



GAODENG ZHIYE JIAOYU JIAOCAI

• 高等职业教育教材 •

# 乳品微生物学

RUPIN WEISHENGWUXUE

纪铁鹏 崔雨荣 主编



中国轻工业出版社

ZHONGGUO QINGGONGYE CHUBANSHE

高等职业教育教材

# 乳品微生物学

主 编：纪铁鹏 崔雨荣  
副主编：元向东 李晓利 王淑艳  
主 审：侯建平

 中国轻工业出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

乳品微生物学/纪铁鹏,崔雨荣主编. —北京:中国  
轻工业出版社,2007.3

高等职业教育教材

ISBN 978-7-5019-5116-1

I.乳… II.①纪…②崔… III.乳制品-微生物  
学-高等学校:技术学校-教材 IV.TS252.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 105181 号

责任编辑:李亦兵 马 妍 责任终审:滕炎福 封面设计:刘 鹏  
版式设计:马金路 责任校对:燕 杰 责任监印:胡 兵

出版发行:中国轻工业出版社(北京东长安街6号,邮编:100740)

印 刷:河北省高碑店市鑫昊印刷有限责任公司

经 销:各地新华书店

版 次:2007年3月第1版第2次印刷

开 本:787×1092 1/16 印张:22.25

字 数:506千字

书 号:ISBN 978-7-5019-5116-1/TS·2955

定 价:36.00元

读者服务部邮购热线电话:010—65241695 85111729 传真:85111730

发行电话:010—85119817 65128898 传真:85113293

网 址:<http://www.chlip.com.cn>

Email:club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社读者服务部联系调换

70161J4C102ZBW

## 前 言

随着乳品行业的蓬勃发展,乳品业已经成为食品行业中非常重要的一项产业,在食品行业中占有越来越重要的地位。有鉴于此,全国各大、中专院校也纷纷专门设立了乳品专业,培养专业人才,招生数量逐年增长。但在授课过程中,与本专业配套的教科书较少,给教师授课和学生学习带来了一定的困难,为适应这一要求,我们编写了《乳品微生物学》以供参考。

本书在编写过程中严格按照教育部颁布的教育改革文件精神,把能力的培养为本作为教育教学的指导思想,重点培养学生的职业道德、创新精神和实践能力。

本教材以够用、实用、适用为原则,在体现素质教育、综合职业教育特色的基础上,满足相关的职业需要、岗位需要。教材在知识点方面突出“宽、浅、新、用”,即知识面宽、浅显易懂、突出新知识、注重实用性,力图做到使教师易教,学生易学。在体系结构上,注重每一章节的相对独立性、完整性,同时注重全书的连贯性、循序渐进性和整体风格的一致性。集理论和实践为一体,既有基础理论知识,又密切联系生产实践,同时又有常用实验技术和综合性实训内容。具有较强的可读性、启发性和适用性。

本书由从事多年乳品微生物学教学工作的纪铁鹏老师和崔雨荣老师主持编写,由侯建平副教授担任主审。副主编有元向东、李晓利和王淑艳老师,参编人员有姜国龙老师。其中,第一章绪论和第八章微生物实验基础知识由纪铁鹏编写,第二章微生物形态结构和第五章乳及乳制品中常见微生物由元向东编写,第三章微生物营养和第四章微生物生长由王淑艳编写,第六章微生物在乳及乳制品加工中的应用、第七章乳及乳制品中微生物的污染及控制和第九章微生物学实验由崔雨荣编写,附录由李晓利编写。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校乳品工艺专业教学用书,也可作为职业培训及生产一线技术人员、化验员的参考书。

在编写过程中,得到了武建新副教授和雒亚洲副教授的大力支持和帮助,也得到了蒙牛乳业集团、伊利乳业集团、中国轻工业出版社有关人员的积极帮助,在此一并表示衷心感谢。并对引用内容和图片的公开出版书籍的作者表示感谢。

