环境工程系列丛书

# 活性污泥生物相显微观察

主 编 施 悦 李永峰 李 宁 邝柳枝  
主 审 徐功娣

哈尔滨工业大学出版社

## 内容简介

本书可分为两大部分:活性污泥微生物图谱和活性污泥微生物观察图解。具体内容如下:活性污泥中的细菌、活性污泥中的真菌、活性污泥中的藻类、活性污泥中的原生动物、活性污泥中的后生动物、显微镜技术、细菌形态和染色、活性污泥中微生物的初步观察、本体溶液、絮状颗粒和泡沫、活性污泥丝状生物体观察图解、活性污泥动物观察图解、活性污泥藻类和真菌观察图解、活性污泥中指示性生物的观察、收集、评估及观察报告。

本书可作为市政工程、环境工程、环境科学等专业的高年级本科和研究生教材或相关专业的培训教材,也可供科研工作者参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

活性污泥生物相显微观察/施悦,李永峰主编. —哈尔滨:  
哈尔滨工业大学出版社,2013.12

ISBN 978-7-5603-4350-1

I. ①活… II. ①施… ②李… III. ①活性污染-生物相-高等学校-教材 IV. ①X793

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 270941 号



责任编辑 贾学斌

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.75 字数 300 千字

版 次 2014 年 1 月第 1 版 2014 年 1 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-4350-1

定 价 35.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

## 市政与环境工程系列教材编审委员会

名誉主任委员:任南琪 杨传平

主任委员:周琪

执行主任委员:李永峰 施悦

委员(按姓氏笔画顺序排列):马放 王鹏 王爱杰 王文斗 王晓昌  
毛宗强 冯玉杰 田禹 刘广民 刘鸣达  
刘勇弟 刘文彬 孙德志 那冬晨 吴晓芙  
汪大永 汪群惠 张颖 郑天凌 季宇彬  
林海龙 李盛贤 李玉文 周雪飞 陈景文  
陈兆波 赵庆良 赵晓祥 姜霞 姜金斗  
唐利 徐功娣 徐春霞 徐菁利 黄民生  
曾光明 楼国庭 蔡伟民 蔡体久 颜涌捷

## 《活性污泥生物相显微观察》编写人员与分工

主 编 施悦 李永峰 李 宁 邝柳枝

主 审 徐功娣

编写人员 施悦:第1~3章、第10~11章;

李 宁:第4~6章;

王煜婷、李永峰:第7章;

李永峰:第8~9章;

邝柳枝、李永峰:第12~13章;

王玥、赵健慧、李永峰:第14章。

文字整理与图表制作:吴忠姍、张 玉

# 前 言

将污水放置一段时间通入空气后会产生絮凝性较好的絮状体,观察可见絮体中的细菌。使用显微镜观察可见絮体中的细菌原生动物和微型后生动物。微生物只有适应周围的环境才能生存,所以,在显微镜下观察到的微生物可认为是最适应这种环境的生物。

对于污水处理厂经营者来说,废水样品的显微镜镜检为其控制活性污泥系统中运行条件的优劣创造了条件,从而为维持良好状况,防止、纠正不良状况的经营策略做出决定。同时,显微镜镜检也为经营者提供了以下信息:生物量情况、生物量对运行条件改变的反应、工业排放物、活性污泥法的处理效果。活性污泥系统中的混合液包含许多有机和无机的成分,通过显微镜可以观察并描述出它们的数目、结构特征及其活动,从而为活性污泥法的过程控制和故障诊断提供指导或“生物指示”。活性污泥系统中重要的有机成分包括:分散生长物、絮状颗粒、丝状生物、原生动物、轮形虫、线虫、菌胶团,此外还有红蚯蚓、刚毛虫、腹毛虫、螺旋菌、四联球菌、水熊、水蚤。活性污泥系统中重要的无机成分包括:胶体、胶状分泌物、不溶性多聚糖、颗粒物。

本书讲述了活性污泥中微生物的种类及图解,包括细菌、真菌、藻类、原生动物和后生动物等,并用图表示微生物的形态,帮助读者进一步了解活性污泥中的微生物。这本书同时也向大家介绍了显微镜和立体双目显微镜的使用和维护、活性污泥法中显微镜镜检的操作步骤和技巧,以及活性污泥微生物的实验图解,以便读者阅读本书后对活性污泥中的微生物有更进一步的了解。

使用本书的学校可免费获得电子课件,如有需要,可与李永峰教授联系(mr\_lyf@163.com)。本书由东北林业大学、哈尔滨工程大学、琼州学院、哈尔滨工业大学和上海工程技术大学的专家们撰写。本书的出版得到“黑龙江省自然科学基金项目(E200936和E201354)”、“黑龙江省科技攻关项目(GA09B503-2)”和“中央高校基本科研业务专项基金重大项目(HEUCFZ1103)”的技术成果和资金的支持,特此感谢。由于编者业务水平和写作经验有限,书中难免存在不足之处,真诚地希望有关专家、老师及同学们在使用过程中随时提出宝贵意见,使之更加完善。

编 者  
2013年8月

## 目 录

## 上篇 活性污泥微生物图谱

第 1 章 活性污泥中的细菌	(1)
1.1 球菌	(1)
1.2 杆菌	(5)
1.3 螺旋菌属	(14)
1.4 其他细菌	(16)
第 2 章 活性污泥中的真菌	(20)
2.1 致病真菌	(20)
2.2 单细胞真菌	(22)
2.3 丝状真菌	(23)
第 3 章 活性污泥中的藻类	(25)
3.1 单细胞藻类	(25)
3.2 平板藻属	(25)
3.3 绿藻	(26)
3.4 蓝绿藻	(27)
3.5 衣藻	(29)
3.6 隐藻	(30)
3.7 袋鞭藻	(31)
第 4 章 活性污泥中的原生动物	(32)
4.1 鞭毛虫	(32)
4.2 变形虫	(34)
4.3 纤毛虫	(39)
第 5 章 活性污泥中的后生动物	(52)
5.1 轮虫	(52)
5.2 线虫	(55)
5.3 钢毛虫	(56)
5.4 红蚯蚓	(56)
5.5 水丝蚓	(57)
5.6 剑水蚤	(57)
5.7 水熊	(58)

