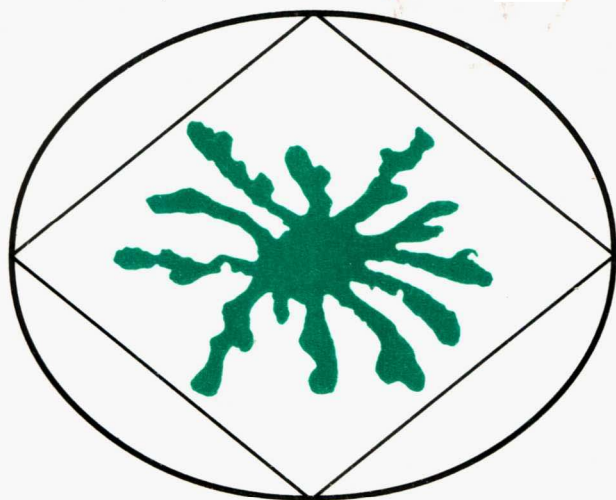


环境工程微生物学

原理及应用

PRINCIPLE AND APPLICATION OF
ENVIRONMENTAL ENGINEERING MICROBIOLOGY

王 周 于
国 少 鲁
惠 奇 冀 编著



中国建材工业出版社

环境工程微生物学原理及应用

主 编 王国惠

副主编 周少奇 于鲁冀

中国建材工业出版社

内容提要

本书主要介绍了环境工程微生物的概念;主要的微生物类群;微生物的营养与代谢;微生物的生长与繁殖;微生物生态;微生物的遗传与变异;微生物在自然界物质循环中的作用;微生物对环境污染物的降解与转化;环境微生物污染检测及控制;微生物及现代环境生物工程新技术在环境工程中的应用;环境工程微生物实验技术等。本书可作为环境科学、环境工程、给水排水、环境监测等专业的教学用书,也可供从事环境保护工作的科学技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

环境工程微生物学原理及应用/王国惠等编著. —北京:中国建材工业出版社, 1998. 8

ISBN 7—80090—780—5

I. 环… II. 王… III. 环境科学:微生物学 IV. X172

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 22066 号

环境工程微生物学原理及应用

王国惠 周少奇 于鲁冀 编著

责任编辑 高峰 版式设计 毛红

*

中国建材工业出版社出版(北京海淀区三里河路 11 号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

河南省毕升印刷制品有限公司印装

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:17 字数:420 千字

1998 年 8 月第 1 版 1998 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:28.8 元

ISBN 7—80090—780—5/Q·1

前 言

本书是根据教育部最新制定的关于高等院校本科专业基础课程的基本要求编写的。

本书分为理论与实验两部分。理论部分中对环境工程微生物学的一些基本概念、基本理论、微生物在受污染环境中的作用及废(污)水、固体废弃物生物处理原理等作了比较系统地阐述,同时还介绍了一些环境生物工程新技术;实验部分主要包括环境工程微生物的一些基本操作技术。通过本课程的学习,可使学生掌握有关环境工程微生物学的基本知识与实验技能,为专业课的学习打下良好的基础。

本书可作为环境科学、环境工程、给水排水、环境监测等专业的教材,可供从事环境保护工作的科技人员参考。根据不同专业的需要,某些章节内容用※号标注,以供取舍。课堂讲授内容可安排50学时~60学时,建议实验学时不低于课堂学时的15%。

本书由王国惠、周少奇、于鲁冀共同编著。王国惠担任主编,执笔第一章、第二章、第六章第一、二节、第七章第一、二、三、四节、第八章第一、二节、第十章及实验部分并负责全书的组织与统稿工作;周少奇、于鲁冀任副主编,周少奇编写第五章、第六章第三、四节、第七章第五节、第九章、第十一章;于鲁冀编写绪论、第三章、第四章、第八章第三节。

在编写过程中,得到了华北水利水电学院领导及环境工程系领导的关怀与支持,同时也得到了郑州工业大学、华南理工大学领导及其他同志的协作与支持,承蒙李毅先生、王辉先生审校,提出了许多宝贵意见;毛红、冯文宏、苗芸同志分别承担全书的校对及绘图工作,在此一并致谢!