由于时间仓促和编者学术水平有限,错误在所难免,欢迎同行和广大读者批评指正。

编 者

|                               |        |
|-------------------------------|--------|
| 一、概述 .....                    | ( 47 ) |
| 二、噬菌体 .....                   | ( 48 ) |
| 第六节 微生物的分类与命名 .....           | ( 53 ) |
| 一、微生物分类的目的 .....              | ( 53 ) |
| 二、微生物分类的方法 .....              | ( 53 ) |
| 三、微生物分类的依据 .....              | ( 55 ) |
| 四、微生物分类的单位 .....              | ( 57 ) |
| 五、微生物分类的命名规则 .....            | ( 58 ) |
| 六、微生物的分类系统简介 .....            | ( 59 ) |
| 第三章 微生物的营养 .....              | ( 61 ) |
| 第一节 微生物营养 .....               | ( 61 ) |
| 一、微生物细胞的化学组成 .....            | ( 61 ) |
| 二、微生物营养构成及其功能 .....           | ( 62 ) |
| 第二节 微生物的营养类型 .....            | ( 67 ) |
| 一、光能自养型 .....                 | ( 67 ) |
| 二、光能异养型 .....                 | ( 68 ) |
| 三、化能自养型 .....                 | ( 68 ) |
| 四、化能异养型 .....                 | ( 68 ) |
| 第三节 营养物质吸收方式 .....            | ( 69 ) |
| 一、单纯扩散 .....                  | ( 69 ) |
| 二、促进扩散 .....                  | ( 70 ) |
| 三、主动运输 .....                  | ( 70 ) |
| 四、基团移位 .....                  | ( 71 ) |
| 五、四种运输方式的比较 .....             | ( 71 ) |
| 第四章 微生物生长 .....               | ( 73 ) |
| 第一节 微生物群体生长的规律 .....          | ( 73 ) |
| 一、单细胞微生物的生长曲线 .....           | ( 73 ) |
| 二、微生物生长规律对工业生产的指导意义 .....     | ( 76 ) |
| 第二节 外界因素对微生物生长的影响 .....       | ( 77 ) |
| 一、物理因素对微生物的影响 .....           | ( 77 ) |
| 二、化学因素的影响 .....               | ( 82 ) |
| 三、微生物与微生物及微生物与其他生物之间的关系 ..... | ( 85 ) |

## 第二篇 乳品微生物学

|                        |         |
|------------------------|---------|
| 第五章 乳与乳制品中常见的微生物 ..... | ( 89 )  |
| 第一节 乳与乳制品中常见的细菌 .....  | ( 89 )  |
| 一、乳酸菌 .....            | ( 89 )  |
| 二、丙酸杆菌属 .....          | ( 93 )  |
| 三、肠杆菌 .....            | ( 93 )  |
| 四、芽孢形成菌 .....          | ( 94 )  |
| 五、微球菌和葡萄球菌属 .....      | ( 96 )  |
| 六、假单胞菌 .....           | ( 96 )  |
| 七、黄杆菌属 .....           | ( 97 )  |
| 八、布鲁氏菌属 .....          | ( 97 )  |
| 九、李斯特氏菌属 .....         | ( 98 )  |
| 第二节 乳与乳制品中常见的酵母菌 ..... | ( 98 )  |
| 一、假丝酵母属 .....          | ( 98 )  |
| 二、红酵母属 .....           | ( 99 )  |
| 三、毕赤氏酵母属 .....         | ( 99 )  |
| 四、与乳业有关的一些其他酵母菌 .....  | ( 100 ) |
| 第三节 乳与乳制品中常见的霉菌 .....  | ( 100 ) |
| 一、毛霉 .....             | ( 101 ) |
| 二、根霉 .....             | ( 102 ) |
| 三、曲霉 .....             | ( 102 ) |
| 四、青霉 .....             | ( 104 ) |
| 五、地霉属 .....            | ( 105 ) |
| 第四节 乳与乳制品中常见的放线菌 ..... | ( 105 ) |
| 一、链霉菌属 .....           | ( 105 ) |
| 二、放线菌属 .....           | ( 106 ) |
| 第五节 乳与乳制品中常见的噬菌体 ..... | ( 106 ) |
| 一、乳链球菌的噬菌体 .....       | ( 106 ) |
| 二、乳脂链球菌的噬菌体 .....      | ( 106 ) |
| 三、嗜热链球菌的噬菌体 .....      | ( 106 ) |
| 四、乳杆菌的噬菌体 .....        | ( 107 ) |

