



高等教育“十三五”规划教材

食品微生物学

(第2版)

主 编 胡树凯
副主编 赵 强 刘红梅 高彩芹
主 审 宫 霞



北京交通大学出版社
<http://www.bjtu.com.cn>

高等教育“十三五”规划教材

食品微生物学

(第2版)

主 编 胡树凯

副主编 赵 强 刘红梅 高彩芹

主 审 官 霞



扫描二维码，下载 App，可获取本书相关电子资源。

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

食品微生物学是食品科学相关专业的基础课程。本书紧紧围绕食品微生物的基本特点和食品行业对微生物利用和检测的要求编写, 主要内容包括: 微生物主要类群及其形态结构、微生物的营养与代谢、微生物的生长、微生物的遗传变异与菌种选育、微生物生态、食品制造中的主要微生物及其应用、食品微生物污染及其主要变质微生物。本书的编写着重理论与实际相结合, 突出实用第一、基础为重, 删繁就简、深入浅出, 重视历史、兼顾前沿等特色。

本书适合本专科学学生作为教材使用, 也可作为食品相关专业人员的参考书。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

食品微生物学 / 胡树凯主编. —2 版. —北京: 北京交通大学出版社, 2016. 7
ISBN 978-7-5121-2944-3

I. ①食… II. ①胡… 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 (2016) 第 180155 号

食品微生物学

SHIPIN WEISHENGWUXUE

策划编辑: 张利军 刘建明

责任编辑: 张利军 助理编辑: 陈建峰

出版发行: 北京交通大学出版社 电话: 010-51686414

地 址: 北京市海淀区高粱桥斜街 44 号 邮编: 100044

印 刷 者: 北京交大印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185 mm×260 mm 印张: 13.25 字数: 330 千字

版 次: 2016 年 7 月第 2 版 2016 年 7 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5121-2944-3/TS·805

印 数: 1~2 000 册 定价: 29.00 元

本书如有质量问题, 请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评, 我们表示欢迎和感谢。

投诉电话: 010-51686043, 51686008; 传真: 010-62225406; E-mail: press@bjtu.edu.cn。

第2版前言

《食品微生物学》(第1版)的编写工作始于2008年3月,在初稿完成后又对其进行了数十次的修改,最终于2013年1月在北京交通大学出版社正式出版。《食品微生物学》(第1版)被多所院校选作教材或参考书使用,受到众多专业人士、教师和学生的广泛好评,同时许多食品行业内的专家也对本书的不足之处提出了宝贵意见。考虑到近年来食品微生物学的教学及科研发展的需要,作者在总结多年教学改革经验的基础上,对《食品微生物学》(第1版)进行了修订完善,调整了部分内容,并基于项目教学和任务驱动理论对全书结构进行了重新调整,以更加适应现代教师教学需要。本次修订主要注重以下几方面。

1. 科学性。在本次修订工作中,编者参考了大量国内外相关学术专著、期刊论文、研究报告等前沿文献资料,并以“必需和够用”为原则对这些资料进行了严格筛选,既重视全书内容的整体层次性,又突出反映食品微生物学的学科发展和在技术方面的进步。同时,本次修订还对第1版中存在的语言文字错误进行了更正,调整了不合理的插图等。

2. 知识内容顺序安排符合认知规律。编者结合多年的教学实践经验,在行文思路、语言表述、内容编排方面更加贴近读者,旨在以一种更人性化的方式将专业知识呈现在读者面前,使其更容易理解与接受。

3. 基础性和技能性并重。本书注重对基本概念、基本理论的阐释与解析,在对部分理论或者概念做出解释、说明的同时,还提供与之相关的例证等资料性佐证。全书图文并茂,注重与现实生活相联系,提供了较多的技能训练资源,强调从基本知识和基本原理入手,通过实验、实训学习获得基本技能,发展思维能力,逐步掌握学习和探究问题的基本方法和技术手段,培养读者的探索精神。

