

.....

高

等

学

校

教

材

环境工程生物学

HUANJING GONGCHENG SHENGWUXUE

胡小兵 钟梅英◎ 主编

合肥工业大学出版社

高等学校教材

环境工程生物学

胡小兵 钟梅英 主编

合肥工业大学出版社

内容简介

本书把生物学原理与环境工程结合起来,阐述了环境工程生物学的基本知识及原理,介绍了微生物、植物和动物等环境工程生物的形态、生理特征以及它们对环境工程的应用。全书分为五篇:环境工程生物学基础、环境工程生态学、环境污染治理与监测中的生物学、环境工程生物学实验。其中环境污染治理与监测中的生物学为重点介绍内容,它突出了工程实践的特点。为了提高学生专业英语水平,在主要章节后面还附有相关的英文阅读材料,在书末还附有“环境工程生物学中常见的词汇”索引,以便查阅。本书可供高等学校环境工程、给水排水工程、市政工程等专业使用,此外,还可以作为从事生态学研究、环境保护与环境工程等专业技术人员的参考书。本书现为安徽省高等学校“十一五”省级规划教材。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程生物学/胡小兵,钟梅英主编. —合肥:合肥工业大学出版社,2008.8

ISBN 978-7-81093-792-4

I. 环… II. ①胡…②钟… III. 环境生物学—高等学校—教材 IV. X17

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 121020 号

环境工程生物学

主编 胡小兵 钟梅英

责任编辑 汤礼广

出版	合肥工业大学出版社	版次	2008年8月第1版
地址	合肥市屯溪路193号	印次	2008年8月第1次印刷
邮编	230009	开本	787毫米×1092毫米 1/16
电话	总编室:0551-2903038 发行部:0551-2903198	印张	20.5
网址	www.hfutpress.com.cn	字数	498千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	印刷	合肥创新印务有限公司
		发行	全国新华书店

ISBN 978-7-81093-792-4

定价:33.00元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

前 言

随着人口的增长和工业的飞速发展,进入环境中的污染物种类和数量越来越多,全球正面临着越来越严峻的环境污染问题。我国人口基数大,人均资源量少,且环境问题较为突出,为了实现可持续发展的战略目标,我国提出了“科学发展”的理念,要求做到人与自然和谐相处以及建立资源节约型、环保型和生态文明的社会。这就对生态建设与环境保护提出了更高的要求。

进行环境污染治理,主要是处理生活与工业生产中排出的污染物(废水、废气与废渣),处理的方法从原理上可以分为物理方法、化学方法和生物学方法。生物学方法主要是利用微生物。微生物在自然界的生态系统中占有特殊的地位,发挥着极其重要的作用。因此,人们可利用它的强大降解与转化能力对污染物进行处理。

环境工程中,除了对点源污染物进行处理外,还要对污染的区域环境(面源污染)进行修复与治理,即对大环境进行治理。因此,对环境治理不仅需要微生物,还要利用到大型的植物与小型的动物;而且在处理过程中也不仅仅在于是利用某一种生物或者是某一类生物,而是利用它们的有机组合形成的完整生态系统,通过生态系统的物质循环与能量代谢完成对污染物的去除作用。当然,其中微生物的作用仍是最重要的。

因此,本书把微生物、植物与动物放在生态系统中进行论述,阐述它们与环境的关系和在环境工程中的功能与作用,这便构成了本书的“环境工程生物学”的内容。

本书共分为4篇。第一篇讲述的是环境工程生物学基础,主要介绍常见微生物的形态结构、代谢生理与遗传、环境工程中的植物与动物的形态等。第二篇讲述的是环境工程生态学,阐述环境生态学中微生物与植物之间的相互关系,微生物在自然物质循环(碳、氮、磷等元素)中的重要作用,污染物在生态系统中的转化与去除,并对环境中有害生物如病原菌的危害与控制进行分析。第三篇讲述的是环境污染治理与监测中的生物学,介绍生物在污染治理与监测中的应用,主要内容有废渣与废气的生物处理、污水微生物处理方法及其微生物

