



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

食品微生物学

江汉湖 主编

食品科学与工程专业用

中国农业出版社

Food Microbiology

食品科学与工程专业 面向 21 世纪课程教材

食品发酵与酿造工艺学	何国庆
食品工程原理	杨同舟
食品营养学	王光慈
食品原料学	李里特
果品蔬菜贮藏运销学 刘兴华	陈维信
果品蔬菜加工工艺学 (第二版)	叶兴乾
粮油贮藏加工工艺学	李里特
食品包装学	章建浩
食品分析与感官评定	吴谋成
现代食品生物技术	陆兆新
食品微生物学	江汉湖
食品卫生与安全	史贤明
食品营销学	安玉发
畜产品加工学	周光宏

ISBN 7-109-07761-6



9 787109 077614 5

ISBN 7-109-07761-6/TS·114

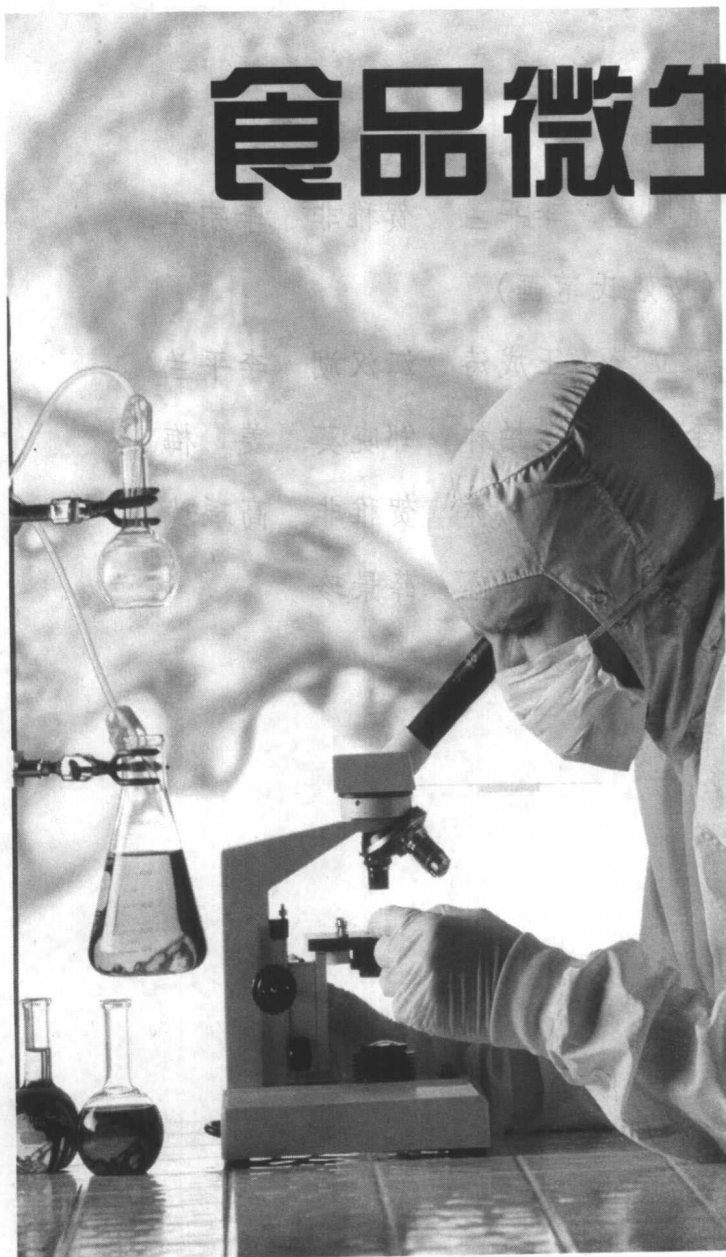
定价: 42.20 元

TS201.3
3133

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

食品微生物学

江汉湖 主编
食品科学与工程专业用



中国农业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

食品微生物学/江汉湖主编. —北京: 中国农业出版社, 2002.8

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-109-07761-6

I. 食... II. 江... III. 食品-微生物学-高等学校-教材 IV. TS201.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 045759 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 傅玉祥

