

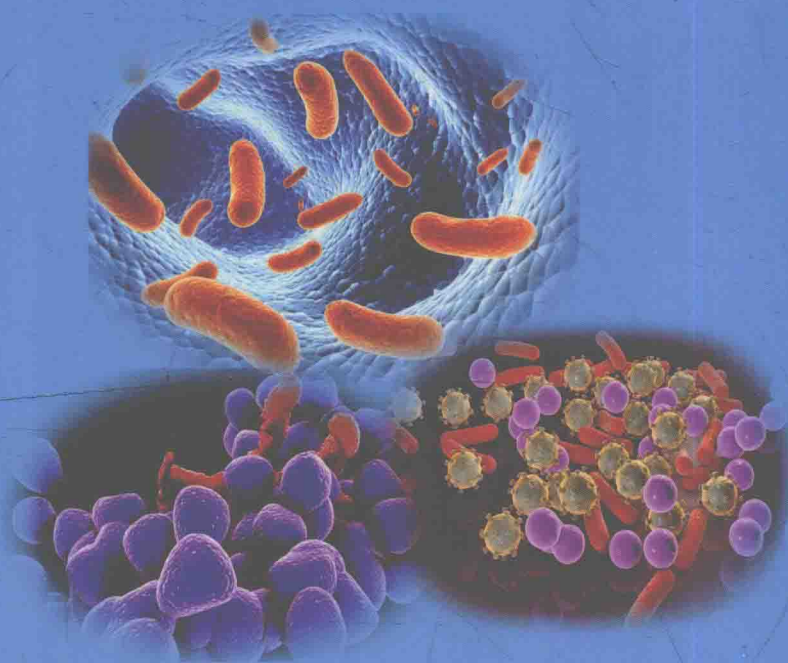


普通高等教育“十三五”国家级规划教材

# 食品微生物学

SHIPIN WEISHENGWUXUE

胡永金 刘高强 主编



中南大学出版社  
[www.csupress.com.cn](http://www.csupress.com.cn)

普通高等教育“十三五”国家级规划教材

# 食品微生物学

主 编 胡永金 云南农业大学  
刘高强 中南林业科技大学

副主编 (按姓氏笔画排序)

李 静 青岛农业大学  
李凌飞 云南农业大学  
肖作为 湖南中医药大学  
邹 娟 怀化学院  
胡建平 西昌学院  
徐金瑞 广东药科大学  
焦凌霞 河南科技学院

编 委 (按姓氏笔画排序)

付晓萍 云南农业大学  
闫训友 廊坊师范学院  
李迎秋 山东轻工业大学  
李世俊 云南农业大学  
张雪娇 湖南人文科技学院  
杨 波 海南热带海洋学院  
韩小龙 济宁学院

主 审 江汉湖 南京农业大学



中南大学出版社

[www.csupress.com.cn](http://www.csupress.com.cn)

---

图书在版编目 ( C I P ) 数据

食品微生物学 / 胡永金, 刘高强主编. --长沙: 中南大学出版社, 2017. 8

ISBN 978 - 7 - 5487 - 2868 - 9

I. ①食… II. ①胡… ②刘… III. ①食品微生物—微生物学  
IV. ①TS201.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 149210 号

---

食品微生物学

主编 胡永金 刘高强

---

☐责任编辑 韩 雪

☐责任印制 易红卫

☐出版发行 中南大学出版社

社址: 长沙市麓山南路

邮编: 410083

发行科电话: 0731 - 88876770

传真: 0731 - 88710482

☐印 装 长沙印通印刷有限公司

---

☐开 本 787 × 1092 1/16 ☐印张 24.75 ☐字数 634 千字

☐版 次 2017 年 8 月第 1 版 ☐印次 2017 年 8 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978 - 7 - 5487 - 2868 - 9

☐定 价 55.00 元

---

图书出现印装问题, 请与经销商调换

# 前 言

微生物学是现代生命科学研究中最为活跃的领域之一。作为生物学的模式生物,微生物学近年来在遗传学、生理学、基因工程、代谢工程、发酵工程、基因组学、蛋白质组学等方面的突破和进步,深刻影响着生物学各个学科的发展。微生物被广泛应用于食品、医药、环境、农业、能源、健康等领域,并发挥着更加广泛而深入的作用。食品微生物学是微生物学的重要分支学科,也是食品科学的重要组成部分,它是专门研究与食品有关的微生物的种类、特性以及微生物与食品的相互关系及其生态条件的一门学科。食品微生物学作为高等院校食品相关专业一门必修专业基础课程,对现代食品加工和食品质量与安全控制起着非常关键的作用。特别是随着现代生命科学和现代食品工业的迅猛发展,微生物对现代食品工业的发展产生了越来越深刻的影响,已经渗透到优质食品原料生产、食品加工与保藏、食品质量与安全控制、食品生产废弃物利用、改善和增加食品营养价值等方面,成为支撑食品工业的重要技术。

为适应近年来食品微生物学科的快速发展和食品类专业教学工作的需要,编者组织各位老师编写了本书。与同类书籍相比,根据现代微生物学及食品学科发展新特点,本书强调理论与实践相结合,科学性与应用性相结合,国内特色与国际发展前沿相结合,理论性与通俗性相结合。

本书主要特点如下:

