

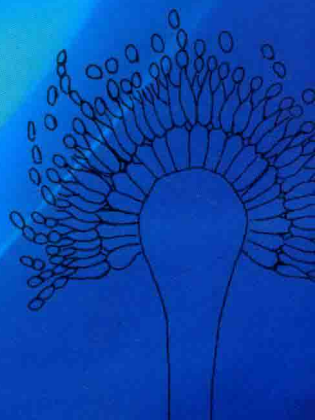
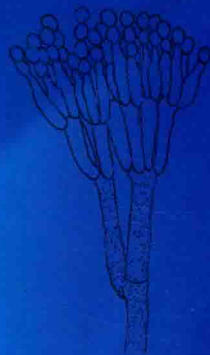
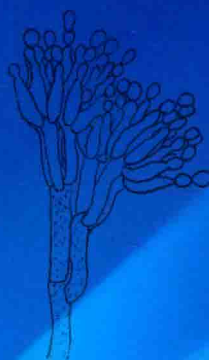
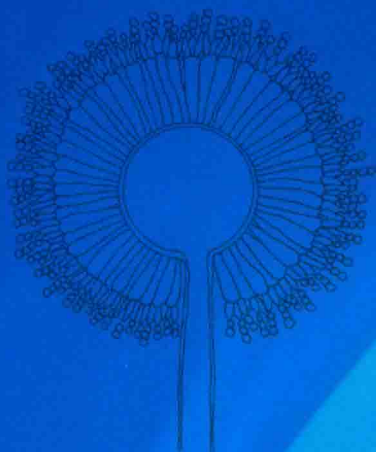


普通高等教育“十三五”规划教材

# 粮油食品微生物学

主 编 蔡静平

副主编 胡元森



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 粮油食品微生物学

主 编 蔡静平

副主编 胡元森

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书主要包括9章和3个附录。第1~4章主要介绍微生物学的基础知识,重点介绍了粮油食品相关微生物的形态和分类、微生物的营养与培养、微生物的代谢与生长。第5~9章主要介绍与粮油食品相关微生物的专业知识及应用技术,内容包括微生物与粮油食品变质,微生物与食品安全,粮油食品的微生物危害防控,微生物与食品工业,食品微生物检测技术等。附录是粮油食品微生物研究和应用中常用的方法、相关的国家标准及培养基配方。

本书兼具基础性和专业性,可作为农林、轻工、食品等相关高等院校食品科学与工程、粮食工程、食品质量与安全、农产品储藏加工及生物工程等专业本科生和研究生的教材,也可作为粮油储运、粮油加工、食品科学、食品安全等行业科技工作者及从业人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

粮油食品微生物学 / 蔡静平主编. —北京: 科学出版社, 2018.6

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-057510-4

I. ①粮… II. ①蔡… III. ①粮食-食品微生物-微生物学-高等学校-教材 ②食用油-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110152号

责任编辑: 刘 畅 / 责任校对: 王晓茜 严 娜

责任印制: 吴兆东 / 封面设计: 迷底书装

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>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2018年6月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2018年6月第一次印刷 印张: 27 1/4

字数: 640 000

定价: 79.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 《粮油食品微生物学》编写委员会

主 编 蔡静平

副主编 胡元森

编 者 (以编写章节为序)

蔡静平 胡元森 屈建航

张帅兵 翟焕趁 李海峰

黄 亮 陈 亮 张 莉

吕扬勇 刘 娜

# 前 言

本书主要阐述粮食、油料及其制品在储藏、运输、加工等环节中与微生物相关的问题，其内容是一门与诸多专业有密切联系的交叉学科。粮油及相关食品数量规模巨大、价格相对低廉，在控制微生物危害或利用微生物进行转化等环节的技术应用方面受制约的因素较多；更重要的是，粮油食品是人们摄入量最大的营养物，如果微生物的活动在粮油及其产品中产生有毒物质，其影响面将非常巨大。因此，粮油及其制品的微生物学问题应该引起人们的高度关注。

本书包含了普通微生物学的基础知识、粮油食品微生物学的专业知识及粮油食品微生物学实验技术等内容，可作为农林、轻工、食品等相关高等院校食品科学与工程、粮食工程、食品质量与安全、农产品储藏加工及生物工程等专业本科生和研究生的教材，也可作为粮油储运、粮油加工、食品科学、食品安全等行业科技工作者及从业人员的参考书。

本书是在《粮油食品微生物学》（2002年版）的基础上，通过增、删或修改部分内容编写而成。由蔡静平任主编，胡元森任副主编。编写人员具体编写分工为：第一章由蔡静平编写，第二章由胡元森、屈建航编写，第三章由张帅兵、翟焕趁编写，第四章由李海峰、黄亮编写，第五章由陈亮、张莉、吕扬勇编写，第六章由翟焕趁、张帅兵编写，第七章由吕扬勇、陈亮、刘娜编写，第八章由屈建航、胡元森、吕扬勇、张莉编写，第九章由黄亮、李海峰、张莉、翟焕趁编写。由蔡静平对全书进行了统稿和调整。

