



中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 环境微生物

◎ 周凤霞 主编



化学工业出版社  
教材出版中心

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

# 环境微生物

主    编    周凤霞  
责任主审    陈家军  
审    稿    杨居荣    辛明秀

化学工业出版社  
教材出版中心  
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

环境微生物/周凤霞主编. —北京: 化学工业出版社,  
2003. 6

中等职业教育国家规划教材  
ISBN 7-5025-3995-6

I. 环… II. 周… III. 环境科学: 微生物学-专  
业学校-教材 IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 042175 号

---

中等职业教育国家规划教材  
全国中等职业教育教材审定委员会审定

**环境微生物**

主 编 周凤霞  
责任主审 陈家军  
审 稿 杨居荣 辛明秀  
责任编辑: 任耀生 高 钰  
文字编辑: 周 侗  
责任校对: 郑 捷  
封面设计: 潘 峰

\*

化学工业出版社 出版发行  
教材出版中心  
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)  
发行电话: (010) 64982530  
<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销  
北京云浩印刷有限责任公司印刷  
三河市延风装订厂装订  
开本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$  字数 314 千字  
2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月北京第 1 次印刷  
ISBN 7-5025-3995-6/G·1157  
定 价: 18.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

## 中等职业教育国家规划教材出版说明

为了贯彻《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的职业教育课程改革和教材建设规划，根据教育部关于《中等职业教育国家规划教材申报、立项及管理意见》（教职成〔2001〕1 号）的精神，我们组织力量对实现中等职业教育培养目标 and 保证基本教学规格起保障作用的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教材进行了规划和编写，从 2001 年秋季开学起，国家规划教材将陆续提供给各类中等职业学校选用。

国家规划教材是根据教育部最新颁布的德育课程、文化基础课程、专业技术基础课程和 80 个重点建设专业主干课程的教学大纲（课程教学基本要求）编写，并经全国中等职业教育教材审定委员会审定。新教材全面贯彻素质教育思想，从社会发展对高素质劳动者和中初级专门人才需要的实际出发，注重对学生的创新精神和实践能力的培养。新教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新的尝试。新教材实行一纲多本，努力为教材选用提供比较和选择，满足不同学制、不同专业和不同办学条件的教学需要。

希望各地、各部门积极推广和选用国家规划教材，并在使用过程中，注意总结经验，及时提出修改意见和建议，使之不断完善和提高。

教育部职业教育与成人教育司

2001 年 10 月

# 前 言

《环境微生物》是教育部“面向 21 世纪职业教育课程改革和教材建设规划”的研究成果，是中等职业教育环境保护与监测专业国家规划教材。

环境科学是一门综合性极强的学科，涉及自然科学、人文社会科学和工程技术等广泛领域。环境微生物学是环境科学的一个重要分支。

本书全面地阐述了环境微生物学的理论基础、微生物在自然界物质循环中的作用、微生物对污染物降解与转化的作用及其机理、微生物在污水和固体废弃物处理中的应用，以及环境微生物学实验技术。在编写中既重视理论知识，又突出技能的培养。

本书可作为中等职业学校环境保护与监测专业以及其他环境类专业的教材，也可供其他专业师生和从事环境保护工作的科技人员参考。

本书包括基础模块，选用模块和实践教学模块。基础模块和实践教学模块是环境保护与监测专业应该完成的，还可根据专业需要从选用模块中选择内容。本书图文并茂，共分为九章，每章前面有学习指南，后面有概括本章的主要内容和重点的小结，以便学生在学习和复习时能抓住重点。书中间还穿插了一些知识窗，以开阔学生的知识视野，增加本书的可读性。

本书绪论、第二章、第三章、第八章由周凤霞编写，第一章、第七章由熊美阳编写，第四章、第五章、第六章、第九章由陈剑虹编写，实践教学模块由熊美阳、周凤霞和陈剑虹编写，全书由周凤霞统稿。

陈家军教授为本书的主审，北京师范大学环境科学研究所的杨居荣教授、辛明秀教授参加评审，江苏常州化工学校的王建国老师对本书也进行了审阅，并提出了许多宝贵意见，在此一并表示衷心感谢。此外，编者还谨向被本书引用为参考书目的作者表示衷心感谢。

鉴于编写水平和时间的限制，本书可能在许多方面存在疏漏和不足之处，真诚希望有关专家及老师和同学们批评指正。

编者

2002 年 2 月

# 目 录

绪 论	1
第一节 微生物概述	1
第二节 环境微生物学概述	2

## 基 础 模 块

第一章 环境中微生物的主要类群	6
第一节 原核微生物	6
第二节 真核微生物	17
第三节 非细胞型微生物——病毒	46
第二章 微生物在环境中的分布及其与环境因子的关系	52
第一节 微生物在环境中的分布	52
第二节 微生物之间的关系	56
第三节 微生物与环境因子的关系	57
第三章 微生物在自然界物质循环中的作用	64
第一节 碳素循环	65
第二节 氮素循环	73
第三节 硫素循环	77
第四节 磷素循环	79
第五节 铁的循环	80
第四章 微生物对污染物质的降解与转化	83
第一节 可生物降解性	83
第二节 石油的生物降解	88
第三节 农药的生物降解	90
第四节 塑料的生物降解	92
第五节 多氯联苯的生物降解	93
第六节 合成洗涤剂的生物降解	93
第七节 重金属的生物转化	94
第五章 微生物对环境的污染与危害	99
第一节 水体富营养化	99
第二节 病原微生物	103
第三节 微生物毒素	105
第六章 水环境污染的生物学处理	108
第一节 污水、废水的生物学处理概述	109
第二节 活性污泥法	110
第三节 生物膜法	115