1. 将微生物学与食品学科内容紧密衔接,贯彻始终。编者将微生物基础知识与食品专业知识紧密结合,突出食品专业学科特点。

2. 简洁易懂。尽量将烦琐的文字描述转化为图、表的形式来表现,力求内容直观、形象,易于理解。

3. 突出实用性和针对性。以微生物基础知识及其在食品中的应用为主线,全面系统地介绍常见微生物的形态、结构、功能等特征,重点突出其在食品中的应用及食品的安全控制,突出本书的实用性和针对性。

4. 新颖性和前沿性。力求把握本学科领域的前沿,并结合编者自身的科研方向和优势,突出本书的新颖性和学术前沿性,如群体感应、栅栏技术、预报微生物、生物恐怖等内容紧扣学科前沿。

本书不仅适合食品学科的本科学生使用,也可作为相关科研院所和生产企业的科技人员

及工程技术人员的参考用书,同时也可作为相关专业研究生的参考用书。

本书的编写成员汇集了13所高等院校长期从事食品微生物学教学和科研的中青年学术骨干,他们活跃在教学、科研及生产第一线,既有扎实的理论基础,又有丰富的实践经验,给本书的编写增添了许多新鲜内容。本书由云南农业大学胡永金教授和中南林业科技大学刘高强教授担任主编。大纲经全体编委多次商讨拟定,全书共10章,编写分工如下:第1章,胡永金;第2章,胡永金、徐金瑞、李静、李世俊;第3、4章,刘高强;第5章,徐金瑞、闫训友;第6章,焦凌霞、韩小龙、杨波;第7章,邹娟;第8章,焦凌霞、李迎秋、肖作为、韩小龙、张雪娇;第9章,李凌飞、付晓萍;第10章,胡建平。全书审稿、统稿、定稿由主编负责。南京农业大学江汉湖教授在百忙之中审阅书稿并提出许多宝贵建议,在此深表谢意。除编者的教学和学术经验外,本书在写作过程中还参考了大量的国内外优秀教材和相关文献,在此谨向原作者表示诚挚的谢意。

本书倾注了每位编者的心血,但限于能力和时间有限,书中纰漏和不足之处在所难免,敬请广大师生、同行和读者批评指正。

编者  
2017年7月

# 目 录

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| 第1章 绪 论 .....                   | (1)  |
| 1.1 微生物及其特点 .....               | (1)  |
| 1.1.1 微生物及微生物学的概念 .....         | (1)  |
| 1.1.2 微生物的特点 .....              | (3)  |
| 1.2 微生物学的形成和发展 .....            | (5)  |
| 1.2.1 朦胧时期(史前期) .....           | (5)  |
| 1.2.2 形态学描述时期(初创期) .....        | (6)  |
| 1.2.3 生理学研究时期(奠基期) .....        | (6)  |
| 1.2.4 生物化学研究时期(发展期) .....       | (8)  |
| 1.2.5 分子生物学研究时期(成熟期) .....      | (9)  |
| 1.3 微生物学及其分支学科 .....            | (10) |
| 1.4 食品微生物学的研究内容与任务 .....        | (10) |
| 1.4.1 食品微生物学的研究内容 .....         | (10) |
| 1.4.2 食品微生物学的研究任务 .....         | (11) |
| 1.5 21世纪食品微生物学发展的趋势 .....       | (11) |
| 1.5.1 全面开展微生物基因组学和后基因组学研究 ..... | (11) |
| 1.5.2 深入开展微生物生态学研究 .....        | (12) |
| 1.5.3 高度重视微生物与食品安全性 .....       | (12) |
| 第2章 微生物的形态与结构 .....             | (14) |
| 2.1 原核微生物的形态、构造和功能 .....        | (14) |
| 2.1.1 细菌 .....                  | (15) |
| 2.1.2 放线菌 .....                 | (41) |
| 2.1.3 蓝细菌 .....                 | (45) |
| 2.1.4 古生菌 .....                 | (47) |
| 2.1.5 其他原核微生物 .....             | (48) |
| 2.2 真核微生物的形态、构造和功能 .....        | (52) |
| 2.2.1 真菌的一般特性 .....             | (52) |
| 2.2.2 酵母菌 .....                 | (53) |

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| 2.2.3 霉菌 .....               | (60)         |
| 2.2.4 大型真菌 .....             | (69)         |
| 2.3 非细胞型微生物 .....            | (73)         |
| 2.3.1 病毒的特点、形态及结构 .....      | (73)         |
| 2.3.2 病毒(噬菌体)的增殖 .....       | (78)         |
| 2.3.3 亚病毒 .....              | (83)         |
| 2.4 微生物的分类 .....             | (85)         |
| 2.4.1 微生物的分类单元 .....         | (85)         |
| 2.4.1 微生物的命名 .....           | (86)         |
| <b>第3章 微生物的营养 .....</b>      | <b>(88)</b>  |
| 3.1 微生物的六类营养要素 .....         | (88)         |
| 3.1.1 微生物的营养 .....           | (88)         |
| 3.1.2 微生物的六大营养要素 .....       | (89)         |
| 3.2 微生物的营养类型 .....           | (99)         |
| 3.2.1 光能自养型微生物 .....         | (99)         |
| 3.2.2 化能自养型微生物 .....         | (99)         |
| 3.2.3 光能异养型微生物 .....         | (100)        |
| 3.2.4 化能异养型微生物 .....         | (100)        |
| 3.3 营养物质进入细胞的方式 .....        | (101)        |
| 3.3.1 单纯扩散 .....             | (101)        |
| 3.3.2 促进扩散 .....             | (101)        |
| 3.3.3 主动运输 .....             | (102)        |
| 3.3.4 基团转位 .....             | (104)        |
| 3.3.5 膜泡运输 .....             | (105)        |
| 3.3.6 大分子营养物质的吸收与分泌 .....    | (105)        |
| 3.3.7 营养物质运输的调节 .....        | (107)        |
| 3.4 培养基 .....                | (108)        |
| 3.4.1 培养基配制的原则和方法 .....      | (109)        |
| 3.4.2 培养基的类型及应用 .....        | (111)        |
| <b>第4章 微生物的能量和物质代谢 .....</b> | <b>(118)</b> |
| 4.1 代谢概论 .....               | (118)        |
| 4.2 微生物的能量代谢 .....           | (119)        |
| 4.2.1 微生物的氧化方式 .....         | (120)        |
| 4.2.2 ATP 的形成 .....          | (126)        |

