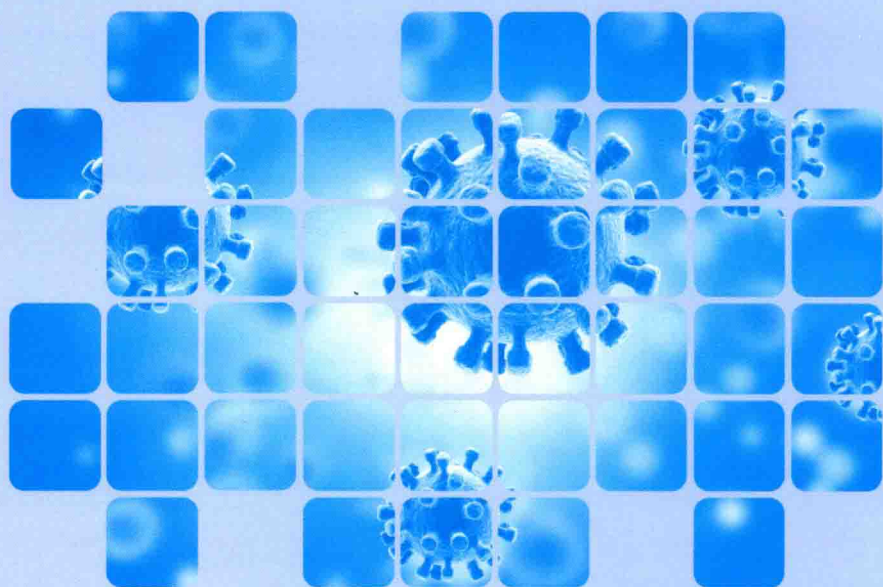


食品科学与工程类 系列规划教材

# 食品微生物学

贺稚非 霍乃蕊 主编



 科学出版社

Food Microbiology

非 稚 贺

食品科学与工程类系列规划教材

# 食品微生物学

贺稚非 霍乃蕊 主编



科学出版社

北京

## 内 容 简 介

食品微生物学是食品科学与工程、食品质量与安全等专业的必修课程。本书共 10 章,前 7 章介绍与食品有关的微生物的形态结构、生理生化特性、生长繁殖规律、环境因素对微生物生长的影响、微生物的分类、微生物生态、微生物遗传变异与育种等内容;第八章至第十章介绍微生物在食品工业中的应用、对食品造成的污染和变质,以及对食品腐败变质的控制等内容。本书内容新颖,兼具启发性,参考国内外主流教材,书后附有参考书目,供读者延伸阅读。

本书适合作为食品科学与工程、食品质量与安全及茶学、食品包装等专业的本科教材,同时对从事食品研究、食品生产和食品检测的相关人员也是一本很好的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

食品微生物学/贺稚非,霍乃蕊主编. —北京:科学出版社,2018.10  
食品科学与工程类系列规划教材  
ISBN 978-7-03-058690-2

I.①食… II.①贺… ②霍 III.①食品微生物-微生物学-高等学校-教材 IV.①TS201.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 202419 号

责任编辑:席慧文 茜 / 责任校对:杜子昂  
责任印制:吴兆东 / 封面设计:铭轩堂

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2019 年 2 月第二次印刷 印张:18 1/2

字数:450 000

定价:65.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 《食品微生物学》编写委员会

主 编 贺稚非 霍乃蕊

副主编 刘书亮 项锦欣 钟青萍

编 委 (按姓氏笔画排序)

刘书亮 (四川农业大学)

刘春芬 (徐州工业职业技术学院)

刘素纯 (湖南农业大学)

李 翔 (澳大利亚南澳大学)

杨吉霞 (西南大学)

余 翔 (湖北师范大学)

陈晓红 (南京农业大学)

项锦欣 (重庆理工大学)

钟青萍 (华南农业大学)

贺稚非 (西南大学)

霍乃蕊 (山西农业大学)

# 前 言

当前，不少有远见卓识的科学家都赞同“21世纪是生物学世纪”的见解。在“生物学世纪”，微生物学将起着非常重要的作用。自然科学中，如果说生命科学还是一个“朝阳科学”，那么，我们只能认为微生物学是一门“晨曦科学”；如果说微生物学是一个“富矿”，那它目前还是一个“刚刚被剥去一层表土的富矿”，这是因为在微生物中存在着高度的物种、遗传、代谢和生态类型多样性。微生物的多样性构成了微生物资源的丰富性，而微生物资源的丰富性则决定了对它的研究、开发和利用的长期性。

人类正面临着多种危机，如粮食危机、食品安全危机、能源匮乏、资源紧缺、生态恶化和人口爆炸等。进入21世纪后，人们遇到了从利用有限的矿物资源时代过渡到利用无限的生物资源时代而产生的一系列新问题。微生物细胞不仅是一个比表面积大、生化转化能力强、能进行快速自我复制的生命系统，而且还具有物种、代谢和生态的多样性，这些使得它们在解决人类面临的各种危机中能够发挥不可替代的独特作用。

(1) 微生物与人们的生活：果酒、葡萄酒、啤酒、白酒等各种酒类；酸乳、干酪及各种乳制品；用近代发酵或酶反应技术生产的食品原料，如葡萄糖、麦芽糖、果葡糖浆、甘露糖醇等；食品添加剂，如面包酵母、味精、赖氨酸、柠檬酸、甜味肽、肌苷酸和鸟苷酸（均为增鲜剂）、葡萄糖氧化酶和异维生素C（食品保鲜剂）、乳链菌肽（天然食品防腐剂）等重要的食品工业原料都是微生物发酵的产物。