由于编者水平所限，书中难免会有不足之处，恳请读者在使用过程中给我们提出宝贵意见。

编 者

2018年1月

# 目 录

## 前言

第一章 绪论	1
第一节 微生物的基本特性	1
第二节 微生物学科的发展	3
第三节 粮油食品微生物学的特点	5
第二章 微生物的形态和分类	8
第一节 细菌	8
第二节 放线菌	28
第三节 真菌	30
第四节 病毒	65
第五节 微生物分类与鉴定	69
第三章 微生物的营养与培养	75
第一节 微生物细胞的化学组成	75
第二节 微生物的营养物质	77
第三节 微生物的营养类型	81
第四节 微生物的物质运输	83
第五节 微生物的培养	86
第四章 微生物的代谢与生长	100
第一节 酶	100
第二节 微生物的产能代谢	104
第三节 多糖的分解	111
第四节 油脂的分解	115
第五节 蛋白质和氨基酸的分解	116
第六节 微生物的合成代谢	118
第七节 微生物生长的测定	124
第八节 单细胞非丝状微生物的生长	126
第九节 丝状微生物的生长	131
第十节 物理因素对微生物生长的影响	132
第十一节 化学因素对微生物生长的影响	147
第十二节 生物因素对微生物生长的影响	155
第十三节 微生物对环境的适应性与抗性	157
第五章 微生物与粮油食品变质	161
第一节 微生物变质的特性	161
第二节 粮食储藏与变质	163

第三节	微生物与油料油脂变质	175
第四节	其他相关食品的变质	179
第六章	微生物与食品安全	206
第一节	食品安全性的基本概念	206
第二节	细菌对食品安全性的影响	209
第三节	真菌对食品安全性的影响	217
第四节	病毒对食品安全性的影响	233
第五节	食品安全性评价与控制	234
第七章	粮油食品的微生物危害防控	247
第一节	食品防腐保鲜的化学方法	247
第二节	食品防腐保鲜的物理学方法	279
第三节	食品防腐保鲜的生物学方法	315
第八章	微生物与食品工业	320
第一节	农产品的微生物转化与制造	320
第二节	微生物食品及添加剂生产	344
第三节	农产品及其加工废弃物的利用和废水处理	359
第九章	食品微生物检测技术	372
第一节	食品卫生微生物学检验	372
第二节	食品微生物定性检测技术	383
第三节	食品微生物定量检测技术	397
第四节	食品微生物学实验	403
主要参考文献		416
附录 1	食品样品的采样方法	417
附录 2	常见食品中微生物限量国家标准	419
附录 3	常用微生物培养基配方	420

# 第一章 绪 论

粮油食品是人类赖以生存的必需生活资料，其量值规模远高于其他商品。粮油食品在其生产、运输、加工、储藏、销售等环节均可与微生物的存在及其生命活动产生密切的联系，研究粮油食品中的微生物特性是食品科学和微生物学研究的重要内容。在微生物学研究领域，粮油食品微生物学只是众多微生物学分支学科之一，但对粮油食品中微生物的认知探索和应用实践具有悠久的历史。谷物酿酒、食品防腐均是人类发展史中迈进科学研究大门的重要里程碑，人们对微生物这类微小生物的认识和主动利用正是从原始的粮油食品储藏、农产品加工生产开始的，并在解决生产问题的过程中建立和发展了微生物学。在现代社会，涉及粮油食品中微生物相关的问题仍是微生物学研究的核心问题。

## 第一节 微生物的基本特性

自然界的生物类群中除了肉眼可以观察到的动物、植物等生物以外，还有一类个体不能或不易被肉眼直接观察到的生物，我们将这一类个体微小、结构简单的低等生物称为微生物。根据这一特点，微生物应该包括病毒、细菌、放线菌、蓝细菌、立克次氏体、支原体、衣原体、酵母菌、霉菌及一些原生动物等生物类群。

### 一、微生物的特点

微生物作为自然界独特的生物类群，与其他宏观生物有鲜明的区别，主要表现为具有个体微小、种类多、分布广、繁殖快、易变异等特点。

个体微小是微生物的主要表现特征。通常我们用“微米”作为度量微生物个体大小的单位，个体更小的病毒则以“纳米”为度量单位。为了观察微生物个体的形态，需要借助光学显微镜或电子显微镜进行放大。当微生物在某一物体、溶液表面（或内部）聚集生长时，大量微生物的堆积可以形成较大的聚集体，这时肉眼即可观察到微生物的存在。

微生物的种类多。微生物虽然个体微小、结构简单，但它们也像大型生物一样有众多的类群，如常见的真菌，仅目前已经定名的就有 10 多万种，每年世界上都不断有许多新种被发现；再如常见的细菌，虽然按目前常用的分类方法只有 1000 多种，但随着研究的深入，人们发现同一种细菌的生物学特性有较大差异，应用免疫学或其他现代生物学方法可将它们继续细分为许多不同的型。