|                                 |              |
|---------------------------------|--------------|
| 4.2.3 能量的利用 .....               | (127)        |
| 4.3 微生物的主要分解代谢 .....            | (128)        |
| 4.3.1 碳水化合物的分解 .....            | (129)        |
| 4.3.2 蛋白质、氨基酸的分解 .....          | (135)        |
| 4.3.3 脂肪、脂肪酸的分解 .....           | (137)        |
| 4.4 微生物特有的合成代谢 .....            | (139)        |
| 4.4.1 CO <sub>2</sub> 的固定 ..... | (139)        |
| 4.4.2 生物固氮 .....                | (141)        |
| 4.4.3 肽聚糖的生物合成 .....            | (144)        |
| 4.4.4 重要次生代谢产物的合成 .....         | (146)        |
| 4.5 微生物代谢调控在食品与发酵工业中的应用 .....   | (147)        |
| 4.5.1 微生物代谢调控的意义 .....          | (147)        |
| 4.5.2 微生物代谢的自我调节 .....          | (148)        |
| 4.5.3 人工代谢调控在食品发酵工业中的应用 .....   | (156)        |
| <b>第5章 微生物的生长及控制 .....</b>      | <b>(161)</b> |
| 5.1 微生物的生长及其测定 .....            | (161)        |
| 5.1.1 测定微生物生长繁殖的方法 .....        | (162)        |
| 5.1.2 微生物的生长规律 .....            | (166)        |
| 5.2 影响微生物生长的主要因素 .....          | (173)        |
| 5.2.1 温度 .....                  | (174)        |
| 5.2.2 氧气 .....                  | (177)        |
| 5.2.3 pH .....                  | (179)        |
| 5.2.4 水分 .....                  | (180)        |
| 5.2.5 化学因素 .....                | (181)        |
| 5.2.6 辐射 .....                  | (182)        |
| 5.2.7 渗透压 .....                 | (183)        |
| 5.2.8 超声波 .....                 | (184)        |
| 5.3 微生物的控制 .....                | (184)        |
| 5.3.1 控制微生物生长的化学物质 .....        | (185)        |
| 5.3.2 控制微生物生长的物理因素 .....        | (187)        |
| <b>第6章 微生物遗传与育种 .....</b>       | <b>(193)</b> |
| 6.1 微生物的遗传与变异 .....             | (193)        |
| 6.1.1 微生物遗传变异的物质基础 .....        | (194)        |
| 6.1.2 遗传物质的存在形式及7个水平 .....      | (197)        |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 6.2 基因突变与育种 .....         | (198) |
| 6.2.1 基因突变的类型 .....       | (198) |
| 6.2.2 基因突变的特点 .....       | (200) |
| 6.2.3 基因突变的机制 .....       | (200) |
| 6.2.4 自发突变与自然选育 .....     | (207) |
| 6.2.5 诱发突变与育种 .....       | (208) |
| 6.3 基因重组与杂交 .....         | (217) |
| 6.3.1 原核微生物的基因重组 .....    | (218) |
| 6.3.2 真核微生物的基因重组 .....    | (225) |
| 6.4 食品微生物基因工程应用 .....     | (226) |
| 6.4.1 基因工程定义 .....        | (227) |
| 6.4.2 基因工程的基本操作 .....     | (227) |
| 6.4.3 基因工程在食品工业中的应用 ..... | (227) |
| 6.5 菌种的衰退、复壮和保藏 .....     | (229) |
| 6.5.1 菌种的衰退 .....         | (229) |
| 6.5.2 菌种的复壮 .....         | (231) |
| 6.5.3 菌种的保藏 .....         | (231) |
| 第7章 微生物的生态 .....          | (236) |
| 7.1 微生物在自然界中的分布 .....     | (236) |
| 7.1.1 土壤中的微生物 .....       | (236) |
| 7.1.2 水体中的微生物 .....       | (239) |
| 7.1.3 空气中的微生物 .....       | (241) |
| 7.1.4 工农业产品中的微生物 .....    | (242) |
| 7.2 微生物与生物环境间的关系 .....    | (245) |
| 7.2.1 互生 .....            | (245) |
| 7.2.2 共生 .....            | (245) |
| 7.2.3 竞争 .....            | (246) |
| 7.2.4 拮抗 .....            | (246) |
| 7.2.5 寄生 .....            | (246) |
| 7.2.6 猎食 .....            | (246) |
| 7.3 微生物与食品工业废水治理 .....    | (247) |
| 7.3.1 需氧生物处理 .....        | (247) |
| 7.3.2 厌氧生物处理 .....        | (250) |
| 第8章 微生物在食品制造中的应用 .....    | (254) |
| 8.1 细菌在食品制造中的应用 .....     | (254) |