4. 注重内容与技能训练的开放性和发散性。本书课后习题既注重巩固读者对所学内容的理解、掌握及应用,又试图通过一些与实际生活和食品生产相关的开放性、探究性的习题着重培养读者的创新精神。

此外,本书非常重视读者专业综合能力的培养;每个项目的学习都设定了知识目标、技能目标和项目任务,要求读者在学习理论的同时,还要花足够的时间去掌握动手操作的技能。

食品微生物学是食品科学相关专业的一门重要的专业课程。通过对本课程的学习,旨在让本专业的读者或从事食品行业的人员在充分掌握食品微生物基本知识的基础上逐步提高自学能力,分析问题、解决问题的能力,以及实践动手能力。

本书的编写工作围绕食品微生物的基本特点及其在食品行业中的应用展开,特别注重食品微生物学中的基本概念、基本理论方面知识的阐述,同时对微生物在食品中的应用及环境保护的作用也做相关介绍。本书的主要内容包括以下七个方面。

- (1) 微生物的形态结构、生理特点;
- (2) 微生物的营养与代谢;
- (3) 微生物的生长特点及影响生长的因素;

- (4) 微生物的遗传变异特点和遗传育种;
- (5) 微生物的生态;
- (6) 食品制造中的微生物应用;
- (7) 食品变质与微生物。

本书由胡树凯任主编;赵强、刘红梅、高彩芹任副主编;参加编写的还有赵凤舞、李苹苹、侯景芳、卫晓英、张冬梅、任秀娟、于海洋、王真、韦钦国、郭丹、许传兵、张道雷、李远钊等,全书由宫霞博士主审。

特别感谢我的导师马炜梁教授在本书编写过程中给予的支持、鼓励;感谢龙北国教授、段效辉博士、宫霞博士在本书编写过程中提供的专业帮助;感谢张立列、陶热、朱自严、包强平、陈晓耘、陈毅萍、陈陵际、许建营等为本书的修订提出的宝贵意见;感谢食品伙伴网为本书提供了许多相关资料。

由于时间仓促和编者水平的限制,书中难免会有错误及疏漏之处,敬请广大读者在使用过程中能及时向我们提出,以便在修订再版时做出改正。

胡树凯

2016年6月

第1版前言

食品微生物学是食品科学等专业的一门重要课程。通过本课程的学习,使学生在充分掌握微生物基本知识的基础上逐步提高分析问题、解决问题的能力。

本书的编写围绕食品微生物的基本特点和在食品行业中的应用,特别注重食品微生物的基本概念、基本理论方面的阐述,对食品的微生物应用及环境保护也选取了重要部分进行了有针对性的说明。主要包括:①微生物主要类群及其形态与结构;②微生物的营养与代谢;③微生物的生长;④微生物的遗传变异特点与菌种选育;⑤微生物生态;⑥食品制造中的主要微生物及其应用;⑦食品微生物污染及其主要变质微生物。

食品微生物学非常重视实践技能的培养,因此要求学生在理论学习的同时要拿出充足的时间掌握操作技能。

本书力求突出时代性、应用性、基础性和先进性,参考了近年来国内外微生物研究方面新的进展,吸取了国内外关于食品微生物检验的新理论、新知识。

本书由胡树凯、李彦宏任主编,赵强、刘红梅任副主编,参加编写的还有李苹苹、侯景芳、高彩芹、卢继承、张冬梅、任秀娟、何忠宝、段效辉、全永亮、王风玲、刘淑英、崔忠艾、李远钊、杨震等,全书由宫霞主审。

本书配有教学课件等资源,可以从北京交通大学出版社网站(<http://press.bjtu.edu.cn>)免费下载,或向 cbswxc@jg.bjtu.edu.cn 索取。

由于编写时间仓促和编者水平的限制,书中难免会出现不妥、遗漏之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年1月

