

高等学校给排水科学与工程系列教材

环境微生物学

苏俊峰 王文东 主编
刘 锐 主审

中国建筑工业出版社

014013309

X172-43

11

高等学校给排水科学与工程系列教材

环境微生物学

苏俊峰 王文东 主编
刘 锐 主审



北京航空航天大学图书馆

学术资源部

编主 苏俊峰 王文东

审主 刘 锐

（北京航空航天大学）编主，编出书编出业工航航中

编主 苏俊峰 王文东

编主 苏俊峰 王文东

编主 苏俊峰 王文东

2013年10月10日 2013年10月10日 2013年10月10日

2013年10月10日 2013年10月10日 2013年10月10日

（种）22.00元（册）22.00元

中国建筑工业出版社

X172-43

11



北航

C1700363

203810410

图书在版编目(CIP)数据

环境微生物学/苏俊峰, 王文东主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 5

高等学校给排水科学与工程系列教材

ISBN 978-7-112-15475-3

I. ①环… II. ①苏… ②王… III. ①环境微生物学—高等学校—教材 IV. ①X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 111096 号

主 编 王文东 苏俊峰
主 审 刘 锐

高等学校给排水科学与工程系列教材

环境微生物学

苏俊峰 王文东 主编

刘 锐 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市安泰印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 11 字数: 265 千字

2013 年 10 月第一版 2013 年 10 月第一次印刷

定价: 22.00 元 (赠送课件)

ISBN 978-7-112-15475-3

(24080)

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)

本书在总结国内外环境微生物学发展的基础上,结合作者多年科研和教学实践,力求创新,努力反映新知识、新技术和最新的科研成果。全书内容可分为三部分:第1~8章介绍微生物的基础知识,包括微生物的形态结构、微生物的营养、生理生化特性、遗传变异以及环境因素对微生物生长繁殖过程的影响;第9~12章主要叙述了污水生物处理的基本原理、水体的富营养化控制技术、微生物在环境领域的应用及污染环境的微生物修复;第13章介绍了环境微生物学实验方法。

与同类环境微生物学教材相比,本书降低了理论知识部分的深度,拓展了微生物在工程应用方面的内容,同时配合大量附图,使本书更加通俗易懂,可用作高等院校给排水科学与工程、环境工程和环境科学等专业的教材和实验指导书,也可用作微生物学、土壤学、生态学等相关专业的选修课教材和培训用书。

为便于教师教学和学生自学,作者制作了与本书配套的电子课件,如有需求,请发邮件至 cabpbeijing@126.com 索取。

责任编辑:王美玲

责任设计:李志立

责任校对:王雪竹 赵颖

第5章 微生物的营养	35
5.1 微生物的营养及类型	35
5.2 培养基	39
5.3 微生物对营养物质的吸收和运输	42
第6章 微生物的代谢	44
6.1 微生物的能量代谢	44
6.2 微生物的物质合成	52

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 环境微生物学的研究对象和任务	1
1.2 微生物学的发展历史	2
1.3 微生物的定义、分类和命名	3
第 2 章 原核微生物	6
2.1 细菌	6
2.2 放线菌	14
2.3 鞘细菌	17
2.4 蓝细菌	17
2.5 古菌	18
第 3 章 真核微生物	21
3.1 真菌的形态与繁殖	21
3.2 藻类	23
3.3 原生动物	26
3.4 后生动物	27
第 4 章 病毒	30
4.1 病毒的特征及其分类	30
4.2 病毒的形态及结构	31
4.3 病毒的增殖	31
4.4 病毒的培养和检测	33
第 5 章 微生物的营养	35
5.1 微生物的营养及类型	35
5.2 培养基	39
5.3 微生物对营养物质的吸收和运输	42
第 6 章 微生物的代谢	44
6.1 微生物的能量代谢	44
6.2 微生物的物质合成	52

6.3 微生物的代谢调控	54
第7章 微生物的生长和遗传变异	57
7.1 微生物的生长与繁殖	57
7.2 环境因素对微生物生长的影响	60
7.3 微生物的遗传变异	62
第8章 微生物生态	69
8.1 微生物生态学	69
8.2 自然环境中的微生物	69
8.3 微生物之间的相互关系	76
8.4 微生物群落	79
8.5 微生物与自然界的物质循环	80
第9章 污水生物处理的微生物学原理	85
9.1 污水生物处理的基本原理	85
9.2 污水生物处理法	86
9.3 污水厌氧生物处理的微生物学原理	94
第10章 水体的富营养化和氮磷的去除	97
10.1 水体的富营养化	97
10.2 生物脱氮	102
10.3 生物除磷	107
第11章 环境微生物的应用	111
11.1 微污染水源水的生物处理	111
11.2 水中的病原微生物及饮用水的消毒	113
11.3 微生物对有机固体废弃物的降解和转化	119
11.4 微生物技术在废气治理中的应用	124
第12章 污染环境的微生物修复	127
12.1 生物修复技术生物学原理	127
12.2 生物修复工程	132
第13章 环境微生物学实验	139
实验1 光学显微镜的使用及微生物形态观察	139
实验2 微生物的显微直接计数	141
实验3 活性污泥生物相的观察	143
实验4 细菌的革兰氏染色法	147