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| 8.1.1 食醋 .....              | (254)        |
| 8.1.2 发酵乳制品 .....           | (259)        |
| 8.1.3 谷氨酸发酵 .....           | (262)        |
| 8.1.4 黄原胶 .....             | (264)        |
| 8.2 酵母菌在食品制造中的应用 .....      | (266)        |
| 8.2.1 面包 .....              | (266)        |
| 8.2.2 酿酒 .....              | (270)        |
| 8.2.3 酵母细胞的综合利用 .....       | (277)        |
| 8.3 霉菌在食品工业中的应用 .....       | (277)        |
| 8.3.1 霉菌在酱油酿造中的应用 .....     | (278)        |
| 8.3.2 霉菌在豆酱生产中的应用 .....     | (281)        |
| 8.4 微生物酶制剂在食品工业中的应用 .....   | (289)        |
| 8.4.1 食品工业中常用的微生物酶制剂 .....  | (289)        |
| 8.4.2 微生物酶制剂在食品加工中的应用 ..... | (292)        |
| 8.5 食用菌 .....               | (297)        |
| 8.5.1 食用菌概述 .....           | (297)        |
| 8.5.2 食用菌菌体生产 .....         | (297)        |
| 8.5.3 食用菌的营养及药用价值 .....     | (302)        |
| 8.5.4 食用菌与功能性食品 .....       | (304)        |
| <b>第9章 微生物与食品腐败变质 .....</b> | <b>(308)</b> |
| 9.1 腐败食品中微生物的生长及适应条件 .....  | (308)        |
| 9.1.1 内在因素 .....            | (309)        |
| 9.1.2 外在因素 .....            | (311)        |
| 9.2 各类食品的腐败变质 .....         | (313)        |
| 9.2.1 果蔬食品 .....            | (313)        |
| 9.2.2 乳及乳制品 .....           | (314)        |
| 9.2.3 肉类与禽类 .....           | (319)        |
| 9.2.4 禽蛋类 .....             | (320)        |
| 9.2.5 水产类 .....             | (321)        |
| 9.2.6 罐藏食品 .....            | (322)        |
| 9.3 食品防腐保藏技术 .....          | (325)        |
| 9.3.1 食品保藏的原理 .....         | (325)        |
| 9.3.2 食品保藏方法 .....          | (325)        |
| 9.3.3 食品综合防腐保鲜理论与技术 .....   | (332)        |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 第 10 章 微生物与食品安全 .....               | (340) |
| 10.1 食物中毒与食源性疾病 .....               | (340) |
| 10.1.1 食物中毒 .....                   | (340) |
| 10.1.2 食物中毒的类型 .....                | (341) |
| 10.1.3 食源性疾病 .....                  | (342) |
| 10.2 常见致病微生物 .....                  | (343) |
| 10.2.1 沙门氏菌 .....                   | (343) |
| 10.2.2 葡萄球菌 .....                   | (346) |
| 10.2.3 蜡样芽孢杆菌 .....                 | (350) |
| 10.2.4 大肠埃希氏菌 .....                 | (351) |
| 10.2.5 副溶血性弧菌 .....                 | (353) |
| 10.2.6 变形杆菌 .....                   | (355) |
| 10.2.7 肉毒梭菌 .....                   | (356) |
| 10.2.8 单核细胞增生李斯特氏菌 .....            | (358) |
| 10.2.9 其他细菌 .....                   | (360) |
| 10.2.10 真菌 .....                    | (361) |
| 10.2.11 病毒 .....                    | (369) |
| 10.3 食品微生物检测 .....                  | (373) |
| 10.3.1 样品的采集与处理 .....               | (373) |
| 10.3.2 样品的检验 .....                  | (374) |
| 10.3.3 结果报告 .....                   | (375) |
| 10.3.4 国际上食品卫生微生物检验的取样方案和卫生标准 ..... | (375) |
| 10.4 食品卫生的微生物学标准 .....              | (378) |
| 10.4.1 细菌总数 .....                   | (379) |
| 10.4.2 大肠菌群 .....                   | (379) |
| 10.4.3 致病菌 .....                    | (380) |
| 10.4.4 霉菌和酵母菌 .....                 | (380) |
| 10.5 食品生物恐怖 .....                   | (381) |
| 10.5.1 生物恐怖袭击病原体的基本条件 .....         | (381) |
| 10.5.2 微生物来源的生物恐怖因子 .....           | (381) |
| 10.5.3 生物恐怖的防御措施 .....              | (382) |
| 参考文献 .....                          | (384) |