微生物在其生命活动中产生的代谢产物一般可以分为两类：初级代谢产物和次级代谢产物。初级代谢产物一般属于能量代谢或分解代谢的产物，如乙醇，有机酸（柠檬酸、乳酸、乙酸和丙酸等），核酸，氨基酸，丙酮丁醇，酶制剂，多糖类等；次级代谢产物是在微生物细胞分化过程中产生的，往往不是细胞生长所必需的产物，对细胞的生长并不具有明显的作用，而且通常由一簇结构相似的化合物组成，如具有重要工业应用价值的抗生素、色素、蛋白抑制剂、免疫调节剂、甾体激素类、具有抗癌作用的活性物质、生物农药等。

(2) 微生物与食品安全：当今由微生物导致的食品安全问题已经成为一个世界性的公共卫生问题。全球食品安全事件大约有70%是由微生物引起的，近年来大的食品安全事件，如日本的雪印酸乳发生金黄色葡萄球菌中毒、美国的花生酱类食品发生沙门氏菌中毒，以及疯牛病、霍乱杆菌、结核等，给人类的健康带来了威胁。

(3) 微生物与粮食：微生物在提高土壤肥力、改进作物特性（如构建固氮植物）、促进粮食增产、防治粮食作物的病虫害、防止粮食霉腐变质，以及把多余粮食转化为糖、单细胞蛋白、各种饮料和调味品等方面，都可大显身手。

(4) 微生物与能源：化石能源日益枯竭正在严重困扰着世界各国。微生物在能源生产上有其独特的优点，目前已发现高温厌氧菌——热纤梭菌等能直接分解纤维素产生乙醇，有望降解植物秸秆；利用甲烷菌把自然界蕴藏量最丰富的可再生资源转化成甲烷；利用光合细菌、蓝细菌或厌氧梭菌等微生物生产“清洁能源”——氢气。

(5) 微生物与资源：微生物能将地球上永无枯竭的纤维素等可再生资源，转化成各种化工、轻工和制药等工业原料。

(6) 微生物与环境保护：利用微生物肥料、微生物杀虫剂或农用抗生素来取代各种会造

成环境恶化的化学肥料或化学农药；利用微生物来净化生活污水和有毒工业污水。

“食品微生物学”是食品科学与工程、食品质量与安全等专业的必修课程，它以生物化学、有机化学、生物学、物理学和数学等为基础，专门研究与食品有关的微生物的形态结构、生理生化特性、生长繁殖规律、环境因素对微生物生长的影响、微生物的分类、微生物生态、微生物遗传变异与育种。掌握本门课程的基本理论、基本知识、基本技能，可以指导我们开发利用微生物对人类生活有利的方面，利用有益微生物发酵生产调味品和食品，拓展食品的种类；对于引起食品腐败、导致食源性食物中毒的有害微生物则可以千方百计加以控制，延长食品的货架期，保证食品的质量和安全性，杜绝食物中毒。

本书内容具有新颖性、系统性和启发性，我们参考了国内外优秀的教材，如 M. T. Madigan 等主编的《Brock 微生物生物学》（第八版）、J. M. Jay 等主编的《现代食品微生物学》（第七版）、J. Nicklin 等主编的《微生物学》、周德庆主编的《微生物学教程》（第二版）、沈萍和陈向东主编的《微生物学》（第二版）、刘志恒主编的《现代微生物学》、江汉湖和董明盛主编的《食品微生物学》（第三版）。在书后附有主要的参考文献，供读者查询和使用。

全书共 10 章，分别由西南大学、山西农业大学、南京农业大学、华南农业大学、四川农业大学、重庆理工大学等高校教师完成，编者都是长期从事食品微生物学教学和科研，且经验丰富的老师，第一章、第二章由贺稚非编写；第三章由项锦欣编写；第四章由霍乃蕊编写；第五章由刘书亮编写；第六章由杨吉霞编写；第七章由钟青萍、余翔编写；第八章由陈晓红编写；第九章由刘春芬编写；第十章由刘素纯编写；书中英文内容由澳大利亚南澳大学留学生李翔编写和校稿。

本书在编写过程中得到了西南大学各级领导的关心和支持，科学出版社的领导和责任编辑等的大力支持和关心，以及编委所在单位和领导的支持；研究生翟小波、崔国建、徐谓、汪蹕、李杨梅、宋萃等对书稿做了校对工作，在此一并致谢。

