

国家级“九五”重点教材

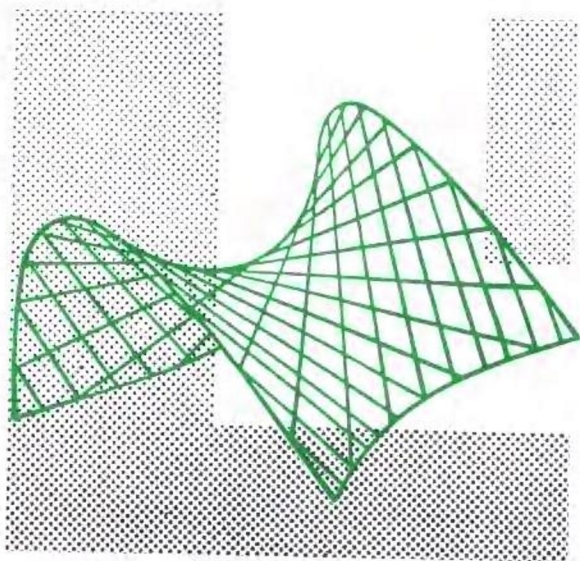
高等学校教材

水处理 微生物学

(第三版)

顾夏声 李献文 竺建荣 编

● 中国建筑工业出版社



国家级“九五”重点教材

高等学校教材

水处理微生物学

(第三版)

顾夏声 李献文 竺建荣 编

中国建筑工业出版社

(京) 新登字 035 号

图书在版编目(CIP)数据

水处理微生物学/顾夏声等编. -3 版. -北京:中国建筑工业出版社,1998
国家级“九五”重点教材 高等学校教材
ISBN 7-112-00421-7

I. 水… II. 顾… III. 水处理-微生物学-高等学校-教材 IV. TU991.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 20917 号

本书是高等院校给水排水工程专业本科教材,也可供给水排水和环境保护的科技人员参考。主要包括:微生物的形态、结构、生理特性、生长与遗传变异,水的卫生细菌学,废水生物处理中的微生物和水体污染的指示生物,微生物的研究方法以及微生物实验等。

本教材已列为国家级“九五”重点教材。

国家级“九五”重点教材

高等学校教材

水处理微生物学

(第三版)

顾夏声 李献文 竺建荣 编

*

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

北京市彩桥印刷厂印刷

*

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:12 字数:292 千字

1998 年 6 月第三版 1998 年 6 月第八次印刷

印数:58706—64705 册 定价:10.00 元

ISBN 7-112-00421-7

X·10 (8579)

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)

第三版前言

本书的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一些宝贵意见。

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和顺序，但在内容上作了一些增删和修改，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作了重写和补充，等等。李献文主要负责第六章的修改和补充；竺建荣主要负责除第六章外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份环境工程专业广泛选用作本科学生的教科书,部分本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类专业教材编审委员会”决定,此书由原编者修订再版,增补清华大学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。

此次修订仍保持了原有的章节及顺序。但作了以下一些修改:(1)根据1984年所颁布的《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所限,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 4 月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、哈尔滨建筑工程学院、湖北建筑工业学院、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

引言	1
第一章 细菌的形态和结构	4
第一节 细菌的外形和大小	4
第二节 细菌细胞的结构	4
第三节 细菌的生长繁殖和命名	11
第二章 细菌的生理特性	13
第一节 细菌的营养	13
第二节 酶及其作用	18
第三节 细菌的呼吸	27
第四节 其它环境因素对细菌生长的影响	35
第三章 细菌的生长和遗传变异	39
第一节 细菌的生长及其特性	39
第二节 细菌的遗传与变异	44
第四章 其它微生物	60
第一节 放线菌和丝状细菌	60
第二节 真菌	63
第三节 藻类	66
第四节 原生动物	69
第五节 后生动物	75
第六节 病毒和噬菌体	77
第七节 微生物之间的关系	79
第五章 水的卫生细菌学	83
第一节 水中的细菌及其分布	83
第二节 水中的病原细菌	83
第三节 大肠菌群和生活饮用水的细菌标准	85
第四节 水的卫生细菌学检验	86
第五节 水中微生物的控制方法	88
第六节 水中的病毒及其检验	93
第六章 废水生物处理中的微生物及水体污染的指示生物	95
第一节 废水中的污染物在微生物作用下的降解与转化	95
第二节 不含氮有机物质的分解	96
第三节 含氮有机物质的分解	102
第四节 无机元素的转化	105
第五节 废水生物处理中的微生物	107
第六节 水体污染与自净的指示生物及监测方法	129