限于编者水平,书中缺点和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1998年6月于郑州

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 微生物概述	(1)
一、微生物的概念	(1)
二、微生物在生物界的分类地位	(1)
三、微生物的分类与命名	(1)
四、微生物的特点	(2)
第二节 环境工程微生物学的内容与任务	(2)
一、环境工程微生物学的概念	(2)
二、环境工程微生物学的研究对象和任务	(2)
习题	(3)
第二章 微生物类群	(4)
第一节 原核微生物	(4)
一、细菌	(4)
二、放线菌	(12)
三、蓝细菌	(15)
※四、其它原核微生物	(16)
第二节 真核微生物	(18)
一、真菌	(18)
二、藻类	(24)
三、原生动物	(28)
四、微型后生动物	(32)
第三节 超显微非细胞型生物—病毒(噬菌体)	(33)
一、病毒的大小、形态和结构	(34)
二、病毒的繁殖	(35)
三、病毒的分类	(35)
四、噬菌体	(35)
习题	(38)
第三章 微生物的营养	(39)
第一节 微生物细胞的化学组成	(39)
第二节 营养物质及其生理作用	(39)
一、碳源物质	(39)
二、氮源物质	(40)
三、无机盐	(40)
四、水	(41)
五、生长素	(41)

第三节 微生物的营养类型	(41)
一、光能自养型	(41)
二、光能异养型	(41)
三、化能自养型	(42)
四、化能异养型	(42)
五、兼性营养型	(42)
第四节 微生物的培养基	(42)
一、培养基及其配制原则	(42)
二、培养基的类型及应用	(42)
第五节 营养物质的运输	(43)
一、单纯扩散	(44)
二、促进扩散	(44)
三、主动运输	(44)
四、基团转位	(44)
习题	(44)
 第四章 微生物的代谢	(46)
第一节 微生物的酶	(46)
一、酶的生物学意义	(46)
二、酶的化学本质	(46)
三、酶的分子组成	(46)
四、酶的命名和分类	(46)
五、酶促反应的特点	(48)
六、酶蛋白的结构与功能	(49)
七、酶促反应动力学	(50)
第二节 微生物的呼吸作用与产能代谢	(55)
一、微生物的呼吸作用	(55)
二、呼吸作用与产能代谢的关系	(55)
三、呼吸类型	(56)
习题	(63)
 第五章 微生物的生长、繁殖、衰减与死亡	(64)
第一节 微生物纯培养物的生长	(64)
一、纯培养物的分离	(64)
二、微生物生长的测定	(64)
三、微生物群体的生长规律	(66)
四、细菌生长曲线对废水生物处理构筑物运行的控制作用	(67)
第二节 环境因素对微生物生长的影响	(68)
一、物理因素的影响	(68)
二、化学因素的影响	(74)
※三、抗生素的影响	(78)
第三节 微生物的衰减与死亡	(79)

一、微生物的能量需求与能量利用	(79)
二、微生物的死亡与死亡率	(80)
三、微生物的衰减与衰减率	(81)
四、考虑微生物衰减与死亡的重要性	(83)
习题	(83)
第六章 微生物的遗传与变异	(84)
第一节 遗传变异的物质基础	(84)
一、DNA 是遗传物质的直接证据	(84)
二、DNA 的化学组成	(85)
三、DNA 的分子结构	(85)
四、DNA 的复制	(86)
五、遗传物质在细胞中的存在形式	(87)
六、遗传信息的传递	(88)
七、蛋白质的合成	(88)
第二节 微生物的变异	(89)
一、变异特征	(89)
二、变异机理	(89)
第三节 环境工程中菌种的选育	(92)
一、定向培育(驯化)	(92)
※二、诱变育种	(93)
第四节 菌种的衰退、复壮与保藏	(95)
一、菌种的衰退与复壮	(96)
二、菌种的保藏	(96)
习题	(97)
第七章 微生物的生态	(98)
第一节 生态学与微生物生态学	(98)
一、生态学的基本概念	(98)
二、生态系统	(98)
三、生态平衡	(99)
四、微生物生态学的基本概念	(99)
五、微生物生态学的任务	(99)
第二节 自然环境中的微生物	(99)
一、土壤微生物	(99)
二、水中的微生物	(101)
三、空气中的微生物	(103)
第三节 微生物间的相互关系	(103)
一、互生关系	(103)
二、共生关系	(104)
三、寄生关系	(104)
四、拮抗关系	(104)
第四节 微生物在自然界物质循环中的作用	(105)