# 第 1 章

## 绪 论

### 内容提要

本章主要介绍微生物的概念和生物学特性、微生物学的形成与发展,并对食品微生物学的研究内容、任务及其发展趋势进行了简述。

### 教学目标

1. 掌握微生物的概念和生物学特性。
2. 了解微生物学的发展历程。
3. 掌握食品微生物学研究的内容与任务。
4. 了解食品微生物学研究的发展趋势。

## 1.1 微生物及其特点

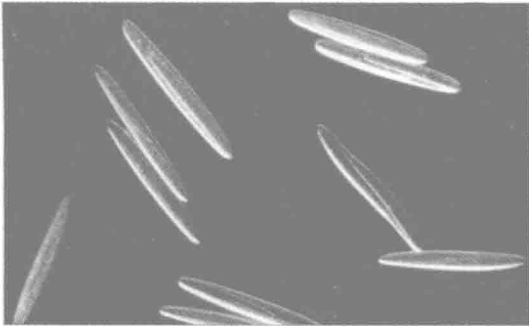
### 1.1.1 微生物及微生物学的概念

微生物(microorganism)是一类广泛存在于自然界中的形体微小、结构简单、进化地位低的微小生物的总称。它们包括属于原核类的细菌(真细菌和古生菌)、放线菌、蓝细菌(旧称“蓝绿藻”或“蓝藻”)、支原体、立克次氏体和衣原体;属于真核类的真菌(酵母菌、霉菌和蕈菌)、原生动物和显微藻类;属于非细胞类的病毒和亚病毒(类病毒、拟病毒和朊病毒)。微生物的形态大小、细胞特性和进化地位如表 1-1 所示。

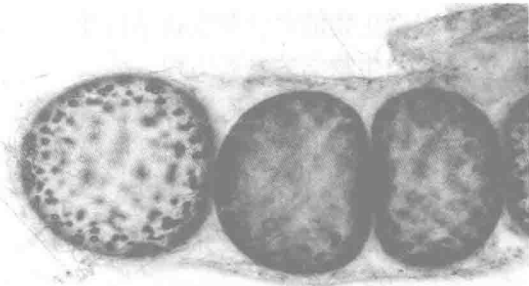
表 1-1 微生物的形态大小、细胞特性和进化地位

| 微生物类型  | 微生物类群名称                                    | 大小                                                                                                                      | 细胞特性          | 进化地位               |
|--------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------|
| 原核微生物  | 细菌(真细菌, 古生菌和放线菌、<br>蓝细菌、支原体、立克次氏体、衣<br>原体等 | 微米( $\mu\text{m}$ )级<br>$0.1 \sim 750 \mu\text{m}$                                                                      | 单细胞           | 原核生物界              |
|        | 真菌(酵母菌、霉菌和蕈菌)<br><br>原生动物<br>显微藻类          | 微米( $\mu\text{m}$ )级<br>$2 \mu\text{m} \sim 1 \text{ m}$<br>$2 \sim 1000 \mu\text{m}$<br>$1 \mu\text{m} \sim \text{几米}$ | 单细胞或简<br>单多细胞 | 真菌界<br><br>真核原生生物界 |
| 非细胞微生物 | 病毒、亚病毒(类病毒、拟病毒和<br>朊病毒)                    | 纳米( $\text{nm}$ )级<br>$20 \sim 450 \text{ nm}$                                                                          | 非细胞<br>(分子生物) | 病毒界                |

绝大多数微生物都小于  $100 \mu\text{m}$ , 肉眼难以看清, 须借助光学显微镜或电子显微镜才能观察到, 但微小世界里也不乏“形体高大”者, 如霉菌的菌丝体肉眼可见, 有些个体更大, 如蘑菇、木耳等担子菌。近年来发现少数细菌也是肉眼可见的, 如 1985 年在红海刺尾鱼肠道中发现的费氏刺骨鱼菌(*Epulopiscium fishelsoni*), 其细胞长度达  $200 \sim 700 \mu\text{m}$ ; 1997 年在纳米比亚海岸海底沉积物中发现的纳米比亚硫磺珍珠菌(*Thiomargarita namibiensis*), 其大小为  $100 \sim 300 \mu\text{m}$ , 最大可达  $750 \mu\text{m}$ , 菌体白色, 像珍珠一样(图 1-1)。



(a) 费氏刺骨鱼菌(*Epulopiscium fishelsoni*)



(b) 纳米比亚硫磺珍珠菌(*Thiomargarita namibiensis*)

图 1-1 个体较大的细菌

微生物与人类的关系极其密切, 通过利用微生物, 人类获得了如面包、酸奶、食用菌、泡菜、腐乳、酒类、有机酸、抗生素、疫苗、维生素、氨基酸、酶等许多有价值的重要产品。微生物也是人类生态系统中不可缺少的组成成员, 它们使陆地和水生系统中碳、氧、氮和硫的循环成为可能, 同时也是所有生态食物链和食物网的根本营养来源。实际上, 现代生物技术也是建立在微生物学的基础之上。目前, 微生物在解决人类的粮食、能源、健康、资源和环境保护等问题中正显露出越来越重要且不可替代的独特作用。但微生物是一把十分锋利的双刃剑, 它在造福人类的同时, 也带来“残忍”的破坏。长期以来, 因微生物形态微小、外貌不显、杂居混生、因果难联, 人们对微生物“视而不见, 触而不觉, 嗅而不闻, 食而不察, 得其