微生物在自然界中的分布极为广泛。在人类可以生存的环境中，无处不存在着大量的微生物，它们的个体密度远远超过任何其他生物。例如，一般城市街道每立方米的空气中约含 5000 个微生物，普通宿舍的空气中每立方米约含 20 000 个微生物，土壤中微生物存在的密度更高，每克肥沃土壤中可含数亿个甚至更多的微生物。在人类及其他高等生物难以生活的环境中，如在缺氧、高温、低温、酸碱性环境及有毒物质存在等条件下，有些微生物仍然可以正常生活。

微生物的繁殖速度比其他生物更快。在牛乳组成的基质中如果提供最适的培养条件，普通的大肠杆菌菌体繁殖一代仅需 12.5min，以此速度计算，在理想条件下一个大肠杆菌细胞一昼夜就能繁殖 115 代，数量可增殖到  $4.15 \times 10^{34}$  个，干菌体重量可达约  $1 \times 10^{16}$ t（通常每克干的细菌菌体约  $4.5 \times 10^{12}$  个）。当然这种惊人的增殖速度在现实中是无法实现的。但微生物这种强大的繁殖能力为我们利用微生物和进行科学研究提供了有利条件。例如，我们可以以石油为原料，通过微生物发酵，生产蛋白质。要获得同等数量的蛋白质，利用微生物合成蛋白质的速度比栽种植物快 500 倍，比饲养动物快 2000 倍。通过计算可知，4500t 酵母所含蛋白质相当于 10 000 头牛，前者可在一个发酵企业中一天完成生产，而肉牛的繁殖和饲养则需要漫长的时间。在遗传学的研究上，选用微生物作为试验材料，可大大缩短研究周期。但是，微生物繁殖速度快这一特性给动植物疫病的防治，食品的防腐、保鲜等带来了巨大的困难。

微生物易受各种因素的影响，引起遗传性发生变异。据统计，细菌自发突变的频率为  $10^{-8}$  左右。人为地利用各种物理、化学诱变因子处理微生物，可以促进微生物发生变异，提高变异率。微生物容易变异的特性既为人们选育优良菌种提供了方便，也给优良菌种的保藏带来了困难。另外，在疾病的预防和控制等方面，常因微生物的易变异特性而导致药物或疫苗失效。

微生物具有强大的分解能力和细胞物质合成能力，可以在简单的营养基质中生长，除了少数特殊类型的微生物外，大多数微生物很容易在人为提供的环境中进行人工培养。因此，我们可以利用微生物的这一特性来生产人们所需的物质。

## 二、微生物在自然界中的作用

虽然微生物个体小到肉眼难以分辨的程度，但它们在自然界中扮演的角色却是举足轻重的。微生物在自然界中所起的最重要的作用在于其分解功能，它们分解生物圈内存在的动物、植物和微生物残体等复杂有机物质，并最终将其转化成最简单的无机物，供植物等其他生物利用。

微生物参与所有物质的循环，大部分元素及其化合物都受到微生物的作用。例如，作为生命有机体最大组分的碳元素循环，主要依靠微生物来完成从有机碳到  $\text{CO}_2$  的转变过程。在缺氧条件下，微生物是唯一的有机物分解者；腐殖质、蜡和许多人造含碳化合物只有微生物才能分解。因此，没有微生物这一生物类群的分解转化作用，自然界的物质循环将不能进行，其他生物也将不可能存在。

微生物也是自然界生态系统中化合物的初级生产者。有些微生物可像植物一样，在自然界直接以太阳能作为能源，从简单的无机物合成有机化合物；也有些微生物以无机物氧化产生的化学能作为能量来源，以无机物为原料合成有机化合物。微生物的这一特性使人类有可能摆脱土地资源的束缚，实现可持续发展。

## 三、微生物对人类生活的影响

微生物与人类的日常生活、工农业生产等有密切的关系，因而对人类的生活有极其重要的影响。它们既可造福于人类，也可给人类生活的各个方面带来灾难，造成经济损失。

微生物对人类生活的有益影响在食品方面尤为突出。例如，人们日常生活中需要的味精、酱油、醋等调味品均经微生物转化生产而成；白酒、啤酒、葡萄酒等酒类及有些饮料是微生物发酵的产物；面团经微生物生长产气，制成了松软可口的馒头或面包。

在工业方面,利用微生物发酵可生产各种有机酸、维生素、酶制剂等重要的食品添加剂,生产各类抗生素及多种工业有机合成所需的原料;近年来,利用微生物生产活性多糖、功能性低聚糖等被广泛关注,这些产品对改善人类生活质量,提高人们的健康水平等有非常重要的作用。

在农业方面,利用微生物的固氮作用可产生农作物生长所需的氮化合物,利用微生物产生的生物农药可防治农业害虫,避免了生产、使用化肥、农药造成的环境污染,是农业可持续发展的重要保证。