责任编辑 郭元建 杨国栋

北京东光印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

2002 年 8 月第 1 版 2002 年 8 月北京第 1 次印刷

开本: 850mm×1168mm 1/16 印张: 30.5

字数: 741 千字

定价: 42.20 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本教材共分十三章，内容包含原核微生物、真核微生物、非细胞型微生物的形态结构与功能、微生物的营养生长和代谢、微生物的遗传育种、微生物与环境、微生物与酿造和发酵、微生物与机体的免疫、食品腐败与保藏、微生物与食品安全性、食品卫生、检验与卫生标准等，从内容到形式反映了食品微生物学科的最新水平，并注意与国际先进教材接轨。在注重基础理论的同时，注意其新颖性和启发性，特别注意理论与实践的结合，以利于对学生能力的培养。书后附有主要参考书、常用食品微生物分类鉴定检索表。本教材适合食品科学与工程专业本科学生学习使用，也可供研究生和其他生物类科技人员参考。



主 编 江汉湖

副主编 董明盛 李平兰 贺稚非 李宗军

参 编 (按姓氏笔画)

丁立孝 王成涛 江汉湖 李平兰

李宗军 李柏林 邹晓葵 姜 梅

柳增善 郝 林 贺稚非 高瑀琬

徐尔尼 董明盛 薛景珍

主 审 张 箴 吴金鹏



前 言

21 世纪,随着整个生命科学的迅猛发展,食品微生物已经并将继续为农产品的生物转化和清洁、安全生产带来巨大的贡献。作为一本专业基础性的教材,如何处理好基础与应用、先进性与系统性的关系,以合适的篇幅编写出高起点、富含现代气息的本教材,将食品微生物的精华传授给学生,充实和满足食品科学与工程专业同学的知识结构,是我们编写本教材的主要宗旨和出发点。

鉴于过去由于条块分隔、行业的差异,形成了以行业服务为特色的食品微生物学。农业院校虽然很久以前也开设过农产加工专业或相关课程,但初具规模,还是 20 世纪 80 年代初、中期以后的事情,而且相应的食品微生物课程从开设的形式到内容的取舍存在较大的差异,也没有一本相对统揽的基本教材。随着我国改革开放,并向广度和深度发展;国际交往的增多,借鉴国外的成果和经验以及国内条块分隔、行业系统的淡化;科教联合、优势互补渐成发展的主流,本教材就是在此背景下,拓宽视野,联合有关院校共同编写的。编写过程中始终贯穿了如下指导思想:

1. 内容新、起点高。首先体现在教材的核心部分,即基本理论、基本知识和基本技能,集中反映在理论与实践(应用)两个侧面赋予新的内涵,以 21 世纪的眼光审视和更新内容,使之与整个生命科学的发展息息相通。同时,注意与本学科发展前沿相衔接,使学生了解食品微生物的昨天、今天和明天,掌握当今食品微生物研究的热点和争论的问题,进而促进开拓与创新。

2. 理论与实践相结合。前面提到食品微生物是一门专业基础课,是食品科学与工程专业中联系基础课程与专业课程的纽带。食品微生物本身又有其自身的特殊性,一方面它是实践性很强的学科,它可能推动生物学科更快发展。同时,它又可以融合到各后期专业课程中。所以,在打好基础的情况下,注重与实践相结合,特别在与取之不尽的农副产品作为生物转化的基质原料和安全生产过程是很关键的结合点。目前已经取得部分成果,并且将继续成为研究与开发的重大领域!

3. 内容的取舍与编排。内容的取舍做到重点突出,层次分明,尽量以新成果、新成就又是成熟的内容替代陈旧的内容和实例。选择有代表性的内容阐明充分发挥微生物在基质转化中的作用和机理。同时,

根据部分微生物可能对食品和人类造成的危害,制定控制措施,使之洁净和安全生产。

在内容的编排上,根据食品微生物的特点,以微生物生态学观点为主线,审视微生物与其环境的关系,包括与农副产品基质原料、加工过程、产品、产品贮藏、保鲜和运输以及消费者的食品调配等,微生物与酿造和发酵,微生物与食品和人体营养与健康之间相互关系等,使微生物为食品和人类做出越来越多的奉献。

关于章节的编排,采用国外目前比较流行的形式,即章以下各节、点以阿拉伯字表示,如第1章第1节和第1章第1节第1大点,分别为1.1, 1.1.1等。总目录表明章、节(章, 1.1)为止,各章的分目录为章、节、点(章, 1.1, 1.1.1)为止,并在每章的分目录页中选择具有代表性图例,镶嵌其中,以图达到增加图文并茂的色彩。各章内容也注意适当增加图表,增强直观感。当然这是一种尝试,不足之处再版时进一步修改和完善。