益而不感其恩，受其害而不知其恶”。人类历史上曾遭遇过多次严重瘟疫而大批死亡的惨痛事实就可充分说明，例如鼠疫(黑死病)、天花、肺结核(白疫)、流感、疟疾、麻风、梅毒等的大流行。直到今天，多种新发传染病(emerging infectious disease)和再现传染病(re-emerging infectious disease)还严重威胁人类的生存，例如，艾滋病、严重急性呼吸系统综合征(severe acute respiratory syndrome, SARS)、埃博拉病毒病、禽流感、疯牛病、乙型肝炎和结核病等。另外，引起人类食物中毒的沙门氏菌、金黄色葡萄球菌、蜡样芽孢杆菌、肉毒梭状芽孢杆菌、致病性大肠杆菌、单核增生李斯特菌等微生物也严重威胁着食品的安全和人们的健康。因此，正确地使用微生物这把双刃剑、造福于人类是我们学习和应用微生物学的目的。

1.1.2 微生物的特点

微生物(除病毒外)与动植物一样具有生物最基本的生命特征——新陈代谢、生长发育、衰老死亡，有生命周期。除此之外，还有其自身的特点。

1. 体积小，比表面积大

多数微生物形态都极其微小，衡量它的大小都用微米( $\mu\text{m}$ )、纳米( $\text{nm}$ )计。如球菌的直径约  $0.5\ \mu\text{m}$ ，80 个球菌“肩并肩”排列成横队，也只是一根头发的宽度。杆菌的平均长度和宽度约  $2\ \mu\text{m}$  和  $0.5\ \mu\text{m}$ ，1500 个杆菌头尾连接起来仅有一粒芝麻那么长，图 1-2 所示是人们生活中所用的针尖上的杆菌。细菌的质量更是微乎其微，每个细菌的质量只有  $1 \times 10^{-10} \sim 1 \times 10^{-9}\ \text{mg}$ ，即  $10^9 \sim 10^{10}$  个细菌质量的总和才有  $1\ \text{mg}$ 。

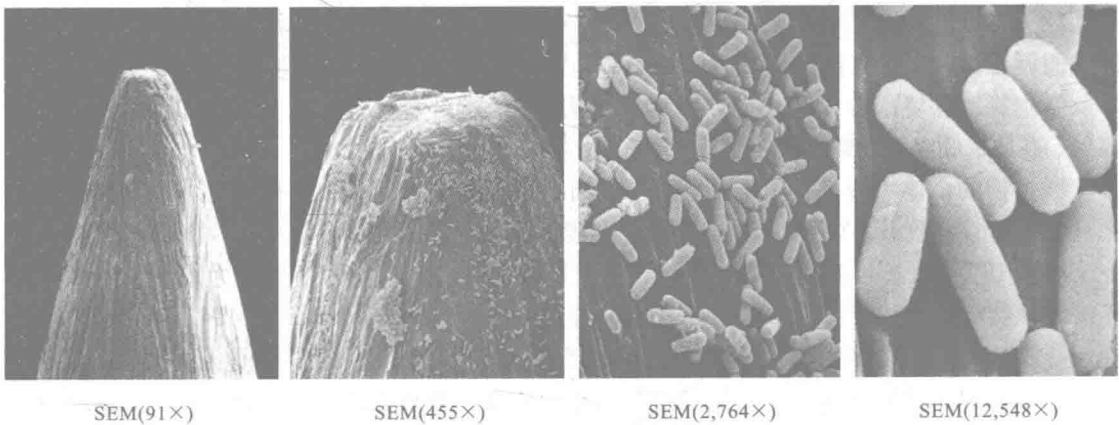


图 1-2 针尖上的杆菌

物体的表面积和体积之比称为比表面积。若以人体的“面积/体积”比值为 1，则大肠杆菌的“面积/体积”比值为 30 万。微生物这种小体积、大比表面积的体系，特别有利于它们与周围环境进行物质交换和能量、信息交换。这是微生物与一切大型生物相区别的关键所在，也是赋予微生物其他特点的根本所在。

2. 吸收多，转化快

微生物体积小，比表面积大，因而微生物能与环境之间迅速进行物质交换，吸收营养和排泄废物，而且有最大的代谢速率。从单位质量来看，微生物的代谢强度比高等生物大几千

倍到几万倍。如 *Escherichia coli* (简写 *E. coli*) 在 1 h 内可分解其自重 1000 ~ 10000 倍的乳糖。产阮假丝酵母 (*Candida utilis*) 合成蛋白质的能力比大豆强 100 倍, 比食用牛(公牛)强 10 万倍; 1 kg 的酵母菌在 1 d 之内可使几吨糖全部转化为乙醇和  $\text{CO}_2$ 。一接种环的谷氨酸生产菌, 经 2 d 的扩大培养和发酵, 就能将 8000 kg 糖和 2000 kg 尿素转化为 3000 kg 的菌体和 4000 kg 的谷氨酸。利用这个特性, 可以发挥“微生物工厂”的作用, 可使大批基质在短时间内转化为大批有用的化工、医药产品或食品, 也可以将有毒、有害物质转化为无毒、无害物质, 将不能利用的物质转变为可利用的物质, 为人类造福。但微生物同时又可使食品和其他工农业产品发生腐败变质, 造成严重损失。