目 录

项目一 认识微生物	1
任务一 微生物的分类地位	1
一、微生物的概念及其在生物分类中的地位	1
二、微生物的生物学特性	2
三、微生物学及其主要分支学科	4
任务二 微生物学的形成发展历史	4
一、微生物学的形成和发展	5
二、我国微生物学的发展	8
三、食品微生物学研究的内容与任务	8
项目二 微生物主要类群及其形态结构	11
任务一 细菌	12
一、细菌的形态和排列	13
二、细菌的大小	15
三、细菌细胞的结构	16
四、细菌的繁殖	28
五、细菌菌落	29
六、食品中常见细菌	30
任务二 放线菌	33
一、放线菌的形态结构	34
二、放线菌的菌落特征	35
三、放线菌的繁殖方式	36
四、放线菌的代表属	36
任务三 蓝细菌及其他原始微生物	36
一、蓝细菌	37
二、支原体	39
三、立克次氏体	40
四、衣原体	41
任务四 霉菌	42
一、霉菌的形态结构	43
二、霉菌的菌落	44
三、霉菌的繁殖	44
四、霉菌的代表属	48
任务五 酵母菌	53
一、酵母菌的形态结构	55

二、酵母菌的菌落特征	56
三、酵母菌的繁殖方式	57
四、食品中的主要酵母菌	59
任务六 病毒	62
一、病毒的形态与大小	63
二、病毒的结构和化学组成	64
三、病毒的主要类群	67
四、噬菌体	68
五、亚病毒	72
项目三 微生物的营养与代谢	76
任务一 微生物的营养	76
一、微生物细胞的化学组成和营养素	77
二、微生物对营养物质的吸收	81
三、微生物的营养类型	84
四、培养基	86
任务二 微生物代谢——微生物的能量代谢	91
一、生物氧化	92
二、异养微生物的生物氧化	92
三、自养微生物的生物氧化	94
四、能量转换	95
项目四 微生物的生长	97
任务一 微生物纯培养生长	97
一、纯培养	98
二、微生物生长的测定	101
三、微生物的生长曲线	103
四、连续培养	106
五、同步生长	107
任务二 物理、化学因素对微生物生长与死亡的影响	109
一、温度	110
二、pH	114
三、氧化还原电位	115
四、辐射	116
五、干燥	117
六、渗透压	117
七、超声波	118
八、重金属及其化合物	118
九、有机化合物	119
十、卤族元素及其化合物	120
十一、表面活性剂	120

十二、染料·····	121
任务三 抗生素对微生物的作用·····	121
项目五 微生物的遗传变异与菌种选育·····	125
任务一 遗传变异的物质基础·····	126
一、验证核酸是遗传变异物质的经典实验·····	126
二、遗传物质在细胞中的存在方式·····	127
任务二 微生物与基因突变·····	128
一、基因突变·····	128
二、诱变·····	129
三、DNA 的修复机制 ·····	130
四、突变与育种·····	131
任务三 基因重组·····	131
一、原核微生物的基因重组·····	132
二、真核微生物的基因重组·····	133
任务四 基因工程·····	134
一、基因分离·····	135
二、体外重组·····	135
三、载体传递·····	135
四、复制、表达·····	135
五、筛选、繁殖·····	135
任务五 菌种的衰退、复壮和保藏·····	136
一、微生物菌种的衰退与复壮·····	136
二、菌种的保藏·····	138
项目六 微生物生态·····	141
任务一 自然环境中的微生物·····	141
一、土壤中的微生物·····	142
二、水体中的微生物·····	143
三、空气中的微生物·····	143
四、极端环境中的微生物·····	144
任务二 微生物与自然界的物质循环·····	144
一、碳素循环·····	144
二、氮素循环·····	145
三、硫素循环·····	147
任务三 微生物间及微生物与其他生物间的相互关系·····	147
一、微生物间的相互关系·····	148
二、微生物与高等植物间的相互关系·····	149
任务四 微生物与环境保护·····	150
一、环境中的主要污染物·····	151
二、微生物对污染物的降解与转化·····	151