微生物是一门实践性很强的学科,当它在对基质进行生物转化以及对微生物进行分析和检测时,又必须融合其他有关学科的最新成就,使微生物理论与技术不断深化和发展。

4. 为了使本书内容形象生动,并具有很强的新颖性、可读性和启发性,与国内、国际优秀教材接轨,我们参阅了大量的中外教材和文献,其中《微生物学》(沈萍等, 2001)、《微生物学教程》(周德庆, 1993)、《免疫学原理》(周光炎等, 2000),是重要国内参考教材;国外教材主要参阅了《微生物生物学》(美 Medigan, M. T. 等著, 杨文等译, 2001)、《现代食品微生物学》(第五版, 美 James M. Jay 编著, 徐岩等译, 2001)、《发酵食品微生物学》(第二版, 英 Brian J. B. Wood 主编, 徐岩译, 2001)、《微生物学》(英, J. Nicklin 等著, 林稚兰等译, 2000, 及影印版)、《免疫学》(英, P. M. Lydyard 等 2000 影印版)。书后附有主要的参考书、常用微生物分类鉴定检索表,以便读者查阅和使用。

全书共分13章,南京农业大学江汉湖编写第1、10章,山西农业大学郝林编写第2章(大部分),上海水产大学李柏林编写第3章、第9章部分内容,解放军军需大学柳增善编写第4、12章部分内容,西南农业大学贺稚非编写第5章,南昌大学徐尔尼编写第6章,沈阳农业大学薛景珍编写第7章,南京农业大学董明盛编写第8章,湖南农业大学李宗军编写第9章,中国农业大学李平兰编写第11章,莱阳农学院丁立孝、南京农业大学邹晓葵编写第12章,以及黑龙江八一农垦大学王成涛编写第13章和第2章部分内容,附录由徐尔尼、王成涛、高瑀琰、姜梅编写。本教材江汉湖任主编,董明盛、李平兰、贺稚非、李宗军等为副主编,中国农业大学张麓和浙江大学吴金鹏为主审。

编写过程得到了编委所在的单位和领导的支持,中国农业出版社的领导和责任编辑的支持和关心,全国高等农业院校教学指导委员会专家的支持,以及南京农业大学图书馆打印室的领导和员工同志所给予的大力支持和配合、南京农业大学食品科技学院食品微生物学科的博士高瑀琰、周剑忠、邱伟芬、段智变、韩永斌,硕士生陈晓红、王远亮、肖琳琳、冯美琴、刘新梅、刘小莉做了本书的编排和校阅等大量具体工作。在本书出版之际谨向他(她)们表示诚挚的谢意!

本书的编写在好些方面是一次改革的尝试,限于作者的水平和能力,不当和错漏之处在所难免,诚请广大师生、同行和读者批评指正。谢谢!