### 3. 生长旺, 繁殖快

微生物具有惊人的生长和繁殖速度。如 *E. coli* 在合适的生长条件下, 细胞分裂 1 次仅需 12.5 ~ 20 min。若按 20 min 分裂 1 次计, 则 1 h 可分裂 3 次, 每昼夜可分裂 72 次, 这时, 原初的一个细菌已产生了 4722366500 万亿个后代, 总重约可达 4722 t, 48 h 为  $2.2 \times 10^{43}$  t (约等于 4000 个地球之重)。事实上, 由于营养、空间和代谢产物等条件的限制, 微生物的几何级数分裂速度只能维持数小时。因而在液体培养中, 细菌细胞的浓度一般仅达  $10^8 \sim 10^9$  个/mL 左右。

微生物的高速繁殖特性给生物学基本理论的研究带来极大的优越性, 它使科学研究周期大为缩短、空间减少、经费降低、效率提高。当然, 若是一些危害人、畜和农作物的病原微生物或会使物品霉腐变质的有害微生物, 这一特性就会给人类带来极大的损失或祸害。

### 4. 适应强, 易变异

为适应多变的环境, 微生物具有极其灵活的适应性和代谢调节机制, 这是任何高等动物、植物无法比拟的。为了适应复杂多变的环境, 微生物在其长期进化过程中就产生了许多灵活的代谢调控机制, 并有种类很多的诱导酶(可占细胞蛋白质含量的 10%)。

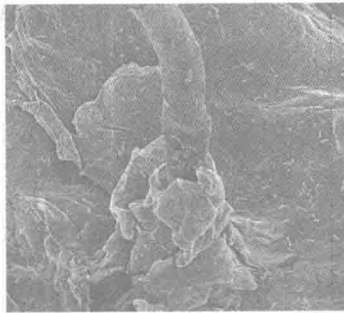
微生物对环境条件尤其是地球上那些恶劣的“极端环境”, 例如, 高温、高酸、高盐、高辐射、高压、低温、高碱、高毒等有惊人的适应力, 堪称生物界之最。

微生物的个体一般都是单细胞、简单多细胞甚至是非细胞的, 它们通常都是单倍体, 加之具有繁殖快、数量多以及与外界环境直接接触等特点, 因此即使其变异频率十分低(一般为  $10^{-10} \sim 10^{-5}$ ), 也可在短时间内产生出大量变异的后代。有益的变异可为人类创造巨大的经济和社会效益, 如产青霉素的菌种产黄青霉 (*Penicillium chrysogenum*), 1943 年每毫升发酵液仅分泌约 20 单位的青霉素, 至今早已超过 5 万单位了; 有害的变异则是人类的大敌, 如各种致病菌的耐药性变异使原本已得到控制的相应传染病变得无药可治, 而各种优良菌种生产性状的退化则会使生产无法正常维持等等。

### 5. 分布广, 种类多

微生物在生物圈中几乎“无处不在, 无孔不入”, 只要条件合适, 它们就可“随遇而安”。地球上除了火山的中心区域等少数地方外, 从土壤圈、水圈、大气圈至岩石圈, 到处都有它们的踪迹。可以认为, 微生物将永远是生物圈上下限的开拓者和各项生存纪录的保持者。生物界的许多极限都是由微生物开创的。例如, 在万米深、水压高达  $1.155 \times 10^8$  Pa 的深海底部有硫细菌生存; 在 85 km 的高空, 近 100℃ 的温泉, -250℃ 的环境下均有微生物存在。苏联科学家在南极冰川钻探时, 于地下 4.5 ~ 293 m 不同深度的岩心中多次发现有球菌、杆菌和微小的真菌。而人类正常生活和生产的环境, 也正是微生物生长生活的适宜环境。因此, 人类生活在微生物的汪洋大海之中, 每一个健康人的毛发、皮肤上、口腔里、胃肠道、呼吸道等

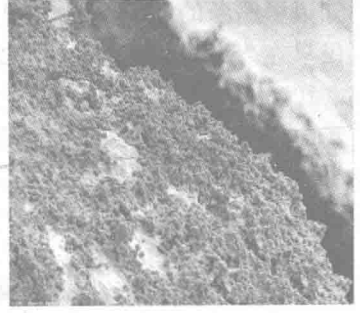
器官里都生活着大量的微生物(图1-3),而尤以肠道中的微生物数量和种类最多,它们成为人体不可缺少的一部分。通常情况下,寄居人体的正常微生物对人体有益而无害,但在特定条件下会致病。