第四节	厌氧生物处理法	117
第五节	自然条件下的生物处理法	119
第六节	其他生物处理方法及发展趋向	122

### 选 用 模 块

第七章	微生物的营养和培养基	127
第一节	微生物的营养	127
第二节	培养基	130
第八章	微生物生长代谢与遗传变异	135
第一节	微生物的代谢	135
第二节	微生物的生长繁殖	142
第三节	微生物的遗传与变异	144
第四节	菌种的衰退、复壮与保藏	146
第九章	有机固体废弃物的生物处理	151
第一节	堆肥	151
第二节	厌氧发酵	154

### 实践教学模块

第十章	环境微生物实验技术	157
实验须知		157
基本实验		157
实验一	普通光学显微镜的使用	157
实验二	细菌的染色	160
实验三	实验器皿的准备	163
实验四	培养基的配制及灭菌	165
实验五	土壤中微生物的纯种分离	168
实验六	环境中主要微生物菌落及菌体形态的识别	170
实验七	水中细菌总数和总大肠菌群的测定	171
I.	细菌总数的测定	171
II.	总大肠菌群的测定	174
实验八	活性污泥(或生物膜)生物相的观察	179
选做实验		181
实验九	浮游生物的定性和定量测定	181
实验十	微生物生化反应	182
实验十一	微生物细胞数的直接计数	187
实验十二	细菌芽孢及荚膜的染色	189
实验十三	活性污泥脱氢酶活性的测定	190
附录	实验常用染液及试剂配制	194
参考书目		196

# 绪 论

## 第一节 微生物概述

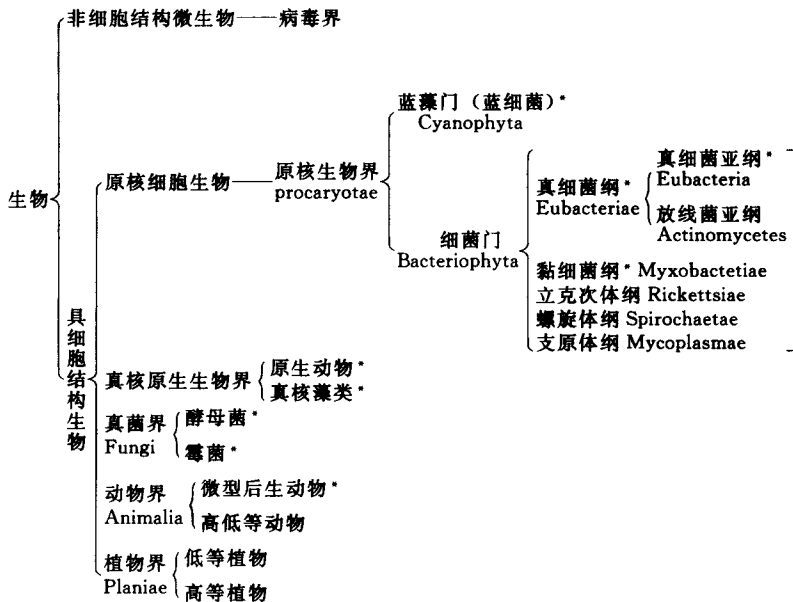
### 一、什么是微生物

微生物 (microorganism or microbe) 是一切肉眼看不见或看不清楚的微小生物的总称。它们的形态结构必须借助于光学显微镜或电子显微镜才能看清, 是一些个体微小 ( $<0.1\text{mm}$ )、构造简单的低等生物。微生物包括原核生物, 如细菌、放线菌、支原体、衣原体、立克次体和蓝细菌; 真核生物, 如酵母菌和霉菌、原生动物、微小的藻类植物和微型后生动物; 以及非细胞类的病毒、类病毒和朊病毒等。

### 二、微生物在生物分类系统中的地位

生物分类系统有很多, 其中, 以 1969 年魏塔克 (Whittaker) 提出的生物分类五界系统被较多人接受。这五界系统是: 原核生物界, 包括细菌、放线菌和蓝细菌; 原生生物界, 包括蓝藻以外的藻类和原生动物; 真菌界, 包括酵母菌和霉菌; 植物界和动物界。在此基础上, 我国学者王大耜提出应补上病毒这类不具细胞结构的生物类群, 因而建议将生物分为六界, 即病毒界、原核生物界、真核生物界、真菌界、植物界和动物界。本教材根据六界分类系统把微生物在生物学分类系统中的地位归纳于绪表 1。

绪表 1 微生物在生物学分类系统中的地位



注: \* 表示环境工程中常见微生物。

### 三、微生物的分类和命名

微生物的分类, 是根据各种微生物的亲缘关系分群归类, 编排成一个系统, 从大到小, 按



界、门、纲、目、科、属、种等进行分类。在两个主要分类单位之间可加亚纲、亚目、亚科、亚属、亚种等次要分类单位。“种”是最基本的分类单位。在种下还可分为变种、型和菌株。