一、碳素循环	(105)
二、氮素循环	(111)
三、硫素循环	(116)
四、磷素循环	(118)
五、铁循环	(119)
六、氧循环	(120)
第五节 反应器生态系统与反应器生态系统动力学	(120)
一、好氧处理法活性污泥和生物膜的微生物群落	(121)
二、厌氧处理法活性污泥和生物膜的微生物群落	(124)
三、反应器生态系统的动力学行为简论	(126)
习题	(127)
 第八章 微生物对环境污染物的降解与转化	(128)
第一节 微生物对环境污染物的降解能力及影响因素	(128)
一、微生物对环境污染物的适应能力及巨大的降解潜力	(128)
二、微生物降解污染物的影响因素	(129)
第二节 微生物对污染物的降解	(130)
一、无毒污染物的降解	(130)
二、有毒有机污染物的降解	(130)
三、微生物对重金属的转化	(135)
※第三节 有机物可生化性测定方法简介	(138)
一、Warburg 呼吸器测压法	(138)
二、ATP(腺苷三磷酸)的测定	(139)
三、脱氢酶活性的测定	(140)
四、BOD ₅ /COD 值的测定	(140)
五、总有机碳(Total Organic Carbon, TOC)的测定	(140)
六、摇床(振荡)培养测定法	(141)
习题	(141)
 第九章 环境微生物污染、检测及控制	(142)
第一节 空气微生物污染、检测与控制	(142)
一、空气微生物的传播	(142)
二、空气微生物的检测	(143)
三、空气微生物污染的控制	(143)
第二节 水微生物污染、检测及控制	(144)
一、水微生物的污染	(144)
二、水微生物的检测	(144)
三、水的消毒	(147)
第三节 水体的富营养化	(150)
一、富营养化的概念	(150)
二、造成水体富营养化的原因	(150)
三、水体营养类型的划分	(150)
四、水体富营养化造成的危害	(150)

五、富营养化的控制	(151)
习题	(151)
第十章 微生物在废水处理中的应用	(152)
第一节 水体的自净	(152)
一、水体的自净	(152)
二、评价水体自净的指标	(153)
第二节 废水生物处理概述	(154)
一、好氧生物处理	(154)
二、厌氧生物处理	(155)
第三节 活性污泥法	(155)
一、活性污泥法的工艺过程	(156)
二、活性污泥及其生物组成	(156)
三、活性污泥的增长规律	(156)
四、活性污泥的净化原理	(156)
五、活性污泥法的影响因素	(157)
六、污泥膨胀	(157)
七、活性污泥的培养与驯化	(158)
八、剩余污泥的处理	(158)
第四节 生物膜法	(158)
一、生物膜的形成及微生物组成	(159)
二、生物膜的净化机理	(159)
三、生物膜法的主要类型	(160)
四、生物膜的应用效果	(162)
第五节 氧化塘法	(162)
一、氧化塘净化原理	(162)
二、氧化塘的类型	(162)
三、氧化塘的应用效果	(163)
第六节 厌氧生物处理法	(163)
一、厌氧消化原理	(164)
二、厌氧消化条件	(165)
三、厌氧生物处理类型	(165)
第七节 土壤灌溉法	(166)
一、土壤灌溉法的净化机理	(166)
二、土壤灌溉法对水质的要求	(166)
第八节 污水微生物脱氮、脱磷	(166)
一、藻类脱磷、脱氮法	(166)
二、反硝化脱氮法	(167)
第九节 现代生物工程新技术在废水处理中的应用	(167)
一、利用光合细菌处理高浓度有机废水	(167)
二、基因工程在废水净化中的应用	(168)
三、固定化酶和固定化细胞技术在废水处理中的应用	(171)
四、微生物絮凝剂在废水处理中的应用	(172)

五、废液发酵生产单细胞蛋白	(174)
习题	(175)
第十一章 微生物在固体废弃物处理中的应用	(177)
第一节 固体废弃物处理工程概述	(177)
一、固体废弃物的分类与成分	(177)
二、固体废弃物的处理方法与原则	(179)
三、固体废弃物的生物处理与转化方法简介	(180)
第二节 垃圾填埋处理的微生物学原理与应用	(180)
一、垃圾填埋及其特点	(180)
二、垃圾填埋的基本原理—微生物作用原理	(181)
三、垃圾填埋场渗漏水的生物处理	(182)
四、垃圾填埋处理与微生物反应有关的处理设施	(183)
第三节 垃圾堆肥化处理的微生物学原理与应用	(185)
一、堆肥化及其特点	(185)
二、堆肥化的微生物作用原理	(186)
三、堆肥成品的品质	(189)
四、堆肥化的主要发酵设备	(190)
习题	(193)
环境工程微生物学实验	(194)
实验须知	(194)
环境工程微生物实验室常用的器材及其洗涤、制作与包装	(194)
实验一 光学显微镜的操作、细菌形态及特殊结构的观察	(197)
实验二 放线菌、真菌、藻类及原生动动物形态的观察	(201)
实验三 显微镜微生物计数法	(202)
实验四 微生物的染色	(204)
实验五 培养基的制备和灭菌	(206)
实验六 细菌纯种的分离及接种技术	(208)
实验七 微生物纯种菌落及个体形态的观察	(211)
实验八 水中细菌总数的测定	(212)
实验九 大肠菌群数的测定——多管发酵法	(214)
实验十 大肠菌群数的测定——滤膜法	(218)
实验十一 大肠菌群生长曲线的测定	(220)
实验十二 细菌淀粉酶的定性测定	(221)
※实验十三 污染物降解菌的驯化与筛选	(223)
※活性污泥的调制与驯化	(224)
附录一 教学用染色液的配制	(226)
附录二 特殊结构的染色方法	(229)
附录三 教学用培养基的配制	(230)
附录四 环境工程中用于分离某些特殊污染物降解菌的培养基	(235)
附录五 细菌的分类系统	(237)