当然,微生物对人类社会的危害性也是显而易见的,并且人们对微生物造成的危害作用可能感受得更深刻、更直接一些。微生物的感染可使人体及其他动、植物罹患各种疾病;微生物在食品、工业产品等上面的生长将导致产品品质的劣变,甚至使它们失去使用价值,从而给人类的生命财产造成巨大的损失。但随着科学的发展,随着人们对微生物这一微小生物认识的深入,微生物的有益作用将不断被拓展,其对人类的危害作用将会受到更大程度的控制。

## 第二节 微生物学科的发展

### 一、微生物的利用与微生物的发现

由于微生物个体太小,需要有特定的工具和技巧才能观察到,因此自然界中最古老的这一类生物类群迟迟未被人们所认识。但人类利用微生物可追溯到远古时期。根据我国与美国科学家合作研究发表在著名刊物《美国国家科学院学报》(*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, PNAS*)上的考古研究论文介绍(McGovern et al., 2004),在我国的河南省舞阳县北舞渡镇贾湖村发现了公元前7000多年,即距今9000多年的新石器时代早期酿酒的证据,推测当时已经可利用稻米、蜂蜜、山楂酿制含酒精的饮品。到了商代(公元前17世纪到公元前11世纪),酿酒技术已有极大的发展,并逐渐从农业中分化出来成为独立的手工业,出现了一些酿酒工场。

根据有关的史料和研究推测,解决食品防腐的问题伴随着人类原始生产的形成就已经开始。因为不管是原始的狩猎、采集,还是原始的农业种植生产、动物驯养,都存在机会性和时效性,人类为了自身的生存需求,必须对食品进行必要的储存。食品防腐是食品储存的关键,古人在没有意识到微生物存在的情况下就已经根据生产和生活中观察、积累的经验,利用干燥、腌制及自然发酵等方法抑制食品腐败的发生。解决食品防腐问题仍然是现代食品微生物学研究的中心内容,因此可以说食品微生物学研究的相关内容是人类应用微生物最古老的技术之一。

真正看见并描述微生物的先驱者是荷兰人安东·列文虎克(Antony van Leeuwenhoek, 1632~1723)。列文虎克具有熟练的透镜磨制技术,他利用磨制的透镜制作了非常简易的显微镜(图1-1,图1-2),并喜欢用其来观察自然界中的各种物质,终于以他高超的观察技术在1680年前后发现了自然界中存在的细菌、酵母菌、原生动物等微小生物。虽然有人认为列文虎克并非第一个见到微生物的人,但肯定是他首次以文字的形式描述了微生物,并在正式的学术刊物上发表了观察结果。因此,在学科发展史上将打开微生物世界大门的功劳记在列文虎克身上。

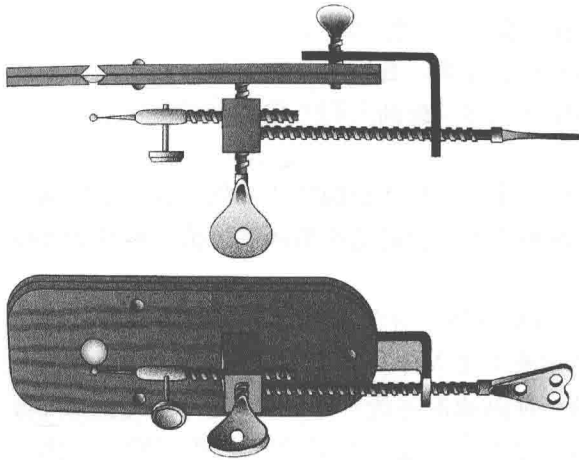


图 1-1 原始的简易显微镜  
(引自: Atlas, 1995)

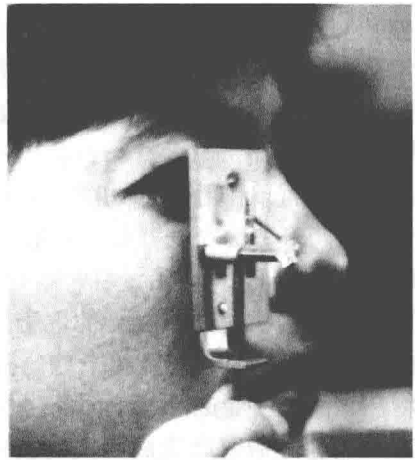


图 1-2 简易显微镜的实物大小  
(引自: Talaro, 1996)

## 二、微生物学及食品微生物学的建立

在列文虎克发现微生物后 200 年的漫长时期中,人们对微生物的认识几乎没有什么实质性的进展,其原因主要是研究微生物的工具,如显微镜等设备的制造技术没有实质性的突破;以及社会生产力水平的低下,对微生物学及相关科学没有紧迫的需求。直到 19 世纪中期,为了解决当时工农业生产发展中出现的葡萄酒发酵酸败、人畜传染病等与微生物相关的问题,以法国的巴斯德(Louis Pasteur, 1822~1895)和德国的柯赫(Robert Koch, 1843~1910)为代表的科学家才开始对微生物的特性、生理进行研究。