编 者

2018 年 6 月

重庆北碚 西南大学

# 目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 微生物和食品微生物学的概念及特性	1
一、微生物和食品微生物学的概念	1
二、微生物的主要生物学特性	2
三、食品微生物学研究的对象和内容	3
四、微生物在生物分类中的地位	3
第二节 微生物学发展史	4
一、微生物形态学发展阶段——微生物的发现	4
二、微生物生理学研究阶段	4
三、现代微生物学时期	6
四、我国微生物学的发展	9
第三节 21 世纪的微生物学展望	10
一、微生物基因组学研究将全面展开	10
二、微生物与环境、其他生物相互关系的研究将更加深入	10
三、微生物生命现象的特性和共性将受到高度重视	10
四、微生物与其他学科将实现更广泛的交叉, 获得新的发展	10
五、微生物产业将呈现全新的局面	11
第四节 食品微生物学研究的对象、内容和任务	11
一、食品微生物学研究的对象	11
二、食品微生物学研究的内容和任务	11
第二章 微生物的主要类群及其形态结构	12
第一节 原核微生物与真核微生物的概念及其区别	12
第二节 原核微生物的形态结构及生理功能	13
一、细菌	13
二、放线菌	35
三、其他原核生物类群	37
第三节 真核微生物的形态结构及其生理功能	38
一、真核微生物的概述	38
二、酵母菌	42
三、丝状真菌——霉菌的形态结构	47
第四节 病毒	54
一、病毒的形态结构	55
二、病毒的主要类群	59
三、噬菌体	60
第五节 微生物的分类鉴定	66
一、原核微生物的分类鉴定	66
二、酵母菌的分类鉴定	68
三、霉菌的分类鉴定	69
第三章 微生物的营养	71
第一节 微生物细胞的化学组成和营养要素	71
一、微生物细胞的化学组成	71
二、微生物的营养要素及其生理功能	72
第二节 营养物质进入微生物细胞的方式	75
一、单纯扩散	76
二、促进扩散	76
三、主动运输	76
四、基团移位	77
第三节 微生物的营养类型	78
一、光能自养型微生物	78
二、光能异养型微生物	78
三、化能自养型微生物	78
四、化能异养型微生物	79
第四节 微生物培养基	79
一、培养基配制的原则	80
二、培养基的类型	82
三、培养基制备的基本方法	84
第四章 微生物的代谢	86
第一节 微生物的能量代谢	86

一、化能异养微生物的生物氧化与产能..... 86	第三节 微生物的基因重组..... 160
二、自养微生物的产 ATP 和产还原力... 92	一、原核微生物的基因重组..... 161
第二节 微生物的分解代谢..... 93	二、真核微生物的基因重组..... 166
一、糖类物质的分解..... 93	三、噬菌体的基因重组..... 170
二、蛋白质的分解..... 95	四、微生物的基因重组与育种..... 171
三、脂肪和脂肪酸的分解..... 96	第三节 微生物的菌种保藏..... 176
四、微生物发酵的代谢途径..... 97	一、微生物菌种的保藏方法..... 177
第三节 能量转换..... 101	二、菌种保藏机构..... 178
一、电子传递磷酸化..... 101	第七章 微生物的生态..... 183
二、底物水平的磷酸化..... 102	第一节 微生物在自然界中的分布与菌种资源的开发..... 183
第四节 微生物独特的合成代谢..... 102	一、微生物在自然界中的分布..... 183
一、自养微生物 CO <sub>2</sub> 的固定..... 102	二、菌种资源的开发..... 190
二、生物固氮..... 104	第二节 微生物与生物环境间的关系..... 192
三、肽聚糖的生物合成..... 104	一、互生..... 192
第五章 微生物生长及控制..... 107	二、共生..... 193
第一节 微生物生长..... 107	三、寄生..... 194
一、微生物生长的概念..... 107	四、竞争..... 194
二、微生物生长量的测定..... 108	五、拮抗..... 194
第二节 微生物的群体生长规律..... 110	六、捕食..... 195
一、典型的生长曲线..... 110	第三节 微生物在生态系统中的地位与作用..... 195
二、微生物的连续培养..... 114	一、微生物是有机物的主要分解者... 195
三、同步生长..... 115	二、微生物与自然界物质循环..... 196
第三节 影响微生物生长的主要因素..... 116	第八章 微生物在食品工业中的应用..... 199
一、物理因素对微生物生长的影响... 116	第一节 细菌在食品加工中的应用... 199
二、化学因素对微生物生长的影响... 122	一、食醋的酿造..... 200
第四节 微生物生长繁殖的控制..... 126	二、乳制品的发酵..... 205
一、控制微生物生长的物理因素..... 128	第二节 酵母菌在酿酒工业中的应用..... 214
二、控制微生物生长的化学因素..... 130	一、白酒酿造..... 214
第六章 微生物的遗传变异与育种..... 134	二、啤酒酿造微生物学..... 219
第一节 微生物遗传变异的物质基础..... 134	三、葡萄酒的发酵..... 221
一、三个经典实验..... 134	第三节 霉菌在调味品加工中的应用..... 223
二、遗传物质在微生物细胞内存在的部位和方式..... 137	一、霉菌在酱油发酵中的应用..... 223
第二节 微生物的基因突变..... 145	二、霉菌在腐乳、豆豉、豆酱发酵中的应用..... 229
一、微生物基因突变的类型和机制... 146	
二、微生物的基因突变与育种..... 154	

第四节 微生物在功能制品及食品 添加剂生产中的应用 .....	230	一、主要产生毒素的霉菌 .....	250
一、微生物多糖 .....	230	二、主要的霉菌毒素 .....	250
二、微生物与食品风味物质 .....	233	三、霉菌及其毒素的食品卫生学意义 .....	254
<b>第九章 微生物污染食品的来源及引起 食品变质的主要微生物 .....</b>	<b>236</b>	<b>第十章 食品的腐败变质及其控制 .....</b>	<b>255</b>
第一节 污染食品的微生物来源 .....	236	第一节 食品的腐败变质 .....	255
第二节 食品的细菌污染 .....	238	一、微生物引起食品变质的基本 条件 .....	255
一、引起食品腐败变质的主要细菌 .....	239	二、食品腐败变质的化学过程 .....	259
二、食品中菌落总数及卫生学意义 .....	246	三、食品腐败变质的鉴定 .....	261
三、食品中大肠菌群的概念及其卫生 学意义 .....	246	四、腐败变质食品的卫生学意义及 处理原则 .....	264
四、致病菌 .....	247	五、各类食品的腐败变质 .....	264
第三节 食品的酵母菌污染 .....	248	第二节 食品腐败变质的控制 .....	270
一、酵母污染的特点 .....	248	一、食品的防腐保藏技术 .....	271
二、食品中酵母菌的污染及其卫生学 意义 .....	248	二、食品综合防腐保鲜理论与技术 .....	281
第四节 霉菌及其毒素对食品的 污染 .....	249	三、加强食品企业的质量管理 .....	282
		四、加强进、出口食品的卫生管理 .....	283
		<b>主要参考文献 .....</b>	<b>285</b>