江汉湖

2001年12月18日

目 录

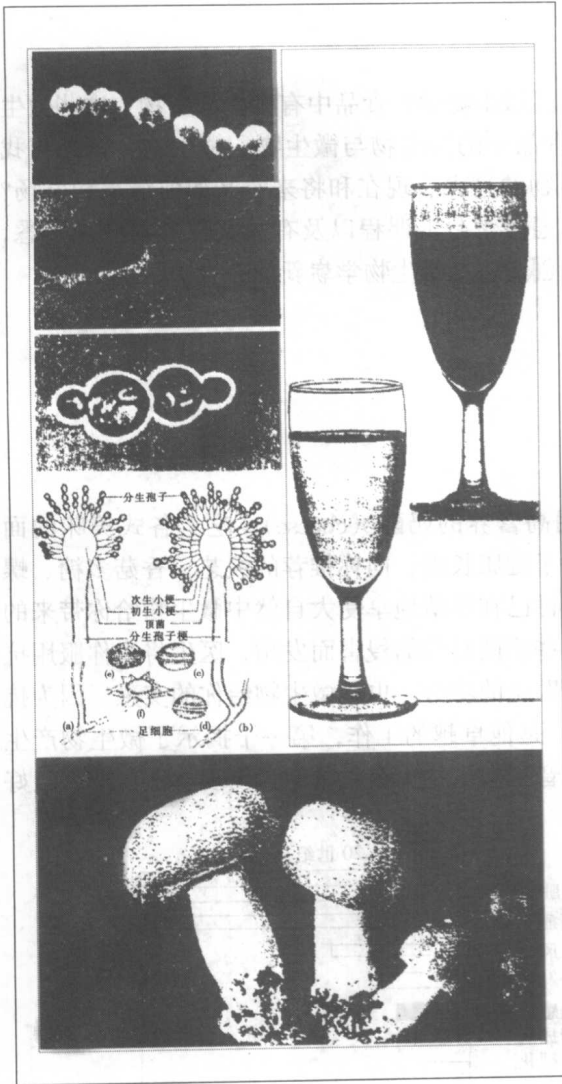
第 1 章 绪论	1
1.1 微生物与食品微生物学	2
1.2 食品微生物的历史	5
1.3 食品微生物学发展大事记	9
1.4 食品微生物与未来	11
第 2 章 原核微生物的形态、结构与功能	15
2.1 细菌的形态、结构与功能	16
2.2 古细菌（古生菌、古菌）的形态结构与功能	34
2.3 放线菌	37
2.4 蓝细菌	40
2.5 其他原核微生物	42
第 3 章 真核微生物的形态与结构	47
3.1 酵母菌	48
3.2 丝状真菌	62
第 4 章 非细胞型微生物的形态与分类	85
4.1 病毒的形态结构与功能	86
4.2 病毒的复制	89
4.3 病毒的培养	95
4.4 细菌病毒和发酵工业	96
4.5 噬菌体的防治措施	98
4.6 酵母的病毒	102
4.7 病毒的分类	103
第 5 章 微生物的营养和生长	107
5.1 微生物的营养	108
5.2 微生物的生长	121
第 6 章 微生物的代谢	143
6.1 微生物的能量代谢	144

6.2 微生物的分解代谢与合成代谢	153
6.3 微生物初级代谢和次级代谢的关系	167
第 7 章 微生物遗传与育种	175
7.1 微生物遗传变异的物质基础	176
7.2 遗传信息的储存与传递	189
7.3 基因突变与遗传育种	194
7.4 基因工程和转基因食品	208
7.5 菌种的衰退、复壮和保藏	217
第 8 章 微生物生态与生态工程	221
8.1 生态学基本概念	222
8.2 食品作为特殊的微生物生态系	225
8.3 食品环境中的极端微生物	231
8.4 人体微生物区系	236
8.5 生态工程原理与应用	240
8.6 微生物生态学方法	243
第 9 章 微生物与发酵食品	247
9.1 细菌发酵食品	248
9.2 真菌发酵食品	262
9.3 微生物菌体食品	266
9.4 微生物多糖	270
9.5 食品风味物质	275
9.6 微生物与酿造酒	278
9.7 酱油生产菌与酱油酿造	287
9.8 醋酸细菌与食醋酿造	294
9.9 肉品微生物与肉类发酵剂	299
9.10 微生物与工业发酵	306
第 10 章 微生物与机体的免疫	319
10.1 抗原	320
10.2 免疫细胞和细胞因子	324
10.3 抗体	335
10.4 体液免疫和细胞免疫	340
10.5 抗原抗体反应在食品中的应用	347
第 11 章 食品腐败与食品保藏	357
11.1 食品的腐败变质	358
11.2 食品腐败变质的机理	366
11.3 食品腐败变质与食品类型的相关性	368

11.4 食品防腐保藏技术	376
第 12 章 微生物与食品安全性	391
12.1 食品的微生物污染	392
12.2 细菌性食物中毒	413
12.3 真菌性食物中毒	428
12.4 食品介导的病毒感染	439
第 13 章 食品卫生和食品卫生标准	443
13.1 食品卫生	444
13.2 食品卫生的微生物学检验	455
附录	459
细菌、放线菌、丝状真菌和酵母菌的分类鉴定检索表	459
主要参考文献	475