巴斯德对微生物学的建立和发展的主要贡献在于:他以无可辩驳的事实否定了微生物“自然发生说”的论点;证实了葡萄酒发酵是酵母菌的作用,发酵酸败是由发酵过程中感染的其他杂菌,如产酸细菌等微生物引起的;认识到微生物可引起动物疾病等。柯赫则主要从事病原微生物的研究,他发现并证实了动物炭疽病、肺结核病的病原菌,提出了证明某种微生物是否为某种疾病的病原体的基本原则,并在他的研究过程中建立了分离、培养、接种微生物等一系列研究微生物的技术。

巴斯德、柯赫等科学家在微生物研究领域的不懈努力和杰出贡献,使人们对微生物有了真正意义上的认识。他们在解决社会生产发展中有关微生物的实际问题时形成的科学思想和研究方法奠定了微生物学发展的基础,同时也使微生物学研究走上科学的轨道,使微生物学逐渐发展成为自然科学中的一个学科门类。

食品微生物学的形成和发展与微生物学是密不可分的。由于人类在没有认识到微生物存在的远古时代就已经开始探索防止食品腐败变质的问题,当微生物被发现,食品腐败变质的本质被认知后,对这一方面的研究就有了质的飞跃,食品微生物学作为一门专门研究解决食品相关微生物问题的学科的建立就顺理成章了。

## 三、近代微生物学的发展

从 19 世纪末,特别是 20 世纪以来,由于工农业生产发展的需要和为了研究、解决许多生物学理论及技术问题,微生物成为重要的研究对象和研究材料,微生物学进入了高速发展

时期，并且随着研究的深入，衍生出众多的微生物分支学科，如细菌学、真菌学、病毒学、微生物生理学、微生物遗传学、微生物生态学、工业微生物学、农业微生物学、医学微生物学、食品微生物学等。

近代微生物学的发展是与微生物研究工具、条件的改变及其他学科的研究发展分不开的。显微镜制造技术的不断改进使人们更容易地观察到各类微生物的形态，特别是电子显微镜（图 1-3）的出现，不仅使人们观察到更小的生物——病毒的存在，还使人们对微生物的研究深入亚细胞水平。另外，微生物作为一种简单而又具有完整生命特征的微小生物为其他生物学科，尤其是遗传学、分子生物学的研究提供了理想的研究材料，加速了这些学科的发展；现代生物科学的许多重大研究成果，如遗传物质的本质、生物遗传密码的破译、生物基因理论的建立等都是以微生物为材料研究得出的。反过来，其他生物学科研究的进展和突破也不断推动微生物学的发展，使人们对微生物的认识进一步从细胞水平深入分子水平。

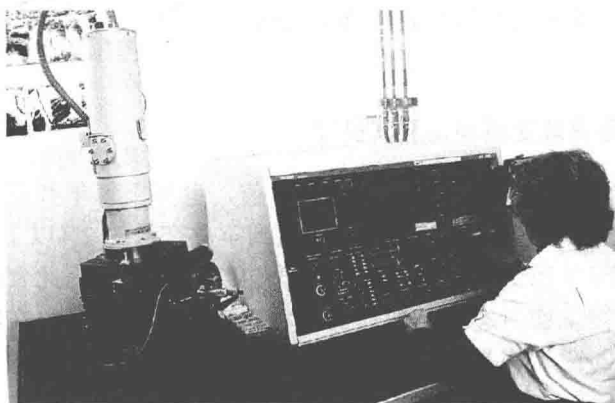


图 1-3 一种扫描式电子显微镜（引自：Atlas, 1995）

### 第三节 粮油食品微生物学的特点

粮油食品微生物学是一门综合性的应用科学。虽然粮油食品微生物学有自身的特色，但它与微生物学的其他分支学科是互相渗透的。例如，粮油食品微生物学离不开普通微生物学这一基础；粮油食品的原料来源于农业，因而粮油食品微生物学的研究必然包含部分农业微生物学的内容；食品的加工属于工业范畴，所以它与工业微生物学有密切的联系；食品中包含一些可引起人类疾病的微生物类群及有毒的微生物代谢产物，其疾病传播方式、致病机理、预防措施等也是医学微生物学需要研究的内容。

粮油食品微生物学的研究对象包括与粮油及食品生产、储藏、流通、消费等环节相关的各类微生物，其中主要为细菌、放线菌、酵母菌、霉菌四大类微生物中的某些类群；病毒中的噬菌体在食品发酵生产中有很大的危害性，因而也是食品微生物学研究的范畴。随着现代食品科学的发展，食品研究的范畴不断被拓宽，食品微生物学研究的微生物类群也不断增多。例如，近年来人们发现疯牛病不仅对英国及其他国家的牛饲养业造成灾难性的危害，还可通过食品传播使人患病，从而引起世界各国对疯牛病的病原因子——朊病毒的高度关注；为了开发人类可持续发展的食品及营养物质资源，人们研究营养要求简单，蛋白质含量高或具有特殊营养价值的微生物细胞作为营养食品添加剂，一些能进行光合作用、利用二氧化碳合成细胞物质的藻类也逐渐成为食品微生物学研究的对象。