三、污染物的生物处理·····	154
四、微生物与环境监测·····	157
项目七 食品制造中的主要微生物及其应用·····	159
任务一 发酵乳制品·····	159
一、乳制品发酵的生化过程·····	159
二、乳制品酿造中的微生物·····	160
任务二 食醋·····	163
一、食醋发酵生化过程·····	163
二、食醋酿造中的微生物·····	164
任务三 酱油·····	165
一、酱油生产的生化过程·····	165
二、酱油酿造中的微生物·····	165
任务四 酒·····	166
一、酒发酵的生化过程·····	166
二、酒酿造中的微生物·····	167
任务五 味精·····	168
一、谷氨酸发酵及味精生产工艺·····	168
二、味精制造中的微生物·····	168
项目八 食品微生物污染及其主要变质微生物·····	171
一、食品中微生物的来源与控制·····	171
二、微生物引起食品腐败变质的原因·····	173
任务一 乳与乳制品·····	177
一、乳·····	177
二、乳制品·····	181
任务二 畜禽肉及其制品·····	182
一、畜禽肉的概念·····	182
二、畜禽肉的主要成分·····	182
三、畜禽肉及肉制品中微生物的来源·····	183
四、畜禽肉与微生物·····	183
任务三 水产品·····	187
一、水产品的营养成分·····	187
二、水产品的分类·····	187
三、鱼类及其制品的微生物·····	187
任务四 蛋·····	189
一、蛋的理化特性与微生物生长·····	190
二、禽蛋的腐败变质·····	191
任务五 水果、蔬菜及其制品·····	192
一、水果和蔬菜·····	192
二、预防果蔬腐败变质的措施·····	193

任务六 粮食、面粉及其制品.....	193
一、粮食与微生物.....	193
二、防止粮食、面粉腐败变质的措施.....	195
参考文献.....	200

认识微生物

→ 知识目标：

- 掌握微生物主要的生物学特性；
- 熟悉微生物在生物分类中的地位；
- 了解微生物学的发展历程。

→ 技能目标：

- 结合项目一主要内容，培养利用互联网查找相关文献资料的能力。

任务一 微生物的分类地位

► 任务描述

熟悉食品微生物在生物分类系统中分属的界；
熟知微生物的生物学特性。

► 任务分析

目前地球上生物的分界主要按照魏塔克（Whittaker）的五界系统，微生物分属多界，病毒不在五界系统内。

微生物在地球上生活了极其漫长的时间，有许多特殊的适应地球自然环境的特性；这些特性中很多都是生物进化的奇迹，如代谢能力强、繁殖速度快、休眠时间长等。

► 任务知识

一、微生物的概念及其在生物分类中的地位

（一）微生物的概念

微生物（microbe, microorganism）是指个体微小、结构简单、借助显微镜才能被观察到的微生物，包括病毒、细菌、真菌、原生动物和某些藻类等。

从细胞结构上看，微生物通常包括无细胞结构的病毒、亚病毒（类病毒、拟病毒、朊病毒），具有原核细胞结构的真细菌、古生菌，以及具有真核细胞结构的真菌（酵母菌、霉菌等）、原生动物和单细胞藻类；它们的大小和细胞类型见表 1-1。微生物个体微小，但是也有例外。例如，许多真菌的子实体肉眼可见，某些藻类能生长到几米长。一般来说，微生

物可以被认为是细胞结构相当简单的生物：大多数的细菌、原生动物、某些藻类和真菌是单细胞的微生物；即使为多细胞的微生物，其细胞结构也简单、较少分化；病毒没有细胞结构，只有蛋白质外壳包围着遗传物质。

表 1-1 微生物的大小和细胞类型

微 生 物	大小近似值	细胞的特性
病毒	0.01~0.25 μm	非细胞生物
细菌	0.1~10.0 μm	原核生物
真菌	2.0 μm~1.0 m	真核生物
原生动物	2.0~1 000.0 μm	真核生物
藻类	1.0 μm~5.0 m	真核生物

（二）微生物在生物分类中的地位

生物学发展史的早期将所有的生物分为动物界和植物界两大类群；微生物不仅形体微小、结构简单，而且它们之中有些类似动物，有些类似植物，还有些既有动物的某些特征，又具有植物的某些特征，因而很难将其简单地归于动物界或植物界。1866 年海克尔 (Haeckel) 提出区别于动物界与植物界的第三界——原生生物界，包括藻类、原生动物、真菌和细菌。