微生物的命名法是采用生物学中的双名法，即由一个属名和一个种名组成，属名和种名都用斜体拉丁文字表示。属名在前，用拉丁文名词表示，第一个字母大写；种名在后，用拉丁文形容词表示。如大肠埃希杆菌的名称是 *Escherichia coli*。为了避免同物异名或同名异物的情况发生，在微生物名称之后辍有命名人的姓，用正体排字，也可省略。例如大肠埃希杆菌的名称是 *Escherichia coli* Castellani and Chalmers；浮游球衣菌的名称是 *Sphaerotilus natans* Kützing 等。如果只鉴定到属，没有鉴定到种，那么该微生物的名称则只有属名，没有种名，在属名后加上 sp.（单数）或 spp.（复数），sp. 和 spp. 是 species 的缩写。如 *Bacillus* sp. 表示为 *Bacillus* 属中的一个种，*Bacillus* spp. 表示为该属中的几个种。

#### 四、微生物的特点

各种类群的微生物虽然形态结构等存在差异，但却具有以下共同特点。

##### （一）种类多、繁殖快

据 1972 年前的不完全统计，已确定的微生物种类就已达 10 万种左右。随着分离、培养方法的改进和研究工作的深入，新的微生物种类不断被发现。如每年约发现 700 个真菌新种。微生物不但种类多，且繁殖速度快，在适宜的环境条件下，微生物繁殖一代的时间只要几分钟左右。

##### （二）体积小、分布广

微生物的个体微小，多数在几个微米至几十个微米范围内。微生物体积小、极轻，易随灰尘飞扬，同时微生物适应环境的能力很强。因此，微生物的分布遍及地球空间的每个角落，从海洋深处到宇宙高空，从寒冷的冰川到炎热的赤道，各种环境条件下都有它们的“足迹”。

##### （三）代谢旺盛、代谢类型多

由于微生物体积小，与高等生物相比其体表面积大，从而使它们能快速地和周围环境进行物质交换。发酵乳糖的细菌在 1h 内可分解其自重 1000~10000 倍的乳糖。利用微生物代谢速度快，代谢类型多样的特点，我们可以使污水处理系统中的污染物质迅速地降解。

微生物不仅代谢旺盛且代谢类型也极多，“食谱”之广是任何生物都不能相比的。在生物圈内，每一种天然有机物都能被微生物降解。例如，洋葱假单胞菌（*Pseudomonas*）能降解 90 种以上的有机物，并能利用其中任何一种有机物作为惟一的碳源和能源进行代谢。

##### （四）容易变异，利于应用

由于微生物结构简单，单细胞或多细胞，整个细胞直接与环境接触，易受外界环境条件的影响，繁殖速度快等原因，所以微生物容易发生变异。利用微生物的这一特点，我们可以选育各类优良微生物菌种，应用于工农业、医药、国防和环境保护等领域。例如，利用微生物的优良变异株生产各种抗生素、味精、抗冷冻航空油、净化处理各种特定工业废水等。

## 第二节 环境微生物学概述

### 一、环境微生物学的定义

环境微生物学是研究微生物与人类生存环境之间相互关系与作用规律的科学，它着重研究微生物对人类环境所产生的有益和有害的影响，阐明微生物、污染物与环境三者之间的相互关系及作用规律，是环境科学的一个分支学科。

## 二、环境微生物学的形成与发展

环境微生物学起源于20世纪60年代。自18世纪第一次工业革命以来，人类的生产能力得到了巨大的发展，大大提高了人类利用和改造环境的能力，但同时也带来了严重的环境问题。工业生产过程中排放的废水、废气、废渣，造成了严重的环境污染。从20世纪30年代的比利时马斯河谷事件开始，公害事件相继发生，如美国洛杉矶的光化学烟雾事件、伦敦烟雾事件、日本四日市的哮喘病事件、日本的水俣病事件和骨痛病事件、印度的帕博尔农药泄漏事件、前苏联切尔诺贝利核电站泄漏事件等，均对人类造成极大危害。随着工农业生产的迅速发展和人类生活水平的不断提高，以及都市化和交通运输的发展，越来越多的污染物被产生，大量人工合成的污染物排放到环境中，使大气、水体、土壤乃至地下水都受到不同程度的污染。因此，有许多科学家致力于研究污染物在生态系统的迁移、转化与归宿，特别是微生物对各种污染物进行降解与转化的途径。早在20世纪20年代，就开始利用活性污泥对污水进行处理。从60年代开始，环境微生物学逐渐从其母体学科——微生物学中脱颖而出，发展成为一个独立的学科。

微生物在环境保护和环境污染治理中起着非常重要的作用。很多微生物具有降解和转化污染物的能力。而且微生物具有容易发生变异的特点，它们比其他生物更容易适应环境。微生物的种类多，代谢类型多样，容易发生变异，又可产生各种诱导酶，从而能降解或转化那些环境中已经存在的污染物，也可降解或转化那些环境中“陌生的”化学物质。微生物在环境污染物的治理中起着举足轻重的作用。