特性、污水处理的生态方法、环境污染的生物修复、环境工程中的生物制剂、环境的生物监测与检验等。第四篇讲述的是环境工程生物学实验,主要介绍实验技术方法,为强化其内容之间的内在联系,把内容分成基本实验、监测实验与工程实验三部分,在实际教学中,可根据课时安排,分成单个实验进行。为了提高学生的专业英语水平,在主要章节的后面还附加了英文阅读材料;在书的末尾还附加了环境工程生物学中常见的词汇索引,以便查阅。

本书的特点是打破常规教材的内容编排,增加了植物与动物学内容,拓宽了应用范围,增强了理论系统性与实用性。它可供高等学校环境工程、给水排水工程、市政工程等专业使用,建议安排64学时,不同专业也可根据需要进行选择学习。此外,本书还可以作为环境工程与市政工程硕士研究生的辅助教材,以及从事生态学研究、环境保护与环境工程的专业技术人员的参考书。

本书为安徽省高等学校“十一五”省级规划教材。

本书由安徽工业大学胡小兵、钟梅英任主编。参加编写的老师有胡小兵、钟梅英、张新喜、戴波、周扬屏、郭丽娜、沈翼军、丁磊、蒋荷琴、佟丽华,研究生管留忠、张海莉在文字整理上也做了一些工作。

本学科是一门综合性的边缘学科,内容跨度大、覆盖面广,加上作者的水平有限、掌握资料的局限、编写时间紧迫等原因,因此书中的缺点与不足在所难免,恳请专家、学者和广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 环境工程生物学基础

第一章 概述	(2)
第一节 环境工程生物学的研究内容	(2)
第二节 生物的分类和命名	(4)
第二章 环境中常见的微生物	(6)
第一节 细菌形态和结构	(6)
第二节 其他原核微生物	(14)
第三节 真核微生物	(17)
第四节 非细胞型微生物——病毒与噬菌体	(26)
第三章 微生物的代谢生理与遗传	(32)
第一节 微生物的营养	(32)
第二节 酶及其作用	(38)
第三节 微生物的呼吸与产能	(42)
第四节 微生物的生长	(49)
第五节 微生物的遗传与变异	(54)
第六节 影响微生物的环境因素	(67)
第四章 环境工程中的植物与动物	(72)
第一节 大型水生植物	(72)
第二节 土壤小型动物	(78)
第三节 水体小型动物	(80)

第二篇 环境工程生态学

第五章 环境生态学	(85)
第一节 生态学原理	(85)
第二节 环境微生物生态	(89)
第三节 微生物、植物之间的相互关系	(94)

第四节 水体生态系统	(97)
第六章 微生物在物质循环中的作用	(103)
第一节 碳素生物循环	(103)
第二节 氮素生物循环	(109)
第三节 其他无机元素循环	(114)
第七章 污染物在生态系统中的转化与去除	(124)
第一节 污染物的微生物降解与转化	(124)
第二节 水体生物对污染物的吸收与转化	(128)
第三节 大型植物对污染物的去除	(133)
第四节 环境的自净作用	(136)
第八章 环境中有害生物与控制	(142)
第一节 环境中的主要病原微生物	(142)
第二节 水中病原细菌的控制方法	(143)
第三节 水体富营养及其控制	(147)

第三篇 环境污染治理与监测中的生物学

第九章 废渣与废气的生物处理	(156)
第一节 固体废物的微生物处理	(156)
第二节 废气的微生物处理	(165)
第三节 大气污染防治的植物净化	(169)
第十章 废水微生物处理方法及微生物特性	(173)
第一节 污水生物处理的基本原理	(173)
第二节 污水的好氧生物处理	(177)
第三节 污水的厌氧处理	(185)
第四节 污水的生物除磷脱氮	(189)
第十一章 污水处理的生态方法	(196)
第一节 氧化塘法与生态塘法	(196)
第二节 人工湿地处理系统	(197)
第三节 污水的土地处理系统	(201)
第十二章 环境污染的生物修复	(209)
第一节 微生物生物修复概述	(209)