随着科学的发展，以及新技术和新的研究方法的应用，尤其是电子显微镜和超显微结构研究技术的发展与应用，发现了生物的细胞核有两种类型：一类没有真正的核结构，细胞不具核膜，被称为原核；另一类有核膜、有真正的核结构，被称为真核。动物界、植物界及原生生物界中的大部分藻类、原生动物和真菌是真核生物，而细菌、蓝细菌则是原核生物。真核生物和原核生物不仅细胞核的结构不同，而且其性状也有不同。根据细胞核结构的不同，1969 年魏塔克 (Whittaker) 提出五界系统，即动物界、植物界、原生生物界、真菌界和原核生物界，五界系统中的生物都有细胞结构。病毒作为一界被提出的时间较晚，主要原因是：① 对病毒和类病毒是生物还是非生物，是原始类型还是次生类型长期争论未决；② 病毒的种名不是用卡尔·冯·林奈双命名法命名的，分类也不相同。经过长期研究发现，病毒和细胞型生物有共同特性：① 遗传物质是 DNA（有的病毒是 RNA）；② 使用共同的遗传密码。在此基础上，我国学者于 1979 年提出将无细胞结构的病毒设立为病毒界，从而建立了生物六界系统，如图 1-1 所示。

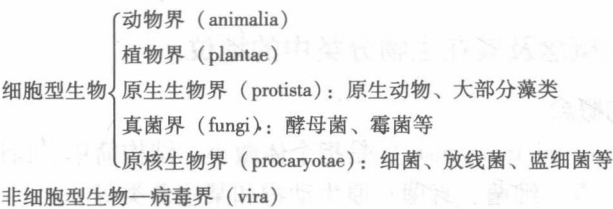


图 1-1 生物六界系统

二、微生物的生物学特性

微生物个体微小，结构简单，具有与高等生物相同的基本生物学特性；但微生物同时也

具有一些区别于自然界中其他生物的特殊性,如代谢能力强、繁殖速度快、种类多、分布广、适应性强、易变异等。

(一) 代谢能力强

微生物个体虽小,但有极大的表面积与体积比值;因而微生物能与环境迅速进行物质交换,吸收营养和排泄废物,有较高的代谢速率。微生物的代谢速率是高等生物的几千倍到几万倍。例如,发酵乳糖的细菌在1 h内可分解相当于其自重1 000~10 000倍的乳糖;产朊假丝酵母(*Candida utilis*)同等时间内合成蛋白质的数量理论上是肉用牛的10万倍。微生物代谢能力强的特性是其高速生长繁殖和产生大量代谢产物的基础,使微生物成为“活的化工厂”。

(二) 繁殖速度快

微生物繁殖速度快,易培养,这是其他生物无法企及的。例如,大肠埃希氏菌(*Escherichia coli*,以下简称大肠杆菌),在合适的条件下,其细胞每分裂一次的时间为12.5~20.0 min。理论上,如果按20 min分裂一次计算,则大肠杆菌每小时分裂3次,每昼夜可分裂72次,其后代数为4 722 366 500万亿个。事实上,由于种种条件的限制,细菌的指数分裂速度只能维持较短时间,因而在液体培养基中,细菌的浓度一般仅能达到每毫升 $10^8 \sim 10^9$ 个。