随着微生物学各分支学科的相互渗透，尤其是分子生物学、分子遗传学的发展，促进了微生物应用技术的发展。例如，利用固定化酶或固定化微生物细胞处理工业废水、筛选处理特种废水的菌种；利用生物修复技术分解转化人工合成的污染物等。由于当今世界环境污染日趋严重，以及微生物在污染治理中的重要地位，环境微生物学有着十分广阔的应用与发展前景。

## 三、环境微生物学的任务

环境微生物学的任务主要有以下几个方面。

① 研究自然环境中的微生物群落、结构、功能与动态，研究微生物在不同生态系统中的物质转化和能量流动过程中的作用与机理，同时可以调查自然环境中的微生物资源，为保存和开发有益微生物和控制有害微生物提供科学资料，使微生物在生态系统中发挥更好的作用。

② 在环境污染日益严重的情况下，环境微生物学者着重研究污染环境下的微生物学，即研究微生物对环境污染物的降解与转化的机理，提高微生物对污染净化的效率。目前，在废水、废气、废渣的处理方法中，生物处理法占重要地位，而微生物是废物生物处理的主体。因此，环境微生物学要不断地分离筛选一些对污染物具有高效降解能力的菌株，研究它们的代谢途径；同时，研究开发一些利用微生物降解污染物的应用技术，以便更好地利用微生物处理各种污染物。

③ 研究微生物对环境的污染及破坏作用，以及引起环境质量下降的原因与规律，以便防止、控制、消除微生物的有害活动，化害为利。

④ 研究环境污染对微生物的影响及其生态作用，即研究污染物对污染环境中微生物群落结构和功能的影响，以及污染环境中污染强度与微生物群落特性的关系，以确定污染强度对环境和功能的影响。

⑤ 开展利用微生物监测环境污染的技术研究，促进环境监测技术的发展。

#### 四、环境微生物学的研究内容

##### (一) 微生物学的基本原理

研究微生物的形态、结构、功能，以及微生物的营养、生长、繁殖、呼吸、代谢、遗传变异等基本特征，研究土壤、水体、空气中的主要微生物类群及其分布规律，研究微生物在不同生态系统的物质转化和能量流动过程中的作用机理，研究利用有益微生物、控制有害微生物的方法技术。

##### (二) 微生物对污染物的降解、转化过程及机理，为修复改善环境打下基础

自然界有丰富的微生物资源，它们在自然环境的物质循环和转化中起着非常重要的作用。微生物具有降解和转化污染物质的巨大潜力，目前国内外很多学者都在致力于研究微生物对各种污染物，尤其是一些人工合成的污染物降解与转化的可能性、作用条件、代谢途径与代谢产物，为解决环境污染物的净化处理问题提供生物学的理论依据。近年来，利用微生物降解与转化石油、农药、化纤原料、染料、重金属等污染物的研究，已取得了不少成果。例如，产碱杆菌和不动杆菌能转化多氯联苯；假单胞菌属、芽孢杆菌属、产碱杆菌属、黄杆菌属、节杆菌属、诺卡菌属、曲霉属等能降解农药。目前，已经分离筛选出一些能降解特殊污染物且强力高效的菌株，有的已用于废水的生物处理中。

##### (三) 微生物污染、破坏环境，使环境质量下降的作用与规律

人类生活与生产过程中排出的污水废物中带有大量的病原微生物，在一定条件下可造成环境严重污染甚至疾病流行。例如，我国目前多数医院的污水未经处理就排放到江河、湖泊，造成“前门治病，后门放毒”的严重状况。环境微生物学将分别研究水体、空气、土壤和食品等不同环境条件下病原微生物的类型、污染途径与传播规律、危害与防治措施。

微生物代谢产物对环境的污染也是环境微生物学中的一个重要课题。一方面，微生物代谢活动所产生的一般性物质，如强酸、硫化氢等在特定的环境下可能积累起来造成危害；另一方面，微生物代谢活动产生某些有毒的特殊化合物，这些化合物甚至有致癌、致畸、致突变的作用，它们积累起来，对人类健康造成严重的威胁。如水体中有毒的甲基汞化合物、致癌性的亚硝胺化合物、食品中黄曲霉毒素等真菌毒素的产生与积累，都与微生物的活动有关。此外，水体的富营养化也是微生物（藻类）造成的。因此，要查明产生有害代谢和造成水体富营养的微生物类群，研究其代谢作用机制与条件，以便加以控制，消除危害。

##### (四) 微生物在治理环境污染中的应用

早在 20 世纪 20 年代，以活性污泥法为中心的各种好氧污水处理工程，就是根据水体自净过程中微生物生态学的原理进行污水净化处理的。如今不仅以活性污泥法为代表的好氧法，而且用厌氧消化法或发酵法来处理高浓度的有机污水和固体废弃物也越来越受到重视。这是因为厌氧法不仅可净化处理高浓度有机污水，还可以处理剩余污泥和固体废弃物并产生清洁的生物能源——甲烷等。

近年来，以酶工程和遗传工程为主的生物工程技术在环境保护中的应用，为污染环境的治理开拓了广阔前景，使许多难以降解的有机污染物的生物处理成为可能。例如，利用固定化酶或固定化细胞来净化冶金废水，去除电镀、食品、丙烯腈工业废水中的氰化物，去除废水中的纤维素。应用遗传工程的方法构建含有多种解烃质粒的超级细菌已获得成功。在微生物细胞中，产生降解人工合成污染物质的酶，许多是由微生物细胞中的质粒所控制的，这类质粒称为降解性质粒。到目前为止，从自然界分离的菌株中发现的天然降解性质粒，包括降