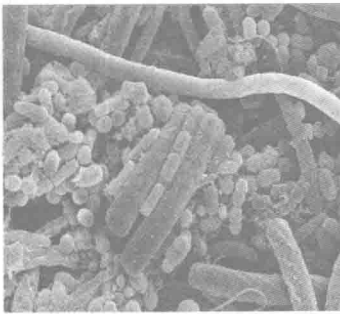
(a) 皮肤、毛发上分布的微生物



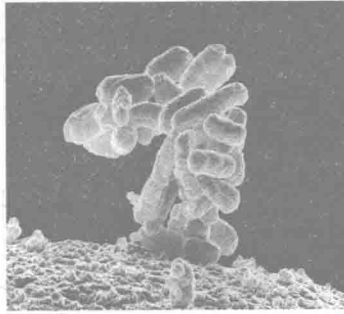
(b) 皮肤上的微生物



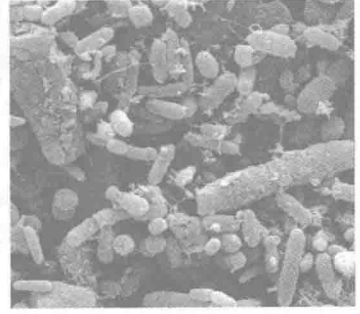
(c) 口腔粘膜上的微生物



(d) 舌上的微生物



(e) 小肠中的微生物



(f) 大肠中的微生物

图1-3 人体体表及体内存在的微生物

目前已知的微生物种类有10万多种,但当前研究和应用的微生物,不超过自然界微生物总数的10%,能被培养出来的微生物种类还不到自然界微生物总数的1%。还有许多活的但不可培养的微生物,或称为未培养微生物,如超嗜热古菌。微生物物种的多样性、遗传的多样性,由进化而带来的营养和代谢类型多样性,特别是对其他生物难以存活条件下的极端环境微生物的开发,为人类进一步开发利用微生物资源提供了无限广阔的前景。

## 1.2 微生物学的形成和发展

微生物学的发展过程一般可分以下五个时期。

### 1.2.1 朦胧时期(史前期)

早在人类发现微生物之前,就已经开始利用微生物了。我国劳动人民在应用微生物方面有着悠久的历史和丰富的经验。8000年前已有曲蘖酿酒的记载,4000年前龙山文化时期酿酒已很普遍,而埃及在2000年前才有酿造葡萄酒的记载。用微生物方法制酱、酿醋也是我国首创,3000年前(周朝)酱油酿造技术已相当发达,2500年前(春秋战国期间)开始酿醋,公

元6世纪(北魏时期)贾思勰的《齐民要术》就详细记载了酿造酱油需接种“黄衣“(黄曲霉的孢子)和制酢(酿醋)的33种方法。公元7世纪(唐代)食用菌的人工栽培也是我国劳动人民首创,要比西欧(最早是法国)早11个世纪。长期以来,我国劳动人民一直利用盐渍、糖渍、干燥、酸化等方法保存食物。在农业上,我国早在商代已使用沤粪肥田。当时的人们虽然还不知道根瘤菌的固氮作用,但已经利用豆科植物轮作提高土壤肥力。在医学方面,我国劳动人民早在2500年前就知道用曲治疗消化道疾病,很早以前就应用茯苓、灵芝等真菌治疗疾病。2000多年前认识和防治许多传染病、狂犬病。公元11世纪(宋代)种人痘苗预防天花已广泛应用,这是我国对世界医学史的重大贡献,后来传至俄国、日本、朝鲜、土耳其及英国。18世纪末英国医生琴纳(E. Jenner)提出用牛痘苗预防天花。这一时期最显著的特点是未见细菌等微生物的个体,凭实践经验利用微生物。

1.2.2 形态学描述时期(初创期)

形态学描述时期是指从1676年列文虎克用自制的单式显微镜观察到细菌的形态起,直至1861年近200年的时间。这一时期的代表人物荷兰人安东尼·列文虎克(Antony van Leeuwenhoek, 1632—1723)用自制的、能放大200~300倍的简单显微镜观察到了污水、牙垢、雨水、腐败有机物中的微小生物,发现了细菌、酵母菌和原生动物,并对它们进行了形态描述,为微生物的存在提供了有力证据(图1-4)。列文虎克的发现,虽然首次揭示了微生物界,但限于当时的条件,这一发现并未引起重视。在之后近200年的时间里,人们对微生物的研究仅停留在对它们形态学描述的低级水平上,而对它们的生理活动及其与人类实践活动的关系知之甚少。

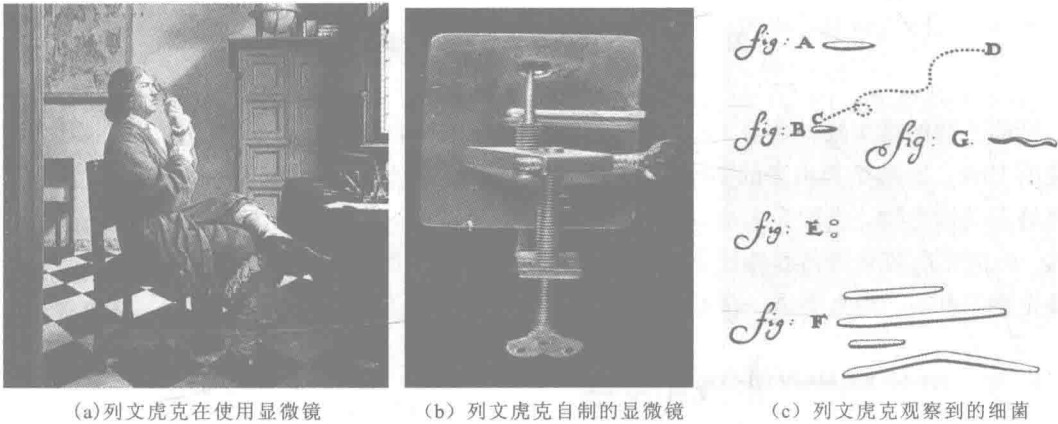


图1-4 列文虎克的显微观察

1.2.3 生理学研究时期(奠基期)

生理学研究时期是指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。此时期代表人物法国人路易·巴斯德(Louis Pasteur, 1822—1895)和德国人柯赫(Robert Koch, 1843—1910)将微生物的研究从形态学描述推进到生理学