实验 5 培养基的制备及玻璃器皿的包扎灭菌	149
实验 6 微生物的纯种分离	152
实验 7 细菌淀粉酶的测定	154
实验 8 水中细菌总数的测定	155
实验 9 水中大肠菌群数的测定	157
实验 10 空气微生物的检测	164
参考文献	167

1.1.1 环境微生物学的研究对象

环境微生物学 (microbiology) 是研究微生物及其生命活动规律的一门基础学科。研究的内容涉及微生物的形态结构、分类鉴定、生理生化、生长繁殖、遗传变异、生态分布、微生物各类群之间、微生物与其他生物之间及微生物与环境之间的相互作用、相互影响的复杂关系等。目的是更好地认识、利用、控制和管理微生物,造福于人类。

环境微生物学 (environmental microbiology) 是研究微生物与环境间相互作用规律的学科。是在普通微生物学的基础上,着重研究栖息在自然环境、受污染环境及人工处理系统中的微生物生态、环境的自净作用、环境污染及其生物处理工程中的微生物学原理。环境微生物学主要涉及微生物在环境以及人类生存、健康、安全领域的应用研究,特别是环境污染物的微生物净化机理和污染控制工程的微生物应用技术。

环境微生物学的研究对象是环境中的微生物。环境主要包括大气、土壤、地表水、地下水、饮用水及食品等各种直接或间接影响人类生活和发展的环境因素。

环境微生物学虽然有其特殊性,但它也离不开普通微生物学的基本原理,只有掌握这些基本原理,才能在此基础上把微生物学原理应用到实际工程中去。本学科就是要在学习微生物学原理的基础上,着重讨论与环境有关的微生物学问题。参与环境中污染物转化的微生物主要有细菌、真菌、藻类和原生动物等类群,它们彼此之间同污染物之间构成了各种复杂的关系,而且微生物本身又在污染的环境中生长繁殖,不断演变。所以,阐明微生物自身的生长变化规律以及与环境的复杂关系是本学科的主要任务之一。具体来讲,就是要搞清楚环境中微生物的种类、生态分布、生长繁殖和遗传变异的规律,以及微生物生长代谢活动在环境污染物控制中的作用机理。

1.1.2 环境微生物学的任务

“环境微生物学”课程的主要任务是使学生掌握与环境相关的微生物学基本知识,掌握微生物在环境污染物控制中的作用机理和规律,学习环境中微生物的检验方法等。环境微生物学的研究方向和任务就是充分利用微生物控制、消除环境中有机污染物、营养盐类、重金属的污染,利用微生物进行资源再生和利用。

环境微生物学是在环境保护事业和环境科学、环境工程、给水排水等学科蓬勃发展的基础上形成的一门综合性、交叉性科学。与物理法、化学法相比,微生物处理法具有经济、高效的优点,并可实现无害化、资源化,所以长期以来始终占有重要位置。只有全面了解和掌握微生物的基本特性,才能培养好微生物,取得较好的净化效果;而只有深入系统地学习和掌握环境中污染物控制的工艺及相应的工程技术,才能更好地研究、开发和利

第1章 绪 论

1.1 环境微生物学的研究对象和任务

1.1.1 环境微生物学的研究对象

微生物学 (microbiology) 是研究微生物及其生命活动规律的一门基础学科。研究的内容涉及微生物的形态结构、分类鉴定、生理生化、生长繁殖、遗传变异、生态分布,微生物各类群之间、微生物与其他生物之间及微生物与环境之间的相互作用、相互影响的复杂关系等,目的是更好地认识、利用、控制和改造微生物,造福于人类。

环境微生物学 (environmental microbiology) 是研究微生物与环境间相互作用规律的科学。是在普通微生物学的基础上,着重研究栖息在自然环境、受污染环境和人工处理系统中的微生物生态、环境的自净作用、环境污染及其生物处理工程中的微生物学原理。环境微生物学主要涉及微生物在环境以及人类生存、健康、安全领域的应用研究,特别是环境污染物的微生物净化机理和污染控制工程的微生物应用技术。