解石油组分及其衍生物、农药、多氯联苯一类的工业污染物和抗有害金属的质粒，共 4 大类 30 多种。运用质粒转移、分子育种、基因重组和细胞工程等技术，组建有特殊功能的基因工程菌，结合酶学工程和发酵工程等，为环境污染生物治理工程技术的发展创造了条件。

目前，随着微生物净化技术的应用，人们对污染物资源化和建立清洁生产工艺寄予了很大的希望。污染物资源化成熟的例证有应用酵母菌和光合细菌净化高浓度有机废水生产单细胞蛋白等，在高效净化废水的同时生产饲料和饵料；利用废纤维素生产燃料乙醇；利用有机废物生产甲烷；利用木材废弃物所含半纤维素生产木糖及木糖醇，已成为废物能源化的有效途径。在经济发达国家，废物能源化已形成产业并纳入国家生物能源资源开发长远战略目标之中。

生物制浆造纸工艺是清洁生产工艺中一个最新而醒目的例证。生物制浆是利用微生物菌体或其酶制剂降解原料中的木质素，释放出其中的纤维素和半纤维素用于造纸制浆。由此改变了机械制浆和化学制浆废水中有大量木质素污染的状况。生物制浆的清洁工艺在某些发达国家中已获得突破，它不仅能防止传统工艺所造成的严重污染，还能提高纸品质量和降低生产成本。

微生物还可用于治理环境中的生物性污染，利用生物之间的拮抗关系开展生物防治工作。例如，大面积施用细菌制剂（如苏云金杆菌）或昆虫病毒制剂消灭农林害虫；应用噬藻体（藻类病毒）消除水体赤潮与水华危害；利用微生物杀灭田野鼠患等。这一切都展现出微生物对环保事业作出贡献的又一动人前景。

#### （五）利用微生物作为环境监测的指标与手段

在环境监测工作中，应用微生物学方法作为监测手段已较为普遍。如细菌总数的测定、总大肠菌群和粪链球菌等粪便污染指示菌的检测、肠道致病菌和肠道病毒的检测等。

20 世纪 70 年代以来，发展了多种利用微生物快速检测环境致突变物、有毒物和致癌物的方法。例如，沙门菌/哺乳动物微粒体酶系试验（简称 Ames 试验）、细菌斑痕试验等。此外，近几年开发的微生物传感器就是一种具有较大开发前途的监测方法，具有快速、灵敏、简易等特点，可提高水质污染物质测定的迅速化、自动化，为排水管理及时提供依据，是水质监测和提高排水管理水平的可靠手段。

### 复 习 思 考 题

1. 什么是微生物？
2. 微生物是如何分类的？
3. 微生物最基本的分类单位是什么？
4. 微生物有哪些特点？
5. 简述环境微生物学的研究内容？

# 基础模块

## 第一章 环境中微生物的主要类群

**学习指南** 丰富多样的微生物不仅在自然界的物质循环和转化中起着巨大的生物降解作用，而且在城市生活污水、工业废水和有机固体废弃物的处理中也发挥着越来越重要的净化和指示作用。要利用微生物来监测和评价环境质量、治理环境污染，首先必须识别环境中的微生物种类，了解这些微生物的生理和生物学特性，从而开发利用微生物资源，保护人类赖以生存的环境。

本章学习要求：

1. 了解环境中微生物的类群和细菌、放线菌、酵母菌和霉菌的基本形态；
2. 掌握细菌细胞的结构特点及细菌、放线菌、酵母菌和霉菌的菌落特征；
3. 掌握革兰染色的方法和机理；
4. 熟悉蓝细菌常见代表属的识别特征；
5. 掌握藻类植物和原生动物常见属的识别特征。

微生物种类繁多，根据其有无细胞及细胞结构的明显差异，分为非细胞型微生物、原核微生物和真核微生物三大类群。

### 第一节 原核微生物

原核微生物是指一大类只有核物质，无真正细胞核的单细胞生物，包括细菌、古细菌、放线菌、立克次体、衣原体、支原体和螺旋体等类群。本节重点介绍细菌、古细菌、放线菌和光合型原核生物（蓝细菌和光合细菌）。