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| <b>第六章 微生物在乳品制造中的应用</b>      | (108) |
| <b>第一节 发酵剂的制备</b>            | (108) |
| 一、概述                         | (108) |
| 二、组成发酵剂的微生物类群                | (109) |
| 三、发酵剂生长速度的测定                 | (112) |
| 四、发酵剂的作用                     | (113) |
| 五、发酵剂的制备                     | (116) |
| 六、发酵剂的保存                     | (120) |
| 七、抑制发酵剂生长的因素                 | (123) |
| 八、发酵剂的质量及缺陷防止办法              | (123) |
| <b>第二节 微生态调节剂的生产</b>         | (125) |
| 一、微生态调节剂的概述                  | (125) |
| 二、微生态调节剂的生产                  | (126) |
| <b>第三节 普通酸奶的生产</b>           | (129) |
| <b>第四节 干酪的加工</b>             | (132) |
| <b>第五节 其他发酵乳制品的生产</b>        | (135) |
| 一、酸性奶油加工                     | (135) |
| 二、发酵酪乳加工                     | (135) |
| 三、产生乙醇和乳酸的发酵乳                | (136) |
| 四、霉菌发酵乳                      | (138) |
| 五、嗜酸乳杆菌乳                     | (138) |
| 六、乳酸菌饮料加工                    | (139) |
| <b>第七章 乳及乳制品的微生物污染及控制</b>    | (141) |
| <b>第一节 污染乳及乳制品的微生物来源及其途径</b> | (141) |
| 一、土壤                         | (141) |
| 二、空气                         | (142) |
| 三、水                          | (142) |
| 四、人及动物体                      | (143) |
| 五、加工机械及设备                    | (143) |
| 六、包装材料                       | (143) |
| 七、原料及辅料                      | (143) |
| <b>第二节 乳及乳制品微生物污染的危害</b>     | (144) |
| 一、乳制品中微生物的消长                 | (144) |

|                                  |       |
|----------------------------------|-------|
| 二、乳及乳制品的腐败变质 .....               | (145) |
| 三、食物中毒 .....                     | (153) |
| 四、消化性传染病 .....                   | (156) |
| 第三节 乳与乳制品中微生物污染的控制 .....         | (157) |
| 一、加强乳制品企业的卫生管理 .....             | (157) |
| 二、乳品中微生物的预报技术、杀菌技术及乳品的防腐保鲜 ..... | (161) |
| 三、构建合理的质量体系 .....                | (169) |
| 第四节 乳与乳制品中微生物学指标和标准要求 .....      | (176) |
| 一、乳与乳制品中微生物学指标 .....             | (176) |
| 二、乳及乳制品的微生物学标准 .....             | (178) |