环境微生物学的研究对象是环境中的微生物。环境主要包括大气、土壤、地表水、地下水、饮用水及食品等各种直接或间接影响人类生活和发展的环境因素。

环境微生物学虽然有其特殊性,但它也离不开普通微生物学的基本原理,只有掌握这些基本原理,才能在此基础上把微生物学原理应用到实际工程中去。本学科就是要在微生物学原理的基础上,着重讨论与环境有关的微生物学问题。参与环境中污染物转化的微生物主要有细菌、真菌、藻类和原生动物等类群,它们彼此之间同污染物之间构成了各种复杂的关系,而且微生物本身又在污染的环境中生长繁殖,不断演变。所以,阐明微生物自身的生长变化规律以及与环境的复杂关系是本学科的主要任务之一。具体来讲,就是要搞清楚环境中微生物的种类、生态分布、生长繁殖和遗传变异的规律,以及微生物生长代谢活动在环境污染物控制中的作用机理。

1.1.2 环境微生物学的任务

“环境微生物学”课程的主要任务是使学生掌握与环境相关的微生物学基本知识,掌握微生物在环境污染物控制中的作用机理和规律,学习环境中微生物的检验方法等。环境微生物学的研究方向和任务就是充分利用微生物控制、消除环境中有机污染物、营养盐类、重金属的污染,利用微生物进行资源再生和利用。

环境微生物学是在环境保护事业和环境科学、环境工程、给水排水等学科蓬勃发展的基础上形成的一门综合性、交叉性科学。与物理法、化学法相比,微生物处理法具有经济、高效的优点,并可实现无害化、资源化,所以长期以来始终占有重要位置。只有全面了解和掌握微生物的基本特性,才能培养好微生物,取得较好的净化效果;而只有深入系统地学习和掌握环境中污染物控制的工艺及相应的工程技术,才能更好地研究、开发和利

用适合处理各种水质的微生物。

1.2 微生物学的发展历史

微生物学的发展历史可分为五个时期，现简述如下：

(1) 史前期 史前期是指人类还未见到微生物个体尤其是细菌细胞前的一段漫长的历史时期，大约在距今 8000 年前至公元 1676 年间。当时的人类虽未见到微生物的个体，却自发地与微生物频繁地打交道，并凭自己的经验在实践中开展利用有益微生物和防治有害微生物的活动。但由于在思想方法上长期停留在“实践—实践—实践”的基础上，因此只能长期处于低水平的应用阶段。

(2) 初创期 从 1676 年列文虎克 (Antonie van Leeuwenhoek) 用自制的单式显微镜观察到细菌的个体起，直至 1861 年近 200 年的时间。在这一时期中，人们对微生物的研究仅停留在形态描述的低级水平上，而对它们的生理活动及其与人类实践活动的关系却未加研究，因此，微生物学作为一门学科在当时还未形成。这一时期的代表人物是荷兰的业余科学家—微生物学先驱列文虎克。他的贡献主要有三方面：①利用单式显微镜观察了许多微小物体和生物，并于 1676 年首次观察到形态微小、作用巨大的细菌，从而解决了认识微生物世界的第一个障碍。②一生制作了 419 架显微镜或放大镜，放大率一般为 50~200 倍，最高者达 266 倍。③发表过约 400 篇论文，其中绝大部分寄往英国皇家学会发表。

(3) 奠基期 从 1861 年巴斯德根据曲颈瓶试验彻底推翻生命的自然发生说并建立胚种学说起，直至 1897 年的一段时间。其特点为：①建立了一系列研究微生物所必要的独特方法和技术。②借助于良好的研究方法，开创了寻找病原微生物的“黄金时期”。③把微生物学的研究从形态描述推进到生理学研究的水平。④开始客观上以辩证唯物主义的“实践—理论—实践”的思想方法指导科学试验。⑤微生物学以独立的学科形式开始形成，但当时主要还是以其各应用性分支学科的形式存在。本时期的代表人物主要是法国的巴斯德和德国的科赫，他们可分别被称为微生物学的奠基人和细菌学的奠基人。巴斯德学派的主要贡献是提出了生命只能来自生命的胚种学说，并认为只有活的微生物才是传染病、发酵和腐败的真正原因，再加上消毒灭菌等一系列方法的建立，就为微生物学的发展奠定了坚实的基础。科赫学派的重要业绩主要有三个方面：①建立了研究微生物的一系列重要方法，尤其在分离微生物纯种方面，他们把早年在马铃薯块上的固体培养技术改进为明胶平板培养技术 (1881 年)，进而提高到琼脂平板培养技术 (1882 年)。在 1881 年前后，科赫及其助手们还创立了许多显微镜技术，包括细菌鞭毛染色在内的许多染色方法、悬滴培养法以及显微摄影技术。②利用平板分离方法寻找并分离到多种传染病的病原菌，例如炭疽病菌、结核杆菌、链球菌和霍乱弧菌等。③在理论上，科赫于 1884 年提出了科赫法则。

