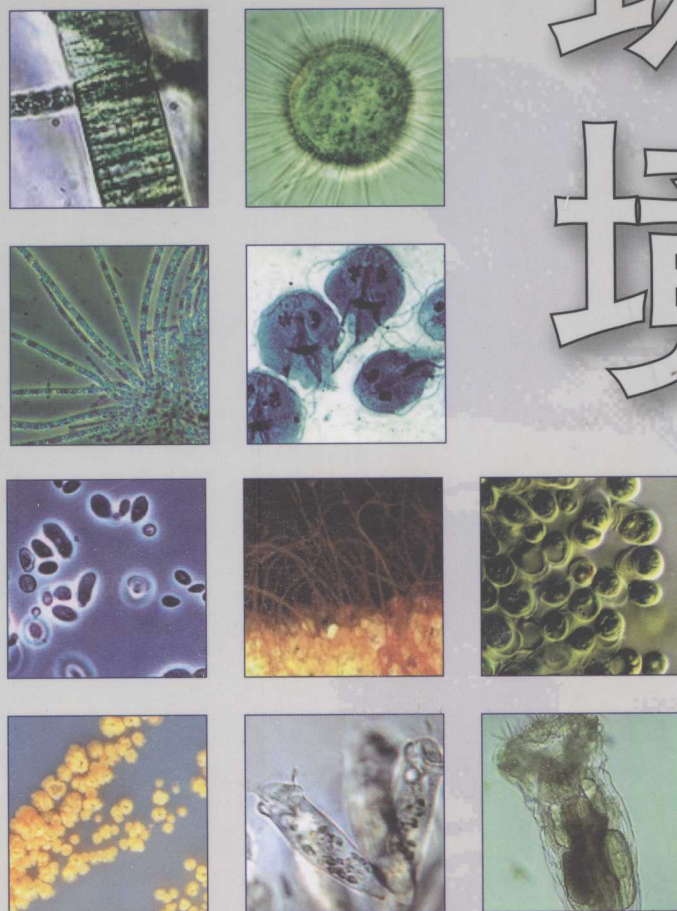


环境微生物图谱

马放 杨基先 魏利 等著



HUANJING WEISHENGWU TUPU



中国环境科学出版社

环境微生物图谱

马放
杨基先
魏利
等著



HUANJING WEISHENGWU TUPU



NLIC 2970695693

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目 (CIP) 数据

环境微生物图谱 / 马放, 杨基先, 魏利等著 — 北京: 中国环境科学出版社, 2010.6

ISBN 978-7-5111-0025-2

I. 环… II. 马… III. ①环境生物学—微生物学—图谱
IV. X172-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 098506 号

责任编辑 葛 莉
责任校对 刘凤霞
装帧设计 龙文视觉

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京画中画印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2010 年 6 月第 1 版
印 次 2010 年 6 月第 1 次印刷
开 本 889 × 1194 1/16
印 张 23.5
字 数 550 千字
定 价 230.00 元

《环境微生物图谱》编委会

主 编 马 放 杨基先 魏 利

副主编 王 立 杜大仲 贾学斌

主 审 任南琪

序

水是社会经济发展的宝贵资源,也是人类生存、生活不可替代的生命源泉。自古以来,人类文明的兴衰无不与水息息相关,各大名城古都无不傍水而居。因为水,地球才有了生命,城市才有了灵气。

我国的水资源总量约为 28 000 亿 m^3 , 人均占有水资源不足 2 200 m^3 , 约为世界人均水量的 1/4, 列世界第 121 位, 是一个不折不扣的贫水国。随着我国经济的迅速发展, 人口的增加, 人民生活水平逐步的提高, 工业化和城市化步伐的加快, 用水量也急剧增加, 污水排放量也相应增加, 用后的污水未经处理或未达到足够深度的处理便排放, 污染了纯净的自然水体, 进一步加剧了我国水资源短缺的局面, 导致了淡水资源的短缺和水环境的污染。

2008 年温家宝总理在“两会”政府工作报告中指出, 力争用两年时间在 36 个大城市率先实现污水的全部收集和处理。据中国水网《全国污水处理行业分析》的报告中指出, 截至 2008 年 5 月, 全国 36 个大城市污水厂运营总数为 327 座, 占全国污水厂的 25%, 这些污水厂平均日处理能力为 191.57 万 m^3 , 实际投资规模为 719.36 亿元, 平均负荷率为 71.1%。报告指出, 36 个大城市中, 污水处理率最高的为合肥市达到了 94.4%, 还有 11 个城市污水处理率在 60% 以下, 而重庆和西安污水处理率还不到 40%。预计到“十一五”期末, 我国污水厂数量将达到 3 000 座, 如何保证建成后的污水处理厂能够高效、稳定地运行成为亟待解决的问题。