第一章 绪 论

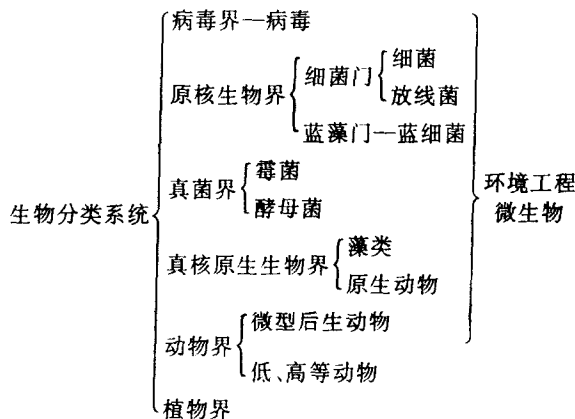
第一节 微生物概述

一、微生物的概念

所谓微生物是指生物界那些个体微小、结构简单、必须借助于显微镜才能看到的一群低等的微小生物。微生物类群较为繁杂,主要包括原核细胞(细菌、放线菌、蓝细菌、立克次氏体、衣原体、支原体等),真核细胞(霉菌、酵母菌、藻类、原生动物等)以及非细胞结构的病毒等。微生物包括的种类虽然很多,但它们都是简单的低等的生命体,其生活习性、繁殖方式、形态特征等生物学特性都比较接近,特别是对它们的研究方法及应用方面极为相似,因而将其统归为一类生物加以研究。

二、微生物在生物界的分类地位

生物学发展的初期,人们依据生物有无细胞壁、可否运动、可否进行光合作用而将其分成动物界和植物界两大类。随着生物技术的发展,对生物细胞细微结构的认识不断深入,改变了原来简单的分类原则,我国学者提出了生物的六界分类系统,即病毒界、原核生物界、真菌界、真核原生生物界、动物界、植物界。据此,微生物分属于病毒界、原核生物界、真核原生生物界和真菌界。环境工程中的微生物在生物学分类中的地位如下表:



三、微生物的分类与命名

1. 微生物的分类

生物经历了一个从无到有、从单一到多样化、从低级到高级的演变过程,生物本身是历史发展的产物。因此,生物的分类,就是按照生物的亲缘关系将它们分群归类,即按照一定的原则,把类似的生物归拢在一起,形成大小不同的群,并赋予各群适当的名称,再将这些不同的群按一定的顺序有规则地排列起来构成一个系统。

微生物的分类与高等生物一样,把各种微生物按照它们的亲缘关系分群归类、命名并编成系统,从小到大,按界、门、纲、目、科、属、种等分类。“种”是生物学中基本的分类单位,种的集

合为“属”,属的集合为“科”,科的集合为“目”,目的集合为“纲”,纲的集合为“门”,门的集合为“界”。

2. 微生物的命名

微生物的命名采用生物学中的林奈氏“二名法”,即每种微生物的学名由属名和种名组成,属名在前,种名在后。属名用拉丁文名词表示,并且第一个字母要大写;种名用拉丁文形容词表示,第一个字母要小写。如金黄色葡萄球菌的名称为 *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus* 是一个名词,意思是葡萄球菌;*aureus* 是一个形容词,意思是金黄色的。为了避免名称之间发生混淆,往往在正式名称后附上命名人的姓。例如,金黄色葡萄球菌的全称是 *Staphylococcus aureus* Rosenbach,说明该菌是由 Rosenbach 命名的。若只有属名而无种名或只表示某一属的微生物,可在属名后加 sp 或 spp(英文种—species 的缩写,sp 表示单数,spp 表示复数)。

