

普通高等教育“十一五”规划教材

食品微生物学

吕嘉枋 主编



化学工业出版社

本书结合现代微生物学和食品科学发展趋势,对食品微生物学的内容进行了系统介绍,并突出食品微生物学的实践应用。全书共分 11 章,前 8 章系统阐述了与食品相关的微生物学的基础理论,包括细菌、放线菌、酵母菌、霉菌、蕈菌、病毒、亚病毒的形态与构造,微生物的营养与培养,微生物的代谢,微生物的生态,微生物遗传变异与育种,微生物分类与鉴定等内容。后 3 章介绍了微生物在食品工业中的作用,包括微生物与食品制造、微生物与食品变质、食品安全的微生物指标和质量控制体系等内容。

本书既可作为高等院校食品、生物工程、发酵工程、农林、水产等专业的教材,也可供食品加工、食品发酵、食品保藏、食品卫生、食品检验、食品安全等领域相关科研与技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

食品微生物学/吕嘉彬主编. —北京: 化学工业出版社,
2007. 6

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5025-9600-2

I. 食… II. 吕… III. 食品微生物-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 (2007) 第 054578 号

责任编辑: 赵玉清
责任校对: 顾淑云

文字编辑: 尤彩霞
装帧设计: 潘 峰

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京市振南印刷有限责任公司
装 订: 三河市宇新装订厂
787mm×1092mm 1/16 印张 16 字数 423 千字 2007 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

本书编写人员

主 编 吕嘉枋

参加编写人员 (以汉语拼音排序)

代春吉 缙敬轩 韩 迪 李娟萍 刘金平

吕嘉枋 马亚宁 舒国伟 卫春会 肖 平

前 言

食品微生物学 (Food Microbiology) 是专门研究微生物与食品之间的相互关系的一门学科, 是微生物学的一个重要分支。其最终目的有两个, 一是研究、开发和利用有益微生物, 为人类提供更多更好的食品; 二是研究对人类健康和食品有危害作用的微生物, 并能进行有效的检测和监控, 以确保食品的安全性。

生物技术的进展及其在微生物学和食品工业领域的广泛应用, 使得食品方面的新技术、新知识得到不断创新, 新产品不断涌现, 新的致病菌不断被研究发现, 新的食品安全管理措施也不断改进。因此, 传统的食品微生物学面貌已发生了巨大变化, 其研究内涵也不断丰富扩展。为适应时代需求, 跟踪学科前沿, 新的食品微生物学内容体系除了包括现有的普通微生物学理论知识、有益微生物及其利用、有害微生物及其控制等三大部分内容外, 还应该包括食品微生物检验、食品安全控制技术等内容。目前, 由微生物所引起的食品安全问题已成为一个全球性问题, 微生物危害则是导致“食源性疾病”这一头号食品安全问题的最主要因素。因此随着食品贸易全球化的进一步深入, 食品安全问题也必将成为各国政府和民众关注的焦点。

本书较为系统、完整地论述了现代食品微生物学的理论知识, 并补充了食品生产中相关的微生物应用实例和新的食品安全管理措施及规范, 基本涵盖了现代食品微生物学的各个领域。全书在增加了食品微生物指标的设定、食品微生物检验、食品安全的 HACCP 质量控制体系、食品微生物模型或预测微生物学、微生物风险评估等新内容的同时, 又对全球关注的肝炎、禽流感、SARS、疯牛病、口蹄疫等食源性疾病进行了概述。本书力求内容新颖、图文并茂, 既注重理论又与实践相结合。

全书共分 11 章, 由陕西科技大学吕嘉枋教授担任主编。书中前 8 章阐述了与食品相关的微生物学的基础理论知识, 包括微生物的形态与构造、营养与培养、代谢、生态、遗传变异与育种、分类与鉴定等内容, 后 3 章介绍了微生物在食品工业中的作用, 包括微生物与食品制造、微生物与食品变质、食品安全的微生物指标和质量控制体系等内容。

西北大学郭爱莲教授和西北农林科技大学来航线博士对本书内容进行了补充和审定, 教育部高等学校食品科学与工程教学指导委员会委员董文宾教授提出了许多宝贵的意见和建议, 在此一并表示诚挚的谢意!