第七章 微生物的研究方法	136
第一节 微生物的观察	136
第二节 微生物的培养和纯种分离	137
第三节 微生物的保藏与复壮	141
第四节 灭菌	142
第五节 无菌操作	143
第八章 微生物学实验	144
实验一 显微镜的使用及微生物形态的观察	144
实验二 微型动物的计数	147
实验三 细菌、霉菌、酵母菌、放线菌形态的观察	149
实验四 微生物的染色	150
实验五 培养基的制备及灭菌	152
实验六 微生物纯种分离、培养及接种技术	155
实验七 纯培养菌种的菌体、菌落形态观察	158
实验八 微生物的生理生化特性	159
实验九 大肠杆菌生长曲线的测定	170
附录	172
甲、活性污泥混合液耗氧速率的测定	172
乙、鱼类毒性试验	173
丙、废水生物处理过程中常见的微生物	176
主要参考书	183

引 言

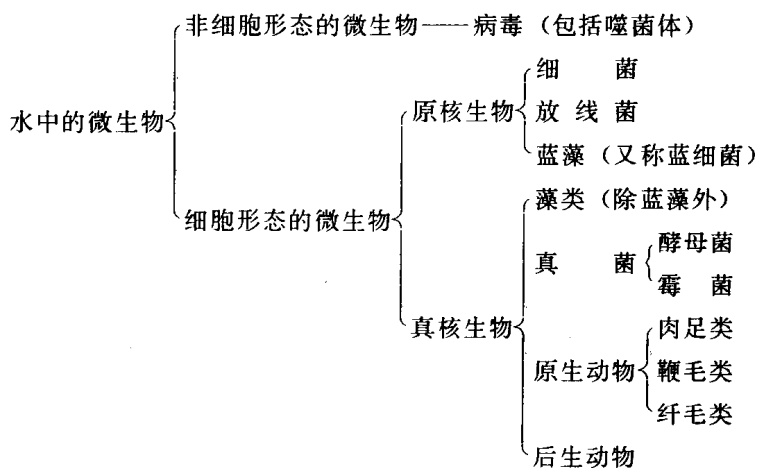
一、水处理微生物学的研究对象

微生物都是个体很小的生物，其大小要用 μm （微米）^① 来量测，因此一般用肉眼都看不见，只有在显微镜下把它们放大后，才能看到。

研究微生物的科学称为微生物学。微生物学研究微生物的形态、分类和生理等特性，研究它们生活的环境条件和它们在自然界物质转化中所起的作用以及控制它们生命活动的方法。由于微生物的种类很多，应用很广泛，因而在医学、农业、环境保护和某些工业生产等领域中，对微生物的研究各有侧重。本书是在研究微生物的一般形态和生理特性的基础上，着重讨论与水处理有关的问题。

二、水中常见微生物的类型及其特点

自然界中各种生物的种类繁多，生物学家以客观存在的生物属性为依据，将生物分门别类。目前多按界、门、纲、目、科、属、种来分类。有时在种以下还要进行更细致的区分。由于目前国内外在分类学方面还不统一，所以本书暂不深究这些分类方法，需要时可查阅专门的书籍。根据一般概念，给水排水工程中常见的微生物如下：



上述微生物中，大部分是单细胞的，其中藻类在生物学中属于植物学讲授范围，原生动物及后生动物属于无脊椎动物范围。严格地说，其中个体较大者，不属于微生物范围内。

此外，还须注意一种用光学显微镜看不见的生物，例如病毒。一般光学显微镜无法辨

^① 1mm （毫米） $=10^3\mu\text{m}$ （微米） $=10^6\text{nm}$ （纳米）

认小于 $0.2\mu\text{m}$ 的物体，而病毒个体一般小于 $0.2\mu\text{m}$ ，可称为超显微镜微生物。

微生物除具有个体非常微小这个特点外，还具有下列几个特点：

1. 种类繁多。由于微生物种类繁多，因而对营养物质的要求也不相同。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，使各种有机物分解成无机物（所谓无机化或矿质化），或使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，因而广泛分布于土壤、空气和水体等自然环境中。因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特别多。