四、微生物的特点

1. 种类繁多

微生物形态各异,对营养物的要求各不相同。因此,自然界中存在着多种多样的微生物。目前,已发现的微生物的种类有 10 万种以上,微生物资源极其丰富,我们应尽力开发并加以利用。

2. 分布广泛

地球上每一个角落几乎都有微生物的存在。空气、水、土壤、人和动物的体表、体内,都能找到微生物,甚至有些微生物可以在极端环境条件下生存,从寒冷的南极到滚烫的热泉都有微生物的踪迹。所以,在开发微生物资源时,取得目的菌种是相当方便的。

3. 繁殖快

微生物有别于其它生物的一个更为突出的特点是它们以惊人的速度进行繁殖。多数微生物几十分钟繁殖一代,条件适宜,一天内可繁殖几十代,个体可达数亿个。因此,在短时间内可得到大量的菌体。

4. 易变异

由于微生物繁殖速度很快,所以在传代过程中易发生性状的改变。另外,微生物结构简单,细胞直接与外界接触,易受环境因素的影响,故微生物极易发生变异。利用这个特点采取一定的方法可以得到优良菌种。

在环境工程中,我们正是利用微生物的以上特点达到消除污染改善环境的目的。

第二节 环境工程微生物学的内容与任务

一、环境工程微生物学的概念

环境工程微生物学是一门在对微生物进行一般性研究的基础上,着重研究自然环境和污染环境中微生物的特点、作用规律及微生物在环境工程中应用的学科。

二、环境工程微生物学的研究对象和任务

环境工程微生物学研究的对象与一般微生物学研究的对象基本相同,所不同的是它包括了动物界的微型后生动物。

环境工程微生物学的任务就是研究自然环境中微生物对不同物质转化的作用与机理,进而考察其对环境质量的影响;研究微生物对污染物质的降解与转化,修复、改善环境的作用和规律。由于微生物代谢类型的多样性,对各种污染物能较快的适应,故可使其得到降解与转

化。只要能找到合适的微生物,提供适宜的条件,几乎全部有机污染物均可被微生物降解成无机物。

利用微生物开展废水及有机固体废弃物的处理已确立了比较成熟的方法,例如活性污泥法、生物膜法、厌氧消化法等。近年来,对现代生物工程技术在废水处理中的应用研究日趋活跃,如单一或混合微生物菌种的分离、筛选,以期使处理效果得以改善和提高;生化工程新技术(如固定化细胞或固相酶)的应用,可以将某些生物处理构筑物取而代之;运用分子生物学、分子遗传学的新理论、新方法,通过遗传工程的手段构建新的高效微生物菌株,可用于降解某些特殊的、顽固的污染物等。因此,这些新方法、新技术的应用研究必将给环境治理工程带来美好的前景。

人类生活与生产过程中排出的大量废物中夹杂有大量的病原微生物,在一定条件下造成空气、水体等环境严重污染,甚至引起疾病流行。另外,有些细菌,象铁细菌、硫细菌能引起混凝土管道和金属管道的腐蚀;有些藻类可引起湖泊“水华”现象等。因此环境工程微生物学研究微生物对于环境的污染与破坏,从而引起环境质量下降的作用与规律。

利用微生物作为环境监测的指标和手段是环境工程微生物学的另一任务,如细菌总数的测定、大肠菌群的测定等。

环境工程微生物学是环境工程专业的一门专业基础课。通过这门课的学习,可为环境工程及相关专业的学生打下牢固的微生物学理论基础。因此,本课程既简要地介绍各类主要微生物的形态、结构、分类、生理、生态及遗传变异等微生物的共同特性,同时还要讨论与环境工程有关的微生物的生长规律及代谢机理;从生态学角度探讨微生物在自然界的分布情况,为寻找降解某些污染物的菌种提供理论依据;在了解微生物学原理的基础上研究微生物在环境工程中的应用。

习 题

1. 什么叫做微生物? 微生物分属于哪些生物?
2. 微生物是如何进行分类的? 其基本分类单位是什么?
3. 请谈一下微生物的命名方法。
4. 环境工程微生物学的任务是什么?