## 下篇 活性污泥微生物观察图解

第 6 章 显微镜技术 .....	(60)
6.1 显微镜原理 .....	(60)
6.2 显微镜测量 .....	(65)
6.3 湿涂片和涂片 .....	(66)
6.4 显微镜的正确使用方法 .....	(69)
6.5 明视野光学显微镜 .....	(70)
6.6 暗视野光学显微镜 .....	(71)
6.7 相差光学显微镜 .....	(72)
6.8 荧光显微镜 .....	(73)
第 7 章 细菌形态和染色 .....	(76)
7.1 细菌的形态 .....	(76)
7.2 细菌的染色原理及方法 .....	(76)
7.3 其他染色方法 .....	(83)
7.4 鞭毛染色: West 和 Difco's 斑点测试法 .....	(88)
第 8 章 活性污泥中微生物的初步观察 .....	(91)
8.1 引言 .....	(91)
8.2 混合液中的生物食物链 .....	(98)
8.3 样品 .....	(102)
8.4 安全问题 .....	(104)
第 9 章 本体溶液 .....	(106)
9.1 分散生长物 .....	(106)
9.2 微粒子 .....	(107)
9.3 螺旋菌 .....	(109)
第 10 章 絮状颗粒和泡沫 .....	(110)
10.1 絮状颗粒 .....	(110)
10.2 四联体 .....	(114)
10.3 菌胶团 .....	(115)
10.4 泡沫 .....	(116)
第 11 章 活性污泥丝状生物体观察图解 .....	(119)
11.1 丝状生物体的形态特征 .....	(120)
11.2 对特殊染色剂的反应 .....	(121)

---

11.3	对“S”测试的反应 .....	(121)
11.4	检索表 .....	(122)
11.5	丝状生物体的特征、增长因素和控制措施 .....	(123)
<b>第 12 章</b>	<b>活性污泥动物观察图解 .....</b>	<b>(129)</b>
12.1	原生动物 .....	(129)
12.2	细菌和原生动物的相对优势 .....	(136)
12.3	轮虫类 .....	(139)
12.4	蠕虫和类蠕虫的生物 .....	(142)
12.5	甲壳动物 .....	(146)
<b>第 13 章</b>	<b>活性污泥藻类和真菌观察图解 .....</b>	<b>(149)</b>
13.1	活性污泥中的藻类 .....	(149)
13.2	真菌 .....	(150)
<b>第 14 章</b>	<b>活性污泥中指示性生物的观察 .....</b>	<b>(152)</b>
14.1	活性污泥良好状态下的指示生物 .....	(152)
14.2	曝气池高负荷状态下的指示生物 .....	(156)
14.3	曝气池低负荷状态下的指示生物 .....	(160)
14.4	引起污泥膨胀的指示生物 .....	(163)
<b>第 15 章</b>	<b>收集、评估及观察报告 .....</b>	<b>(166)</b>
15.1	显微镜设置和等级表 .....	(166)
15.2	工作表 .....	(178)
15.3	显微镜镜检报告 .....	(185)
<b>参考文献</b>	<b>.....</b>	<b>(190)</b>



# 上篇 活性污泥微生物图谱

## 第 1 章 活性污泥中的细菌

活性污泥法是废水处理中应用最为广泛的技术之一,活性污泥中的生物和其他成分能指示水质状况,从而用于评价废水的处理效果。活性污泥中的细菌具有细胞壁,属于单细胞原核生物,一般个体较小,大多在  $1\ \mu\text{m}$  左右,在一定的环境中,不同的细菌有相对稳定的形态和结构。活性污泥中的细菌按基本形态可分为球菌、杆菌和螺旋菌。

### 1.1 球菌

球菌是一种呈球形或近似球形的细菌,如图 1.1 所示。其大小以细胞直径表示,一般为  $0.5\sim 1.0\ \mu\text{m}$ 。球菌的分裂面不同,分裂后各子细胞在空间呈现不同的排列方式。根据繁殖以后的状态,可分为单球菌、双球菌、链球菌、四联球菌、八叠球菌和葡萄球菌等。

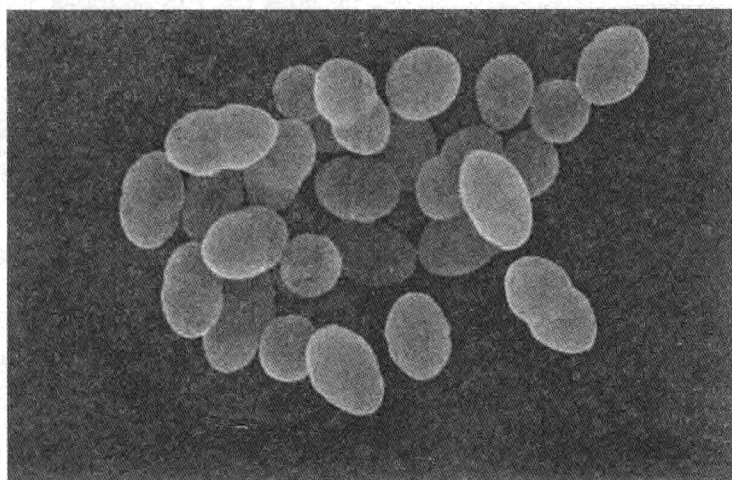


图 1.1 球菌

单球菌:细胞沿一个平面进行分裂,子细胞处于分散状态,单独存在,如脲微球菌(*Micrococcus ureae*);