(4) 发展期 1897 年德国人 E. Buchner 用无细胞酵母菌压榨汁中的“酒化酶” (zymase) 对葡萄糖进行酒精发酵成功，从而开创了微生物生化研究的新时代。此后，微生物生理、代谢研究就蓬勃开展了起来。在发展期中，微生物学研究有以下几个特点：①进入了微生物生化水平的研究。②应用微生物的分支学科更为扩大，出现了抗生素等新学科。③开始出现微生物学史上的第二个“淘金热”，掀起了寻找各种有益微生物代谢产物

的热潮。④在各微生物应用学科较深入发展的基础上，一门以研究微生物基本生物学规律的综合学科—普通微生物学开始形成。⑤各相关学科和技术方法相互渗透，相互促进，加速了微生物学的发展。

(5) 成熟期 从1953年4月25日J. D. Watson和H. F. C. Crick在英国的《自然》杂志上发表关于DNA结构的双螺旋模型起，整个生命科学就进入了分子生物学研究的新阶段。与此同时，DNA结构的双螺旋模型在英国的《自然》杂志上的发表也标志着微生物学发展史上成熟期的到来。本时期的特点为：①微生物学从一门在生命科学中较为孤立的以应用为主的学科迅速成长为一门十分热门的前沿基础学科。②在基础理论的研究方面，微生物学逐步进入到分子水平的研究，微生物迅速成为分子生物学研究中的最主要的对象。③在应用研究方面，微生物学向着更自觉、更有效和可人为控制的方向发展，至20世纪70年代初，有关发酵工程的研究已与遗传工程、细胞工程和酶工程等紧密结合，微生物已成为新兴的生物工程中的主角。

1.3 微生物的定义、分类和命名

1.3.1 微生物的定义

微生物不是生物分类学上的名称，而是一类肉眼难以看清、需借助光学显微镜甚至电子显微镜才能观察到的一切微小生物的总称。因此，“微生物”不是分类学上的概念，而是一切微小生物的总称。它们在自然界中的分布极其广泛，从地底深处至万里高空、从外界环境至动植物机体、从零摄氏度以下至上百度高温、沙漠乃至坚硬的矿石等环境中均有微生物的存在。

按照微生物有无细胞结构，可分为非细胞结构的微生物（如病毒、类病毒、拟病毒等）和细胞结构的微生物。具有细胞结构的微生物，又可以根据细胞的特点，分为原核微生物和真核微生物两大类。原核微生物是具有原核细胞的生物，原核细胞是一类比较原始的细胞，其细胞核发育不完善，只是DNA链高度折叠形成的一个核区，仅有核质，没有核膜，没有定形的细胞核，称为拟核或似核。原核细胞没有特异的细胞器，只有由细胞质膜内陷形成的不规则的泡沫结构体系，如间体和光合作用层片及其他内褶。原核细胞不进行有丝分裂。原核微生物包括各类细菌、放线菌、蓝细菌、黏细菌、立克次氏体、支原体、衣原体和螺旋体等。真核微生物是具有真核细胞的生物，真核细胞有发育完善的细胞核，有核膜将细胞核和细胞质分开，核内有核仁和染色质。真核细胞有高度分化的细胞器，如线粒体、中心体、高尔基体、内质网、溶酶体和叶绿体等，担负着细胞的各种功能。真核细胞能进行有丝分裂。真核微生物包括各类真核藻类、真菌（酵母菌、霉菌等）、原生动物以及微型后生动物等。

1.3.2 微生物的特点

1. 分布广、种类多

微生物在自然界分布极广，无论是土壤、水体和空气，还是植物、动物和人体的体内或表面都存在大量微生物，乃至一些极端的环境，如酷热的沙漠、寒冷的雪地、冰川、温泉、火山口、南极、北极、冰河、污水、淤泥、固体废弃物等，可以说无处不在。微生物的种类极其繁多，已发现的微生物达10万种以上，新物种也在不断被发现。其营养类型

和代谢途径也具多样性, 不仅能利用无机营养物、有机营养物, 还可在有氧、缺氧、无氧、极端高温、高盐度和极端 pH 环境中生存, 因此造就了微生物的种类繁多和数量庞大。

2. 生长繁殖快、代谢能力强

大多数微生物以裂殖方式繁殖后代, 在适宜的环境条件下, 十几分钟至二十几分钟就可繁殖一代。在物种竞争上取得优势, 这是生存竞争的保证。大肠杆菌在适宜的条件下, 每 20min 即繁殖一代, 24h 即可繁殖 72 代。微生物生长代谢快是基于其所特有的生理基础, 由于个体微小, 单位体积的表面积相对很大, 有利于细胞内外的物质交换, 使细胞内的代谢反应较快。