# 第一章 绪 论

## 【内容提要】

本章介绍了微生物和食品微生物学的概念、微生物的生物学特性、微生物学发展史，以及对微生物学诞生为一门学科做出杰出贡献的科学家等内容。

## 【教学目标】

1. 掌握微生物和食品微生物学的概念。
2. 了解微生物学发展史上每个时期的特点和代表人物的重大贡献。
3. 掌握食品微生物学的主要研究内容。

## 【重要的概念及名词】

微生物 食品微生物学

## 第一节 微生物和食品微生物学的概念及特性

1861年，英国的哲学家和教育家斯宾塞在其著名的《教育论》中提出“人体健康是一切幸福的要素”这个精辟的观点。在现代科学中，与人类健康关系最大、对其贡献最为突出的应该算是微生物（microorganism, microbe）产生的抗生素了，微生物为人类社会的进步和发展做出了重大贡献。

在食品工业中乳酸菌发酵生产的美味酸乳和奶酪、酵母菌发酵生产的芳香面包和酒类，以及微生物发酵生产的火腿、香肠等，使人们享受到了食品微生物带来的恩惠。可以说微生物与食品工业关系的重要性，怎么强调也不过分。但是任何事物都有它的两面性，微生物也是一把十分锋利的双刃剑，它造福于人类的同时也给人类带来了巨大的伤害，甚至是毁灭性的灾难。1347年，由鼠疫耶尔森氏菌（*Yersinia pestis*）引起的瘟疫几乎毁灭了整个欧洲，有1/3的欧洲人口死于这场灾难，后来的80年里，这种疾病一再猖狂，毁灭了75%的欧洲人口，一些历史学家认为这场灾难甚至改变了欧洲文化。我国在1949年之前也多次流行鼠疫，死亡率很高。目前疯牛病、高致病性禽流感、艾滋病（AIDS）、肺结核、霍乱等也卷土重来。金黄色葡萄球菌（*Staphylococcus aureus*）、沙门氏菌属（*Salmonella*）、志贺氏菌属（*Shigella*）、蜡状芽孢杆菌（*Bacillus cereus*）等微生物能引起多种食物中毒。因此，掌握食品微生物学的基本知识，利用有益的微生物造福人类，生产种类繁多的发酵食品；在食品生产的过程中，从原料到餐桌实现全程控制，防止有害的微生物污染食品，保障食品的质量安全，是从事食品生产和食品安全研究人员义不容辞的责任。

### 一、微生物和食品微生物学的概念

微生物是一切个体微小、结构简单、种类多、繁殖快、分布广、肉眼看不见或看不清

的微小生物的总称。它们包括原核微生物中的细菌（真细菌和古生菌）、放线菌、蓝细菌（又称蓝绿藻或蓝藻）、支原体、立克次氏体和衣原体；真核微生物中的酵母菌、霉菌、蕈菌、原生动物和显微藻类；以及属于非细胞类的病毒和亚病毒（类病毒、拟病毒和朊病毒）。

食品微生物学是在普通微生物学的基础上，专门研究与食品有关的微生物的性状，以及在一定条件下微生物与食品的相互关系。利用有益微生物发酵生产食品，拓展食品的种类；控制对食品有害微生物的生长繁殖，防止食品的腐败及疾病的传播，保证食品质量安全。

## 二、微生物的主要生物学特性

缤纷的微生物世界中，微生物细胞的形态和大小差异虽很大，但具有重要的共性，即生长繁殖快，个体微小、比表面积大，种类多、分布广，易变异、适应性强。

### 1. 生长繁殖快

微生物具有极高的生长和繁殖速度。大肠杆菌（*Escherichia coli*）是人类研究较为透彻的微生物细胞，在适宜的生长条件下，繁殖一代仅需要 12.5~20min，按平均 20min 繁殖一代计算，一个细胞 1h 可繁殖 3 次，一昼夜繁殖 72 次，数量呈几何级增长，最终生成约  $4.72 \times 10^{13}$  亿个细胞。实际上，由于营养、代谢产物等条件的变化，微生物快速分裂繁殖的速度只能维持一定的时间，一般在 16h 左右进入稳定期，在液体培养基中细菌细胞的浓度达  $10^8 \sim 10^9$  个/ml，最高达到  $10^{10} \sim 10^{12}$  个/ml。

### 2. 个体微小、比表面积大

微生物细胞个体微小，结构简单，一般是单细胞微生物，少数真核微生物为简单多细胞结构，还有非细胞结构的病毒。除极少数外，微生物肉眼直接看不见，必须借助光学显微镜才能看见，一般以微米（ $\mu\text{m}$ ）为单位描述微生物的大小。微生物细胞的体积越小，其比表面积就越大。微生物细胞比表面积大，就意味着其有大的营养物质吸收面和代谢产物排出面，保证了其环境信息交流功能的正常进行。