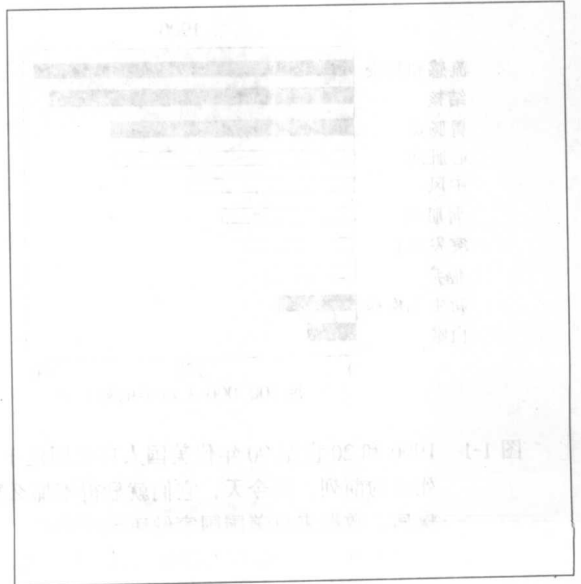
第 1 章

绪 论



左图从上到下为：电镜下的链球菌、杆菌及其鞭毛；酵母菌、曲霉、食用蘑菇
右图为葡萄酒和白酒

- 1.1 微生物与食品微生物学
 - 1.1.1 我们周围的微生物
 - 1.1.2 微生物的概念
 - 1.1.3 微生物的特点
 - 1.1.4 食品微生物学
- 1.2 食品微生物的历史
 - 1.2.1 发现和认识微生物以前的历史
 - 1.2.2 微生物的发现和微生物学发展的奠基者
- 1.3 食品微生物学发展大事记
- 1.4 食品微生物与未来
 - 1.4.1 微生物资源的开发和利用
 - 1.4.2 菌种改良和基因工程
 - 1.4.3 微生物在农副产品加工中的利用
 - 1.4.4 在食品加工、制造中控制和消除微生物性的不安全因素



什么是微生物？微生物有哪些特点？什么是食品微生物学？食品中有哪些微生物？这些微生物是“土著的”还是“外来户”？微生物与食品、食品中的微生物与微生物、微生物、食品与我们究竟有什么关系？怎样鉴别？我们怎样认识微生物的过去、现在和将来？又如何继承和发扬？使之对人类做出更多的奉献！这一系列问题是我们通过学习本课程以及有关文献资料应该熟悉，有的应该掌握，更多的应该在此基础上继续探索，创造食品微生物学崭新的一页！

1.1 微生物与食品微生物学

1.1.1 我们周围的微生物

朋友，你可知道，当你喝上可口的酸奶，享用高营养的奶酪（cheese），吃上各式美味的面包或馒头，每当佳朋满座，举杯的美酒以及人们为了健康长寿，向你推荐的灵芝、香菇多糖、螺旋藻制品、低聚糖、氨基酸、维生素等时，实际上你已在尽情地享受大自然中微生物给你带来的无偿恩惠。诚然，天有不测风云，如果你斗不过一些病菌对你的侵害而发病，医生将为你服用抗生素等药物时，很快恢复了健康，这里当然有一份医生的功劳，也是微生物给你的实惠。因为抗生素就是微生物产生的，还应感谢科学家 Fleming，是他卓越的工作，第一个揭示了微生物产生抗生素的奥秘，其后应用于临床，给人们带来了福音！微生物也会对抗生素出现抗性，这就只好

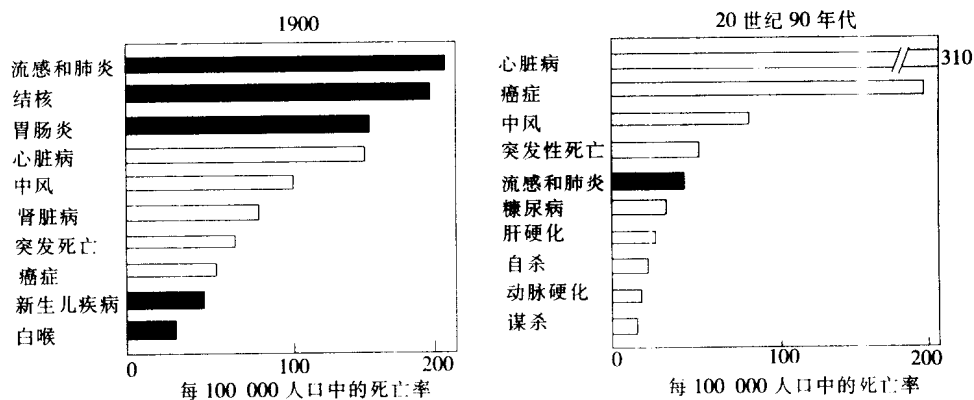


图 1-1 1900 和 20 世纪 90 年代美国人口死因位于前 10 位的死亡率比较。在 1900 年，感染性疾病在死因的前列。而今天，它们就显得不那么重要了。深色显示微生物疾病，浅色显示非微生物疾病。数据来自美国国家健康统计中心