#### 一、细菌

##### （一）细菌的形态与大小

1. 细菌的形态 细菌的基本形态有球状、杆状、螺旋状和丝状，分别称球菌、杆菌、螺旋菌和丝状菌（见图 1-1）。

（1）球菌 球菌按其分裂后细胞的排列方式不同，可分为单球菌、双球菌、四联球菌、八叠球菌、链球菌和葡萄球菌。

（2）杆菌 杆菌有单杆菌（分长杆菌和近似球形的短杆菌）、双杆菌和链杆菌。杆菌的两端或一端有平截状、圆弧状、分枝状或膨大呈棒槌状。

（3）螺旋菌 螺旋菌呈螺旋卷曲状。根据其弯曲程度不同可分成弧菌与螺菌，菌体弯曲呈弧形或逗号形称弧菌，而多次弯曲的称螺菌。

（4）丝状菌 在水生环境、潮湿土壤和污水生物处理中，常有一些丝状菌，它们是球衣

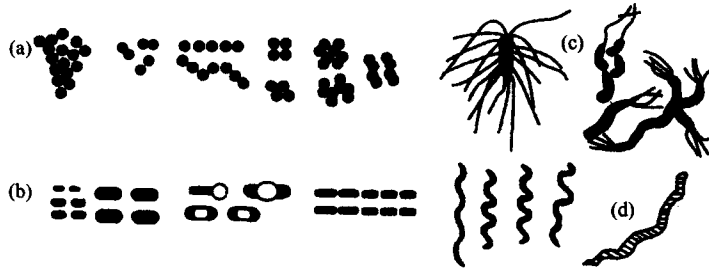


图 1-1 细菌的各种形态  
(a) 球菌; (b) 杆菌; (c) 弧菌; (d) 螺旋菌

菌、泉发菌（原铁细菌）、纤发菌、发硫菌、贝日阿托菌、亮发菌等 30 多种丝状菌。

除上述 4 种形态外，人们还发现了细胞呈星形和方形的细菌。

在正常生长条件下，不同种的细菌形态是相对稳定的。但如果培养时间、温度、pH 值以及培养基的组成与浓度等环境条件发生改变，均能引起细菌形态的改变。

2. 细菌的大小 细菌的大小常用微米( $\mu\text{m}$ )作为测量单位。 $1\mu\text{m} = 10^{-3}\text{mm}$ 。多数球菌的大小(直径)为  $0.5 \sim 2.0\mu\text{m}$ 。杆菌的大小(长 $\times$ 宽)为  $(0.5 \sim 1.0)\mu\text{m} \times (1 \sim 5)\mu\text{m}$ 。螺旋菌的大小(宽 $\times$ 长)为  $(0.25 \sim 1.7)\mu\text{m} \times (2 \sim 60)\mu\text{m}$ 。

细菌的大小与细菌固定和染色的方法以及培养时间等因素均有关。经干燥固定的菌体比活菌体的长度，一般要缩短  $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ ；若用衬托菌体的负染色法，其菌体往往大于普通染色法，甚至比活菌体还大。一般幼龄菌比成熟的或老龄菌大得多。例如，培养 4h 的枯草芽孢杆菌比培养 24h 的长 5~7 倍，但宽度变化不明显。

## (二) 细菌的细胞结构

细菌的细胞结构包括基本结构和特殊结构。基本结构包括细胞壁、细胞膜、细胞质及内含物、原核（拟核），为全部细菌所有。特殊结构是芽孢、荚膜、鞭毛等，为部分细菌所有。细菌细胞的模式结构见图 1-2。

1. 细胞壁 细胞壁是包围在细菌体表的一层坚韧略具弹性的薄膜，约占菌体干重的 10%~25%。

(1) 细胞壁与革兰染色 1884 年，丹麦病理学家 Christain Gram 创造了一种染色法，用该染色法可把细菌分成革兰阳性菌 ( $G^+$ ) 和革兰阴性菌 ( $G^-$ ) 两大类。这种染色法称为革兰染色法。染色要点如下：

细菌涂片  $\rightarrow$  草酸铵结晶紫初染  $\rightarrow$  鲁哥碘液媒染  $\rightarrow$  乙醇（或丙酮）脱色  $\rightarrow$  番红复染  $\rightarrow$  镜检  $\rightarrow$  菌体呈红色者为革兰阴性菌 ( $G^-$ )，菌体呈深紫色者为革兰阳性菌 ( $G^+$ )

(2)  $G^+$  和  $G^-$  菌细胞壁的结构和组成的区别 革兰染色法是细菌学中最常用、

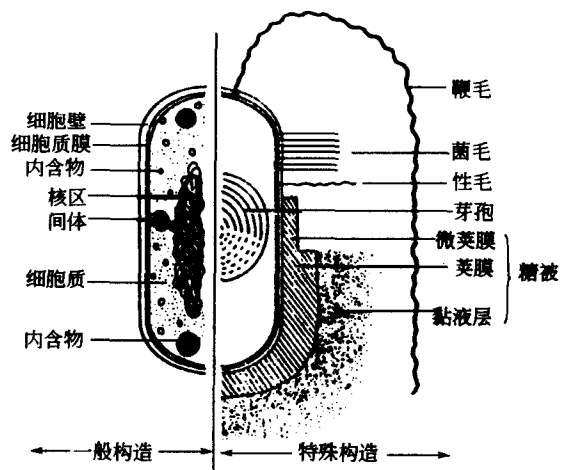


图 1-2 细菌细胞构造模式

最重要的染色法。经电子显微镜及化学分析发现，革兰阳性菌和革兰阴性菌在细胞壁的化学组成及结构上有显著差异（见表 1-1，图 1-3，图 1-4，图 1-5）。

表 1-1 革兰阳性菌(G<sup>+</sup>)和革兰阴性菌(G<sup>-</sup>)细胞壁化学组成及结构比较

细菌类群	壁厚度/nm	肽聚糖			磷壁酸	蛋白质	脂多糖	脂肪/%
		含量/%	层次	网格结构				
G <sup>+</sup>	20~80	40~90	单层	紧密	+	约 20%	-	1~4
G <sup>-</sup>	10	5~10	多层	疏松				