双球菌:细胞沿一个平面进行分裂,子细胞成对排列,如肺炎双球菌(*Diplococcus pneumoniae*);

链球菌:细胞沿一个平面进行分裂,子细胞呈链状排列,如乳链球菌(*Streptococcus lactic*);

四联球菌:细胞按两个相互垂直的平面进行分裂,子细胞呈田字形排列,如四联微球菌(*Micrococcus tetragenus*);

八叠球菌:细胞按三个相互垂直的平面进行分裂,子细胞呈立方体排列,如巴氏甲烷八叠球菌(*Methanosarcina barkeri*);

葡萄球菌:细胞分裂面不规则,子细胞排列无次序呈葡萄状,如金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)。

球菌的排列方式如图 1.2 所示。

### 1.1.1 微球菌属

微球菌属(*Micrococcus*)细胞呈球形,

直径为  $0.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$ ,单生,成对、四联或成簇出现,但不成链(图 1.3);革兰氏阳性,罕见运动,不生芽孢,严格好氧,菌落常有黄或红的色调,具呼吸的化能异养菌,能氧化葡萄糖,产少量酸或不产酸;通常生长在简单的培养基上,接触酶阳性,氧化酶常常是阳性的,但往往是很弱的。通常耐盐,可在 5% NaCl 中生长。含细胞色素,抗溶菌酶。最适宜在温度为  $25 \sim 37^\circ\text{C}$  的条件下生长。

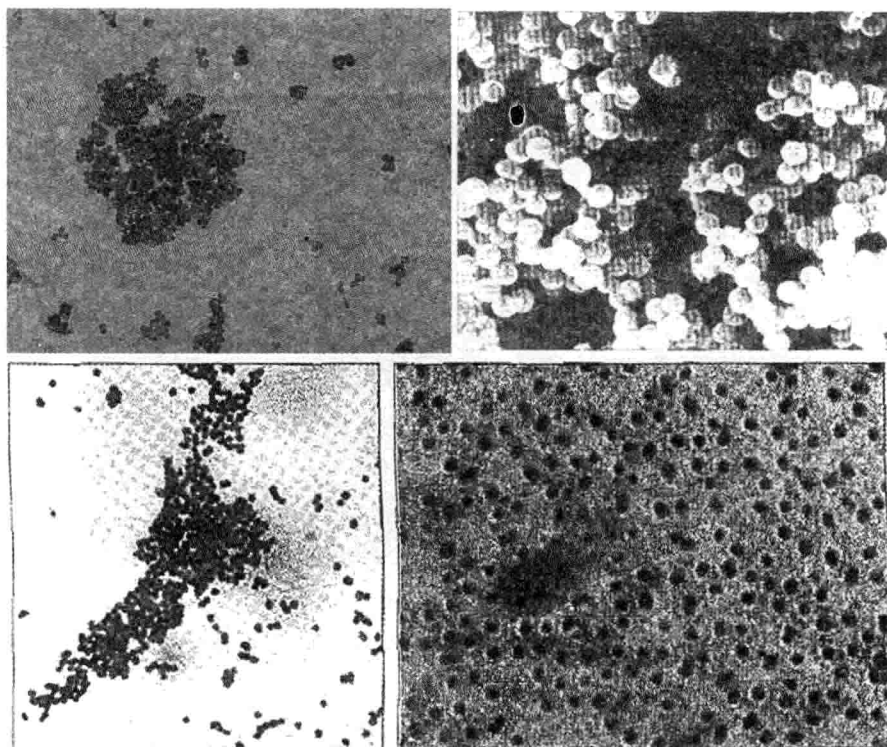


图 1.3 微球菌

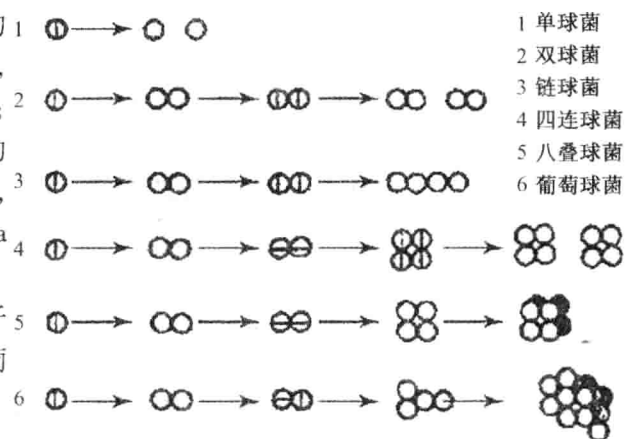


图 1.2 球菌的排列方式图

(引自:马放等.环境微生物图谱.北京:中国环境科学出版社,2010)

### 1.1.2 葡萄球菌属

葡萄球菌属 (*Staphylococcus*) 是一群革兰氏阳性球菌,常堆聚成葡萄串状。多数为非致病菌,少数可导致疾病。呈球形或稍呈椭圆形,直径在  $1.0\ \mu\text{m}$  左右,排列成葡萄状(图 1.4)。葡萄球菌无鞭毛,不能运动;无芽胞,除少数菌株外一般不形成荚膜;易被常用的碱性染料着色,革兰氏染色为阳性。兼性厌氧微生物,在厌氧条件下可利用葡萄糖发酵,产物主要为乳酸;在好氧条件下,产物主要为醋酸和少量  $\text{CO}_2$ 。适宜在温度为  $35\sim 40^\circ\text{C}$ 、pH 值为  $7\sim 7.5$  的条件下生长。