(引自 [美] M.T. 马迪根、J.M. 马丁克、J. 帕克著，杨文博等译的《微生物生物学》)

在认识微生物世界的过程中不断探索,发掘新的药物资源,保健因子。总之,可以说,微生物对人类的贡献,无论怎样评价都不为过分。因为它对我们的好处实在太多、太大、太久远了。我们不能因为还有食源性病菌感染和食物中毒,历史上某些病原菌给我们带来疾病和危害,这种危害甚至是毁灭性的;我们也不能因为当前还有病菌造成疾病甚至是过去得到控制的,现在又死灰复燃(如结核病)和冒出一些新的疾病(如大肠杆菌 O₁₅₇H₇、疯牛病等),因此而“谈菌色变”,事实上从图 1-1 可以看出,许多有害菌引发的传染病得到控制,微生物性疾病已大大减少了。存在的问题,还需要我们去奋斗、努力控制、保证食品的安全。我们必须强调,大多数微生物对人无害,多数微生物不仅无害,而且对人类有益,也为人类社会创造了巨大的财富。例如,单就抗生素产品,迄今全球年销售额达到 300 亿美元!

1.1.2 微生物的概念

微生物是指需借助显微镜才能观察到的一群微小生物的总称。它是一大群种类各异、独立生活的生物体。这些微小的生物包括无细胞结构不能独立生活的病毒、亚病毒(类病毒、拟病毒、朊病毒)、原核细胞结构的真菌菌、古细菌和有真核细胞结构的真菌(酵母、霉菌、蕈菌等)。有的也把藻类、原生动植物包括在其中。在以上这些微小生物群中,大多数是肉眼看不见的,有的像病毒等生物体,即使在普通光学显微镜下也不能看到,必须在电镜下才能观察得到;有的微生物尤其是真菌、大型食用真菌,毫无疑问是可见的。近年来,德国科学家在纳米比亚海岸的海底沉积物中,发现的硫细菌(*sulfur bacterium*)命名为 *Thiomargarita namibiensis* 即纳米比亚硫磺珍珠是一种可见的细菌(大小为 0.1~0.3mm,有些可达 0.75mm)。以上足以说明“微生物”是一个微观世界里生物体的总称,它们的数量之多,达天文数字,种类繁多,就真菌而言达 7 万种。

1.1.3 微生物的特点

微生物和动植物一样具有生物最基本的特征——新陈代谢,有生命周期,还有其自身的特点:

1.1.3.1 繁殖快,个体长不大

繁殖快是微生物最重要和最深刻的特点之一。因为单个细胞其生命周期是有限的,不会保持很长时间,很快就会发展成为一个种群。以细菌为例,通常每 20~30min 即可分裂 1 次,繁殖 1 代,其数目比原来增加 1 倍。按 20min 分裂 1 次,而且每个克隆子细胞都具有同样的繁殖能力,那么 1h 后就是 2³ 个,2h 后就是 2⁶ 个,24h 后,就是 2⁷² 个。即由一个原始亲本变成了 2⁷² 个细菌。按每 10⁹ 个细菌重 1mg 计,2⁷² 个菌的重量超过 4 722t。当然这是理论数字,由于各种原因,客观上是不存在的,只在细菌的生长对数期才有如此的增殖速度。细菌如此惊人的生长速度可为我所用,例如生产酵母蛋白,控制条件下可在 8~12h 收获 1 次;也可利用酵母生产酒精,例如用 1kg 酵母菌可在 24h 内发酵消耗几千克糖,生成酒精;又用乳酸菌生产乳酸,每个细胞生产的乳酸是其体重的 10³~10⁴ 倍。

1.1.3.2 体积微小，分布广泛

前面提到微生物很小，肉眼不能看见，衡量它的大小都用微米 (μm)、纳米 (nm) 计。每个细菌的重量只有 $1 \times 10^{-9} \sim 1 \times 10^{-10} \text{mg}$ ，即大约 10 亿个菌总和才有 1mg。这样小的个体，随处都是它们的藏身之地。实际上，微生物的分布是极其广泛，可以这样说，有动植物生存的地方也都有它的栖息地，没有动植物生存的地方，也有它的踪迹，万米以上的高空，几千米以下的海底，90℃ 以上的温泉，冰冷的南极、沙漠以及动植物组织都有微生物聚居，说它无孔不入，一点也不过分。