第二节 土地污染的微生物修复·····	(213)
第三节 污染水体的生物修复·····	(214)
第四节 污染的植物修复·····	(216)
第十三章 环境工程中的微生物资源·····	(223)
第一节 生物絮凝剂·····	(223)
第二节 固定化细胞与固定化酶·····	(226)
第三节 微生物对废物的资源化·····	(231)
第十四章 环境的生物监测与检验·····	(234)
第一节 环境污染的指示生物·····	(234)
第二节 总大肠菌群与病毒的测定·····	(238)
第三节 水质污染生物监测评价·····	(241)
第四节 致突变致癌物的微生物学检验·····	(244)
第五节 毒性的生物检测·····	(246)
第六节 微生物传感器在环境监测中的应用·····	(250)
第七节 大气污染的生物监测·····	(253)
 第四篇 环境工程生物学实验	
第十五章 环境微生物基本实验·····	(258)
第一节 显微镜的使用·····	(258)
第二节 环境微生物实验基本操作方法·····	(261)
第十六章 环境生物检测实验·····	(273)
第一节 微生物在环境中的存在·····	(273)
第二节 水的细菌学常规检测·····	(274)
第三节 大型水生植物的采集与观察·····	(281)
第四节 微型水生动物群落的测定·····	(285)
第五节 鱼类急性毒性试验·····	(291)
第十七章 环境工程微生物实验·····	(296)
第一节 酚降解菌的分离及其性能的测定·····	(296)
第二节 活性污泥的观察与测定·····	(297)
附录:环境工程生物学中常见的词汇 ·····	(301)
参考文献·····	(318)

第一篇

环境工程生物学基础

第一章 概 述

第一节 环境工程生物学的研究内容

“生物学”(Biology)涉及的研究对象和内容广泛而又庞杂,其中“环境工程生物学”研究的对象则主要集中在与环境中的污染物迁移、分解及转化过程密切相关的微生物、大型植物与动物,特别是应用于环境工程实践中的生物种类。因此,环境工程生物学主要是研究与环境工程相关的生物的形态、结构、生理与功能,以及它们在物质自然循环、“三废”治理、环境修复等方面的作用。环境工程生物学是一门边缘学科,是微生物学、植物学、动物学、生态学与环境工程学等领域的内容有机结合而形成的综合性学科。

环境工程生物类群主要包括微生物、植物与动物,其中微生物是主要类群。细菌等原核微生物在环境工程中通常起着关键的作用,是环境生物学研究的重点。

一、环境工程生物学中的微生物

(一)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,它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。

环境工程中常见的微生物分类如图 1-1 所示。

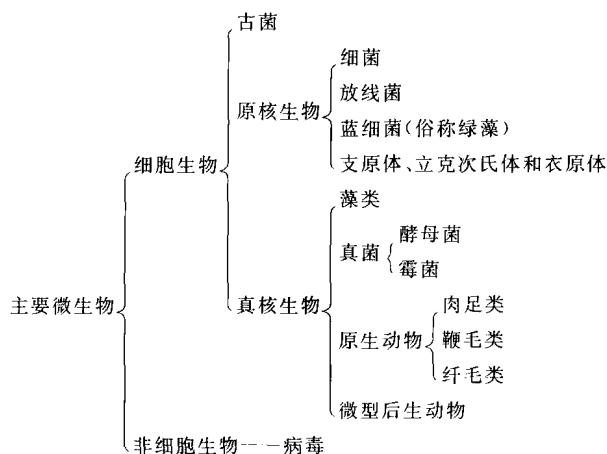


图 1-1 环境工程中常见微生物分类

环境工程微生物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。在本书中,基于环境工程的实际运用,将微藻、原生动物和微型后生动物列入微生物的范畴。

微生物除具有个体微小的特点外,还具有以下特点:

(1)体积小,面积大。直径 $1\mu\text{m}$ 球菌,如果排成 1cm ,它们的总表面积可达到 10^6m^2 。

(2)种类多,分布广。微生物种类现有 10 万种,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。

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。在高空的粉尘中,在几千米的深海沟中都可以发现微生物的身影。

(3)生长快,繁殖快。大多数微生物在几十分钟内可繁殖一代。如果条件适宜,经过 10h 就可繁殖为数亿个。大肠杆菌分裂速度为 $12.5\sim 20\text{min/次}$;48h 后,其后代的总重量达地球的 4000 倍;1 昼夜,其后代数达 4.7223665×10^{15} 个。