与此同时, 饮用水安全问题已引起人们的高度重视, 特别是新的《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006) 颁布实施, 水质检测指标由原来的 35 项增加至 106 项, 饮用水安全保障技术成为热门的研究领域。从饮用水水源保护、常规处理的强化、深度处理、安全输配, 到全流程的应急预警, 目的就是要保障饮用水的安全。

近年来, 随着环境微生物学的发展, 在水源的综合保护、人工水体的生态改善、饮用水的深度净化、污水的生态处理与资源化利用、水环境的生物监测、自然水体的修复、绿色净水剂的开发等方面, 微生物发挥着越来越重要的作用, 并受到广泛的重视。

目前, 我国水处理厂的污水处理方法主要是以生物处理方法为核心, 但从微生物角度, 如何实现水处理厂的快速启动, 以及高效、稳定的运行, 是发挥污水处理厂最大绩效的关键所在。我国水厂运行管理和技术人员的水平相对较低, 主要原因是缺少相关的培训和资料, 尤其是水环境中微生物的监测, 即容易实现感观的认识及快速查询的实用性微生物图谱这类书籍匮乏。针对广大从事生物处理领域的科研工作者、管

理和技术人员的学习和使用需求,根据生产实际的需要,由哈尔滨工业大学马放教授牵头,任南琪教授主审,在城市水资源与水环境国家重点实验室大力的支持下,对于污水处理厂运行过程中以及河流、湖泊、水库等水体的污染与自净过程中出现的微生物,包括常见的种类及指示微生物图谱进行了整理,编著出版了《环境微生物图谱》一书。

该书并非微生物分类学的专业书籍,而是围绕水环境中常见的微生物,以实用性为目的,针对具体的管理和运行人员为主要对象编写而成的。全书分为图谱和应用两大部分,汇集了作者近年来的研究成果,同时查阅了大量的国内外文献,重点突出了污水处理过程中常见的微生物,环境微生物的应用,微生物监测方法和系统发育鉴定技术,污水处理厂稳定运行的实际工程例子和处理方法等内容,以期对提高污水处理厂技术人员的生产监测和运行能力起到指导作用。

我作为任南琪和马放的导师,看到他们带领的团队在环境微生物领域所取得的成绩,感到十分的欣慰。该书实用性很强,希望该书的出版能够对保障我国水处理厂的稳定运行,进一步开发利用环境微生物资源,以及提高水厂相关人员的管理和运行能力有所裨益。



2010年5月

前言

随着环境微生物学的快速发展,环境微生物在水体监测、饮用水深度处理净化、污水处理等方面的应用越来越广泛,并引起了广大科技工作者和企业的高度重视。特别是近几年,我国污水处理厂迅速增加,污水处理厂的运行和监测,显得尤为重要。本书在马放教授等编写的实用环境微生物学讲义的基础上,参考了与之相关的国内外文献资料,由马放教授和王凌云博士等于2004年完成初稿。在征求了有关专家、学者的意见,特别是根据生产单位的实际需要和近几年的工程实践、科研成果,最终完成了《环境微生物图谱》一书。

值得说明的是,本书并非微生物分类学的专业书籍,而是围绕水环境中常见的微生物,以实用性为目的,针对具体的管理和运行人员为主要对象编写而成的实用性较强的专用参考书。

本书由哈尔滨工业大学城市水资源与水环境国家重点实验室环境生物技术组的教授和研究生共同编写而成。本书围绕水环境中常见的微生物及其应用为主线,分为两个部分。第一部分为环境微生物图谱,共分9章,第1章为细菌图谱,由马放、张斯、杜大仲、贾学斌等编写;第2章为放线菌图谱,由马放、王凌云等编写;第3章为真菌图谱,由魏利、张斯等编写;第4章为蓝藻图谱,由魏利、张斯、赵光、杜大仲等编写;第5章为藻类图谱,由王立、吕晓磊、张淑娟、代阳等编写;第6章为原生动物图谱,由杨基先、贾学斌、王立、李旭等编写;第7章为轮虫图谱,由马放、李旭等编写;第8章为甲壳动物图谱,由魏利、杨基先编写;第9章为其他微型后生动物图谱,由杨基先、李旭、贾学斌等编写。第二部分为环境微生物图谱在工程中的应用,共分为11章,第10章为污水生物处理中的微生物,由杨基先、魏利等编写;第11章为给水处理中的微生物,由王立、庞长沈、邱珊等编写;第12章为循环冷却水系统中的微生物,由魏利、张晓先、贾学斌等编写;第13章为天然水体中的微生物及其在水质监测中的作用,由王立、庞长沈等编写;第14章为生物絮凝剂产生菌类图谱,由马放、李大鹏、王丽丽、王薇、贾学斌等编写;第15章为生物破乳剂产生菌类图谱,由东北农业大学侯宁、哈尔滨工业大学马放、李旭、邢杰等编写;第16章为好氧反硝化菌,主要由魏利、王强、尚然、杜丛等编写;第17章为油田回注水系统中硫酸盐还原菌和厌氧反硝化细菌特性,由魏利、刘广民、王博、孙伟编写;第18章嗜盐菌,由李维国、王光玉、陈雷等编写;第19章为工程菌剂及应用,由马放、郭静波、崔迪、杜大仲等编写;第20章为环境微生物非培养技术,由魏利、李昂、王强、张晓琦、单郡等编写。全书由马放教授、魏利博士统稿。本书内容丰富,并具有