第二章 微生物类群

自然环境中微生物的种类很多,根据微生物有无细胞器的分化、细胞中是否形成核膜及有无完整的细胞等,将微生物粗略地划分为原核微生物、真核微生物和病毒三类。

第一节 原核微生物

原核微生物细胞不具有核膜,亦无核仁,核物质裸露,不进行有丝分裂,无分化的特异的细胞器(如线粒体、叶绿体、中心体、内质网、高尔基体等)。主要包括细菌、放线菌、蓝细菌,还有立克次氏体、衣原体、支原体、螺旋体、粘细菌、鞘细菌等。

一、细菌

(一)细菌的形态和大小

1. 细菌的形态

细菌为单细胞生物,其基本形态有球状、杆状、螺旋状三种,分别称之为球菌、杆菌、螺旋菌(包括弧菌)。但当环境条件改变时同一菌种形态亦会发生改变。

(1)球菌 球菌根据其分裂后子细胞的排列方式又可分为六种:小球菌(*Micrococcus*)、双球菌(*Diplococcus*)、四联球菌(*Micrococcus tetragenus*)、八叠球菌(*Sarcina*)、链球菌(*Streptococcus*)、葡萄球菌(*Staphylococcus*)(图 2-1)。

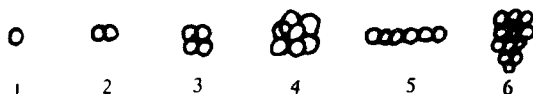


图 2-1 球菌的排列

1. 小球菌; 2. 双球菌; 3. 四链球菌; 4. 八叠球菌; 5. 链球菌; 6. 葡萄球菌

(2)杆菌 杆菌的形状有很大差别,有的很短近似球菌,这类细菌称为短杆菌。长杆菌一般呈圆柱状,有的细长呈丝状。杆菌的排列方式不同,有的单独存在为单杆菌,有的呈“八字”形排列,有的呈双杆状,有的呈链状,有的呈栅栏状(图 2-2)。

(3)螺旋菌 菌体呈弯曲状态的细菌称为螺旋菌。根据弯曲程度又分为弧菌和螺旋菌。弧菌弯曲不足一圈,形如字母“C”;螺旋菌的菌体超过一周回转呈螺旋状(图 2-3)。

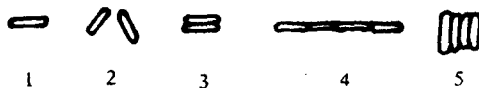


图 2-2 杆状菌的基本排列方式

1. 单杆状; 2. “八字”型; 3. 双杆状; 4. 链杆状; 5. 栅栏状

2. 细菌的大小

细菌的大小随种类不同差异很大,有的近似于病毒,有的几乎肉眼可见,但大多数细菌介于这两者之间,必须借助于显微镜方能看清。

测量细菌大小的单位用微米(μm)。球菌的大小用直径来表示,其直径一般为 $0.5\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ 。杆菌的大小用宽度和长度来表示,其宽度与球菌直径相近,长度为宽度的一倍至几倍,一般为 $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ 。螺旋菌的大小也用宽度和长度来表示,但其长度不是它的真正长度(螺旋的直径 $\times$ 圈数),而是菌体两端点间的距离。螺旋菌的宽度一般为 $0.3\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$,长度为 $1\mu\text{m} \sim 50\mu\text{m}$ 。

细菌大小随环境因素的改变而变化,如幼龄细菌比老龄细菌大得多。另外,我们用测微计测量到的细菌的大小比活菌体要小近乎 $1/4 \sim 1/3$ 。这是由于在固定和染色过程中,细菌体积缩小的缘故。不同细菌的大小的比较见表 2-1。

表 2-1 不同细菌大小的比较

形 态	代表菌	直径或宽度(μm)	长 度(μm)
球菌	金黄色葡萄球菌(<i>Staphylococcus aureus</i>)	0.8~1.0	
杆菌	大肠杆菌(<i>Escherichia coli</i>)	0.4~1.0	1.0~5.0
螺旋菌	霍乱弧菌(<i>Vibrio cholerae</i>)	0.3~1.0	1.0~2.0

(二)细菌的细胞结构

细菌的细胞结构可分为两部分:基本结构和特殊结构。基本结构是所有细菌细胞所共有的结构,如细胞壁、细胞膜、细胞质、核糖体等。特殊结构只在某些细菌中出现,如荚膜、鞭毛、芽孢等。细菌的细胞结构见图 2-4。

1. 基本结构

(1)细胞壁 细胞壁(cell wall)位于细胞的最外层,内贴细胞膜,是细胞的一个主要结构,其特点是坚韧而略带弹性。细菌细胞壁的主要化学成分为肽聚糖,这也是原核生物所特有的成分。肽聚糖是一个大分子复合体,由若干个 N-乙酰葡萄糖胺和 N-乙酰胞壁酸构成的骨架和一个小肽链组成的亚单位聚合而成。