(4)易变异,适应强。微生物能适应外界环境条件的变化,这也是它分布广的一种重要原因。利用这个特点,在污水处理时,可进行微生物菌种的驯化和微生物的育种与筛选。

(二)微生物的作用

环境工程生物学在研究微生物的形态、细胞结构与功能以及微生物的营养、呼吸、物质代谢、生长、繁殖、遗传、变异的基础上,着重研究在水体、土壤、空气、城市生活污水、工业废水、城市有机固体废物生物处理中的微生物及其生态和饮水卫生微生物、自然界物质循环和水体自净作用以及环境工程生物净化原理等。

自然界有丰富的生物资源,微生物是其中重要的一类。微生物在自然界物质循环和转化中有巨大的作用,是整个生物圈中维持生态平衡不可缺少的部分。

近代,将微生物应用于发酵工业,生产出乙醇、丙酮、各种有机玻璃、氨基酸(主要是味精)、抗生素和酶制剂(用于纺织退浆、制革脱毛、洗涤剂的助剂、医药、印染);应用于有油发酵(脱蜡和脱硫);应用于农肥(固氮菌肥,磷、钾细菌肥料);应用于植物害虫的生物防治及矿业(探油、回收重金属和稀有金属)。随着工业生产的发展,含各种污染物的工业废水源源不断地排入水体和土壤,引起环境中微生物的种群和群落的变更交替,并诱变出许多能分解有机污染物的微生物新品种,使微生物资源变得更加丰富多彩,为人类提供了更广的用途。当今,不仅城市生活污水、医院污水用生物方法处理,而且各种有机工业废水(如屠宰产生的污水,食品、化肥、造纸、石油提炼、石油化工、农药生产过程中产生的废水等),甚至城市地面有机废物也在用生物法处理。

但也有少数微生物是有害的。病原微生物(细菌、病毒、霉菌、变形虫等的某些种)能引起人的各种疾病,如肝炎、肠道病、伤风和感冒等;黄曲霉能产生致癌的黄曲霉毒素;岛青霉、桔青霉和黄绿青霉等能产生致癌的黄变米毒素;还有的微生物能引起作物病害及动物疾病,一些细菌和霉菌能使食品和农副产品腐败和腐烂;硫细菌、铁细菌能引起混凝土管道和金属管道腐蚀;蓝藻、绿藻和金藻等藻类中的某些种能引起湖泊“水华”和海洋的“赤潮”等。

二、环境工程生物学中的植物

过去的环境工程主要利用微生物进行污染物的降解,但是在自然环境中存在着大量的动植物,它们在自然环境的系统稳定中也起着重要的作用。由于环境治理的需要,它们也被应用到环境工程中,扩大了环境研究与工程领域。因此,对于它们的形态、生理特征与作用的研究也是本学科的研究范畴。常见的植物主要包括水生植物与土壤陆生植物,水生植物

是污水生态处理与修复中的主要类群。

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、控制水体富营养化和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 年代起,人们开始关注大型水生植物,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环境和水体修复的生态工程技术,如土地处理、漂浮植物系统和人工湿地等。

三、常见的小型动物

在环境工程生物学中应用的动物主要是一些小型动物,包括土壤动物与水生动物。大型动物虽然在自然生态系统平衡中起着重要作用,但是在目前环境工程中的作用较小,因此其不在本书所讨论的范围之内。

小型动物多指水体与土壤中的原生动动物、后生动物(对于原生动动物、微型后生动物,也可放在微生物学中讨论),它们是生态系统的重要环节,与环境过程特别是环境水质净化、污染物生态修复等过程有密切的关系,具有重要的生态功能。

四、生态系统

不论在自然的物质代谢中,还是在污染物的生物处理过程中,都不仅仅是一个类群的生物起作用,污染物得以顺利地转化与降解,总是各生物类群共同作用的结果,即它们通过食物链(网)的联系建立起生态系统,然后通过生态系统的作用而完成。有时是微生物类群所形成的生态系统,如污水处理的活性污泥法中的细菌—原生动物中的鞭毛虫、纤毛虫—微型后生动物所组成的生态系统;有些是植物、动物与微生物共同组成的生态系统,如水体中的生态系统就是最好的例子。