利用食品微生物学以研究防止粮油食品腐败变质及微生物相关的食品安全问题为主要特色，其研究内容主要包括以下几个方面。

## 一、食品相关微生物的基础

食品在生产、加工、储存、运输、销售等各个环节中会涉及各种类型的微生物，它们在食品中存在的数量、类群、与食品品质及人类健康的关系和这些微生物本身的生理特性、遗传特性等因素有关，因此食品微生物学要对这些相关的微生物类群进行重点分析，研究它们的形态特征、生理特征、生态学、遗传学特征。

研究食品相关微生物的形态特征有助于人们识别它们，检验它们在食品中的存在状态和数量；微生物的生理特征、生态学、遗传学特征也是检测许多微生物类群的基础。同时，通过深入研究微生物的这些性质，对促进生产上应用的微生物按照人们的愿望进行生长、代谢，合成人类所需物质，以及抑制危害性微生物对食品品质的破坏和食源性微生物疾病的传播等都有重要的意义。

## 二、微生物引起的食品腐败变质现象及其机理

食品的腐败变质将使食品丧失应有的食用价值，世界上每年都因食品的腐败变质而产生大量的经济损失，仅粮食的霉变损失平均就达到年总产量的2%以上。由于食品的种类繁多，各种食品的变质现象和引起食品变质的机理也均有差别，因此食品微生物学要根据各类食品的特点，研究微生物引起食品变质的各种现象及其与食品内在特性，食品生产、储存条件，食品中存在的微生物类群特点等诸方面本质的联系，从而揭示和阐明食品腐败变质的机理。

## 三、微生物相关的食品安全问题

微生物在食品中生长繁殖不仅会引起食品的腐败变质，还可通过食品传播疾病，危害人体的健康，如与食品相关的细菌性食物中毒、食源性传染病、真菌毒素中毒症等。食品微生物学要研究引起食源性疾病的微生物的特性，生长、产毒的条件，致病的机理及预防措施。

对于食品安全问题，过去的研究主要注重个体的防范，即从某一食品制作单位及消费者的角度进行预防。随着社会经济的发展、食品科学水平的提高及有关食品安全法律、法规的建立和健全，越来越多的国家要求各种食品从初级生产开始直到消费者食用的各个环节均设立关键控制点，防范可能出现影响食品安全的因素。因此，食品安全性问题也已经成为食品微生物学研究的重要内容之一。

## 四、防止食品腐败变质的方法

防止食品腐败变质是人类自有食品生产历史以来一直追求的目标。由于微生物种类的多样性及食品类型、特性的丰富多彩，至今仍无普遍适用的食品防腐方法。许多可以抑制微生物生长的措施可能因为其毒性的问题不能在食品中应用，有些可能因为对食品的风味、特色有影响而导致应用范围受到限制，也有一些方法可能因为处理成本过高而不能被采用。食品微生物学将对各种有可能在食品中应用的防腐方法的特点、应用范围、影响因素等进行探讨，解决食品生产、储藏、流通等环节中的食品防腐保鲜问题。

## 五、粮油食品微生物的检验和监测技术

对粮油食品中存在的微生物类群和数量的演变进行检验和监测是食品防腐保鲜的关键环节，也是确保食品安全性的重要手段。许多食品防腐方法往往对某一类微生物类群有效，或当食品中这类微生物处于某种生理状态、数量范围内才有效；通过食品微生物检验，掌握准确的信息是最大限度发挥防腐措施的效能，降低对食品品质的影响及创造最高食品生产经济效益的保证。同样，要保证食品的安全性，避免食品污染致病性微生物及可以潜在产生有毒物质的微生物是最有效的方法，这些目标的实现也有赖于准确地应用微生物检验技术。

因此，微生物检验技术是食品微生物学的基础和重要组成部分，除了要研究传统的食品带菌量检测方法外，还要根据微生物的形态、生理生化特性、免疫学特性、遗传学特性等探讨其直接或潜在的致病性及对食品品质的危害性；同时，检验技术的突破在很大程度上也促进了食品微生物学的发展。近年来，随着现代生物学、免疫学、酶学、电化学及电子技术的发展，为食品微生物检验技术的进步创造了非常有利的条件，使检验技术朝着更准确、更快捷、更易操作的方向发展。

## 六、微生物在食品工业中的应用

微生物对粮油食品的影响虽有危害的一面，但更多的是与食品之间有益的联系。微生物细胞本身是良好的蛋白质资源；微生物是食品发酵生产的主角；微生物分解与合成代谢可生产各种人们生活所需的食品及食品添加剂；微生物的酶制剂是现代食品生产不可或缺的材料。由于微生物在食品工业中的应用大都有复杂的或独特的工艺，每一类通常都有专门的论著，因此，在粮油食品微生物学中一般对此不进行详细的探讨，而是以提纲或综述的方式论述微生物在食品工业中的诸多应用。