1884 年丹麦医师 Gram 通过染色技术将几乎所有的细菌(支原体除外)分成革兰氏染色阳性细菌(G^+)和革兰氏染色阴性细菌(G^-)两大类。研究发现这两类细菌细胞壁的结构和化学成分有显著的差异。 G^+ 细菌的细胞壁较厚,约 $20\text{nm} \sim 80\text{nm}$,只有一层,主要成分是肽聚糖,还有磷壁酸和少量的蛋白质和脂肪。 G^- 细菌的细胞壁比较薄,约 10nm ,但其组成和结构都比较复杂,分为内壁层和外壁层。内壁层紧贴细胞膜,由肽聚糖组成。外壁层位于肽聚糖层的外部,进一步分为外、中、内三层。外层为脂多糖,中层为磷脂层,内层为脂蛋白层。由此可见, G^- 细菌细胞壁肽聚糖含量低,脂类含

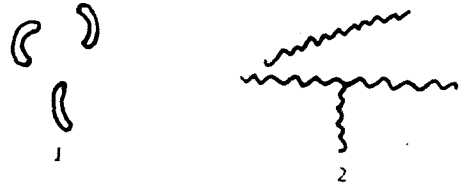


图 2-3 螺旋菌的形态

1. 弧菌; 2. 螺旋菌

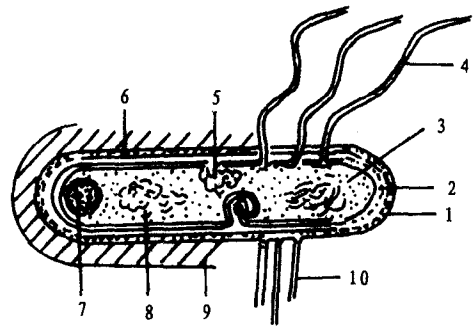


图 2-4 细菌细胞结构模式图

1. 细胞壁; 2. 细胞膜; 3. 细胞质; 4. 鞭毛; 5. 中质体;
6. 粘液层; 7. 异染粒; 8. 核 质; 9. 荚膜; 10. 纤 毛

量高。

关于革兰氏染色阳性细菌和革兰氏染色阴性细菌细胞壁结构与组成的比较见表 2-2。

细胞壁的主要功能是保持菌体具有一定的形态,保护细胞内部结构并防止发生破裂。细胞壁中化学成分纵横交错,形成网状结构,使细胞壁具有多孔性,故其有一定的屏障作用,只允许水和某些较小的分子通过,而对大分子物质起阻拦作用。另外,有鞭毛的细菌失去细胞壁后,鞭毛不能运动,这可能是由于细胞壁可为鞭毛提供运动支点。

表 2-2 革兰氏染色阳性细菌和革兰氏染色阴性细菌细胞壁结构与组成的比较

特 征	G ⁺ 细菌细胞壁	G ⁻ 细菌细胞壁
厚度(nm)	20 ~ 80	10
层数	单层	多层
肽聚糖含量	高(40% ~ 90%)	低(5% ~ 10%)
脂肪	低(1% ~ 4%)	高(11% ~ 22%)
磷壁酸	有	无
脂多糖	无	有
脂蛋白	无	有
蛋白质	有	有(在外壁)
对青霉素的敏感性	高	低
对物理因素破坏的抗性	强	弱

(2)细胞膜(cell membrane) 细胞膜是位于细胞壁和细胞质之间的一层柔软而富有弹性的半透性薄膜,又称为原生质膜(plasma membrane)。用电子显微镜观察,能明显地看到细胞膜有三层结构。内外两层是致密层,较暗,厚约 2nm ~ 4nm;中间层是透明层,厚约 4nm。细胞膜约占细胞干重的 10%,其主要成分为蛋白质(约 60%)、脂类(约 38%),还有少量的糖蛋白和糖脂(约 2%)。细胞膜的基本结构为磷脂双分子层。磷脂是两性分子,在水溶液中易相互平行,定向排列,亲水的极性基朝向双分子层的内外表面,疏水的非极性基排在膜内,即形成了膜的基本结构。在双分子层中镶嵌着多种蛋白质,有的蛋白质分布在膜的内表面和外表面,有的插入或穿过双分子层,有的蛋白质分子常发生移动。膜中繁多的蛋白质多为具有特殊作用的酶类和载体蛋白。细胞膜的结构见图 2-5。

细胞膜具有多种功能,大致可归纳为以下三个方面:

①选择透性和营养物质的转运 细胞膜是一层具有高度选择透性的半透膜,具有调节控制细胞膜内外物质的交换和渗透作用。这种作用通过两种方式实现:一是被动扩散,即物质由高浓度通过细胞膜向低浓度扩散;二是物质诱导膜上的透性酶作为转运系统传递,逆着浓度梯度完成物质的吸收和排泄。