### 3. 种类多、分布广

目前人类对微生物的认识十分有限，细菌、古生菌和病毒的数量估计起来十分困难。微生物种类繁多，据统计，其总数在 200 万~300 万种，有记载的约 8 万种（其中细菌 4760 种，真核微生物 7.2 万种，病毒 5000 种），每年都有新物种发现。从分布上看，除了火山的喷口中心外，微生物分布在自然界的各个角落，正如苏联学者阿梅里扬斯基对微生物的描述：“它们真是无处不在……”。可以认为微生物永远是生物圈上下限的开拓者和各项生存纪录的保持者。

随着分子生物学技术在微生物多样性研究中的迅速应用，人们发现了特殊生态环境中的许多未知微生物。分子生物学技术在医学微生物学、环境微生物学，发现新物种及其新生物学特性方面有重要的意义。PCR 技术使我们比较容易地通过分析 16S rRNA 保守基因来研究微生物多样性，特别是那些不可培养的微生物。然而，从微生物混合样品中用 PCR 技术扩增基因也有一定的难度。如何设计物种特异性分子探针是值得进一步研究的课题。

微生物的多样性还包括形态多样性、细胞化学多样性、代谢多样性、运动多样性、发育多样性、遗传多样性等，这些内容在后面的内容中有论述。

#### 4. 易变异、适应性强

微生物具有非常灵活的适应性，是任何高等动植物无法比拟的，这归因于微生物细胞体积小、比表面积大的特点。它们可以适应低温、中温、高温、高酸、高盐、高压、高碱、高毒和高辐射等环境，有些甚至对这些条件具有惊人的适应力，堪称生物界之最。

微生物个体一般都是单细胞、简单多细胞或非细胞结构。它们通常都是单倍体，具有繁殖快、与外界环境直接接触等特点，因此即使变异频率十分低，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效益和社会效益，如产黄青霉 (*Penicillium chrysogenum*)，1943 年只能发酵生产大约 20 单位的青霉素，现在早已超过 5 万单位；有害的变异也存在，如各种致病菌耐药性变异、高致病菌菌株的变异等对人类健康造成极大威胁，工业菌种生产性状的退化等都是微生物变异的结果。

### 三、食品微生物学研究的对象和内容

微生物学研究作为一门学科比动物学、植物学要晚得多，至今不过 100 多年。微生物细胞太小，只有在显微镜下才能看清楚，因此微生物学 (microbiology) 定义为研究肉眼直接看不到的生物生命活动规律的科学。这些微小的生物包括非细胞结构的病毒、亚病毒 (类病毒、拟病毒和朊病毒)，原核细胞结构的真细菌、古生菌等，真核细胞结构的酵母菌、霉菌和蕈菌、单细胞藻类、原生动物等。近年来发现少数细菌是肉眼可以看见的，如 1993 年正式确定为细菌的费氏刺骨鱼菌 (*Epulopiscium fishelsoni*) 及 1998 年报道的纳米比亚硫磺珍珠菌 (*Thiomargarita namibiensis*)。

食品微生物学研究的对象有细菌、酵母菌、霉菌、放线菌和病毒，以细菌、酵母菌、霉菌为主要的研究对象，主要研究这些微生物的生命活动规律。具体研究微生物的形态结构特征、营养与代谢、生理生化特性、生长繁殖规律、分类鉴定、遗传变异、与其他生物之间的相互关系、在食品加工中的应用等。

在分子水平上研究微生物生命活动规律的分子微生物学，是重点研究微生物与宿主细胞相互关系的新型学科领域。伴随着人类基因组计划兴起的微生物基因组学等分支学科和新型领域的兴起，微生物学的发展又迈上了一个新的台阶，正以全新的面貌进入 21 世纪。

### 四、微生物在生物分类中的地位

微生物的多样性及其独特的生物学特性使其在整个生命科学中占有十分重要的地位。无论是 1969 年 Whittaker 提出的五界系统，还是 1977 年 Woese 提出的三域 (domain) 理论，以及 1966 年 Raven 等提出的动物界、植物界、原生生物界、真菌界、真细菌界和古生菌界六界系统，微生物都占据了绝大多数，分别是 3/5、2/3 强和 3/6，可见微生物在整个生物界中分类地位的重要性。

## 第二节 微生物学发展史

### 一、微生物形态学发展阶段——微生物的发现

人类在发现微生物细胞之前，已经在不知不觉地利用微生物发酵生产食品和酒类了。我国劳动人民很早就认识到微生物的存在和作用，我国是最早利用微生物的少数国家之一。

根据 Pederson (1971) 的报告，最早酿造啤酒的证据是在古巴比伦时代。但是，据考古学家推测，我国在 8000 年前就已经出现曲蘖酿酒；公元前 4000 多年，酿酒在我国十分普遍；公元前 3000 年，埃及人就食用酸牛奶和奶酪；2500 年前，我国发明了酿酱、醋、酱油，知道用曲治疗消化道疾病。日本的酱油、食醋技术在公元 369~404 年由中国传入。公元 6 世纪（北魏时期），我国贾思勰的巨著《齐民要术》详细记载了制曲、酿酒、制酱和酿醋等工艺。

大约 1000 年前，罗马人使用雪来包裹虾和其他易腐败变质的食品。熏肉作为一种贮藏方法可能也是从这个阶段开始的。人们虽然运用了大量微生物学知识和技术，食品的制作和保藏效果也佳，但微生物究竟和食品有什么关系？食品保藏的机理是什么？食品传播疾病的原因是什么？仍然是个谜。到了 13 世纪人们认识到肉食的质量特性，但还是无法解释肉的质量与微生物之间的关系。在此之前，麦角中毒（由真菌麦角菌引起）造成很多人死亡，在公元 943 年法国就因为麦角中毒死亡 40 000 多人，而当时人们不知道是由真菌引起的。