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 10 小时就可繁殖为数亿个。

4. 容易发生变异。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，以及上面列举的四个特点，是废水生物处理法的依据。废水和微生物群体在处理构筑物中充分接触时，能作为养料的物质（大部分的有机化合物和某些含硫、磷、氮等的无机化合物）即被微生物利用、转化，从而使废水的水质得到改善。当然，在废水排入水体之前，还必须除去其中的微生物，因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，所以本书将着重讨论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。

三、微生物在给水排水工程中的作用

建国以来，党和政府一向关怀人民的健康，重视环境保护工作。五届人大通过的新宪法第十一条中就规定：国家保护环境和自然资源，防治污染和其它公害。给水排水工作的任务就是要供给人民合乎标准的生活用水、生产用水和消防用水，还需要解决生活污水、工业废水和雨水的排除、处理和利用的问题，也就是要解决水的污染和公害的防治问题。要供应人民合乎卫生标准的生活用水，首先就要知道水中有哪些微生物，哪些微生物是致病的，并在给水净化工作中设法去除这些病原微生物^①，以防止传染病的蔓延。水的物理、化学性质也影响它的使用。当有大量藻类存在于水中时，会使水变浑浊，并产生颜色或发出不良气味，有些藻类大量繁殖时，甚至对牲畜有毒害作用。大量微生物也可能阻塞滤池，影响水厂的正常运行。在工业用水中若含有大量微生物，就有可能使冷却器、凝结器等设备和管道堵塞，而有些微生物还会影响一些工业产品的质量。但是，微生物也有对人类有益的一面，除了人们所熟知的，如利用微生物酿酒、酿醋、发面做馒头、生产各种抗菌素等用途之外，如上所述，还可以利用微生物处理废水（生物处理），把废水中的有机污染杂质转化为无害的矿物质。水体的自净也要依靠微生物的作用。由此可见，微生物在给水排水工程中也起着很重要的作用。给水排水和环境保护的工程技术人员，必须掌握水处理微生物学的基本知识，了解水微生物的形态、生理特性和控制它们的方法，基本掌握微生物在水处理中的作用机理和规律，以便有效地去除水中有害的微生物，或者为有益的微生物创

① 能引起人或动植物疾病的微生物，叫做病原微生物。

造适宜的繁殖条件，而提高废水处理的效率。同时还必须掌握水中微生物的检验方法，以确定水和废水的生物学性质；在环境保护工作中还必须根据水微生物的检验结果，判定水体污染和自净的程度，从而保护环境、造福人民。总而言之，《水处理微生物学》是给水排水和环境保护工作者必须掌握的重要技术基础知识。

第一章 细菌的形态和结构

第一节 细菌的外形和大小

细菌是微小的、单细胞的、没有真正细胞核的原核生物。其大小一般只有几个 μm 大。一滴水里，可以含有好几千万个细菌。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。但是由于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。为了要清楚地观察细菌，目前已使用了各种细菌的染色法（染色原理见第七章），把细菌染成红的、紫的或其它一些颜色。这样，在显微镜下看起来，细菌的轮廓就很清楚。

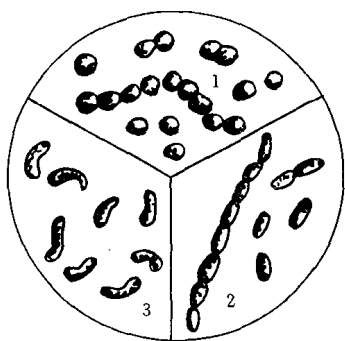


图 1-1 细菌的各种形态
1—球菌；2—杆菌；3—螺旋菌

就菌体的外形来看，细菌可分作三大类型——球菌、杆菌和螺旋菌，见图 1-1。

球菌按其排列的形式，又可分为数种。例如：细菌分裂后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。

螺旋菌的宽度常在 $0.5\sim 5\mu\text{m}$ 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。