系统性, 科学性, 前沿性, 实用性。

本书在编写过程中, 得到了国际水科学院院士、哈尔滨工业大学环境科学与工程学科创始人之一王宝贞教授、任南琪院士, 以及辽宁大学的周大石教授等众多学者的大力支持和鼓励, 同时感谢城市水资源与水环境国家重点实验室给予的资助, 使得本书能顺利出版, 在此一并表示感谢。

本书可以作为水处理厂的科研和管理者的专用书, 也可以作为从事水环境科学的研究者、水污染防治的工程设计者和水处理厂科技工作者的参考书, 还可作为环境微生物学、微生物生态学、环境科学与工程等专业的研究生教材。由于工作量大, 所涉及的内容多, 难免有疏漏和错误, 敬请有关专家和广大的读者批评指正, 以便及时修改。

编者

2010年5月

目录

第一部分	环境微生物图谱	1
第1章	细菌	2
	1.1 球菌	2
	1.2 杆菌	5
	1.3 螺旋菌	12
	1.4 产乙醇杆菌属 (<i>Ethanoligenens</i> gen. nov.)	13
第2章	放线菌	14
第3章	真菌	18
	3.1 霉菌	18
	3.2 酵母菌	23
第4章	蓝藻	27
第5章	藻类	37
	5.1 金藻门	37
	5.2 黄藻门	43
	5.3 硅藻门	44
	5.4 甲藻门	55
	5.5 隐藻门	63
	5.6 裸藻门	65
	5.7 绿藻门	71
第6章	原生动物	88
	6.1 鞭毛虫纲	89
	6.2 肉足虫纲	97
	6.3 纤毛虫纲	118
第7章	轮虫	151
第8章	甲壳动物	164
	8.1 枝角类	164
	8.2 桡足类	170
第9章	其他微型后生动物	172
	9.1 线虫	172
	9.2 腹毛虫	172
	9.3 水栖寡毛类动物	173

第二部分 环境微生物图谱在工程中的应用		177
第 10 章	污水生物处理中的微生物	178
	10.1 污水生化处理中主要微生物类群	178
	10.2 微型动物在污水生物处理中的作用	182
	10.3 污水生物处理系统中的指示性生物	183
	10.4 污水生物处理系统的生物监测与系统运行管理	190
第 11 章	给水处理中的微生物	200
	11.1 水中的细菌及病原微生物	200
	11.2 水源病原污染指示微生物	206
	11.3 饮用水的卫生细菌学检验	208
	11.4 生活饮用水卫生标准测定	209
第 12 章	循环冷却水系统中的微生物	214
	12.1 概述	214
	12.2 循环冷却水系统及其水质特点	214
	12.3 工业循环冷却水系统中的微生物及其危害	216
	12.4 循环冷却水中微生物的控制	223
	12.5 循环冷却水中微生物的控制实例	228
第 13 章	天然水体中的微生物及其在水质监测中的作用	235
	13.1 污染水体的生物监测中的微生物学方法	235
	13.2 河流水体的污染带划分及典型指示生物	238
	13.3 湖泊富营养化的藻类生物学评价及污染指示种	242
	13.4 水库、湖泊中藻类的监测和控制	249
第 14 章	生物絮凝剂产生菌类图谱	252
	14.1 细菌	252
	14.2 放线菌	262
	14.3 真菌	264
第 15 章	生物破乳剂产生菌类图谱	268
	15.1 细菌	268
	15.2 真菌	273
第 16 章	好氧反硝化菌	275
	16.1 氮素污染的危害	275
	16.2 常用的水体脱氮方法概述	276
	16.3 传统生物脱氮原理	276
	16.4 异养硝化与好氧反硝化	276
	16.5 新型生物脱氮工艺——同步硝化反硝化 (SND)	285
第 17 章	油田回注水系统中硫酸盐还原菌和厌氧反硝化细菌特性	287
	17.1 硫酸盐还原菌的系统发育分析及形态特征	287
	17.2 <i>Desulfovibrio desulfuricans</i> strain F8 特征描述及基因克隆	293