在食品微生物学发展历史上，具有里程碑作用的科学家中我们应该铭记列文虎克、巴斯德和科赫，他们为微生物学诞生为一门学科做出了重大贡献。

17 世纪中叶，荷兰商人安东尼·列文虎克（Antony van Leeuwenhoek, 1632~1723）是第一个看见并描述微生物的人。列文虎克用自制的显微镜（放大倍数是 50~300 倍）观察到不同的细菌，首次揭示了一个崭新的微生物世界，由于他划时代的贡献，1680 年被选为英国皇家学会会员。

### 二、微生物生理学研究阶段

在列文虎克发现微生物形态后的 200 年里，微生物的研究基本上停留在形态描述和分门别类的阶段。19 世纪中期，法国的路易斯·巴斯德（Louis Pasteur, 1822~1895）和德国的罗伯特·科赫（Robert Koch, 1843~1910）将微生物的研究从形态描述发展到生理学研究，建立了微生物的分离、接种、纯培养、消毒、灭菌等一系列独特的微生物技术，奠定了微生物学科学发展的基础，揭示了微生物是食品发酵、食品腐败、人类和其他动物患病的原因。他们是微生物学的奠基人，当然也是食品微生物学的奠基人。

巴斯德为微生物学的建立和发展做出的卓越贡献如下：①彻底否定了“自然发生学说”。在这之前人类一直认为生物是自然发生的，虽然到了 17 世纪以后，对动植物生长发育和生活循环的研究，使得人们对“自然发生学说”产生了怀疑，但由于技术问题，如何证实微生物不是自然发生的仍是难题，巴斯德在前人工作的基础上，进行了许多实验，其中著名的曲颈瓶实验证实了空气中确实存在微生物，是有机物质腐败的原因。巴斯德自制了一个具有细

长弯曲颈的玻璃瓶，其中盛有有机物质水溶液，经过加热灭菌后，瓶内可以一直保持无菌状态，不发生腐败变质，因为弯曲的瓶颈阻挡了外面空气中的微生物进入有机物质溶液内，如果瓶颈破裂，瓶内溶液中就会出现微生物，有机物质发生腐败变质。巴斯德的实验彻底否定了“自然发生学说”，并从此建立了病原学说，推动了微生物学的发展。②证明发酵是由微生物引起的。乙醇发酵是一个由微生物引起的生物过程还是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。巴斯德认为一切发酵都与微生物的生长、繁殖有关，并经过多年的研究分离了许多引起发酵的微生物，证实乙醇发酵是由酵母菌引起的。巴斯德还发现乳酸发酵、乙酸发酵和丁酸发酵都是由不同细菌引起的。他的发现推动了微生物由形态学向生理生化及建立微生物的分支学科方向发展，为工业微生物学、食品微生物学和酿造学奠定了基础。③创立了巴斯德消毒法。一直沿用至今的巴斯德消毒法（60~65℃，30min）是杀死有害微生物的一种消毒方法，是巴斯德在研究法国葡萄酒变质和家蚕微粒子病的问题时而发明的，这是巴斯德对人类的重大贡献，它推动了微生物学的发展。④免疫学——预防接种。1798年，英国医学院的 Jenner 发现了接种牛痘苗可预防天花，但他并不明白其免疫机理。1880年，巴斯德研究了鸡霍乱，发现经过减毒的病原菌可诱发免疫性，从而预防鸡霍乱病。之后他又研究了炭疽病和狂犬病，首次制备了狂犬病疫苗，为人类防治传染病做出了杰出贡献。

科赫和巴斯德是促进微生物发展为一门学科的两们著名的科学家。科赫是著名的细菌学家，其功绩在于：①证实了炭疽病是由炭疽菌引起的；发现了肺结核病的病原菌，这是当时死亡率极高的传染病，因此科赫获得了1905年的诺贝尔生理学或医学奖；提出了证明某种微生物是否为某种疾病病原菌的基本原则——科赫法则。科赫在病原菌研究方面的开创性工作，使19世纪70年代到20世纪20年代成为发现病原菌的黄金时代，包括植物病原菌。②微生物方法学方面的贡献。科赫发明了固体培养基分离纯化微生物技术，这是微生物学研究的基本技术，这项技术一直沿用至今；他发明了配制培养基的方法，也是微生物研究的基本技术之一；他发明了微生物的染色制片等技术，在微生物研究的方法学方面做出了重大贡献。

在微生物学发展的生理学时期，以巴斯德和科赫为代表的科学家在微生物学实验方法上取得了突破性的进展，他们创立的加热灭菌法和微生物纯培养等方法至今仍然是微生物学和其他相关学科研究中有效的、无法取代的基本方法。巴斯德和科赫的杰出工作，使微生物学作为一门独立的学科开始形成，并出现以他们为代表而建立的分支学科，如细菌学、消毒外科技术、免疫学、土壤微生物学、病毒学、植物病理学、真菌学、食品的罐藏防腐和酿造学及化学治疗法等，微生物的研究内容日趋丰富，使微生物学迅速发展。

在生理学研究阶段，其他一些杰出科学家也为微生物学的发展做出了卓越贡献。

1892年，苏联的伊万诺夫斯基发现烟草花叶病毒（TMV），开创了病毒学。

1909年，德国医生和化学家埃尔里赫（P. Ehrlich）用化学药剂控制病菌，发现了治疗梅毒的药物——606，开创了化学治疗。他的成功鼓舞了无数科学家去寻找更多、更好的化学治疗剂，终于在1935年，德国医生 G. Domagk 和同事发明了治疗链球菌感染的新药，一种红色的染料——百浪多息，同年证实其有效成分是磺胺。