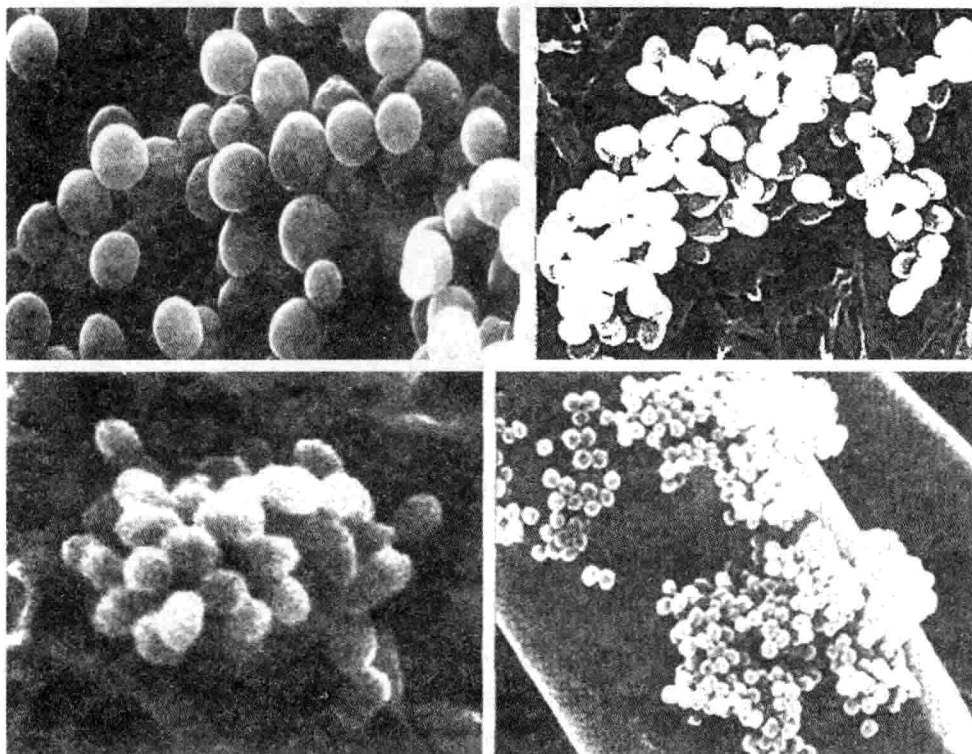


图 1.4 葡萄球菌

### 1.1.3 链球菌属

链球菌属 (*Streptococcus*) 呈菌体球或卵圆形,直径不超过  $2\ \mu\text{m}$ ,呈链状排列,如图 1.5 所示。无芽胞,大多数无鞭毛,幼龄菌( $2\sim 3\ \text{h}$  培养物)常有荚膜。多数兼性厌氧,少数厌氧,过氧化氢酶阴性,适温  $37^\circ\text{C}$ ,最适 pH 值为  $7.4\sim 7.6$ 。细胞壁外有菌毛,格兰染色阳性。有机营养型,可利用葡萄糖发酵产生乳酸,无接触酶。

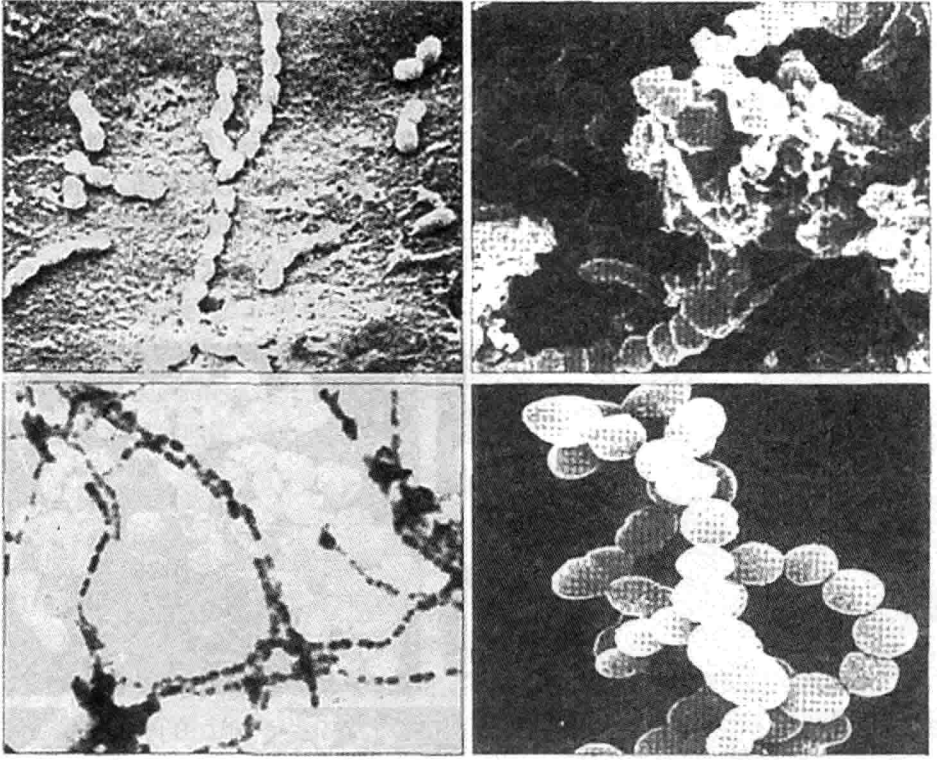


图 1.5 链球菌

(引自:马放等. 环境微生物图谱. 北京:中国环境科学出版社,2010)

#### 1.1.4 奈瑟菌属

奈瑟菌属(*Neisseria*)是一群革兰染色阴性双球菌,无芽孢,无鞭毛,有菌毛,好氧或兼性厌氧,氧化酶阳性。奈瑟菌呈球形,成对排列,形似咖啡豆的革兰阴性球菌(图 1.6),通常位于中性粒细胞内,而在慢性淋病时常位于细胞外,新分离株有荚膜和菌毛。直径为  $0.6 \sim 1.0 \mu\text{m}$ ,单个或成对排列,两个平面分裂。有机化能营养型,最适宜温度为  $37^\circ\text{C}$ 。