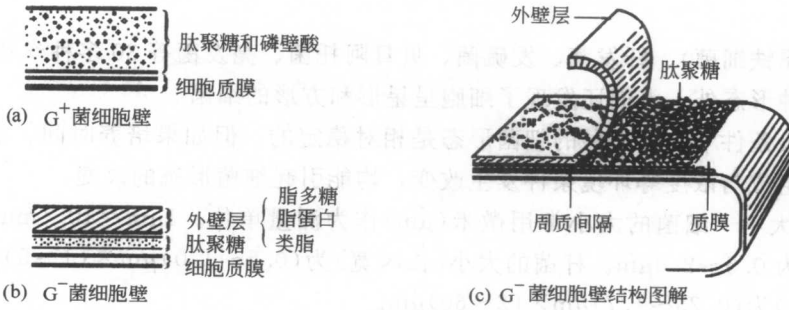


图 1-3 细菌细胞壁的结构

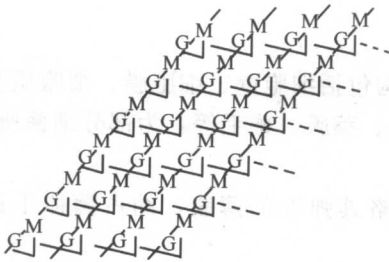


图 1-4 革兰阳性细菌肽聚糖结构（紧密网状）

G—N-乙酰葡萄糖胺；M—N-乙酰胞壁酸

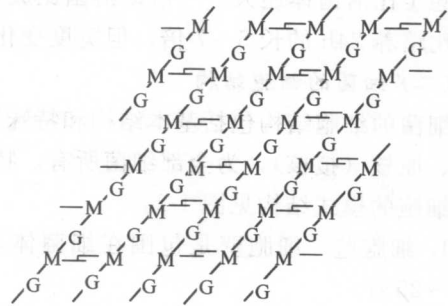


图 1-5 大肠杆菌肽聚糖亚单位的连接方式

G—N-乙酰葡萄糖胺；M—N-乙酰胞壁酸

(3) 革兰染色的机理 关于革兰染色的机理有许多学说，其中与细胞壁结构和组成有关的理论为较多的人所接受。在革兰染色过程中，细胞内形成了深紫色的结晶紫-碘的复合物，这种复合物可被酒精等脱色剂从革兰阴性细菌细胞内浸出，而阳性菌不易被浸出。这是由于阳性细菌细胞壁较厚，肽聚糖含量高且网格结构紧密，脂含量又低，当用酒精（或丙酮）脱色时，引起肽聚糖层脱水，使网状结构的孔径缩小，通透性降低，从而使结晶紫-碘的复合物不易被洗脱而保留在细胞内，使菌体仍呈深紫色。反之，革兰阴性菌因其细胞壁肽聚糖层薄而疏松，脂类含量高，当酒精脱色时，脂类物质溶解，细胞壁透性增大，使结晶紫-碘复合物较易被洗脱出来。所以，G<sup>-</sup>菌体呈复染液的红色。

(4) 细胞壁的主要功能 保护细胞并维持细胞形状等作用。

2. 细胞膜 又称细胞质膜或原生质膜。是外侧紧贴细胞壁，内侧包围细胞质的一层柔软而富有弹性的半透性薄膜，厚度一般为 7~8nm。细胞膜的主要功能是：①在物质运输中起重要作用；②调节细胞内外渗透压；③与能量产生有关（原核生物）。

细胞膜的主要成分是蛋白质（60%~70%）和磷脂（30%~40%）。细胞膜的基本结构见图 1-6 的液态镶嵌模型。

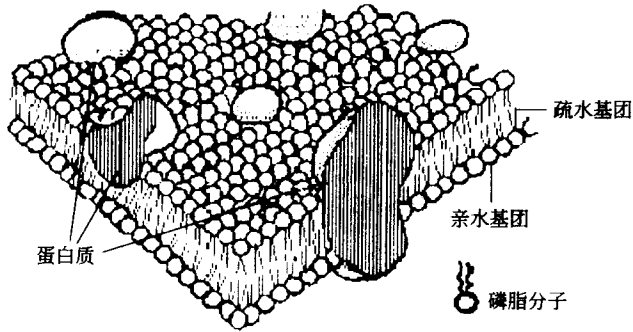


图 1-6 细胞膜结构

3. 细胞质及内含物 细胞质是细胞膜以内，核以外的无色透明、黏稠的复杂胶体，亦称原生质。其主要成分有蛋白质、核酸、多糖、脂类、无机盐和水。由于含有较多的核糖核酸（特别在幼龄和生长期含量更高），所以呈现较强的嗜碱性，易被碱性和中性染料染色。细菌通常在缺氮、碳源和能源过剩时可形成各种内含颗粒（见表 1-2）。

表 1-2 细胞质内含物

种类		举例	生理功能
核糖体		所有细菌	合成蛋白质的场所
内含颗粒	异染颗粒(多聚磷酸类)	分枝杆菌	营养缺乏时可作为磷源或硫源或碳源和能源利用
	聚 β-羟基丁酸	假单胞菌、产碱菌	
	硫粒	丝硫细菌、紫硫细菌等	
	淀粉粒	巴氏醋杆菌	
	肝糖粒	大肠杆菌、产气杆菌	