### 第三篇 微生物实验技术

|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第八章 微生物实验基础知识 .....           | (185) |
| 第一节 观察微生物的基本方法 .....          | (185) |
| 一、显微镜 .....                   | (185) |
| 二、染色技术 .....                  | (189) |
| 三、制片技术 .....                  | (191) |
| 第二节 培养基 .....                 | (192) |
| 一、培养基类型 .....                 | (192) |
| 二、配制培养基的原则 .....              | (196) |
| 三、选用和设计培养基的方法 .....           | (199) |
| 四、培养基制备的基本要点 .....            | (199) |
| 第三节 灭菌和消毒 .....               | (200) |
| 一、基本概念 .....                  | (200) |
| 二、常用的灭菌方法 .....               | (202) |
| 三、常用的消毒方法 .....               | (207) |
| 四、影响灭菌和消毒的因素 .....            | (210) |
| 第四节 无菌操作技术 .....              | (211) |
| 一、创造无菌的培养环境 .....             | (212) |
| 二、在操作和培养过程中防止一切其他微生物的侵入 ..... | (212) |
| 第五节 微生物的接种 .....              | (213) |
| 一、概念 .....                    | (213) |
| 二、接种工具 .....                  | (214) |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 三、接种方法 .....              | (214) |
| 四、接种操作 .....              | (216) |
| 第六节 微生物的纯种分离与筛选 .....     | (217) |
| 一、采样 .....                | (217) |
| 二、增殖培养 .....              | (217) |
| 三、分离 .....                | (218) |
| 四、筛选 .....                | (223) |
| 第七节 微生物的培养 .....          | (224) |
| 一、培养条件的控制 .....           | (224) |
| 二、培养方法 .....              | (225) |
| 第八节 微生物生长的测定方法 .....      | (237) |
| 一、直接计数法 .....             | (237) |
| 二、间接计数法 .....             | (239) |
| 第九节 微生物的育种 .....          | (240) |
| 一、微生物的遗传变异 .....          | (240) |
| 二、育种方法 .....              | (243) |
| 第十节 菌种的衰退、复壮与保藏 .....     | (251) |
| 一、菌种的退化及其防治 .....         | (251) |
| 二、菌种的复壮 .....             | (252) |
| 三、菌种的保藏 .....             | (253) |
| 第十一节 乳与乳制品微生物检验时的采样 ..... | (259) |
| 一、采样 .....                | (259) |
| 二、检样的预处理 .....            | (261) |
| 三、抽样检验和验出水平 .....         | (262) |
| 第九章 微生物实验 .....           | (263) |
| 微生物学实验室规则 .....           | (263) |
| 实验一 普通光学显微镜使用和维护 .....    | (263) |
| 实验二 细菌的简单染色和革兰氏染色 .....   | (266) |
| 实验三 玻璃器皿的洗涤、包扎及灭菌 .....   | (270) |
| 实验四 培养基的配制和灭菌 .....       | (273) |
| 实验五 酵母菌细胞数及出芽率的测定 .....   | (277) |
| 实验六 酵母菌的形态观察 .....        | (280) |
| 实验七 微生物的接种、分离纯化与培养 .....  | (281) |

---

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| 实验八 霉菌的形态观察 .....              | (284) |
| 实验九 微生物大小测定 .....              | (286) |
| 实验十 美蓝还原试验 .....               | (289) |
| 实验十一 乳制品中细菌总数的测定 .....         | (290) |
| 实验十二 大肠菌群(MPN)数检验 .....        | (293) |
| 实验十三 鲜乳中抗生素残留量的检验 .....        | (298) |
| 实验十四 空气净度检验 .....              | (300) |
| 实验十五 涂抹检验 .....                | (301) |
| 实验十六 酸奶中乳酸菌的测定 .....           | (302) |
| 实验十七 乳及乳制品中嗜冷菌的检测 .....        | (304) |
| 实验十八 乳及乳制品中芽孢总数的测定 .....       | (305) |
| 实验十九 霉菌和酵母菌的检测 .....           | (306) |
| 实验二十 金黄色葡萄球菌检验 .....           | (308) |
| 实验二十一 发酵剂的制备及活力测定 .....        | (311) |
| 实验二十二 生牛乳自然发酵过程中微生物菌相的变化 ..... | (312) |
| 实验二十三 沙门氏菌属的检验 .....           | (315) |
| <b>附录</b> .....                | (322) |
| 附录1 试剂和指示剂的配制 .....            | (322) |
| 附录2 常用染液配制法 .....              | (323) |
| 附录3 培养基的配方 .....               | (324) |
| 附录4 常用消毒剂的配制 .....             | (340) |
| <b>参考文献</b> .....              | (341) |

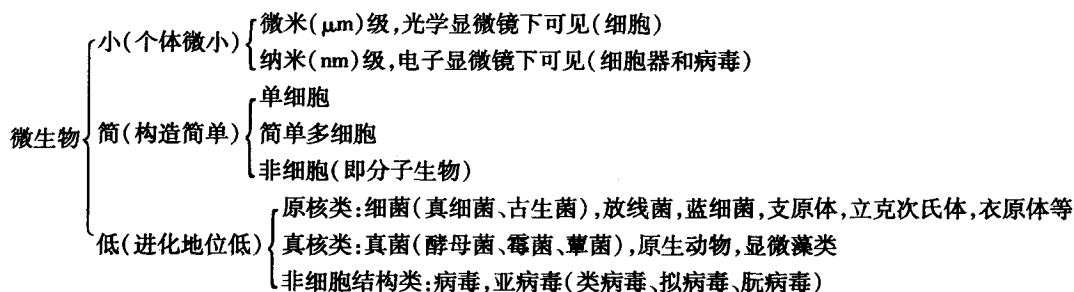
# 第一篇 微生物学基础

## 第一章 绪 论

### 第一节 微 生 物

#### (一) 微生物的概念及常见种类

人们把那些形体微小(小于0.1mm),结构简单,用肉眼难以看到,必须借助光学显微镜或电子显微镜才能看清楚的低等微小生物,统称为微生物。微生物不属于分类学上的概念,它包括属于原核类的细菌(真细菌和古生菌)、放线菌、蓝细菌、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;以及属于非细胞类病毒和亚病毒(类病毒、拟病毒和朊病毒)。现表解如下:



#### (二) 微生物的特点

微生物由于其体形极其微小,因而导致了一系列与之密切相关的五个重要特性,即体积小,面积大;吸收多,转化快;生长旺,繁殖快;适应强,易变异;分布广,种类多。这五大共性不论在理论上还是在实践上都极其重要,现简述如下。

##### 1. 体积小,面积大

任何固定体积的物体,如对其进行三维切割,则切割的次数越多,其所产生的颗粒数就越多,每个颗粒的体积就越小。这时,如把所有小颗粒的表面积相加,其总数将极其可观,见表1-1。

表 1-1 对 1cm<sup>3</sup> 固体作 10 倍系列三维分割后的比面值变化

| 边长     | 立方体数             | 总表面积                 | 比面值        | 近似对象 |
|--------|------------------|----------------------|------------|------|
| 1.0cm  | 1                | 6cm <sup>2</sup>     | 6          | 豌豆   |
| 1.0mm  | 10 <sup>3</sup>  | 60cm <sup>2</sup>    | 60         | 细小药丸 |
| 0.1mm  | 10 <sup>6</sup>  | 600cm <sup>2</sup>   | 600        | 滑石粉粒 |
| 0.01mm | 10 <sup>9</sup>  | 6 000cm <sup>2</sup> | 6 000      | 变形虫  |
| 1.0μm  | 10 <sup>12</sup> | 6m <sup>2</sup>      | 60 000     | 球菌   |
| 0.1μm  | 10 <sup>15</sup> | 60m <sup>2</sup>     | 600 000    | 大胶粒  |
| 0.01μm | 10 <sup>18</sup> | 600m <sup>2</sup>    | 6 000 000  | 大分子  |
| 1.0nm  | 10 <sup>21</sup> | 6 000m <sup>2</sup>  | 60 000 000 | 分子   |

若把某一单位体积所占有的表面积称为比面值,则物体的体积越小,其比面值就越大,现以球体的比面值为例,

即:比面值 = 表面积/体积 =  $4\pi r^2 / (4/3\pi r^3) = 3/r$

由上述公式可以推算出细胞半径( $r$ )为 1μm 的球菌,其比面值为 3;半径为 2μm 者,比面值为 1.5;而半径为 3μm 者,则比面值仅为 1。

由于微生物是一个如此突出的小体积大面积系统,从而赋予它们具有不同于一切大生物的五共性,因为一个小体积大面积系统,必然有一个巨大的营养物质吸收面、代谢废物的排泄面和环境信息的交换面,并由此产生其余 4 个共性。

## 2. 吸收多,转化快

有资料表明,大肠杆菌在 1h 内可分解其自重 1 000 ~ 10 000 倍的乳糖;产朊假丝酵母合成蛋白质的能力比大豆强 100 倍,比食用牛(公牛)强 10 万倍;一些微生物的呼吸速率也比高等动、植物的组织强数十至数百倍。这个特性为微生物的高速生长繁殖和合成大量代谢产物提供了充分的物质基础,从而使微生物在自然界和人类实践中更好地发挥其超小型“活化工厂”的作用。

## 3. 生长旺,繁殖快

微生物具有极高的生长和繁殖速度。一种至今被人类研究得最透彻的微生物大肠杆菌,在适宜的生长条件下,细胞分裂 1 次仅需 12.5 ~ 20min。若按平均 20min 分裂 1 次计,则 1h 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 4 722 366 500 万亿个后代,总重约可达 4 722t。