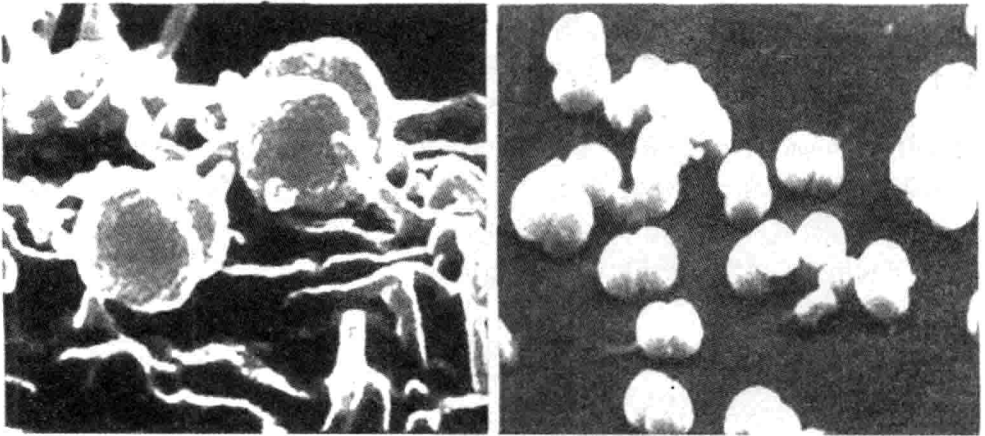


图 1.6 奈瑟菌属

(引自:马放等. 环境微生物图谱. 北京:中国环境科学出版社,2010)

### 1.1.5 布兰汉球菌属

布兰汉球菌属常见类型如图 1.7 所示。布兰汉球菌属通常为球菌,两个平面分裂,排列成双球形。无芽孢,不运动,革兰氏阴性。遇碳水化合物无酸生成,不产生黄色色素,有机化能营养类型,在无血通用培养基上生长良好。适宜在 37℃ 下生长,好氧,接触酶和细胞色素氧化酶阳性,通常硝酸盐还原,可在哺乳动物黏膜上寄生。

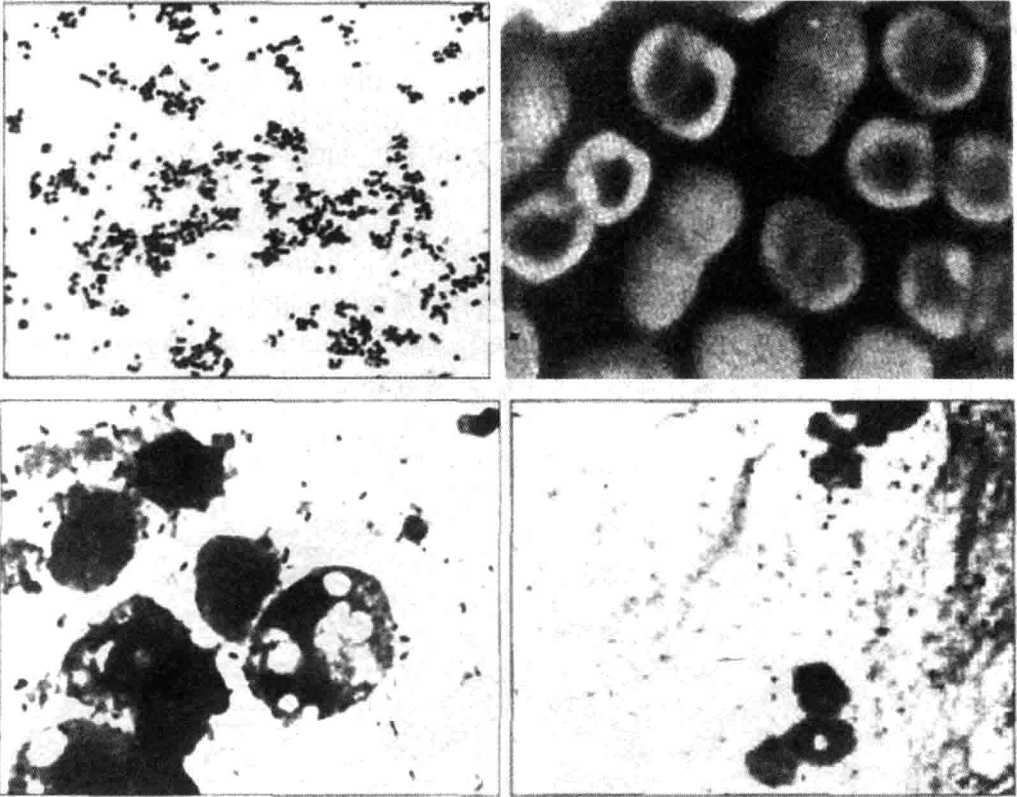


图 1.7 布兰汉球菌属

## 1.2 杆菌

各种杆菌的大小、长短、弯度、粗细差异较大。大多数杆菌中等大小长为 2~5  $\mu\text{m}$ , 宽为 0.3~1  $\mu\text{m}$ 。大的杆菌如炭疽杆菌((3~5)  $\mu\text{m}$  × (1.0~1.3)  $\mu\text{m}$ ), 小的如野兔热杆菌((0.3~0.7)  $\mu\text{m}$  × 0.2  $\mu\text{m}$ )。菌体的形态多数呈直杆状, 也有的菌体微弯。菌体两端多呈钝圆形, 少数两端平齐(如炭疽杆菌), 也有两端尖细(如梭杆菌)或末端膨大呈棒状(如白喉杆菌)。排列一般分散存在, 无一定排列形式, 偶有成对或链状, 个别呈特殊的排列, 如栅栏状或 v、y、l 字样, 如图 1.8 所示。根据细胞的排列方式, 杆菌可分为单杆菌、双杆菌和链杆菌, 如图 1.9 所示。