五、生物学在环境工程中的作用

环境工程生物学的任务就是充分利用有益微生物资源为人类造福,防止、抵制、消除微生物的有害活动,化害为利。环境工程中处理废水、废物的方法很多,其中生物处理法占有重要位置。它与物理法、化学法相比,具有经济、高效的优点,更重要的是可达到无害化。

在污染物治理工程与污染环境修复中,充分利用动植物的作用,建立起稳定的自然或人工生态系统,不仅能有效地处理污染物质,还能使系统长期稳定,并能节约能源与资源,更好地保护环境,进而与自然环境相和谐。

第二节 生物的分类和命名

自然界中生物种类繁多,截至目前,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。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)共 7 个等级单位。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。就分界而言,各学者的观点不尽一致,如 1866 年, E. H. Haeckel 提出三界系统:原生生物界、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。本书不深究这些分类方法,主要根据环境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*; 大肠杆菌 *Escherichia coli* form。

第二章 环境中常见的微生物

第一节 细菌形态和结构

一、细菌外形和大小

细菌是环境中最“常见”的微生物。细菌是单细胞且没有真正细胞核的原核生物。其大小测定单位为 μm 。一滴水里,可以有成千上万个细菌。因为细菌个体很小,所以要观察细菌的形状,必须用显微镜放大后,才能看见。但是由于细菌本身是无色半透明的,放在显微镜下通过光穿透后,看起来模糊不清。为了清楚地观察细菌,可使用各种染色方法,把细菌染成红色、紫色、蓝色等颜色。这样,在显微镜下看起来,细菌的轮廓就很清楚,容易辨认。

(一) 细菌的形态

从菌体的外形来分,细菌可分作四大类型——球菌、杆菌、螺旋菌和丝状菌(图 2-1)。

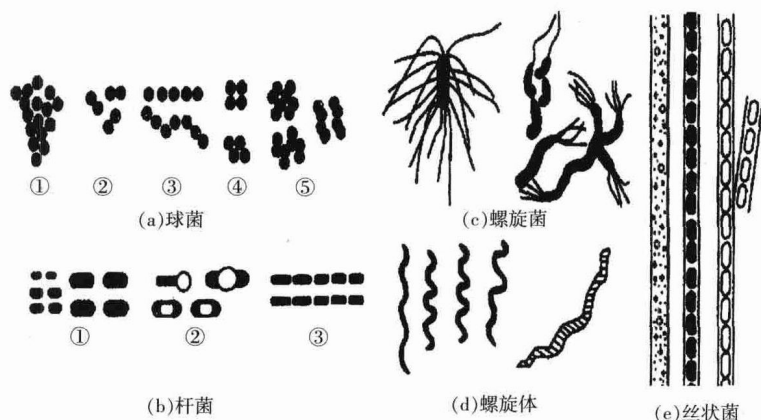


图 2-1 细菌的各种形态

球菌按其排列形式,又可分为多种。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;4个联在一起的,称四联球菌,8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、尿小球菌和产甲烷八叠球菌等都是球状细菌。杆菌又有短杆菌、长杆菌与链杆菌之分。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。不同的螺旋菌有不同的螺旋数量、不同的螺距。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。此外,在水处理中还有常见的丝状菌,如铁细菌(在后面章节中有专门的论述)。上面4种形态是细菌的基本形态,它们是微生物菌种鉴别的依据之一。

(二) 细菌的大小

球菌的大小用其菌体直径度量,球菌直径一般为 $0.5 \sim 2 \mu\text{m}$;杆菌一般长 $1 \sim 5 \mu\text{m}$,菌体

直径 $0.5 \sim 1 \mu\text{m}$ ；螺旋菌的长度(两端之间距离)则因种类的不同而有很大差异(约 $5 \sim 15 \mu\text{m}$)，宽度(一个螺旋投影的直径)常为 $0.5 \sim 5 \mu\text{m}$ 。

二、细菌细胞结构

尽管细菌微小,但是它们的细胞内部构造却相当复杂。细菌的构造可分为基本结构(不变结构,图 2-2)和特殊结构两种。基本结构是所有细菌都具有的;特殊结构只为一部分细菌所具有,它们具有一些特殊功能。