3. 遗传稳定性差、容易发生变异

多数微生物为单细胞, 结构简单, 整个细胞直接与环境接触, 对外界环境很敏感, 抗逆性较差, 很容易受到各种不良外界环境的影响, 引起遗传物质 DNA 的改变而发生变异。

4. 个体极小、结构简单

微生物都具有微小的个体和简单的结构, 必须借助显微镜把它们放大几万倍甚至是几十万倍才能看到。测量微生物的尺度以微米为计算单位, 病毒要用纳米来计量。微生物大多都是单细胞生物, 如细菌、原生动物、单细胞藻类、酵母菌等。霉菌是微生物结构最复杂的一类, 是由多细胞简单排列构成。

1.3.3 微生物的分类

1. 真核微生物

这一类微生物具有完整的细胞构造, 细胞核的分化程度较高, 且细胞核被核膜包围。例如酵母菌、霉菌、真菌等, 因此又称为真核细胞型微生物。大多数微生物属于真核微生物。

2. 原核微生物

这一类微生物虽然具有细胞构造, 但只有原始的细胞核, 细胞核分化程度比较低, 没有核膜, 例如细菌、放线菌、蓝细菌、螺旋体等, 又称为原核细胞型微生物。

3. 非细胞微生物

这一类微生物没有细胞构造, 只有裸露的核酸和蛋白质, 因此必须寄生在活的易感细胞内生长繁殖。例如病毒、类病毒等。

1.3.4 微生物的命名

为避免混乱并便于工作、学术交流, 有必要给每一种生物制定统一使用的科学名称, 即学名。为此, 国际上建立了生物命名法规, 如国际植物命名法规、国际动物命名法规、国际栽培植物命名法规、国际细菌命名法规等。目前在国际上对生物进行命名采用的统一命名法是“双名法”, 其基本原则是由林奈确定的。林奈 (Linnaeus, 1707~1778) 是瑞典生物学家, 他在 1753 年发表的《自然系统》一书中首次提出了双名法 (binomial nomenclature), 并且为生物学家们所认可。

一个生物的名称 (学名) 由两个拉丁字 (或拉丁化形式的字) 表示, 第一个字是属名, 为名词, 主格单数, 第一个字母要大写; 第二个字是种名, 为形容词或名词, 第一个字母不用大写; 出现在分类学文献上的学名, 往往还要再加上首次命名人的姓氏 (外加括号)、现名命名人的姓氏和现名命名年份, 但有时往往忽略这三项: 学名 = 属名 + 种名 +

思考题

1. 原核微生物与真核微生物有何区别?
2. 微生物的特点?
3. 环境微生物学的主要研究对象是什么?

第2章 原核微生物

原核微生物的细胞核发育不全，核质裸露，与细胞质没有明显的界线，称为拟核或类核。原核微生物没有细胞器，只有由细胞质膜内陷形成的不规则泡沫结构体系，如中间体和光合作用层片及其他内褶，也不进行有丝分裂。原核微生物包括细菌门和蓝绿细菌门中的所有微生物。

根据最新的伯杰细菌系统分类，原核微生物分为两大类群，古菌类群和细菌类群，其中细菌类群分为细菌、放线菌、蓝细菌、支原体、立克次氏体、衣原体和螺旋体。

2.1 细 菌

广义的细菌是微生物类别的简称，包含了古细菌和真细菌。狭义细菌是指一类细胞短、结构简单、胞壁坚韧、多以二分裂方式进行繁殖的原核生物。

2.1.1 细菌的形态及大小

细菌有三种基本形态：球状、杆状和螺旋状。

球菌 (Coccus)：球菌呈圆球形或椭球形，大小为 $0.5\sim 2.0\ \mu\text{m}$ 。球菌有单个（单球菌）、成对（双球菌）、四联（四联球菌）、八叠（八叠球菌）、葡萄状（葡萄球菌）以及长链（链球菌）等，这主要取决于球菌因分裂平面不同以及分裂后菌体间相互粘连方式和程度不同而形成不同的堆叠方式，如图 2-1 所示。