第二节 细菌细胞的结构

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见图 1-2。

一、基本结构

细菌的基本结构包括细胞壁和原生质体两部分。原生质体位于细胞壁内，包括细胞膜（细胞质膜）、细胞质、核质和内含物。

1. 细胞壁 细胞壁是包围在细菌细胞最外面的一层富有弹性的结构，是细胞中很重要的结构单元，也是细菌分类中最重要的依据之一。1884 年丹麦病理学家 Hans Christian

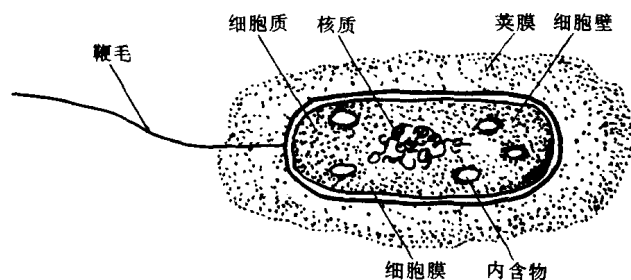


图 1-2 细菌细胞构造的模式图

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。这就是现在最普遍采用的革兰氏 (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，革兰氏阳性和阴性细菌具有绝然不同的细胞壁结构 (图 1-3)。这两类细胞壁的结构特征具体如下：

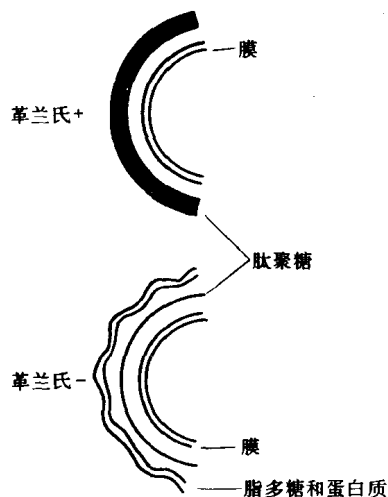


图 1-3 革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌细胞壁的比较

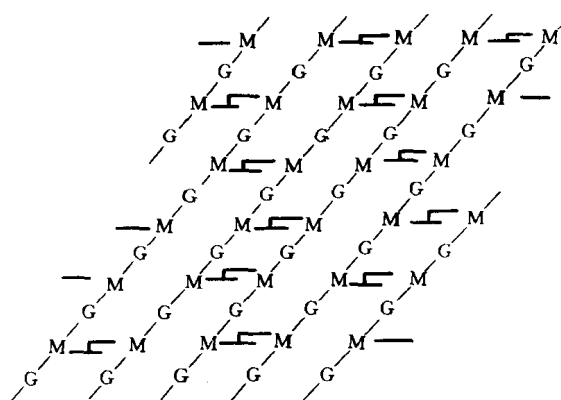


图 1-4 大肠杆菌中肽聚糖单位
联结形成肽聚糖片的方式

G: N-乙酰葡萄糖胺; M: N-乙酰胞壁酸;
粗线: 多肽的交联

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 2 个双糖单位互相连接起来的有机大分子 (图 1-4)，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。外层主要是脂多糖和

脂蛋白组分,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的相同。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。

经过研究,现在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、肽聚糖含量较高和分子交联度较紧密,故在酒精脱色时,肽聚糖网孔会因脱水而发生明显收缩,再加上它不含脂类,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上,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和交联松散,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⁻细菌细胞壁的其它异同详见表1-1。另外还有极少部分细菌,如厌氧生物处理的产甲烷细菌,嗜盐细菌等,它们的细胞壁中没有肽聚糖结构,也没有D-型氨基酸,这类细菌称“古细菌”(当然,除了细胞壁的差异外,古细菌和真细菌之间还有其它许多不同)。在古细菌细胞壁中,含有不同于N-乙酰葡萄糖胺和N-乙酰胞壁酸的结构单元,但它们组成类似肽聚糖的结构,因此称为“假胞壁质”。

革兰氏阳性细菌与革兰氏阴性细菌细胞壁结构与组成的比较 表 1-1

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	
	肽聚糖结构与细胞膜的关系	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	
组 成	肽聚糖	占细胞壁干重的40%~90%	5%~10%	无
	磷壁(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	