微生物繁殖速度快的特性在发酵工业上具有重要的实践意义,体现在利用微生物进行发酵生产具有生产效率高、发酵周期短的特点。此外,大多数微生物都能在常温常压下利用简单的营养物质生长,并在生长过程中积累代谢产物,可以不受季节限制、因地制宜、就地取材,因而为人类开发、利用微生物资源提供了有利的条件。例如,用作发面剂的酿酒酵母(*Saccharomyces cerevisiae*),其繁殖速度不算太高(2 h分裂1次),但在单罐发酵时,几乎每12 h即可收获1次,每年可收获数百次;这是任何农作物都不能达到的“复种指数”。微生物繁殖速度快的特点对缓和人类面临的人口增长与食物供应之间的矛盾也有着重大意义。同时,微生物繁殖速度快的生物学特性也为生物学基本理论的研究带来了极大的方便——它使科学研究周期大大缩短、经费降低、效率提高。当然对于危害人、畜和植物等的病原微生物或使物品发生霉腐的霉腐微生物来说,这个特性则会给人类带来极大的麻烦甚至造成严重的祸害,因此需要认真对待。

(三) 种类多、分布广

微生物在自然界中是一个十分庞杂的生物类群;迄今为止,人类发现的微生物约有10万种。微生物具有多种生活方式和营养类型,其大多数是以有机物为营养物质,还有些是寄生类型,能分解利用地球上储量丰富的有机物——天然气、石油、纤维素、木质素等物质。微生物有多种产能方式,如细菌光合作用、自养细菌的化能合成作用、生物固氮作用,以及各种厌氧产能途径等。微生物具有复杂的分解合成能力,如合成多种复杂有机物、次生代谢产物,对复杂有机物分子进行生物转化,分解氰、酚、多氯联苯等有毒物质等。此外,微生物还具有抵抗热、冷、酸、碱、高渗、高压、高剂量辐射等极端环境的能力,以及独特的繁殖方式等。不同微生物可以有不同的代谢产物,如甲烷、氨气、抗生素、酶类、氨基酸及有机酸等。自然界的物质循环是由各种微生物参与才得以完成的。

微生物在自然界的分布极为广泛,土壤、水、空气中都有微生物的存在。土壤是微生物的大本营;任意取一把土,甚至一粒土,就是一个微生物世界,其中含有不同种类的微生物。

物。可以说,凡是有高等生物生存的地方,就有微生物的存在;即使在极端的环境条件如高山、深海、冰川、沙漠等高等生物不能生存的地方,也有微生物的存在。

从微生物种类多、分布广这一特性可以看出,微生物资源是极其丰富的。但统计数据显示,目前人类仅开发利用了已发现微生物种类的1%左右。因此,在生产实践和生物学基本理论研究中,微生物的开发、利用前景是十分广阔的。

(四) 适应性强、易变异

微生物有极其灵活的适应性,这是高等动植物无法比拟的。为了适应多变的环境条件,微生物在长期进化过程中产生了许多灵活的代谢类型和代谢调控机制,并有种类繁多的代谢酶(可占细胞蛋白质含量的10%)。

微生物的个体一般都是单细胞、简单多细胞或非细胞的,其遗传物质通常都是单倍体,加之它们具有繁殖快、数量多等特点,即使其变异频率十分低(一般为 $10^{-10} \sim 10^{-5}$),也可以在短时间内产生较多的变异后代。最常见的变异形式是基因突变,可以涉及目前科学发现的任何类型,如形态构造、代谢途径、生理类型,以及代谢产物的变异等。

人们利用微生物易变异的特点进行菌种选育可以在短时间内获得优良菌种,提高产品产量和质量,这在工业上已有许多成功的案例;但若保存使用不当,微生物优良菌种的特性易发生退化。微生物易变异的特点在其应用中是不可忽视的。

三、微生物学及其主要分支学科

微生物学是研究微生物的形态结构、生理生化、遗传变异,以及微生物的进化、分类、生态等生命活动规律及其应用的一门科学。随着微生物学的不断发展,已形成了基础微生物学和应用微生物学两大类;它们各自又可分为许多不同的分支学科,而且还在不断地形成新的学科和研究领域。微生物学既是应用科学,又是基础科学,而且其各分支相互配合、相互促进。微生物学的根本任务是利用和改善有益微生物,控制、消灭或改造有害微生物。