②参与呼吸作用 在细胞膜上分布着组成呼吸链的脱氢酶、氧化酶等。因此,细胞膜参与了细菌的呼吸作用。

③合成作用 由于细胞膜上有细胞壁大分子物质、荚膜物质合成所需要的各种酶,所以细胞膜也参与细胞壁、荚膜的生物合成。

另外,细菌细胞的超薄切片用电镜观察,可见一个或多个不规则的由细胞膜内陷所形成的管状、层状和囊状物,称为中质体。中质体多见于 G⁺ 细菌,其功能尚不完全清楚。由于发现其上有细胞色素的存在,故推测其作用可能相当于真核生物的线粒体。也有人认为中质体可能与细胞壁的合成、细菌的分裂、染色质的复制、芽孢的形成等有关。

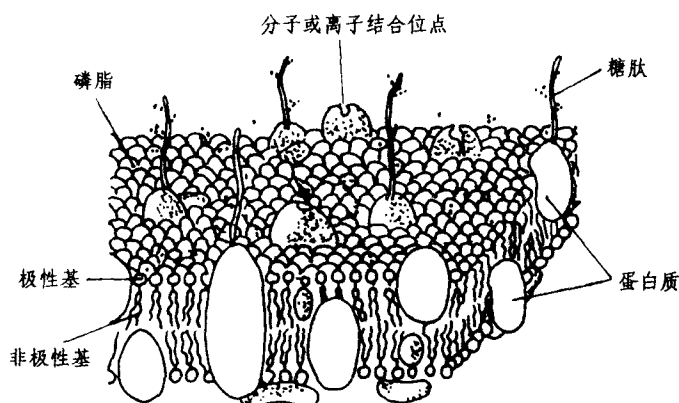


图 2-5 细胞膜的结构

(3)细胞质 细胞质是细胞膜和核之间的一类无色透明的胶状物,其主要成分是水、蛋白质、核酸、脂类、少量的糖类和无机盐。细胞质是细菌的内在环境,含有多种酶系,是细菌新陈代谢的重要场所。

(4)核体(核物质) 细菌的细胞核无核膜和核仁,无固定的形态。因此,称为核体或拟核。它相当于高等生物细胞核的功能,一般位于细胞的中央部分,呈球形、亚铃形、卵圆形或带状。

核体的主要成分是脱氧核糖核酸(DNA),电镜下观察到的核体为双链的丝状结构,这是由连续的环状DNA分子折叠缠绕而成,长度可达1.1mm~1.4mm,是一般菌体的一千倍。核体在细菌的遗传变异中发挥着重要的作用。

(5)内含物 在细菌细胞质里常含有各种不同的内含物,主要有颗粒状的核糖体,还有细胞的贮藏物质或代谢产物:

①核糖体(ribosome) 核糖体是细胞内合成蛋白质的场所,其主要成分为核糖核酸(65%)和蛋白质(35%)。核糖体由一个大亚基和一个小亚基组成。原核生物核糖体的大亚基为50S(S为沉降系数),小亚基为30S;核糖体常以游离状态或多聚核糖体状态分布于细胞质中。真核生物核糖体的大亚基为60S,小亚基为40S。核糖体既可游离于细胞质中,又可结合在内质网上。

②异染颗粒(metachromatic granule) 其主要成分是多聚偏磷酸盐,对碱性染料和中性染料的亲和力较强,用甲苯胺蓝或亚甲蓝等蓝色染料染色时,不呈蓝色而呈紫红色。异染颗粒大多是细菌的贮藏物质,可作为磷源和能源,但不是细菌所必需的或恒定成分,通常随细胞的生长而增多。

③聚 β -羟基丁酸(poly- β -hydroxybutyric acid)颗粒 这是细菌所特有的一种颗粒,它可作为碳源和能源的贮藏物,可用苏丹黑染色。

④肝糖(glycogen)粒和淀粉粒 这两种颗粒可作为细菌的能量贮备。淀粉粒、肝糖粒都可用碘液染色,分别呈蓝色和红色。

⑤硫粒(sulfur granule) 当环境中硫化氢存在时,贝氏硫细菌、发硫细菌等将硫化氢氧化为硫粒积累于体内。当硫化氢缺乏时,硫粒又作为能量来源被细菌重新利用。

⑥气泡 湖水和海水中,某些光合细菌、蓝细菌含有气泡,其功能相当于鱼的鳔,充满空气,增加菌体的浮力,使之浮于水面。