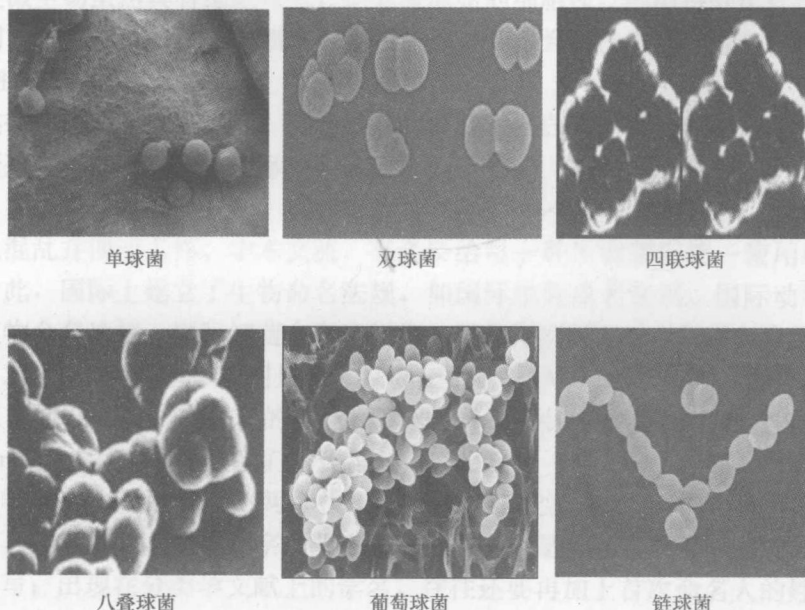


图 2-1 常见球菌

杆菌 (Bacillus)：杆菌细胞多呈直杆状，有的稍微弯曲，分散存在或呈链状排列。杆菌的直径和长度比例差异很大，按其尺寸大小一般分为小型杆菌($0.2\sim0.4\text{ }\mu\text{m}\times(0.7\sim1.5)\text{ }\mu\text{m}$ ，中型杆菌($0.5\sim1\text{ }\mu\text{m}\times(2\sim3)\text{ }\mu\text{m}$ 和大型杆菌($1\sim1.25\text{ }\mu\text{m}\times(3\sim8)\text{ }\mu\text{m}$ ，杆菌是细菌中种类最多的，如图 2-2 所示。

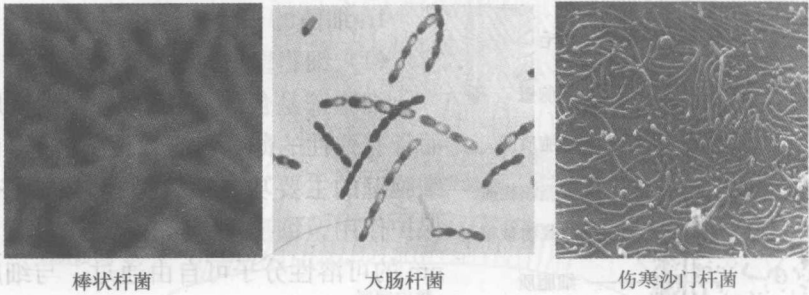


图 2-2 常见杆菌

螺旋菌 (Spirillum)：螺旋菌细胞呈弯曲杆状，细胞壁坚韧较硬，常以单细胞方式分散存在。根据其弯曲情况可分为弧菌、螺旋菌。前者只有一个弯曲，大小与杆菌相似，后者有 2~6 个弯曲，大小为($0.3\sim1\text{ }\mu\text{m}\times(1\sim50)\text{ }\mu\text{m}$ 。若菌体弯曲螺旋圈数超过 6 个，则通称为螺旋体，如图 2-3 所示。

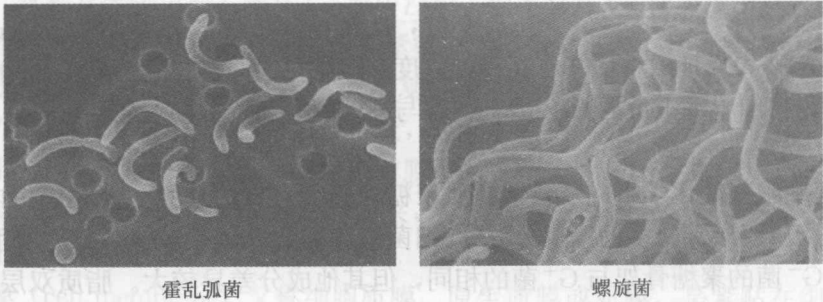


图 2-3 常见螺旋菌

特殊形状菌：除了上述三种基本形态外，细菌还有其他形状。如柄杆菌属，细胞呈杆状或梭状，并具有一根特征性的细柄，可附着在基质上；球衣菌则能形成衣鞘，杆状的细胞在衣鞘内呈链状排列而形成丝状，如图 2-4 所示。