	17.3 大庆杆菌 -MF 新种的特征及其生物降解特性	295
	17.4 大庆杆菌 -WL 新菌的特征及其生物降解特性	297
	17.5 生态调控硫酸盐还原菌机理验证	301
第 18 章	嗜盐菌	314
第 19 章	工程菌剂及应用	324
	19.1 工程菌的概述	324
	19.2 废水处理中的微生物类群	324
	19.3 北方寒冷地区微生物类型及特性	325
	19.4 工程菌剂应用实例	327
第 20 章	环境微生物非培养技术	337
	20.1 传统的微生物纯培养技术	337
	20.2 微生物非培养技术	339
	20.3 环境微生物多项分类	343
	20.4 展望	354
	20.5 微生物的各类鉴定方法比较	355

第一部分 环境微生物图谱



环境微生物学 第四版
Environmental Microbiology
第四版 环境微生物学 第四版
第四版 环境微生物学 第四版
第四版 环境微生物学 第四版
第四版 环境微生物学 第四版

第1章 细菌

细菌是一种具有细胞壁的单细胞原核生物，裂殖繁殖，个体微小，多数在 $1\mu\text{m}$ 左右，通常用放大1000倍以上的光学显微镜或电子显微镜才能观察到。各种细菌在一定的环境条件下，有相对恒定的形态和结构，其通过培养手段形成的菌落等也有相对固定的形态（图1-1），这有利于细菌的鉴定和研究。细菌的基本形态分为：球状、杆状和螺旋状3种，分别称为球菌、杆菌和螺旋菌（包括弧菌）。在自然界中，杆菌最为常见，其次是球菌，螺旋菌最少。

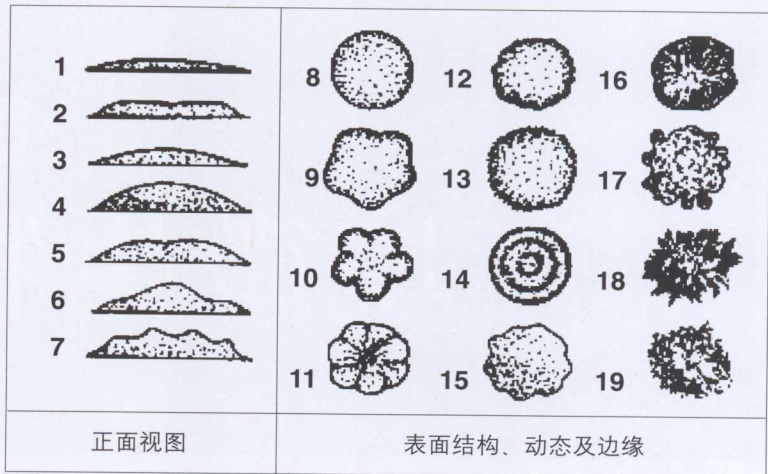


图 1-1 细菌菌落特征

1.1 球菌

细胞呈球形或椭圆形，其大小以细胞直径来表示，一般为 $0.5\sim 1.0\mu\text{m}$ 。由于有些球菌在分裂后子细胞并不立即分开，而且球菌分裂面不同，分裂后各子细胞排列呈现不同的空间排列方式。如果只有一个分裂面，新个体分散而单独存在，或成对排列，或链状排列，就形成了单球菌，如尿素微球菌 (*Micrococcus ureae*)；双球菌，如肺炎双球菌 (*Diplococcus pneumoniae*)；链球菌，如乳链球菌 (*Streptococcus lactis*)。如果有两个分裂面并且相互垂直就形成四联球菌，如四联微球菌 (*Micrococcus tetragenus*)。如果有三个分裂面并相互垂直，就形成八叠球菌，如巴氏甲烷八叠球菌 (*Methanosarcina*)