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充

其量只能维持数小时而已。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。

微生物的这一特性在发酵工业中具有重要的实践意义,主要体现在它的生产效率高、发酵周期短上。例如,用作发面剂的酿酒酵母,其繁殖速率虽为 2h 分裂 1 次(仅为上述大肠杆菌的 1/6),但在单罐发酵时仍可为 12h“收获”1 次,每年可“收获”数百次,这是其他任何农作物所不可能达到的“复种指数”。它对缓解当前全球面临人口剧增与粮食匮乏也有重大意义。有人统计,一头 500kg 重的食用公牛,每周也只能从食物中“浓缩”0.5kg 优良蛋白质;同等重的大豆,在合适的栽培条件下,24h 可生产 50kg 的蛋白质;而同样重量的酵母菌,只要以糖蜜和氨水作主要养料,在 24h 内可合成 50 000kg 的优良蛋白质。据计算,一个年产  $10^5$  t 酵母菌的工厂,如以酵母菌的蛋白质含量为 45% 计,则相当于在 37 500hm<sup>2</sup> 农田上所生产的大豆蛋白质的量,此外,还有不受气候和季节影响等优点。

微生物的生长旺、繁殖快的特性对生物学基本理论的研究也带来极大的优越性,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乳制品腐败变质的有害微生物,它们的这一特性就会给人类带来极大的损失或祸害,因而必须认真对待。

#### 4. 适应强,易变异

微生物具有极其灵活的适应性或代谢调节机制,这是任何高等动物、高等植物所无法比拟的。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)具有惊人的适应能力,堪称世界之最。

微生物的个体结构简单,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的变异后代。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),1943 年时每毫升发酵液仅分泌 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各项事业中的大敌,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。

#### 5. 分布广,种类多

微生物因其体积小、重量轻和数量多等原因,可以到处传播以至达到“无孔不入”的地步,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。不论在动、植物体内外,还是土壤、河流、空气、平原、高山、深海、污水、垃圾、海底淤泥、冰川、盐湖、沙漠,甚至油井、酸性矿水和岩层下,都有大量与其相适应的各类微生物在活动着。

微生物的种类多主要体现在以下五个方面:

(1) 种的多样性 迄今为止,人类已描述过的生物总数约 200 万种。据估计,微生物的总数在 50 万~600 万种之间,其中已记载过的仅约 20 万种(1995 年),包括原核生物 3 500 种,病毒 4 000 种,真菌 9 万种,原生动物和藻类 10 万种,且这些数字还在急剧增长,例如,在微生物中较易培养和观察的大型微生物——真菌,至今每年还可发现约 1 500 个新种。

(2) 生物代谢类型的多样性 微生物的生理代谢类型之多,是动、植物所大大不及的。例如:① 分解地球上贮量最丰富的初级有机物——天然气、石油、纤维素、木质素的能力为微生物所垄断;② 微生物有着最多样的产能方式,诸如细菌的光合作用,嗜盐菌的紫膜光合作用,自养细菌的化能合成作用,以及各种厌氧产能途径等;③ 生物固氮作用;④ 合成次生代谢产物等各种复杂有机物的能力;⑤ 对复杂有机分子基团的生物转化能力;⑥ 分解氰、酚、多氯联苯等有毒和剧毒物质的能力;⑦ 抵抗极端环境(热、冷、酸、碱、渗、压、辐射等)的能力等。

(3) 代谢产物的多样性 微生物究竟能产生多少种代谢产物,是一个不容易准确回答的问题。20 世纪 80 年代末曾有人统计为 7 890 种,后来(1992 年)又有人报道仅微生物产生次生代谢产物就有 16 500 种,且每年还在以 500 种新化合物的数目增长着。

(4) 遗传基因的多样性 从基因水平看微生物的多样性,内容更为丰富,这是近年来分子微生物学正在积极探索的热点领域。在全球性的“人类基因组计划”(HGP)的有力推动下,微生物基因测序工作正在迅速开展,并取得了巨大的成就,截至 2000 年 5 月,已发表的微生物基因组有 31 个,即将发表的 15 个,正在进行的 106 个。在已发表的 31 个中,细菌占 22 个,包括枯草芽孢杆菌、结核分枝杆菌和幽门螺杆菌等;古生菌 5 个,如詹氏甲烷球菌等;真核微生物 4 种,如大利什曼虫等。此外,另 572 株病毒早已搞清了基因组的序列(1998 年)。从而充分显示了微生物基因组种类的多样性和基因库资源的丰富性。