1.1.3.3 观察和研究的手段特殊

微生物因为个体微小，繁殖又快，观察和研究常以其群体为对象，而且必须从众多而复杂的混合菌中分离出来，变成纯培养物。这样，无菌技术、分离、纯化、培养技术、显微观察技术以及杀菌技术就是微生物学必备的基本技术，没有这些技术就无从着手，等于空谈。

1.1.3.4 物种多，食谱杂

据统计，现已发现的微生物种类多达 10 万种以上，土壤是其大本营。1g 肥土含几十亿个微生物，几乎成了微生物的天下。在一些营养贫瘠的地方，微生物的种类和数量很少，构成了自然界中微生物物种的多样性和不均衡性，也反映了微生物对物质的利用多种多样。凡是动植物能利用的物质，如蛋白质、糖、脂和无机盐，微生物都能利用。动物不能利用的物质，如纤维素、塑料，有些微生物也能利用，不少微生物能将它们分解。对塑料的分解以消除白色污染很有价值。还有一些对动植物有毒的物质，如氰化钾、酸、聚氯联苯等，美国康奈尔大学早在 20 世纪 70 年代就分离到分解 DDT 的微生物，日本发现了分解聚氯联苯的红酵母等。

1.1.3.5 适应性强，易变异

微生物对外界环境适应能力特强，这都是为了保存自己，是生物进化的结果。有些微生物其体外附着一个保护层如荚膜等，这样一是可作为营养，二是抵御外来对它的吞噬。细菌的休眠体芽胞、放线菌的分生孢子和真菌孢子都有比其繁殖体大得多的对外界抵抗力。这些芽胞和孢子一般都能存活数月、数年甚至数十年。一些极端微生物都有相应特殊结构蛋白质、酶和其他物质，使之适应恶劣环境，使物种能延续。

另一方面，又由于表面积和体积的比值大，与外界环境的接触面大，因而受环境影响也大，一旦环境变化，不适于微生物生长时，很多微生物则死亡，少数个体发生变异而存活下来。人们正是利用这个特点，根据需要实施对菌种的人工诱变，再进行筛选，最终得到目的菌。

总之，微生物的这些特点，使它在生物界中占据特殊的位置。它不仅广泛应用于生产实践，而且成了生物科学研究的理想材料，推动和加速了生命科学的发展。今天在高新技术革命浪潮中，以细菌和酵母等为材料和模式，对其基因组的序列测定，必将大大加快“人类基因组作图和测序”以及基因组后研究。

1.1.4 食品微生物学

食品微生物学是微生物学的一个分支学科，隶属于应用微生物学范畴 (图 1-2)。食品微生物学是研究与食品有关的微生物的特性，研究食品中微生物与微生物、微生物与食品、微生物、

食品、人体之间的相互关系，研究微生物以（农副产品）基质为栖息地，快速生长繁殖的同时，又改变栖息地农副产品的物理化学性质，即转化为所需要附加值高的各类食品产品、食品中间体，研究食品原料、食品生产过程、产品包装、贮藏和运输过程微生物介导的不安全因素及其控制。