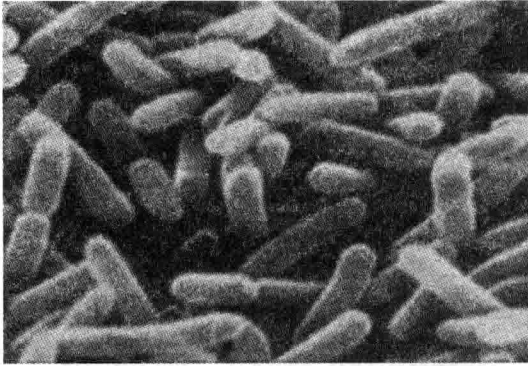


图 1.8 杆菌

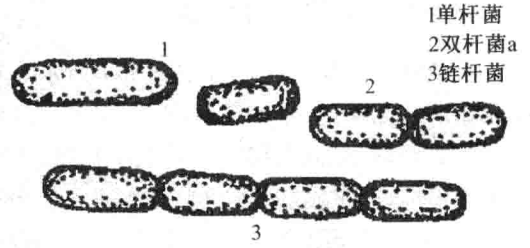


图 1.9 杆菌的排列方式图

(引自:马放等.环境微生物图谱.北京:中国环境科学出版社,2010)

### 1.2.1 动胶菌属

动胶菌属,杆状,大小为 $(0.5 \sim 1.0) \mu\text{m} \times (1.0 \sim 3.0) \mu\text{m}$ ,幼龄菌体借端生单鞭毛活泼运动,在自然条件下,菌体群集于共有的菌胶团中,特别是碳氮比相对高时更是如此。革兰氏染色阴性,专性好氧,化能异养;能利用某些糖和氨基酸,不能利用淀粉、纤维素、蛋白质和肝糖等,不产生色素,是废水生物处理中的重要细菌,在活性污泥中的贡献最大。常见的动胶菌属如图 1.10 所示。

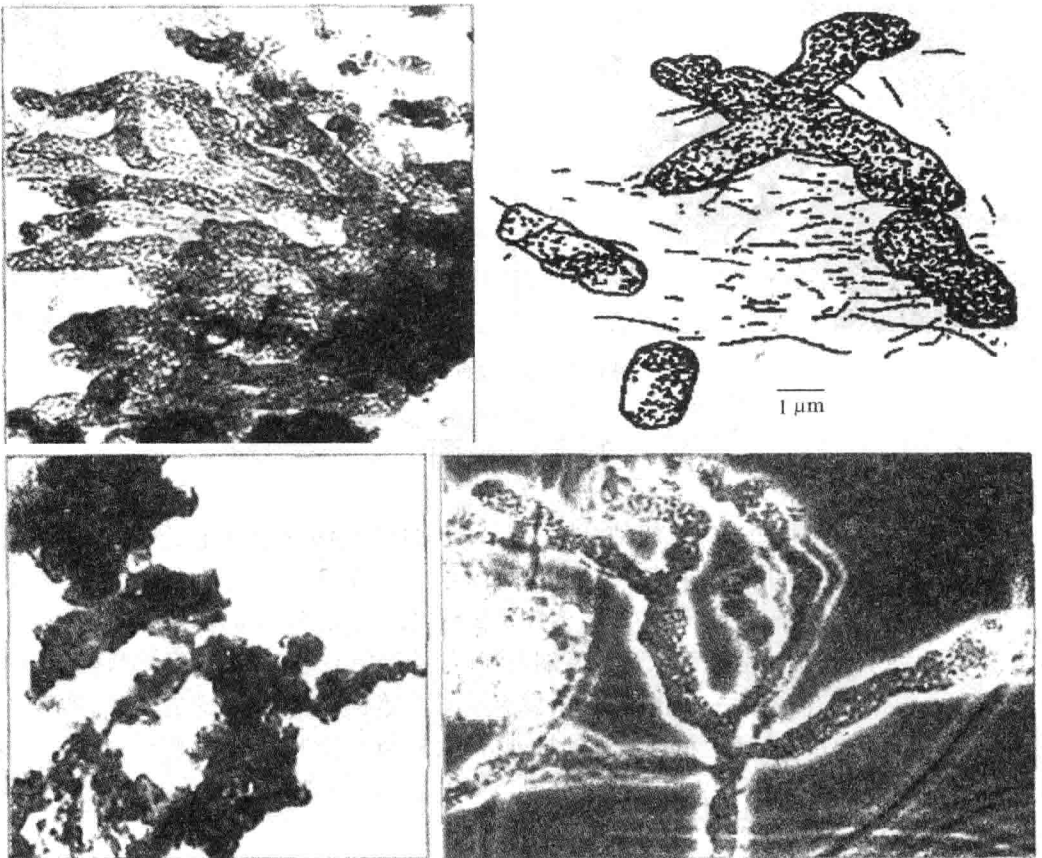


图 1.10 动胶菌属

### 1.2.2 芽孢杆菌属

细胞呈直杆状,大小为 $(0.5 \sim 2.5) \mu\text{m} \times (1.2 \sim 10) \mu\text{m}$ ,常以成对或链状排列,具圆端或方端。细胞染色大多数在幼龄培养时呈现革兰氏阳性,以周生鞭毛运动。芽孢呈椭圆、卵圆、柱状、圆形,能抗许多不良环境。每个细胞产一个芽孢,生孢不被氧所抑制。好氧或兼性厌氧,具有对热稳定、pH 值适应范围广和对盐耐性强等。化能异养菌,具有发酵或呼吸代谢类型,通常接触酶阳性。发现于不同的生境,少数种对脊椎动物和非脊椎动物致病。代表种为枯草芽孢杆菌,周生鞭毛,为格兰染色阳性,芽孢呈椭圆形,在有机物的转化和分解过程中占据重要地位。常见种类如图 1.11 所示。