(5) 生态类型的多样性 微生物广泛分布于地球表层的生物圈(包括土壤、水圈、大气圈、岩石圈和冰雪圈);对于那些极端微生物及嗜极菌而言,则更易生活在极热、极冷、极酸、极碱、极盐、极压和极旱等的极端环境中;此外,微生物与微生物或与其他生物间还存在着众多的相互依存关系,如互生、共生、寄生、抗生和猎食等,如此众多的生态系统就会产生各种相应生态型的微生物。

微生物的分布广、种类多的特点,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。

### (三) 微生物在生物界的地位

微生物各类群在生物分类学中的地位见表 1-2。

表 1-2 微生物在生物六界系统中的地位

| 生物界名称 | 主要结构特征                                     | 微生物类群名称            |
|-------|--------------------------------------------|--------------------|
| 病毒界   | 无细胞结构,大小为纳米(nm)级                           | 病菌、类病菌等            |
| 原核生物界 | 为原核生物,细胞中无核膜与核仁的分化,大小为微米( $\mu\text{m}$ )级 | 细菌、蓝细菌、放线菌、支原体、衣原体 |
| 原生生物界 | 细胞中具核膜与核仁的分化,为小型真核生物                       | 单细胞藻类、原生动物等        |
| 真菌界   | 单细胞或多细胞,细胞中具核膜与核仁的分化,为小型真核生物               | 酵母菌、霉菌等            |
| 植物界   | 细胞中具核膜与核仁的分化,为大型非运动真核生物                    |                    |
| 动物界   | 细胞中具核膜与核仁的分化,为大型能运动真核生物                    |                    |

从表 1-2 可以看出,微生物在六界分类系统中占了四界,包括病毒界、原核生物界、原生生物界、真菌界。它们或无细胞结构,或是单细胞生物,或是简单多细胞生物,而地球上的生物是由非细胞生命形式从低级到高级逐渐进化而来的,可见微生物在生命进化的阶梯上处于较低的地位,属低等生物。

## 第二节 微生物学

### (一) 微生物学概念、任务、分科

微生物学是一门在细胞、分子或群体水平上研究微生物的形态构造、生理生化、遗传变异、生态分布和分类进化等生命活动基本规律,并将其应用于工业发酵、医药卫生、生物工程和环境保护等实践领域的科学。

微生物学的根本任务是发掘、利用、改善和保护有益微生物,控制、消灭或改造有害微生物,为人类社会进步服务。

微生物学经历了一个多世纪的发展,已经分化出大量的分支学科,据不完全统计(1990年)已达 181 门之多。现根据其性质简单归纳成下列六类:

(1) 按微生物的基本生命活动规律 总学科称为普通微生物学,分科有微生物分类学、微生物生理学、微生物遗传学、微生物生态学和分子微生物学等。

(2) 按微生物应用的领域 总学科称为应用微生物学,分科有工业微生物学、农业微

生物学、医学微生物学、药用微生物学、食品微生物学、抗生素学等。

(3) 按研究的微生物对象 有细菌学、真菌学、病毒学、原核生物学、自养菌生物学和厌氧菌生物学等。

(4) 按微生物所处的生态环境分 如土壤微生物学、微生物生态学、海洋微生物学、环境微生物学、水微生物学和宇宙微生物学等。

(5) 按学科间的交叉、融合分 如化学微生物、分析微生物、微生物生物工程学、微生物化学分类学、微生物数值分类学、微生物地球化学和微生物信息学等。

(6) 按实验方法、技术分 如实验微生物学、微生物研究方法等。

## (二) 微生物学的发展简史

### 1. 微生物学的发展简史

大约迄今 32 亿年以前,微生物就悄悄地出现在地球上了,这是在非洲南部发现杆菌化石后才知道的。那时整个地球还是它们独霸天下,后来才陆续出现了植物、动物和人类。尽管人们早已会利用微生物来酿酒、造醋,但却连他们长什么样子也不知道。人类对动植物的认识,可以追溯到人类出现之初。可是,对数量庞大、分布广泛并始终包围在人体内外微生物却长期缺乏认识。当人们还处在对微生物世界的无知状态时,对待眼前的微生物往往表现出“视而不见、嗅而不闻、食而不察、得其益而不感其好、受其害而不知其恶”的愚昧状态。历史上所遭受的多次严重瘟疫流行的事实就是证明,如鼠疫、天花、麻风、梅毒和肺结核的大流行等。