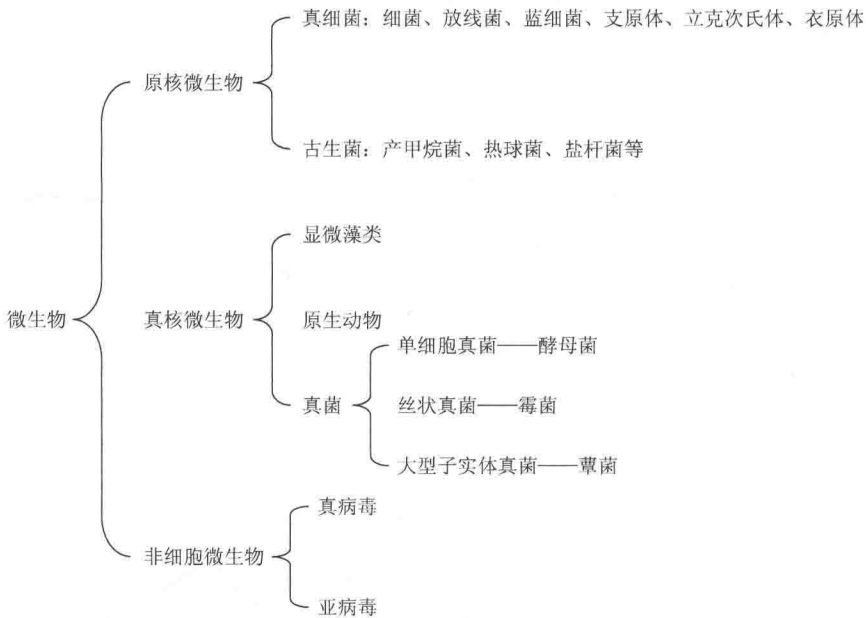
## 第二章 微生物的形态和分类

微生物种类繁多，根据进化水平不同和结构、性状上的明显差异，可将微生物分为原核微生物（prokaryotic microorganism）、真核微生物（eukaryotic microorganism）和非细胞微生物（acellular microorganism）三大类群。

原核微生物是指一大类细胞核无核膜包裹，只有核区部分裸露 DNA 的原始单细胞生物，包括真细菌（eubacteria）和古生菌（archaea）。真细菌细胞壁含有肽聚糖（无细胞壁的支原体除外），而古生菌细胞壁不含有肽聚糖，由假肽聚糖或杂多糖、糖蛋白等构成。通常根据外表和生理特征判断，细菌、放线菌、蓝细菌、支原体、立克次氏体和衣原体等属于真细菌，而产甲烷菌、热球菌、盐杆菌等属于古生菌。

真核微生物有真正的细胞核，细胞核被核膜包裹，能进行有丝分裂，细胞质中有线粒体或同时存在叶绿体等细胞器。真核微生物主要类群包括真菌（含酵母菌、霉菌、蕈菌）、单细胞（显微）藻类和原生动物等。与原核生物相比，真核微生物进化水平更高，其形态更大、结构更复杂、细胞器功能更专一，可更完善地执行生物的遗传功能。

非细胞微生物通常指病毒，是一类仅有蛋白质与/或核酸构成、专性寄生、不具有细胞结构的一类微小病原体。现代病毒学家把这类非细胞生物分为真病毒（euvirus，简称病毒）和亚病毒（subvirus）两大类。



### 第一节 细菌

细菌（bacteria）是一类单细胞、非丝状的原核生物。细菌的细胞壁坚韧，多以二分裂

方式繁殖。一个细菌细胞是一个完整生命体，可单独实现自身的营养、代谢、繁殖等生命活动全过程。

细菌种类多、分布广、数量庞大，绝大部分都是异养型，与人类的生产、生活密切相关。部分有害细菌常引起人和动物传染性疾病、农作物病害、食品腐败变质、污染发酵工业等，给人们带来病痛和巨大的财产损失；但同时越来越多的有益菌被利用于工、农、医、药和环保等生产实践中，如食品工业中酒类、调味品、氨基酸、酶制剂等产品的发酵生产，让生活更加便利、丰富多彩。认识和了解细菌形态、构造与功能，能更好地利用有益细菌和控制有害细菌。

## 一、细菌的形态与大小

### (一) 细菌的形态

细菌是单细胞微生物，按其个体形态，可分为球状、杆状、螺旋状三大类型，具有这三种形态的细菌分别称为球菌、杆菌和螺旋菌（图 2-1）。在自然界存在的细菌中，杆菌最为常见，球菌次之，而螺旋菌最少。食品领域中常见和常用的是球菌和杆菌，尤其是杆菌最为重要，螺旋菌通常是病原菌。



图 2-1 细菌的基本形态

A. 球菌；B. 杆菌；C. 螺旋菌

#### 1. 球菌 (coccus)

球菌的菌体呈圆球形或近圆球形。各种球菌细胞在繁殖过程中的分裂方式不同，分裂后子细胞的排列方式有其种族的特点。在细菌形态学研究中通常根据球菌细胞分裂方向及分裂后子代细胞的空间排列形式，把球菌分为不同的类群。