1928年，弗莱明（A. Fleming）发现他培养的葡萄球菌被某种物质杀死了，通过培养、显微镜检测发现是普通面包上生长的青霉菌，他推测青霉菌产生了某种特殊的化学物质，通过研究确定青霉菌分泌了可抑制其他微生物生长的毒素，当时命名为盘尼西林（Penicillin）。

1929年弗莱明报道了该结果，但他的研究结果没有被重视，直到1939年，法国的微生物学家发现了一种细菌产生的化合物能用于阻止细菌的生长时，弗莱明的研究报道才受到重视。

第二次世界大战爆发，军队急需医治伤兵伤口的感染，澳大利亚医生和同事开始分离纯化青霉素，并在美国研究成功了青霉素的扩大发酵和提纯工作，1943年青霉素成功地应用于突尼斯和西西里战役中500名伤兵的治疗，第二次世界大战结束后，青霉素生产量扩大，取代了磺胺类药物。

1944年，美国微生物学家瓦克斯曼(S. Waksman)从近1万株放线菌中找到了疗效显著的链霉素，接着相继发现了氯霉素、金霉素、土霉素、红霉素、新霉素、万古霉素、卡那霉素和庆大霉素等抗生素。

### 三、现代微生物学时期

20世纪80年代以来，微生物在分子水平上的研究迅速发展，分子微生物学应运而生，出现了新概念，如生物多样性、转化、转导、细菌染色体结构和全基因组测序、细菌基因表达的调控和对环境变化的适应机理、细菌的发育及其分子机理、细菌细胞之间和细菌与动植物之间的信号传递等。

1997年，第一个真核生物酵母菌全基因组测序完成；大肠杆菌基因组测序完成；流感嗜血杆菌全基因组测序完成。在此之前已经完成几十种微生物基因组的序列测定，在此过程中微生物基因组的测序方法不断改进，为人类基因组计划的序列测定奠定了基础。微生物基因组序列分析表明，在某些微生物中存在一些与人类某些遗传疾病相似的基因，因此可以利用这些细菌的模型来研究这些基因的功能，为认识庞大的人类基因组及其功能提供简便的模式。

综上所述，20世纪的微生物学与其他学科的交叉和相互促进、取得了令人瞩目的成就，也为整个生命科学的发展做出了巨大贡献，并在生命科学的发展中占有重要地位。20世纪70年代后，基因工程使得人们可以按照意愿定向改造菌种，使获得新型微生物产品成为可能，而如今分子生物学也逐渐成熟为一门独立学科。食品微生物发展大事记和食品立法分别见表1-1和表1-2。

表 1-1 食品微生物发展大事记（江汉湖和董明盛，2014）

时间	重大事件
1659年	Kircher证实了牛乳中含有细菌
1680年	列文虎克发现了酵母细胞
1780年	Scheele发现酸乳中主要的酸是乳酸，1782年瑞典化学家开始使用罐贮的醋
1813年	Hall和Gamble对罐藏食品采用后续工艺保温技术，认为可使用SO <sub>2</sub> 作为防腐剂
1820年	德国诗人Kerner描述了香肠中毒（可能是肉毒中毒）
1839年	Kircher研究发黏的甜菜汁，发现了可在蔗糖液中生长并使其发黏的微生物
1843年	Winslow首次使用蒸汽杀菌
1853年	Chevallier-Appert食品的高压灭菌获得专利
1857年	巴斯德证明乳酸发酵是微生物引起的；在英国，Taylor指出牛乳是伤寒热传播的媒介