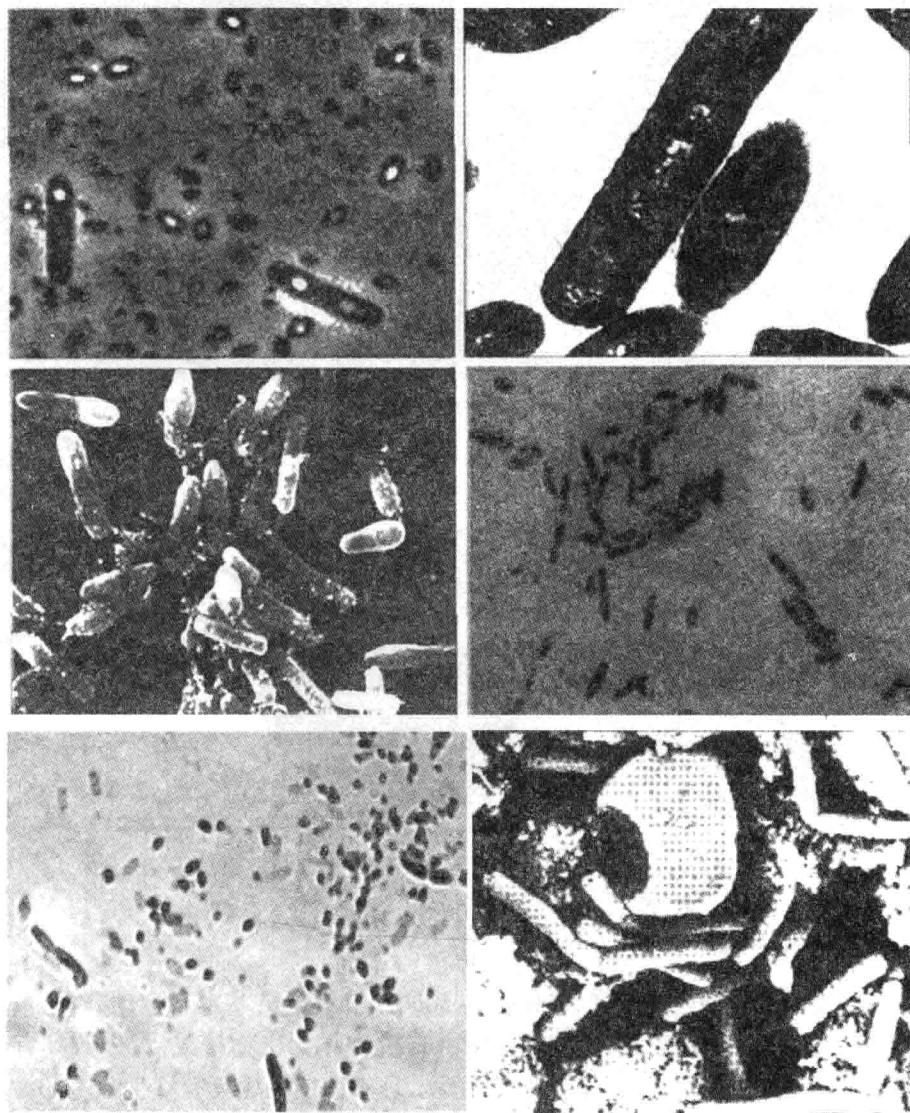


图 1.11 芽孢杆菌属

(引自:马放等. 环境微生物图谱. 北京:中国环境科学出版社,2010)

### 1.2.3 埃希菌属

埃希菌属包括 5 个种,即大肠埃希菌、蟑螂埃希菌、弗格森埃希菌、赫尔曼埃希菌和伤口埃希菌。活性污泥中最常见的是大肠埃希菌。大肠埃希菌俗称大肠杆菌,在水体中常被用作粪便或病原菌污染的指示菌种,也是微生物科研中的常用菌种。

埃希菌属属于直杆菌,细胞呈短杆状,大小为  $(1.1 \sim 1.5) \mu\text{m} \times (2 \sim 6) \mu\text{m}$  (活体) 或  $(0.4 \sim 0.7) \mu\text{m} \times (1.3 \sim 3) \mu\text{m}$  (干燥染色后测量)。借周生鞭毛运动或不运动,无芽孢,革兰染色阴性,兼性厌氧菌,在普通培养基上生长迅速。常见种类如图 1.12 所示。