(1) 单球菌 细胞分裂后产生的子代细胞相互分开，以单一个体独立存在的球菌称为单球菌，如尿素微球菌 (*Micrococcus ureae*)。

(2) 双球菌 细胞分裂后产生的子代细胞成对排列在一起，称为双球菌。肺炎双球菌 (*Diplococcus pneumoniae*) 是一种典型的双球菌，它是许多动物的致病菌，可以引起人和某些动物的呼吸道炎症。

(3) 链球菌 细胞分裂后产生的子代细胞相互连接，排列成链状，称为链球菌。典型的链球菌如乳酸链球菌 (*Streptococcus lactis*，在新的分类系统中为 *Lactococcus lactis*，中文名为乳酸乳球菌)，该类细菌可发酵乳糖等单糖产生乳酸，是酸乳、酸菜发酵的常用菌种。

(4) 四联球菌 细胞沿两个相垂直的平面进行分裂，产生的子代细胞 4 个排列在一起，呈“田”字形，如四联微球菌 (*Micrococcus tetragenus*)。

(5) 八叠球菌 细胞沿三个相垂直的平面进行分裂,产生的8个子代细胞排列在一起,呈正方体,如乳酪八叠球菌(*Sarcina casei*)。

(6) 葡萄球菌 细胞可向各个方向分裂,产生的子代细胞聚集成团,呈葡萄串状,称为葡萄球菌,如常引起皮肤炎症的病原菌——金黄色葡萄球菌(*Staphylococcus aureus*)等。

球菌分裂后细胞的排列方式是由细胞分裂方向决定的,细胞向一个方向分裂形成单球菌、双球菌和链球菌;向两个方向分裂可产生四联球菌;向三个方向分裂可产生八叠球菌;向多个方向分裂形成的是葡萄球菌。球菌细胞的排列方式对种族而言并不非常严格,有许多球菌可同时存在多种排列方式,但通常是某种特征性的排列方式占优势。

## 2. 杆菌(bacillus)

杆菌是细菌中种类最多的类型,常见的有短杆状、长杆状、棒状、梭状、纺锤状等。杆菌的两端常呈不同形状,如半圆形、钝圆形、平截形和略尖形。同种杆菌的粗细较为稳定,但长度经常随培养时间及培养条件的改变呈现较大变化。多数杆菌分裂后产生的子代细胞分散存在,为单杆菌;有的杆菌分裂后,新细胞连接排列呈现链状、八字状、栅栏状等。

## 3. 螺旋菌(spirilla)

细胞呈螺旋状,螺旋不满一圈者,称为弧菌(vibrio),如霍乱弧菌(*Vibrio cholerae*);螺旋满2~6环者,称为螺菌(spirillum),如干酪螺菌(*Spirillum tyrogenum*);若螺旋在6环以上,称为螺旋体菌(spirochaeta),如梅毒螺旋体(*Treponema pallidum*)。与前两种相比,螺旋体菌的菌体更加细长和柔软。

除上述三种基本形态外,还有少数细菌形态较为特殊。例如,柄杆菌属(*Caulobacter*),杆状或梭状细胞末端有一细柄;球衣菌属(*Sphaerotilus*),能形成衣鞘,细胞呈链状排列在衣鞘内。近年来,还发现了呈三角形、星形、方形和圆盘形的细菌。

细菌的形态受环境条件的影响,如培养时间、培养温度、培养基的组成与营养物浓度等的改变,均能引起细菌形态发生变化。一般处于幼龄及适宜生长条件时,细菌的形态整齐,正常;若培养时间较长或培养条件不适宜,细菌则常表现出异常形态。例如,巴氏醋杆菌(*Acetobacter pasteurianus*)在不适宜的培养温度下,其形态从正常的短杆状改变成纺锤状、丝状、锁链状等;培养时间过长的乳酪杆菌(*Bacillus casei*),其形态从正常的长杆状转变成分枝状。形态异常的细菌在适宜的培养条件下,又能够恢复其正常形态。

## (二) 细菌的大小

细菌的个体很小,必须用显微镜才能见到。测定细菌个体大小的单位通常为微米( $\mu\text{m}$ )。球菌的个体大小以其直径来表示,杆菌和螺旋菌的个体大小则以长度 $\times$ 宽度表示,螺旋菌的长度是指菌体两端的直线距离,而不是由螺旋的直径和圈数所计算的 actual 长度。

不同种类的细菌大小差异很大,目前发现的最小细菌——纳米细菌(nanobacteria),其细胞直径仅有50nm,比最大的病毒还要小一些,在光学显微镜下很难看到;迄今发现最大的细菌是纳米比亚嗜硫珠菌(*Thiomargarita namibiensis*),呈球形,其直径大小通常在0.1~0.3mm,有些可达0.75mm,能够清楚地用肉眼看到。大多数常见细菌的大小则为1 $\mu\text{m}$ 到几微米。球菌的直径多为0.2~1.5 $\mu\text{m}$ ,杆菌一般宽0.5~1.0 $\mu\text{m}$ ,长1.0~5.0 $\mu\text{m}$ 。一些细菌的大小见表2-1。从表2-1中可知,产芽孢细菌一般大于非芽孢细菌。