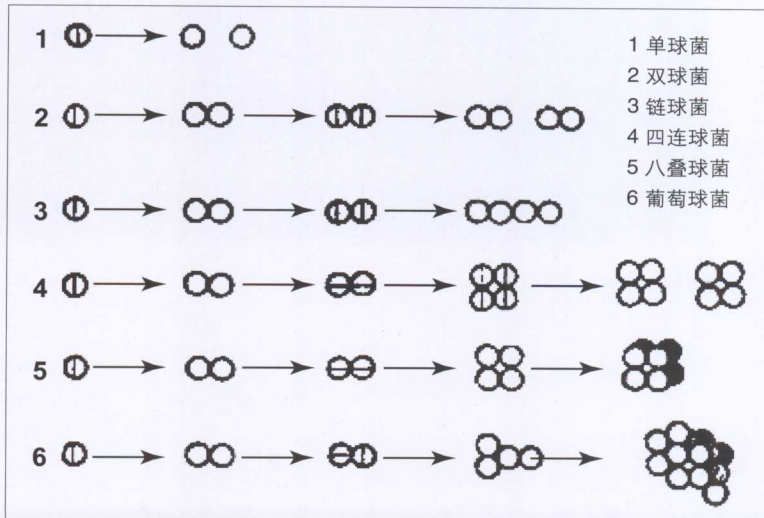


图 1-2 球菌的排列方式

barkeri)。如果分裂面不规则,子细胞排列无次序而像一串葡萄,就形成葡萄球菌,如金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*) (图 1-2)。

1.1.1 微球菌属 (*Micrococcus*)

微球菌属 (*Micrococcus*) 细胞一般为直径 $0.5\sim 3.5\ \mu\text{m}$ 的球形,单生、成对或形成四联、八叠或不规则聚集(图 1-3)。一般不运动,革兰氏阳性,严格好氧,不生芽孢,含有胡萝卜素类色素,常形成有色的菌落。能氧化葡萄糖等有机物为醋酸或彻底氧化为 CO_2 与 H_2O ,其生活需要维生素,是需氧性微生物。生长适宜温度为 $25\sim 37^\circ\text{C}$ 。常存在于土壤及淡水中,也可见于皮肤上。

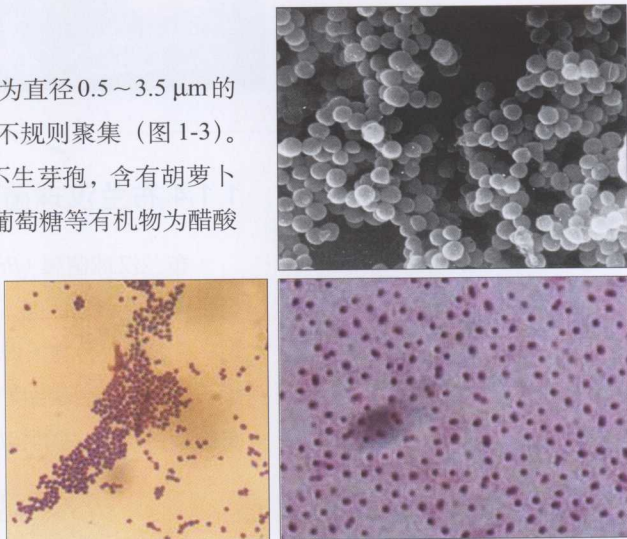


图 1-3 微球菌

1.1.2 葡萄球菌属 (*Staphylococcus*)

葡萄球菌属 (*Staphylococcus*) 球形,直径 $0.5\sim 1.5\ \mu\text{m}$,各个菌体的大小及排列也较整齐。细胞繁殖时呈多个平面不规则分裂,有单生、成对或堆积成葡萄串状排列。无芽孢及鞭毛,不运动(图 1-4)。一般不形成荚膜。革兰染色阳性。含有胡萝卜素类色素。兼性厌氧微生物,在厌氧条件下发酵葡萄糖主要产生乳酸,在有氧条件下主要产生醋酸及少量 CO_2 。生长适宜温度为 $35\sim 40^\circ\text{C}$,适宜pH为 $7\sim 7.5$ 。在15%食盐液中能生长,对一般抗生素敏感。常在动物体上寄生,有致病性。代表种为金黄色葡萄球菌。

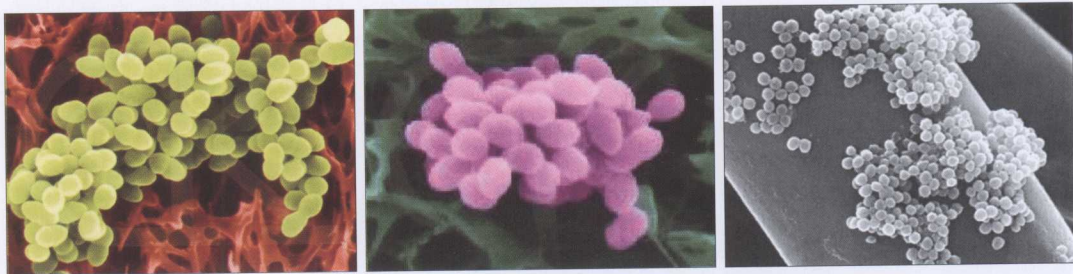


图 1-4 葡萄球菌

1.1.3 奈瑟菌属 (*Neisseria*)