细胞壁在细胞生命活动中的作用主要有:保持细胞具有一定的外观形状;作为鞭毛的支点,实现鞭毛的运动;与细菌的抗原特性、致病性等有关。

2. 细胞膜 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),其化学组成主要是脂类、蛋白质和糖类。这种膜具有选择性吸收的半渗透性,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或酶类。细菌细胞膜中蛋白质是主要成分，约占细胞膜的70%，比任何一种生物膜都高。这些蛋白质组成与普通蛋白质没有区别。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，或称可溶性蛋白质，占膜蛋白含量的20%~30%，主要分布在膜内外两侧表面。另一类是固有蛋白质，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，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“镶嵌模型”（图1-5），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。

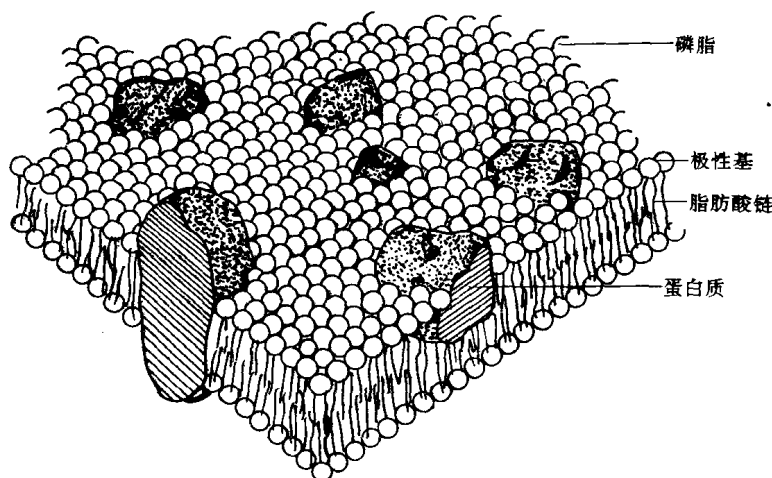


图 1-5 细胞膜的镶嵌结构模型

细胞膜的主要功能为：（1）控制细胞内外物质（营养物质和代谢废物）的运送和交换。（2）维持细胞内正常渗透压。（3）合成细胞壁组分和荚膜的场所。（4）进行氧化磷酸化或光合磷酸化的产能基地。（5）许多代谢酶和运输酶以及电子呼吸链组分的所在地。（6）鞭毛的着生和生长点。

3. 细胞质 细胞质是一种无色透明而粘稠的胶体，其主要成分是水、蛋白质、核酸和脂类等。细胞质内具有各种酶系统，能不断地进行新陈代谢活动（见第二章）。由于富含核糖核酸（RNA），所以是嗜碱性的，即与碱性染料结合能力较强。幼龄菌的细胞质非常稠密、均匀、很容易染色。成熟细胞的细胞质内含有不少颗粒状的贮藏物质，又由于细菌的生命活动产生了许多空泡，染色能力较差，因此着色不均匀。根据染色特点，我们可以通过观察染色均匀与否来判断细菌是处于幼龄还是衰老阶段。

4. 核质 一般的细菌仅具有分散而不固定形态的核质。核或核质内几乎集中有全部与遗传变异有密切关系的某些核酸（如脱氧核糖核酸DNA），所以常称核是决定生物遗传性的主要部分。细菌的核非常简单，没有核膜包围，也没有核仁，它只是一团裸露的且高度折叠缠绕的DNA分子，故称细菌是原核生物。这样的核又称拟核体（nucleoid）。细菌的DNA

因为含有磷酸基,使之带有负电荷。在细菌细胞中,这些负电荷被 Mg^{2+} 以及有机碱如精胺、亚精胺和腐胺等中和。而真核微生物的 DNA,其负电荷则被碱性蛋白质如组蛋白、鱼蛋白等中和。这是原核生物和真核生物的又一区别。通过物理法测定表明,各种原核生物的 DNA 分子量都很接近,绝大多数都在 $1-3 \times 10^6$ 道尔顿(质量单位,1 道尔顿为氧原子质量的 $1/16$),蓝细菌(又称蓝藻,见第四章第三节)略高。