直到 300 多年以前,列文虎克用他自制的世界上第一台单式显微镜观察到了极微小的生物,人们才第一次看到了微生物的本来面貌。但微生物真正作为一门科学被认识是从 19 世纪中叶才开始的。微生物学发展简史可分为五个时期,即史前期、初创期、奠基期、发展期和成熟期(见表 1-3)。

### 2. 微生物学的先驱者及其贡献

(1) 列文虎克(荷兰,1632~1723 年):科学家,微生物学先驱者。他的主要贡献有三个方面: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,从而扫除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。

(2) 巴斯德(法国,1822~1895 年):微生物学的奠基人。他的巨大业绩可概括为三项:① 提出发酵是由特殊微生物引起的;② 传染病也是由特殊微生物引起的;③ 将病原菌减毒,可使其转变为疫苗。他发明了用接种减毒苗预防霍乱病和牛、羊炭疽病,发明了治疗狂犬病及白喉病等疾病的方法,为人类防病治病做出了重大贡献,他发明的巴斯德消毒法一直沿用至今。

(3) 科赫(德国,1843~1910年):细菌学的奠基人。他的主要业绩有三个方面:①建立了研究微生物学的一系列重要方法,尤其是分离微生物纯种的方法沿用至今;②创立了许多显微观察技术,如细菌的鞭毛染色法、悬滴培养法和显微摄影技术等;③提出了科赫法则,即证明某一种微生物是某一种病原体所必须具备的条件,此法则至今仍指导着动、植物病原的确定。

表 1-3

微生物学史简表

| 分期   | 史前期                                                         | 初创期                                            | 奠基期                                                                                                       | 发展期                                                                                                        | 成熟期                                                                                                                                                                  |
|------|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 时间/年 | 约 8000 年前至1676 年                                            | 1676 ~ 1861 年                                  | 1861 ~ 1897 年                                                                                             | 1897 ~ 1953 年                                                                                              | 1953 年至今                                                                                                                                                             |
| 实质   | 朦胧阶段                                                        | 形态描述阶段                                         | 生物水平研究阶段                                                                                                  | 生化水平研究阶段                                                                                                   | 分子生物学水平研究阶段                                                                                                                                                          |
| 开创者  | 各国劳动人民,其中尤其以我国的制曲、酿酒技术著称                                    | 列文虎克——微生物学的先驱者                                 | ① 巴斯德——微生物学奠基人<br>② 科赫——细菌学奠基人                                                                            | 布赫纳——生物化学奠基人                                                                                               | 瓦特森和克瑞克——分子生物学奠基人                                                                                                                                                    |
| 特点   | ① 未见细菌等微生物的个体<br>② 凭实践经验利用微生物的有益活动(进行酿酒、发面、制酱、酿醋、沤肥、轮作、治病等) | ① 自制单式显微镜,观察到细菌等微生物的个体<br>② 出于个人爱好对一些微生物进行形态描述 | ① 微生物学开始建立<br>② 创立了一整套独特的微生物学基本研究方法<br>③ 开始运用“实践—理论—实践”的思维方法开展研究<br>④ 建立了许多应用性分支学科<br>⑤ 进入寻找人类和动物病原菌的黄金时期 | ① 对无细菌酵母菌“酒化酶”进行生化研究<br>② 发现微生物的代谢统一性<br>③ 普通微生物学开始形成<br>④ 开展广泛寻找微生物的有益代谢产物<br>⑤ 青霉素的发现极大地推动了微生物工业化培养技术的发展 | ① 广泛运用分子生物学理论和现代研究方法,深刻揭示微生物的各种生命活动规律<br>② 以工程为主导,把传统的工业发酵提高到发酵工程的新水平<br>③ 大量理论性、交叉性、应用性和实验性分支学科飞速发展<br>④ 微生物学的基础理论和独特实验技术推动了生命科学各领域飞速发展<br>⑤ 微生物基因组的研究促进了生物信息学时代的到来 |