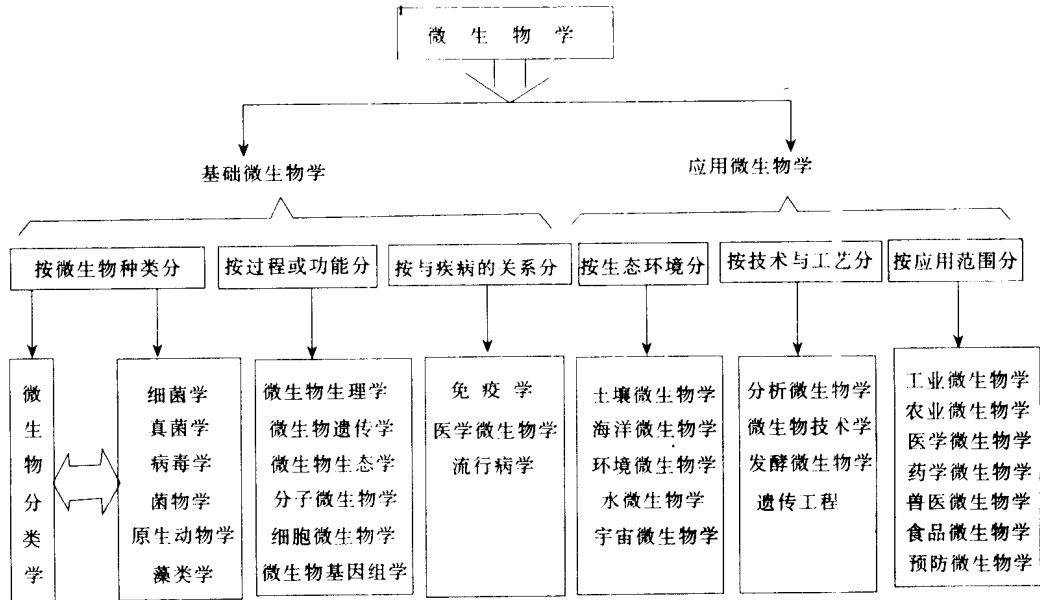


图 1-2 食品微生物学的主要分支学科

(引自沈萍等, 2001, 《微生物学》)

食品微生物学以食品有关的微生物为主要研究对象，所涉及的范围很广，涉及的学科很多，又是实践性很强的一门学科。同时，在某些方面受一定法规的约束，所以有一个标准化的问题，即在对食品的生产、销售、贸易中均有相应的统一规定和限制，尤其是其中的卫生质量标准，都明确规定了微生物学指标及相应的检验方法，这些都是强制性的标准，都必须遵照执行。

1.2 食品微生物的历史

1.2.1 发现和认识微生物以前的历史

食品的生产大约源于8 000年以前，直到现在。谷物的烹调、酿造和食品的保藏可能在8 000年前开始。因为这一时期近东制作了第一个煮壶，推测在这一时期的早期，就出现了食品腐败和食物中毒的问题。由于食品制作及不适当的保存方式引起食品腐败，并出现由食品介导的疾病。

根据 Pederson (1971) 报告，最早酿造啤酒的证据，是在古巴比伦时代。

公元前3 000年埃及人就食用牛奶、黄油和奶酪。

公元前3 000—前1 200年，犹太人用死海中获得的盐来保存各种食物。中国人和希腊人用盐腌鱼保藏食品，公元前3 500年有葡萄酒的酿造。公元前1 500年中国人和古巴比伦人开始制作和消费香肠。在这一时期，Jensen (1953) 考证指出，使用橄榄油和芝麻油会很大程度导致葡萄球菌引起的食物中毒。因为在这一时期使用这两种油作为保存食品的一种方式。

大约3 000年前，在埃及，发酵生产食醋就很有名了，日本酿造醋的技术大约在公元369—404年之间从中国传入 (Masai, 1980)，我国最早 (约3 000年前) 开始制酱和酱油。

约1 000年前，罗马人使用雪来包裹虾和其他易腐烂的食品。熏肉的制作作为一种贮藏方法可能是从这一阶段开始的。虽然用了大量微生物学的知识和技术于食品制作、保存和防腐，而且有效，但微生物究竟和食品有什么关系以及食品的保藏机理、食品传播的疾病及其所带来的危害，是个谜，无人知晓。虽然到了13世纪人们意识到肉食的质量特性，但毫无疑问还未认识到肉的质量与微生物之间的因果关系。因为在此之前，即在中世纪，麦角中毒 (由真菌麦角菌引起)，造成了很多人死亡。仅在公元943年法国因为麦角中毒死亡40 000多人，当时并不知晓这是由真菌引起。

1658年，A. Kircher在研究腐烂的尸体、腐败的肉和牛奶以及其他物质时发现了称之为“虫”的生物体，但他的研究结果并未被广泛接受。

1.2.2 微生物的发现和微生物学发展的奠基者

在食品微生物学发展历史上，具有里程碑作用的科学家中应该铭记列文虎克、巴斯德和柯赫。

荷兰商人安东·列文虎克 (Antong Van Leeuwenhock, 1632—1723) (图1-3) 是第一个真正看见并描述微生物的人，他用自制放大50~300倍的显微镜，观察到不同的细菌 (图1-3)，首次揭示了一个崭新的微生物世界。



图1-3 列文虎克 (左) 和他所观察到的微生物 (右)