根据基础理论研究划分,微生物学的分支学科有:普通微生物学、微生物分类学、微生物生理学、微生物生态学、微生物免疫学、微生物遗传学等;根据研究对象划分有:细菌学、真菌学、病毒学;根据应用范围划分有:工业微生物学、农业微生物学、医学微生物学、食品微生物学、畜牧微生物学、海洋微生物学、环境微生物学、土壤微生物学等。

任务二 微生物学的形成发展历史

任务描述

熟知巴斯德、柯赫在微生物学发展史上做出的重要贡献;
了解我国科学家对微生物学的发展做出的贡献;
熟悉食品微生物学研究的内容。

任务分析

巴斯德是法国历史上最伟大的科学家这一,为微生物学的发展做出了无可比拟的巨大贡献,本书只介绍了其贡献的一部分。柯赫是伟大的细菌学家,在微生物研究方法等方面为后人留下了宝贵的经验。通过对本任务内容的学习,并通过互联网查找相关资料,读者应逐步

培养利用互联网查找文献资料的能力,以及对查找到的文献资料进行分类汇总的能力。

我国著名科学家汤飞凡在医学微生物学的研究方面做出了突出贡献。食品微生物学主要研究微生物在食品发酵等方面的应用和防控微生物危害食品的方法。

任务知识

一、微生物学的形成和发展

由于微生物个体较小,人类要充分认识它,并将其发展为一门学科有一定的困难;与其他学科相比,微生物学的发展经历了一个漫长的过程。人类对微生物的应用历史可以追溯到几千年前。我国劳动人民很早就认识到微生物的作用,也是最早应用微生物的少数国家之一。据考古学推测,我国在 8 000 年前已经开始酿酒,到 4 000 多年前酿酒已十分普遍,当时埃及人也已学会烤制面包和酿制果酒。2 500 年前我国人民发明了酿造酱和醋的方法,知道了用曲治疗消化道疾病。公元 6 世纪(北魏时期)贾思勰的巨著《齐民要术》详细地记载了制曲、酿酒、制酱和酿醋等工艺;在农业上,虽然还不知道根瘤菌的固氮作用,但已经在利用豆科植物和其他作物轮作提高作物产量。这些事实说明,尽管人类还不知道微生物的存在,但是已经在同微生物打交道了。人类在利用有益微生物的同时,也对有害微生物进行了防治。为防止食物变质,人们采用盐渍、糖渍、干燥、酸化等保藏方法保存食物。北宋真宗时期人们开始用人痘预防天花;人痘预防天花是我国对世界医学的一大贡献,这种方法先后传到俄国、日本、朝鲜、土耳其及英国,直到 1798 年英国医生琴纳(Jenner)提出用牛痘预防天花。

微生物学作为一门学科,是从有显微镜开始的。微生物学发展经历了三个时期:形态学时期、生理学时期和现代微生物学时期。

1. 形态学时期

对微生物的形态观察是从安东·列文虎克(Antony van Leeuwenhoek, 1632—1723)发明了显微镜开始的,他自制的显微镜在当时被认为是最精巧、最优良的光学仪器。安东·列文虎克利用能放大 50~300 倍的显微镜,清楚地看见了细胞、细菌和原生动物。1695 年,安东·列文虎克把自己积累的大量成果写成《安东·列文虎克所发现的自然界秘密》一书,并将该书寄给英国皇家学会;该书对微生物等进行了详细的描述,并配有准确的插图。他的发现和描述首次向人类揭示了一个崭新的生物世界——微生物世界,这在微生物学的发展史上具有划时代的意义。

2. 生理学时期

继安东·列文虎克发现微生物之后的 200 年时间里,微生物学的研究基本上停留在形态描述和分门别类阶段。直到 19 世纪中期,以法国的巴斯德(Louis Pasteur, 1822—1895)和德国的柯赫(Robert Koch, 1843—1910)为代表的科学家才将微生物的研究从形态描述推进到生理学研究阶段,阐明了微生物是造成腐败变质和人畜疾病的原因,并创造出分离、培养、接种和灭菌等一系列独特的微生物研究技术,从而奠定了微生物学研究的基础,开辟了医学和工业微生物学等分支学科。