奈瑟菌属 (*Neisseria*) 直径 $0.6\sim 1.0\ \mu\text{m}$,单个排列但常有成对的,两个平面分裂。革兰染色阴性。不形成芽孢,无鞭毛,不运动,可能出现荚膜和纤毛,有两种具黄绿色色素,需要复杂的生长素,有些种嗜盐。有机化能营养类型,利用少数碳水化合物,好氧或兼性厌氧,最适温度约 37°C 。接触酶和细胞色素氧化酶反应阳性,在哺乳动物的黏膜上寄生。常见种类见图 1-5。

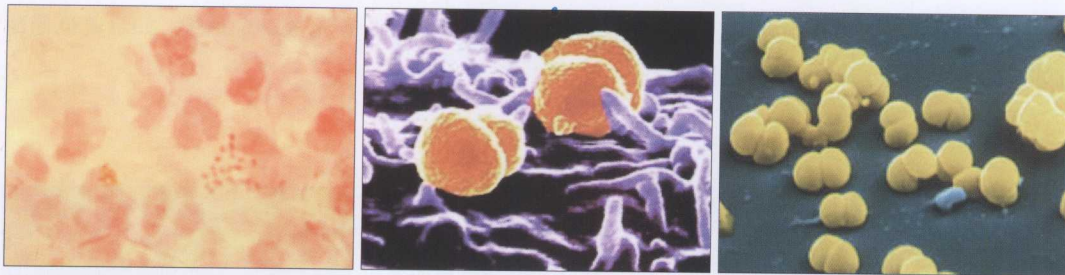


图 1-5 奈瑟菌

1.1.4 布兰汉球菌属 (*Branhamella*)

布兰汉球菌属 (*Branhamella*) 通常为球菌, 排列成双球, 两个平面分裂。无芽孢, 不运动, 革兰染色阴性。有机化能营养类型, 遇碳水化合物不产酸, 不产黄色色素, 在无血通用培养基上生长。好氧, 最适温度 37℃。接触酶和细胞色素氧化酶阳性, 通常硝酸盐还原, 哺乳动物黏膜上寄生 (图 1-6)。

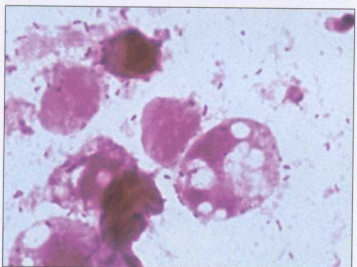
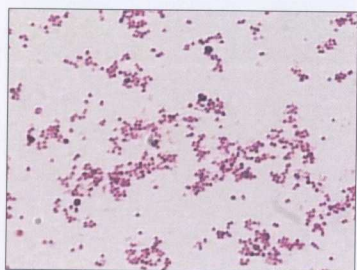
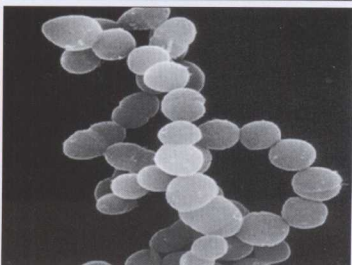
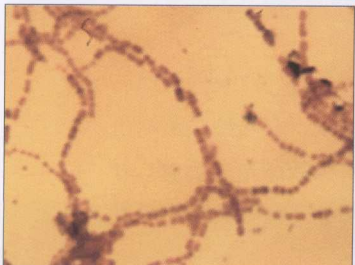
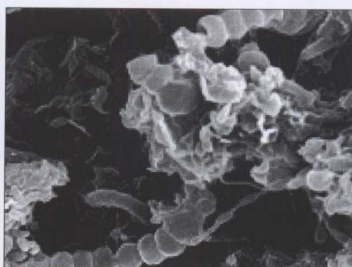
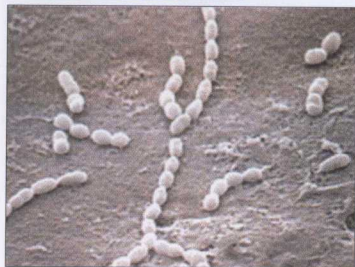
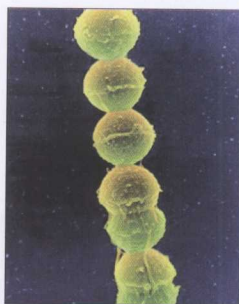


图 1-6 布兰汉球菌

1.1.5 链球菌属 (*Streptococcus*)