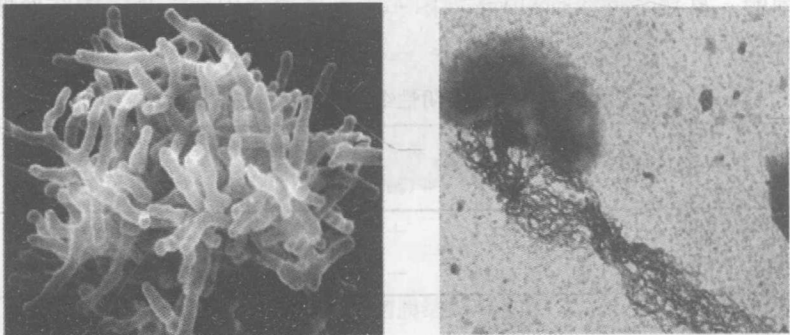


图 2-4 特殊形状菌

2.1.2 细菌的细胞结构

细菌是单细胞的，所有的细菌都有如下结构：细胞壁、细胞质膜、细胞质及其内含物、细胞核物质。部分细菌有特殊结构：芽孢、鞭毛、荚膜、黏液层及菌胶团等，如图 2-5 所示。

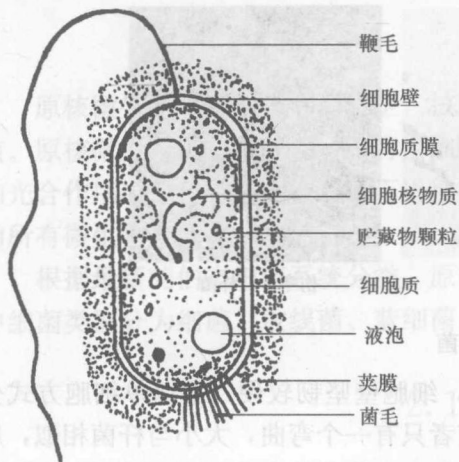


图 2-5 细菌细胞结构模式图

1. 细菌的一般结构

(1) 细胞壁

细胞壁是包围在细菌体表最外层的、坚韧而带有弹性的薄膜，它约占菌体的 10%~25%，细胞壁的主要功能是维持菌体的固有形态并起保护作用。细胞壁有许多微孔，水和小于 1.0 nm 的可溶性分子可自由通过，与细胞膜共同参与菌体内外的物质交换。细胞壁的化学组成比较复杂，用革兰染色法可将细菌分为革兰阳性 (G^+) 菌和革兰阴性 (G^-) 菌两大类，其细胞壁的化学组成有较大差异。

G^+ 细菌的细胞壁由肽聚糖和穿插于其中的磷壁酸组成。肽聚糖是 G^+ 菌细胞壁的主要成分，层数多，可达 50 层，含量高，占细胞壁干重的 50%~80%，质地致密，具有高机械强度的三维空间结构。磷壁酸是 G^+ 菌细胞壁的特有成分，约占细胞壁干重的 50% 以上，其与细菌的表面抗原和致病性有关，如图 2-6 所示。

G^- 细菌细胞壁的化学组成复杂，在肽聚糖外侧还有一层外膜，外膜层由内向外依次是脂蛋白、脂质双层、脂多糖等成分。 G^- 细菌细胞壁含肽聚糖较少，仅占细胞壁干重的 10% 左右。 G^- 菌的聚糖骨架与 G^+ 菌的相同，但其他成分差异较大。脂质双层是 G^- 细菌细胞壁的主要成分，其内镶嵌一些特殊的蛋白质，与细胞膜相似。其功能除进行细胞内外物质交换外，还有通透性屏障作用，能阻止多种大分子物质和青霉素、溶菌酶等进入细胞体内。脂多糖是 G^- 细菌独有的成分，牢固地结合在细胞壁表面。

G^+ 细菌和 G^- 细菌细胞壁的结构和组成有着明显的不同，导致了两类细菌在染色性、毒性和对某些药物的敏感性等方面有很大差异。 G^- 细菌的外膜层很厚，约占细胞壁干重的 80%，溶菌酶、青霉素等药物对 G^- 细菌无明显抗菌作用，就是因为肽聚糖外侧有外膜的存在并起保护作用（表 2-1）。

革兰氏阳性细菌与阴性细菌细胞壁成分的比较

表 2-1

细菌	壁厚 (nm)	肽聚糖含量 (%)	磷壁酸 (%)	脂多糖 (%)	蛋白质 (%)	脂肪 (%)
G^+	20~80	40~90	+	—	少量 (20)	1~4
G^-	10	10	—	+	较多 (60)	11~22