1) 巴斯德的主要贡献

巴斯德原来是一位化学家,曾在化学上做出过重要的贡献;他后来转向微生物学研究,

为微生物学的建立和发展做出了卓越的贡献。他的贡献主要包括以下几个方面。

(1) 彻底否定了“自然发生说”。“自然发生说”，又被称为“自生说”，是一个古老的学说；该学说认为一切生物是自然发生的。到了17世纪，植物和动物的生长发育等方面的研究使“自生说”逐渐被削弱，但是由于技术方面的限制，如何证实微生物不是自然发生的仍是一个难题；这不仅是“自生说”的一个顽固阵地，同时也是人们正确认识自然界的一大屏障。巴斯德在前人工作的基础上，进行了许多试验，其中著名的“曲颈瓶试验”无可辩驳地证实，微生物是引起有机质腐败的根本原因，从而彻底否定了“自生说”，并从此建立了“病原学说”，推动了微生物学的发展。

(2) 免疫学获得较大发展——预防接种被广泛应用。琴纳虽然早在1798年发明了种痘法预防天花，但他却并不了解这个免疫过程的基本机制，因此这个发现没能获得继续发展。1877年，巴斯德研究了鸡霍乱病，发现将病原菌减毒可诱发免疫性，因而可以预防鸡霍乱病；此后，他又研究了牛、羊炭疽病和人类狂犬病，并首次制成狂犬病疫苗和其他疾病疫苗，为人类防病、治病做出了重大贡献。

(3) 证实发酵是由微生物引起的。发酵究竟是一个由微生物引起的生物过程还是一个纯粹的化学反应过程，曾是化学家和微生物学家激烈争论的问题。巴斯德在否定“自生说”的基础上，认为一切发酵作用都可能与微生物的生长繁殖有关。经过不懈努力，巴斯德终于分离到了许多引起发酵的微生物，并证实酒精发酵是由酵母菌引起的；他还对氧气对酵母菌的发育和酒精发酵的影响进行了研究。此外，巴斯德还发现乳酸发酵、醋酸发酵和丁酸发酵都是由不同细菌引起的，为进一步研究微生物的生理生化作用奠定了基础。

(4) 发明了巴斯德消毒法。一直沿用至今的巴斯德消毒法（巴氏消毒法，60~65℃加热处理杀死有害微生物的一种消毒法）和家蚕软化病问题的解决也是巴斯德的重要贡献。巴斯德消毒法不仅在实践上解决了当时法国酒变质和家蚕软化病的问题，也推动了微生物病原学说的发展，并深刻影响了医学的发展。

2) 柯赫的主要贡献

德国细菌学家柯赫曾做过医生、大学教授、研究所长，对病原菌的研究做出了突出贡献。他的贡献主要包括以下几个方面。

(1) 分离出多种病原菌。

① 柯赫证实了炭疽病菌是炭疽病的病原菌；他几乎将欧洲流行的所有主要的与微生物相关的疾病病原菌都分离出来了，如斑疹伤寒、痢疾、梅毒、淋病、肺炎等。

② 柯赫发现了肺结核病的病原菌，肺结核病是当时死亡率极高的传染性疾病，柯赫因此获得了1905年诺贝尔生理学或医学奖。

③ 柯赫提出了证明某种微生物是否为某种疾病病原体的基本原则——柯赫原则：首先在患病机体里存在一种特定的病原菌，并且能够将其从该机体里分离得到纯培养；然后用得到的纯培养接种敏感动物，使其表现出特有的性状；最后从被感染的敏感动物中又一次获得与原病原菌相同的纯培养。由于柯赫在病原菌研究方面的开创性工作，自19世纪70年代至20世纪20年代成了发现病原菌的黄金时期，该时期所发现的各种病原微生物不下百余种，其中还包括植物病原菌。

(2) 发明了微生物培养的基本操作技术。柯赫除了在病原菌方面的伟大成就外，在微生物培养的基本操作技术方面的贡献更是为微生物学的发展奠定了技术基础。这些技术包