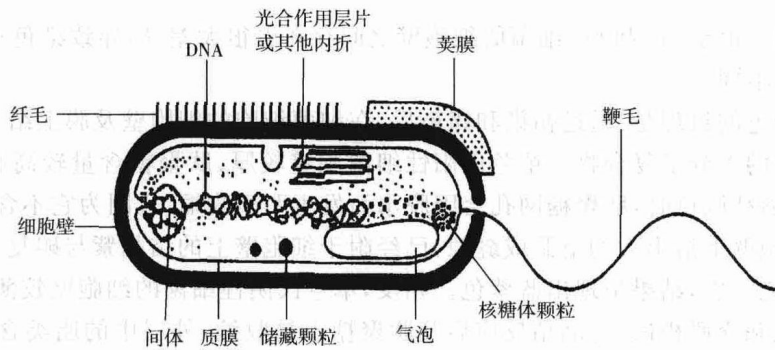


图 2-2 细菌细胞结构模式图

(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(cell wall)是包围在细菌细胞最外面的一层富有弹性的结构,占细胞干物质的 $10\% \sim 25\%$ 。它是细胞中很重要的结构单元,是细菌分类中最重要的依据之一。1884 年,丹麦病理学家 Christian Gram 发明了一种染色方法,被称为革兰氏染色法(Gram staining),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,最后用番红或沙黄复染。根据染色反应结果,可以把细菌分成阳性(G^+)和阴性(G^-)两大类,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脱去了初染结晶紫的颜色,而带上了复染番红或沙黄的红色。这主要是由于两类细菌细胞壁的结构不同而导致的结果(图 2-3)。

革兰氏阳性细菌(G^+)的细胞壁较厚,约为 $20 \sim 80 \text{nm}$,单层,其组分较为均匀一致,由大量的肽聚糖(peptidoglycan)和一定数量的磷壁酸(teichoic acid)组成,脂类组分很少。肽聚糖是由 N-乙酰葡萄糖胺和 N-乙酰磷壁酸 2 个双糖单位互连接起来的有机大分子,N-乙酰胞壁酸又连接 4 个氨基酸,形成短肽,短肽间又由 5 个氨基酸组成的肽链相连。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。这样和大分子化合物组织起来的多层网状结构就是完整的细菌细胞壁。

革兰氏阴性细菌(G^-)的细胞壁可分为两层:外层壁和内层壁。外层主要是脂多糖和脂蛋白组分,较厚($8 \sim 10 \text{nm}$)。脂类占整个细胞壁的比例为 40% 。这与革兰氏阳性细胞明显不同。内层的主要结构组分是肽聚糖,较薄,只有 $2 \sim 3 \text{nm}$,肽聚糖的结构模式与革兰氏阳

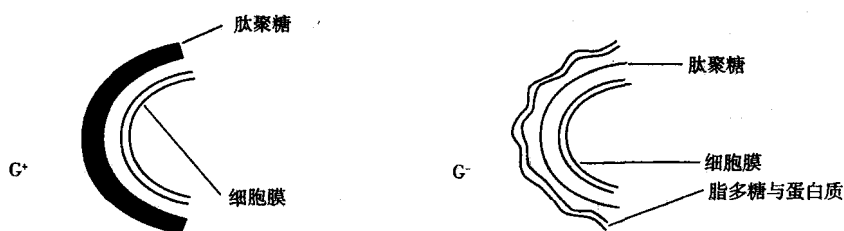


图 2-3 革兰氏阳性菌和革兰氏阴性菌

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,导致染色过程中的反应与染色结果也不同。

革兰氏染色的机理是: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,又因为它不含脂类,酒精脱色时,不能在胞壁上溶出大的空洞或缝隙,已经附于细胞壁上的结晶紫与碘复合物仍滞留在细胞壁上,不能脱去,结果呈现出蓝紫色。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,外层中的脂类含量高,所以酒精处理时,细胞壁上就会溶出较大的空洞或缝隙,结晶紫和碘的复合物就很容易被溶出细胞壁,脱去了初染的蓝紫色。当用番红或沙黄复染时,细胞就会带上复染染料的红色,因此,染色结果是红色的。