链球菌属 (*Streptococcus*) 呈球形或卵圆形, 直径为 0.5~1.0 μm, 呈成对或链状排列。链的长短各不相同, 短的由 4~8 个细菌组成, 长的达 20~30 个。细菌的种类及生长环境是决定链长短的主要因素。在液体培养基中易呈长链, 而在固体培养基中常呈短链, 易与葡萄球菌相混淆。大多数链球菌在幼龄 (生长的前 2~4 h) 培养可见到由透明质酸形成的荚膜, 继续培养时本菌产生透明质酸酶而使荚膜消失。不形成芽孢, 也无鞭毛, 不能运动。细胞壁外有菌毛。革兰染色阳性, 多数兼性厌氧, 少数厌氧, 过氧化氢酶阴性。最适温度 37℃, 最适 pH 值为 7.4~7.6。有机营养型, 使葡萄糖发酵产生乳酸, 无接触酶。常见球菌模式和种类见图 1-7。



多数链球菌在幼龄 (生长的前 2~4 h) 培养可见到由透明质酸形成的荚膜, 继续培养时本菌产生透明质酸酶而使荚膜消失。不形成芽孢, 也无鞭毛, 不能运动。细胞壁外有菌毛。革兰染色阳性, 多数兼性厌氧, 少数厌氧, 过氧化氢酶阴性。最适温度 37℃, 最适 pH 值为 7.4~7.6。有机营养型, 使葡萄糖发酵产生乳酸, 无接触酶。常见球菌模式和种类见图 1-7。

图 1-7 链球菌

1.2 杆菌

细胞呈杆状或圆柱形，一般用宽度和长度表示其大小。杆菌的宽度一般为 $(0.5 \sim 2.0) \mu\text{m}$ ，长度为宽度的1倍或几倍。杆菌按大小可细分为小型杆菌 $(0.2 \sim 0.4) \mu\text{m} \times (0.7 \sim 1.5) \mu\text{m}$ 、中型杆菌 $(0.5 \sim 1.0) \mu\text{m} \times (2 \sim 3) \mu\text{m}$ 和大型杆菌 $(1 \sim 1.25) \mu\text{m} \times (3 \sim 8) \mu\text{m}$ ；按细胞排列方式有单杆菌、双杆菌和链杆菌。常见的枯草芽孢杆菌 (*Bacillus subtilis*)、大肠杆菌 (*E. coli*)、奥氏甲烷杆菌 (*Methanobacterium omelianskii*) 等都属于这类细菌。