注：+有；—无。

1884 年，丹麦病理学家 Christain Gram 创造了一种鉴别染色法，用该染色法可把细

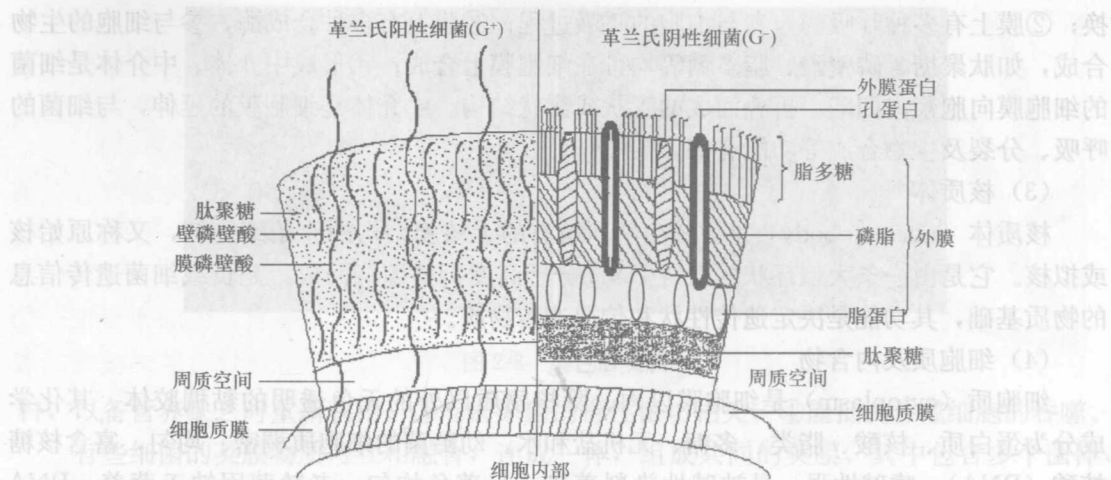


图 2-6 革兰氏阴性和阳性细菌细胞壁结构

菌分成革兰阳性菌 (G^+) 和革兰阴性菌 (G^-) 两大类。这种染色法用 Gram 命名, 称为革兰染色法。

一般认为在革兰染色的过程中, 细菌细胞内形成了一种不溶性的深紫色的结晶紫-碘的复合物, 这种复合物可被乙醇从 G^- 菌中浸出, 但不易从 G^+ 菌中浸出。这是由于 G^+ 菌细胞壁较厚, 肽聚糖含量较高, 网格结构紧密, 含脂量又低, 当用乙醇脱色时, 肽聚糖网孔由于缩水会明显收缩, 从而使结晶紫-碘复合物不易被洗脱而保留在细胞内, 故菌体呈深紫色。而 G^- 菌细胞壁薄, 肽聚糖含量低, 且网格结构疏松, 故遇乙醇后, 其网孔不易收缩, 加上 G^- 菌的脂类含量高, 当用乙醇脱色时, 脂类物质溶解, 细胞壁透性增大, 因此, 结晶紫-碘的复合物就容易被洗脱出来, 故菌体呈复染液的红色。

(2) 细胞膜

细胞膜 (cell membrane) 又称细胞质膜、原生质膜或质膜, 是紧贴在细胞壁内侧而包围细胞质的一层柔软而富有弹性的半透性薄膜, 其化学组成主要是蛋白质 (60%~70%) 和磷脂 (30%~40%) (图 2-7)。

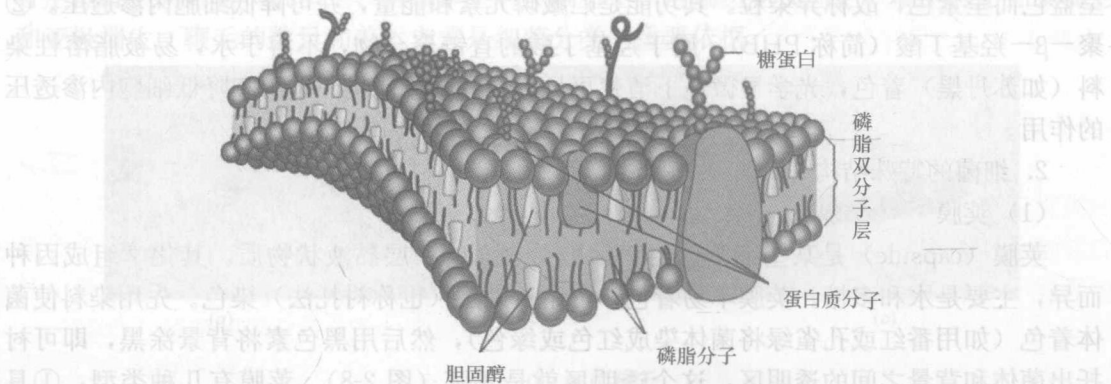


图 2-7 细菌膜结构示意图

细胞膜的功能主要为: ①有选择性渗透作用, 与细胞壁共同完成菌体内外的物质交