续表

时间	重大事件
1861 年	巴斯德用曲颈瓶试验, 证明微生物非自然发生, 推翻了“自然发生学说”
1864 年	巴斯德建立了巴斯德消毒法
1867~1868 年	巴斯德研究了葡萄酒变质的问题, 并采用加热法除去不良微生物, 该方法进入工业化实践阶段
1867~1877 年	科赫证明炭疽病是由炭疽菌引起的
1873 年	Gayon 首次发表微生物引起鸡蛋变质的研究; Lister 第一个在纯培养中分离出乳酸乳球菌
1874 年	在海上运输肉的过程中首次广泛使用冰
1876 年	发现腐败物质中的细菌总是可以从空气、物质或容器中检测到
1878 年	首次对糖的黏液进行微生物学研究, 并从中分离出肠膜明串珠菌
1880 年	在德国开始对乳进行巴斯德杀菌
1881 年	科赫等首创明胶固体培养基分离细菌; 巴斯德制备了炭疽杆菌疫苗
1882 年	科赫发现结核杆菌, 从而获得诺贝尔生理学或医学奖 Krukowisch 首次提出臭氧对腐败菌的杀灭作用
1884 年	Metchnikoff 阐明吞噬作用; Koch 发明了细菌染色和细菌的鞭毛染色
1885 年	巴斯德研究狂犬病疫苗成功, 开创了免疫学
1888 年	Miguel 首先研究嗜热细菌; Gaertner 首先从引起 57 人食物中毒的肉食中分离出肠炎沙门氏菌
1890 年	美国对牛乳采用工业化巴斯德杀菌工艺
1894 年	Russell 首次对罐藏食品进行细菌学研究
1895 年	荷兰的 von Geuns 首先进行牛乳中细菌的计数工作
1896 年	van Remenegem 首先发现了肉毒梭状芽孢杆菌, 并于 1904 年鉴定出 A 型, 1937 年鉴定出 E 型
1897 年	Bucher 用无细胞存在的酵母菌抽提液, 对葡萄糖进行乙醇发酵成功
1901 年	von Ehrlich 发现了白喉抗毒素, 开创了被动免疫
1902 年	提出嗜冷菌概念, 发现了 0℃ 条件下生长的微生物
1906 年	确认了蜡状芽孢杆菌食物中毒
1907 年	Metchnikoff 等分离并命名保加利亚乳酸杆菌; Barker 提出苹果酒生产中乙酸菌的作用
1908 年	Ehrlich 和 Melchnikoff 提出了体液免疫和细胞免疫 美国官方批准苯甲酸钠作为某些食品的防腐剂
1912 年	嗜高渗微生物, 描述高渗环境下的酵母菌
1915 年	Hammer 从凝固牛乳中分离出凝结芽孢杆菌
1917 年	Donk 从奶油状的玉米中分离出嗜热脂肪芽孢杆菌
1919 年	Bordet 发现血液补体的存在并定义了补体
1920 年	Bigelow 和 Esty 发表了关于芽孢 100℃ 耐热性系统研究; Bigelow、Bohart、Richoardson 和 Ball 提出计算热处理的一般方法, 1923 年 Ball 简化了这个方法 Esty 和 Meyer 提出肉毒梭状芽孢杆菌的芽孢在磷酸缓冲液中的 Z 值为 18F
1922 年	Linden、Turner 和 Thom 提出了首例链球菌引起的食物中毒
1926 年	在欧洲首次采用气调方法贮藏苹果
1928 年	弗莱明发现青霉素
1929 年	找到弯曲菌肠炎暴发的原因是变质的牛乳
1938 年	Schleifstein 和 Coleman 确认了小肠结肠炎耶尔森氏菌引起的胃肠炎
1939 年	美国的 Proctor 首次采用离子辐射保存汉堡肉

续表

时间	重大事件
1943年	Mcclung 首次证实食物中毒中产气荚膜梭菌的致病机理
1945年	青霉素的发现和它的治疗价值
1951年	日本的 Fujino 提出副溶血性弧菌是引起食物中毒的原因
1952年	Hershey 和 Chase 发现噬菌体将 DNA 注入宿主细胞; Lederberg 发明了影印培养法
1954年	乳酸链球菌肽在奶酪加工中控制梭状芽孢杆菌腐败的技术在英国获专利
1955年	山梨酸被批准作为食品添加剂
1959年	Porter 描述了免疫球蛋白结构
1960年	Burnet 和 Medawar 发现对于组织移植的获得性免疫耐受性 Moller 和 Scheible 鉴定出 F 型肉毒梭菌; 首次报道黄曲霉产生黄曲霉毒素
1969年	Edeman 测定了抗体蛋白分子的一级结构; 确定产气梭状芽孢杆菌的肠毒素, Gimenez 和 Ciccarelli 首次分离到 G 型肉毒梭菌
1971年	美国马里兰州首次暴发食品介导的副溶血弧菌性胃肠炎; 第一次暴发食物传播的大肠杆菌性胃肠炎
1972年	Eelman 抗体结构研究
1973年	Ames 建立细菌测定法检测致癌物
1975年	Kohler 和 Milstein 建立杂交瘤技术生产单克隆抗体; Koupal 和 Deible 证实沙门氏菌肠毒素
1976年	Blumberg 和 Gajdusck 发现乙型肝炎病毒的起源和传播的机理; 慢性毒感染的研究
1977年	Woese 提出古生菌是不同于细菌和真核生物的特殊类群; Sanger 首次对 $\Phi$ X174 噬菌体 DNA 进行了全序列分析 Yalow 建立了放射免疫分析技术
1978年	澳大利亚首次出现 Norwalk 病毒引起食物传播的胃肠炎
1980年	Benacerraf、Mell、Dausset 发现组织相容性抗原
1981年	美国暴发了食物传播的李斯特菌病; 在英国食物传播李斯特菌病
1982~1983年	Prusiner 发现朊病毒 (prion); 美国首次暴发食物介导的出血性结肠炎; Ruiz-Palacios 等描述了空肠弯曲杆菌肠毒素
1983~1984年	Mullis 发明了 PCR 技术
1984年	Milstein、Kollei、Jenne 单克隆抗体形成技术的建立; 开展免疫学的理论工作
1985年	在英国发现第一例疯牛病
1987年	Tonegawa 发现抗体多样性产生的遗传原理
1988年	在美国, 乳链菌肽 (nisin) 被列为一般公认安全
1990年	美国对海鲜食品强调实施危害分析的临界控制点 (hazard analysis critical control point, HACCP) 体系 第一个超高压果酱食品在日本问世
1995年	第一个独立生活的流感嗜血杆菌全基因组序列测定完成
1996年	第一个自养生活的古生菌基因组测定完成; 詹姆氏甲烷球菌基因组测序工作完成; 酵母基因组测序完成 大肠杆菌 O <sub>157</sub> H <sub>7</sub> 在日本流行 Doherty 和 Zinkernagel 发现 T 淋巴细胞识别病毒感染细胞的机理
1997年	第一个真核生物酵母菌基因组测序完成; 大肠杆菌基因组测序完成; 发现纳米比亚硫磺珍珠菌, 这是目前已知的最大细菌
1999年	美国超高压技术在肉制品加工中得到商业化应用
2000年	发现霍乱弧菌有两个独立的染色体