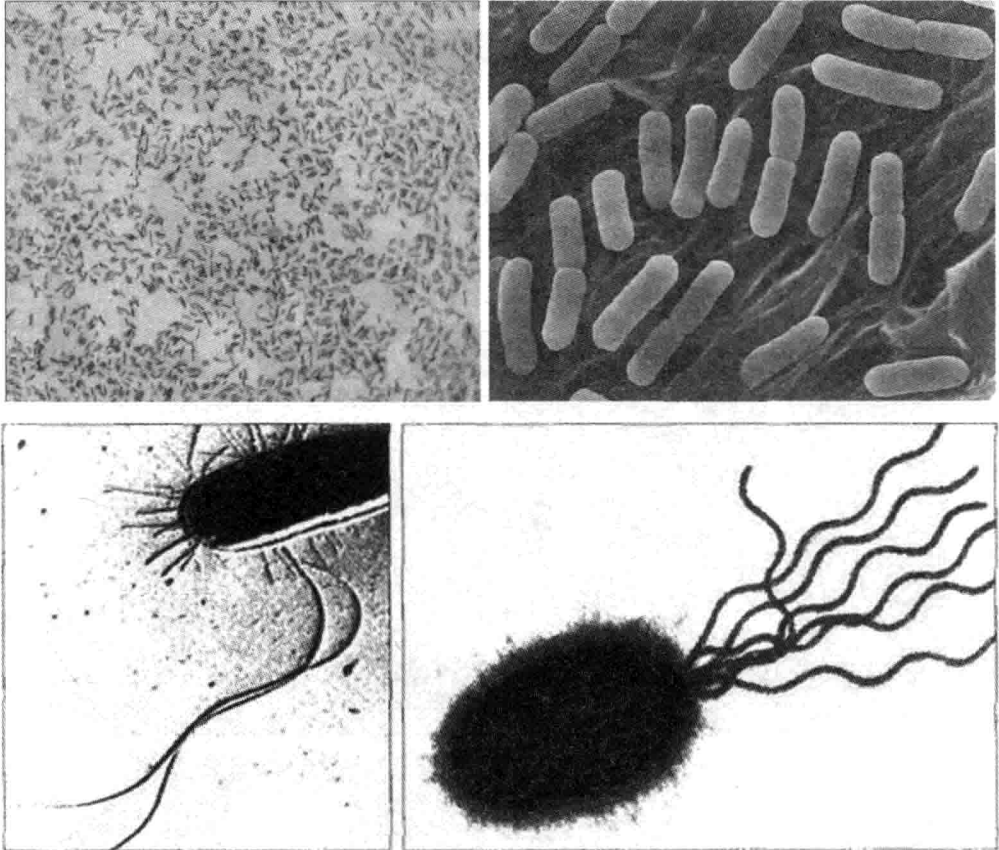


图 1.12 埃希菌属

### 1.2.4 球衣菌属

球衣菌属为单细胞串生成丝状,丝体长为  $500 \sim 1\,000 \mu\text{m}$ ,基本不运动,略呈弯曲状,如图 1.13 所示。丝物体外包围两层鞘套,主要由有机物和无机物组成,大多数具有假分枝。其丝状鞘的一端固着在固体表面,革兰染色阴性。球衣菌能生成具有端生鞭毛的游动孢子,主要依靠游动孢子或不能游动的分生孢子繁殖。球衣菌属化能有机营养型,为专性需氧菌,有较强的分解有机物的能力。适宜生长的 pH 值范围为  $6 \sim 8$ ,在有机物污染的水域中和微氧条件下可快速生长,为活性污泥中的常见菌种。当球衣菌数量过多时会发生污泥膨胀。



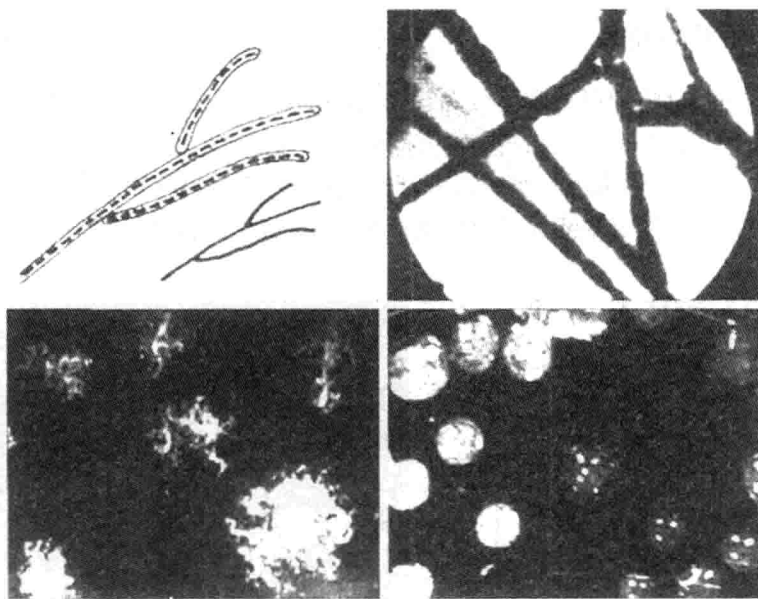


图 1.13 球衣菌属

### 1.2.5 变形杆菌属

革兰阴性杆菌,大小为 $(0.4 \sim 0.6) \mu\text{m} \times (1.0 \sim 3.0) \mu\text{m}$ ,两端钝圆,形态呈明显的多形性,可为杆状、球杆状、球形、丝状等,无荚膜,不形成芽孢,有周身鞭毛,运动活泼,有菌毛,可黏附于真菌等细胞表面。菌体常有不规则的变形,借周生鞭毛运动。属活性污泥中常见菌种,如图 1.14 所示。

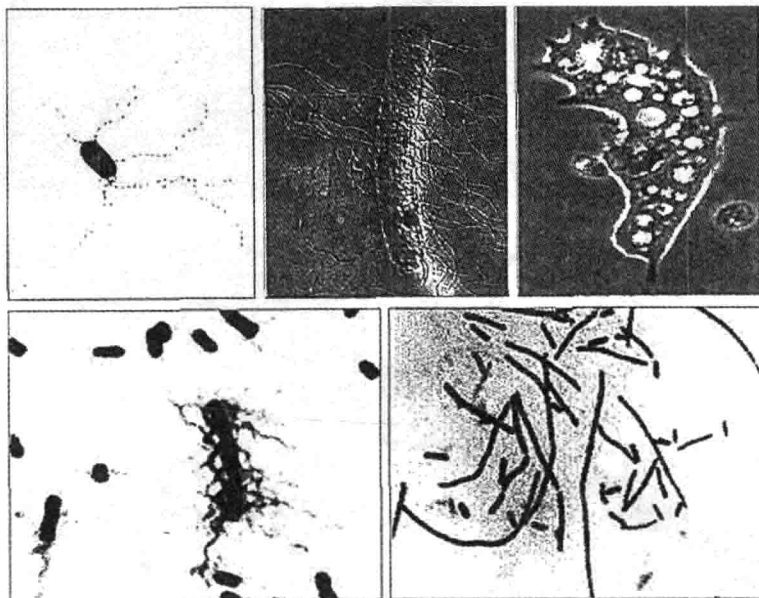


图 1.14 变形杆菌属

(引自:马放等. 环境微生物图谱. 北京:中国环境科学出版社,2010)