5. 内含物 内含物是细菌新陈代谢的产物,或是贮备的营养物质。内含物的种类和量随细菌种类和培养条件的不同而不同。往往在某些物质过剩时,细菌就将其转化成贮藏物质,当营养缺乏时,它们又被分解利用。常见的内含物颗粒主要有以下几种:

(1) 异染颗粒 其化学组分是多聚偏磷酸盐,是磷源和能源的贮藏物。当用蓝色染料(如甲苯胺蓝和甲烯蓝)染色后不呈蓝色而呈紫红色,故称异染颗粒。生物除磷中的不动杆菌在好氧条件下,利用有机物分解产生的大量能量,可“过度摄取”周围溶液中的磷酸盐并转化为多聚偏磷酸盐,以异染颗粒的方式贮存于细胞内。

(2) 聚 β -羟基丁酸盐 (PHB) 它是细菌所特有的一种碳源和能源贮藏物。实质上是有机物在厌氧代谢过程中形成的代谢产物。如上面提到的不动杆菌,在厌氧条件下可将细胞内贮存的异染颗粒分解释放出能量促进细菌的生长和代谢,使大量有机物分解并转化为 PHB 颗粒贮存于细胞内。

(3) 肝糖和淀粉粒 两者都是碳源和能源的贮藏物。肝糖颗粒较小,如用稀碘液染色呈红褐色,可在光学显微下观察到。有些细菌如大肠杆菌只贮存肝糖原,有些光合细菌则二者都有。

(4) 硫粒 它是元素硫的贮藏物,许多硫磺细菌都能在细胞内积累硫粒,如活性污泥中常见的贝氏硫细菌和发硫细菌都能在细胞内贮存硫粒。

二、特殊结构

细菌的特殊结构有荚膜、芽孢和鞭毛三种。

1. 荚膜 在细胞壁外常围绕着一层粘液,厚薄不一。比较薄时称为粘液层,相当厚时,便称为荚膜。细菌的荚膜有保护作用,是一种多糖类物质。当营养缺乏时,细菌可以利用荚膜多糖作为它的碳源和能源物质。荚膜一般厚于 200nm,其硬度和弹性远远小于细胞壁。

肺炎球菌、炭疽杆菌等都能生成荚膜。

有的细菌,如硫磺细菌、铁细菌和球衣细菌的丝状体周围的粘液层会逐渐硬化,而形成所谓鞘。

当荚膜物质相融合成一团块,内含许多细菌时,称为菌胶团。并不是所有的细菌都能形成菌胶团,凡是能够形成菌胶团的细菌,则称为菌胶团细菌。不同细菌形成不同形状的菌胶团,有分枝状的、垂丝状的、球形的、椭圆形的、蘑菇形的,片状的以及各种不规则形状的(图 1-6)。菌胶团细菌包藏在胶体物质内,一方面对动物的吞噬起保护作用,同时也增强了它对