4. 原核（拟核） 细菌细胞核因无核仁和核膜，故称为原始核或拟核。它是由一条环状双链的 DNA 分子（脱氧核糖核酸）高度折叠缠绕而形成。以大肠杆菌为例，菌体长度仅 1~2μm，而它的 DNA 长度可达 1100μm，相当于菌体长度的 1 千倍。

原核携带着细菌的全部遗传信息，它的主要功能是决定遗传性状和传递遗传信息，是重要的遗传物质。

细菌质粒是原核之外的遗传因子，为小型环状 DNA。比较重要的质粒有：①致育因子（F 因子）与有性接合有关；②抗药性质粒（R 因子）与抗药性有关；③降解性质粒，能编码分解化学物质的酶。质粒既能自我复制、稳定地遗传，也可插入细菌染色体中；既可单独转移，也可携带细菌染色体片段一起转移。降解性质粒与环境保护关系密切，近年来已引起众多学者的重视与研究。

#### 5. 荚膜和衣鞘



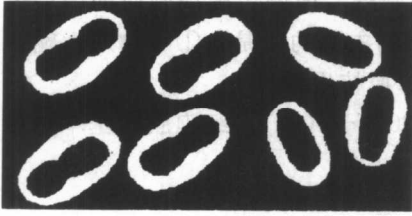


图 1-7 细菌荚膜

(1) 荚膜 荚膜是某些细菌在新陈代谢过程中形成的分泌于细胞壁外的黏液状物质(见图 1-7)。根据其覆盖细胞壁的厚度及形状的不同又可分成以下几种类型。

① 大荚膜或微荚膜具有一定外形, 相对稳定地附着在细胞壁表面, 厚约 200nm 的黏液性物质称大荚膜, 厚度小于 200nm 的称微荚膜。

② 黏液层。无明显边缘, 疏松地向周围环境扩散的黏液性物质, 称黏液层。

③ 菌胶团。由许多细菌(3 个以上)的荚膜物质或黏液层互相融合而成的胶状团块, 称菌胶团。菌胶团的形状有球形、椭圆形、蘑菇形、分枝状、垂丝状和不规则状(见图 1-8)。

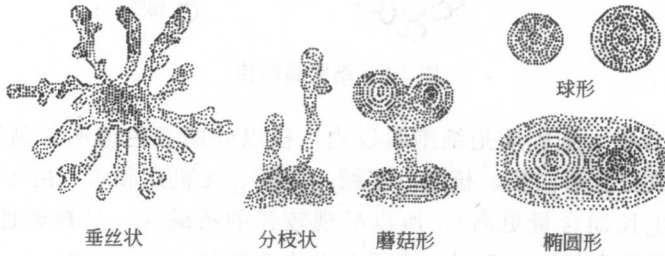


图 1-8 菌胶团的几种形态

荚膜的主要成分为多糖、多肽或蛋白质, 含水量在 90% 以上。荚膜的主要功能有: ① 保护作用, 可保护细菌免受干旱损伤, 对于致病菌来说, 则可保护它们免受宿主细胞的吞噬; ② 贮藏养料, 营养缺乏时可作为碳(或氮)源和能源被利用; ③ 具生物吸附和氧化分解作用, 特别是菌胶团具较强吸附和氧化分解有机物的作用。

(2) 衣鞘 丝状菌表面的黏液层或荚膜物质硬化, 形成一个透明坚韧的空壳, 称为衣鞘。具衣鞘的细菌又称鞘细菌(见图 1-9)。在水生环境中具衣鞘的丝状菌有球衣菌、纤发菌、发硫菌等。丝状菌在污水生物处理中有一定的净化作用, 但如果大量繁殖将导致污泥膨胀, 造成二次污染。

6. 芽孢 某些细菌生长到一定阶段, 在细胞内形成一个圆形或椭圆形、厚壁、含水量极低、抗逆性极强的休眠体, 称为芽孢。由于一个细胞仅形成一个芽孢, 故它无繁殖功能。

芽孢具极强的抗热、抗辐射、抗化学药物和抗静水压等特性。如一般细菌的营养细胞在 70~80℃ 时 10min 就死亡, 而在沸水中, 枯草芽孢杆菌的芽孢可存活 1h, 破伤风芽孢杆菌的芽孢可存活 3h, 肉毒梭菌的芽孢可忍受 6h。在 121℃ 条件下, 需 15~20min 才能杀死芽孢。

细菌的营养细胞在 5% 苯酚溶液中很快死亡, 芽孢却能存活 15d。芽孢抗紫外辐射的能力一般

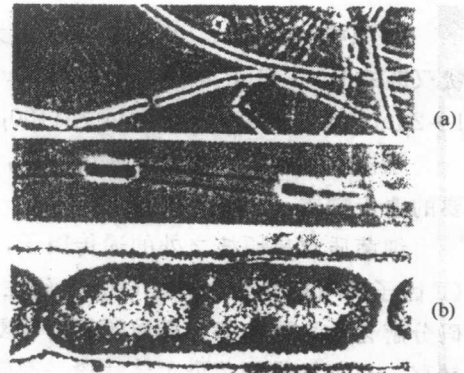


图 1-9 浮游球衣菌 (*Sphaerotilus natans*)

(a) 相差显微镜照片; (b) 透射电镜超薄切片