一般来讲，同一种杆菌的粗细比较稳定，而长度经常因为发育阶段或培养条件的不同而有较大的变化，见图 1-8、图 1-9。

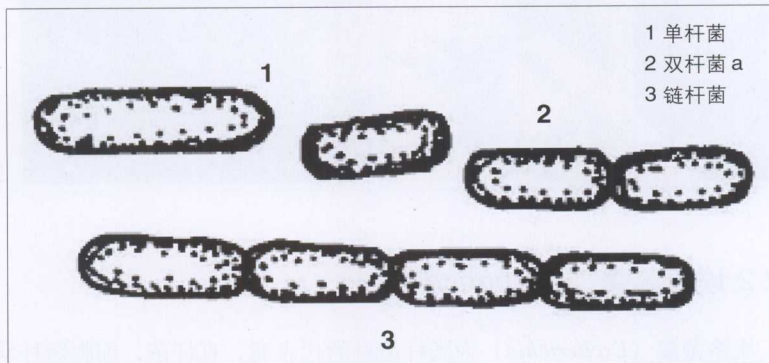


图 1-8 杆菌的排列图

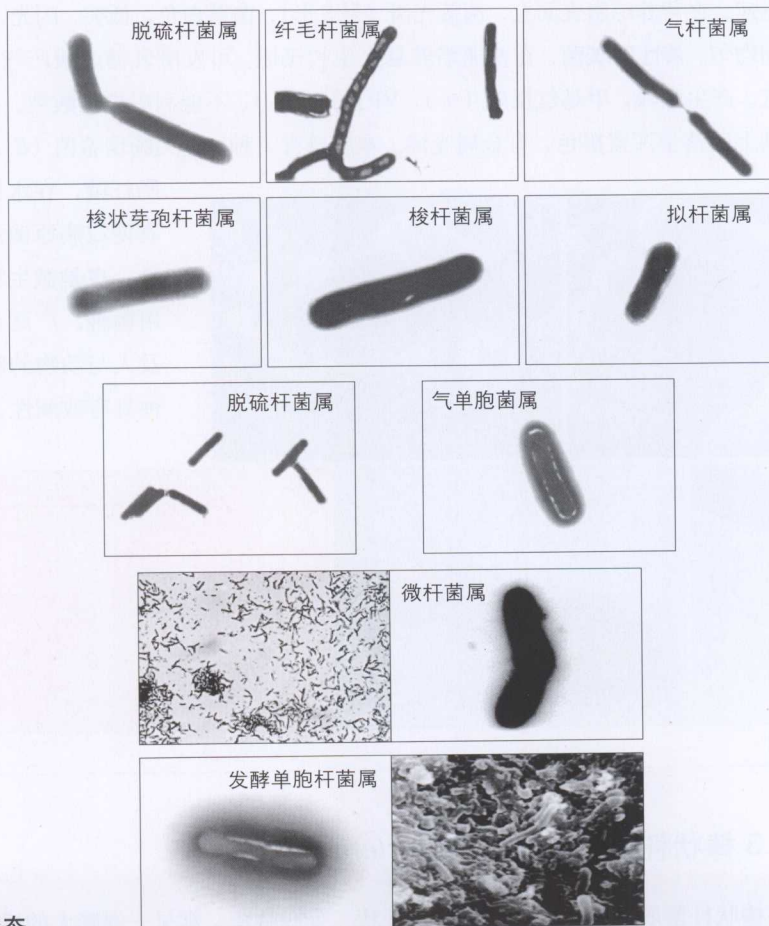


图 1-9 杆菌形态

1.2.1 动胶菌属 (*Zoogloea*)

动胶菌属 (*Zoogloea*) 细胞呈杆状, $(0.5 \sim 1.0) \mu\text{m} \times (1 \sim 3) \mu\text{m}$, 幼龄菌体借端生单鞭毛活泼运动, 具荚膜, 易形成菌胶团。革兰染色阴性, 无芽孢。化能有机营养型需氧菌, 能利用某些糖及氨基酸, 不能利用淀粉、肝糖、纤维素、蛋白质等, 不产生色素, 需要维生素 B_{12} 以供生活。在好氧活性污泥工艺中, 动胶菌是活性污泥工艺中常见的重要杆菌, 是形成絮状活性污泥贡献最大的菌种。常见种类见图 1-10。



图 1-10 动胶菌

1.2.2 埃希菌属 (*Escherichia*)

埃希菌属 (*Escherichia*) 为肠杆菌科的代表属。直杆菌, 细胞短杆状, $(1.1 \sim 1.5) \mu\text{m} \times (2 \sim 6) \mu\text{m}$ (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。在简单营养培养基上 (如肉汤培养基) 生长迅速。在营养琼脂表面上, 菌落光滑 (呈 S 形), 菌落白色, 低突, 闪光, 边圆, 整齐, 湿润均匀。兼性厌氧菌, 在普通培养基上生长迅速。可发酵乳糖产酸产气, 有的菌株不产气。产生吲哚, 甲基红反应 (+), VP 反应 (-), 不能利用柠檬酸盐。在伊红美蓝培养基上菌落呈深蓝黑色, 有金属光泽。本属只有一种, 即大肠埃希菌 (*E. coli*), 简称大肠杆菌, 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。广泛存在于自然界及人与动物的肠道内, 少数种具有致病性, 常见种类见图 1-11。

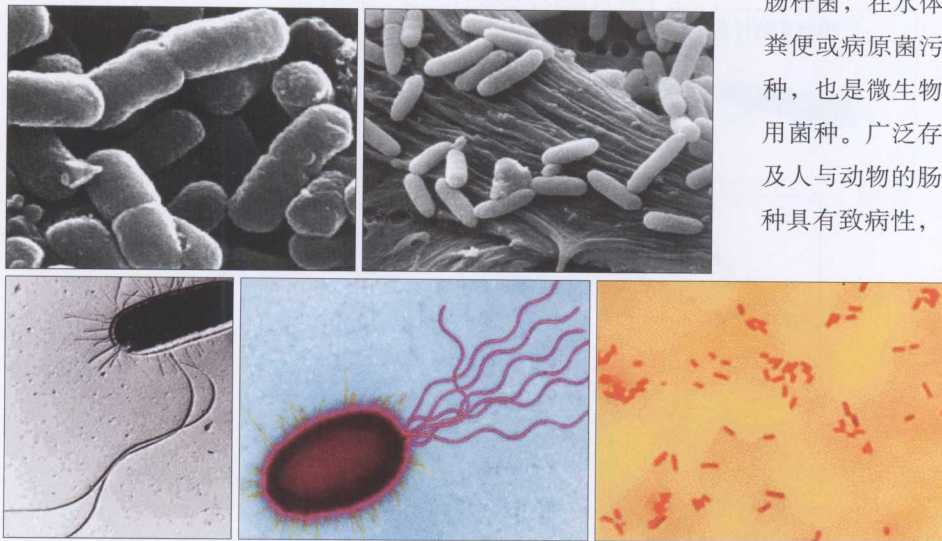


图 1-11 埃希菌

1.2.3 棒状杆菌属 (*Corynebacterium*)

棒状杆菌属 (*Corynebacterium*) 杆状、直或微弯, 常呈一端膨大的棒状, 无芽孢,