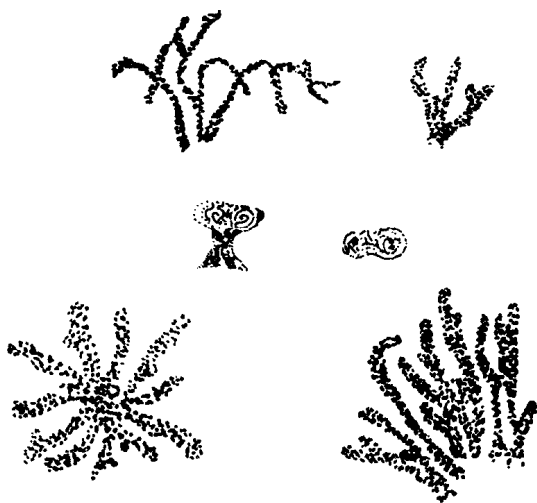


图 1-6 几种不同形态的菌胶团

不良环境的抵抗能力。菌胶团是活性污泥(如废水生物处理构筑物曝气池所形成的污泥)中细菌的主要存在形式,有较强的吸附和氧化有机物的能力,在废水生物处理中具有较为重要的作用。一般说,处理生活污水的活性污泥,其性能的好坏,主要可根据所含菌胶团多少、大小及结构的紧密程度来定。新生菌胶团(即新形成的菌胶团)颜色较浅,甚至无色透明,但有旺盛的生命力,氧化分解有机物的能力强。老化了的菌胶团,由于吸附了许多杂质,颜色较深,看不到细菌单体,而象一团烂泥似的,生命力较差。一定种的细菌在适宜环境条件下形成一定形态结构的菌胶团,而当遇到不适宜的环境时,菌胶团就发生松散,甚至呈现单个游离细菌,影响处理效果。因此,为了使废水处理达到较好的效果,要求菌胶团结构紧密,吸附、沉降性能良好。这就必须满足菌胶团细菌对营养及环境的要求

2. 芽孢 在部分杆菌(如炭疽杆菌、枯草杆菌)和极少数球菌(如尿八联球菌)的菌体内能形成圆形或椭圆形的结构,称为芽孢;其位置可能在菌体的中央,也可能在菌体的一端。芽孢不是繁殖体。芽孢是怎样形成的?一般认为芽孢是某些细菌菌体发育过程中的一个阶段,在一定的环境条件下由于细胞质和核质的浓缩凝集所形成的一种特殊结构。一旦遇到适宜条件可发芽成新的营养体。因此,芽孢

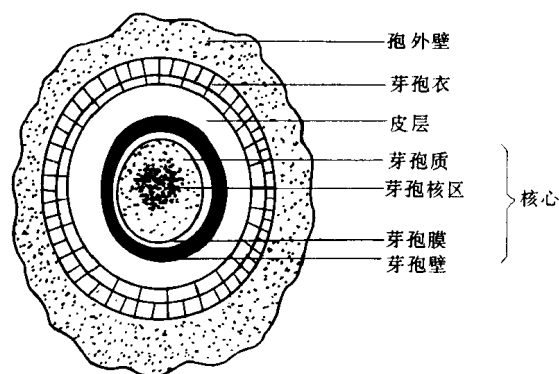


图 1-7 细菌芽孢构造的模式图

是抵抗恶劣环境的一个休眠体。不管芽孢是怎样形成的,但都有这样的特点:其壁厚;水分少,一般在40%左右;不易透水;含有特殊的抗热性物质——2,6-吡啶二羧酸和耐热性酶(图1-7)。芽孢所具有的特殊结构加上代谢活力也较弱,所以能够抵抗极不适宜的环境。一般说,普通细菌在70~80℃时煮10min就死亡,而芽孢在120~140℃时还能生存几小时,又如在5%石炭酸(苯酚)溶液中普通细菌很快死亡,而芽孢能忍耐15d之久。芽孢的休眠力是十分惊人的,一般的芽孢在普通的条件下可保存几年至几十年的活力。芽孢的这一特性对于水和废水所带来的影响,尤其是饮用水的卫生检验过程应予充分注意。在废水生物处理过程中,特别是处理有毒废水时都有芽孢杆菌生长。细菌芽孢和营养细胞的比较详见表1-2。

由于不是所有的细菌都能形成芽孢,芽孢的位置、大小也因菌种不同而不同,所以芽孢是鉴别菌种的形态特征之一(图1-8)。在杆菌中凡能形成芽孢的叫芽孢杆菌,不能形成芽孢的杆菌就称杆菌。能形成芽孢的细菌一般是革兰氏染色阳性的细菌。细菌的芽孢本身着色能力很弱,必须采用特殊的芽孢染色法才能在光学显微镜下观察到。

3. 鞭毛 鞭毛是由细胞质而来的,起源于细胞质的最外层即细胞膜,穿过细胞壁伸出细菌体外。其在菌体上的位置和数目随菌种而有不同,有的在细菌的一端只有一根,如霍乱弧菌,有的细菌的两端各有一根,有的成束,有的则布满菌体周围,如伤寒杆菌、大肠杆菌(图1-9)。鞭毛也不是一切细菌所共有,一般的球菌都无鞭毛。大部分杆菌和所有的螺旋菌则具有鞭毛。具有鞭毛的细菌能真正运动,无鞭毛的细菌在液体中只能呈分子运动。