不管是 G^+ 和 G^- 细菌,其细胞壁中均含有肽聚糖及 D-型氨基酸,这是细菌细胞壁的一大特征。 G^+ 和 G^- 细菌细胞壁的其他异同比较见表 2-1。此外,还有极少部分细菌,如“古细菌”,它们不仅形态与细菌不同,细胞壁结构也不同,如产甲烷细菌,它们的细胞壁中没有磷壁酸和 D-型氨基酸,不形成肽聚糖结构。

表 2-1 革兰氏细菌细胞壁比较

性 质		G^+	G^-	
结 构	层 次	单层	多层	
	厚度(nm)	20~80	内壁层	外壁层
	肽聚糖结构	多层,75%亚单位交联,网格紧密坚固	单层,30%亚单位交联,网格较疏松	
	结合细胞膜程度	不紧密	紧密	
组 成	肽聚糖	占细胞壁的 40%~90%	5%~10%	无
	磷壁酸	有或无	无	无
	多糖	有	无	无
	蛋白质	有或无	无	有
	脂蛋白	无	有或无	无
	脂多糖	无	无	11%~22%
对青霉素		敏感	不敏感	

细胞壁在细胞生命活动中的生理作用主要有：①使细胞具有固定的外观形状，保护细胞；②作为鞭毛的力学支点，使鞭毛能运动；③细胞壁上的小孔，阻拦大分子的进出；④细胞壁的差别使细菌具有抗原特性、致病性等。

2. 细胞膜

细胞膜(cytoplasmic membrane)是一层紧贴着细胞壁而包围着细胞质的薄膜，厚7~8nm，其质量占细胞干重的10%。细菌细胞膜的化学组成，主要是蛋白质、脂类和糖。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。磷脂是两性分子，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。蛋白质，约占细胞膜的70%，是主要成分。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。这样脂类与蛋白质就形成了膜的基本结构，被称为“流动镶嵌模型”(图2-4)。因为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。膜蛋白以不同方式分布于膜的两侧或磷脂层中。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。

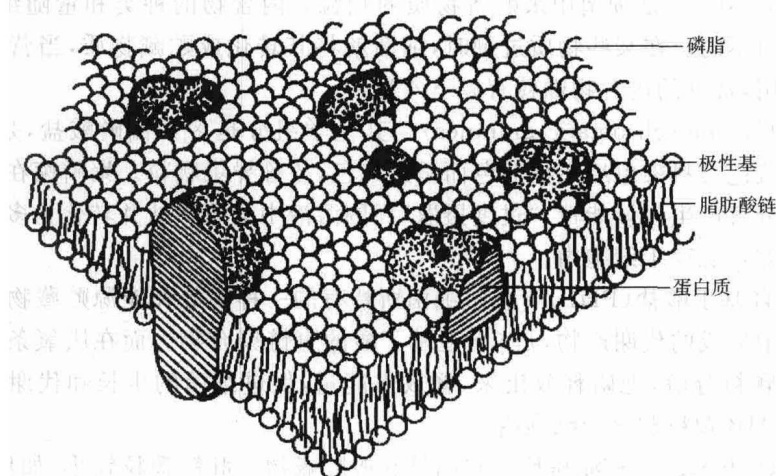


图2-4 细胞膜的镶嵌结构模型

细胞膜的主要功能有：①控制细胞内外物质(营养物质和代谢废物)的运送、交换；②维持细胞内正常渗透压；③是合成细胞壁组分和荚膜的场所，鞭毛的着生和生长点；④是氧化磷酸化或光合磷酸化的产能基地；⑤传递信息，膜上的某些特殊蛋白质能接受光、电及化学物质等产生的信号，并发生构象变化，引起细胞内的代谢变化。

3. 细胞质

细胞质(cytoplasm)是细胞膜以内，除拟核以外的所有物质，是无色透明而黏稠的胶体，主要成分是水、蛋白质、核酸和脂类等，还有少量的盐和糖。细胞质内具有各种酶系统，能不断地进行新陈代谢活动。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，由于细菌的生命活动产生了许多空泡，染色能力较差，着色不均匀。因此，