限于编者学识有限, 书中不足之处在所难免, 敬请广大读者批评指正。

编者
2007 年于西安

目 录

绪论	1	三、噬菌体的效价	58
一、微生物的概念及其特点	1	第三节 亚病毒	59
二、微生物与人类的关系	2	一、类病毒	59
三、微生物学的发展简史	3	二、拟病毒	59
四、微生物学及其分支学科	5	三、朊病毒	59
五、食品微生物学及其研究内容与任务	5	第四节 病毒的危害及其应用	59
第一章 细菌和放线菌	7	第四章 微生物的营养与培养	61
第一节 细菌	7	第一节 微生物的营养物和营养类型	61
一、细菌菌体形态	7	一、微生物的营养物	61
二、细菌细胞构造	8	二、微生物的营养类型	63
三、细菌繁殖特征	17	第二节 微生物营养物质的转运	64
四、细菌群体特征	17	一、不耗能转运	64
五、食品工业中常见的细菌	17	二、耗能转运	64
第二节 放线菌	23	第三节 微生物培养基	65
一、放线菌的形态与构造	23	一、培养基的定义及种类	65
二、放线菌繁殖特征	24	二、选用和设计培养基的原则	67
三、放线菌群体特征	25	第四节 微生物的培养	68
四、食品工业中常见的放线菌	25	一、微生物的生长	68
第二章 酵母菌、霉菌和蕈菌	26	二、测定微生物生长繁殖的方法	68
第一节 酵母菌	26	三、微生物生长规律	70
一、酵母菌形态构造	26	四、微生物培养方法	73
二、酵母菌繁殖特征	28	五、影响微生物生长的因素	74
三、酵母菌群体特征	31	第五章 微生物的代谢	85
四、食品工业中常见的酵母菌	31	第一节 微生物的能量代谢	85
第二节 霉菌	36	一、生物氧化作用	85
一、霉菌形态构造	36	二、生物氧化类型	85
二、霉菌繁殖特征	38	第二节 微生物的分解代谢	87
三、霉菌群体特征	42	一、淀粉的降解	87
四、食品工业中常见的霉菌	42	二、蛋白质的降解	88
第三节 蕈菌	49	三、脂肪的降解	88
一、菌丝发育及担孢子的产生	49	第三节 糖的发酵作用	89
二、子实体形态	50	一、EMP 途径	89
第三章 病毒和亚病毒	51	二、HMP 途径	92
第一节 病毒	51	三、ED 途径	95
一、病毒的基本特性	51	四、TCA 循环	96
二、病毒的形态	51	第四节 微生物的合成代谢	97
三、病毒的化学组成与结构	51	一、氨基酸的合成	97
四、病毒增殖的一般特性	53	二、微生物次级代谢物的合成	98
五、病毒的群体特征	55	第五节 微生物代谢调节	98
第二节 噬菌体	55	一、微生物代谢调节类型	98
一、噬菌体的形态与构造	55	二、微生物代谢调节在食品与发酵工业中	
二、噬菌体的增殖	55	的应用	99

第六章 微生物的生态	101	第一节 微生物分类与命名	145
第一节 微生物在自然界中的分布	101	一、微生物分类单位	145
一、土壤中的微生物	101	二、微生物命名原则	146
二、水体中的微生物	102	三、微生物分类系统	147
三、空气中的微生物	103	第二节 微生物鉴定	151
四、植物体表和体内的微生物	105	一、菌种鉴定的条件	151
五、动物体表和体内的微生物	105	二、菌种鉴定的方法	151
六、工农业产品中的微生物	106	第九章 微生物与食品制造	155
七、极端环境中的微生物	106	第一节 微生物与酿酒	155
第二节 微生物与生物环境间的相互		一、微生物与酿酒中的生化反应	155
关系	107	二、各类酒的制曲与酿造	157
一、互生	107	第二节 微生物与酿造调味品	159
二、共生	107	一、酿造酱油	159
三、寄生	107	二、酿造食醋	161
四、拮抗	107	第三节 微生物与有机酸	164
五、捕食	107	一、柠檬酸	164
第三节 微生物在自然界物质循环中的		二、乳酸	165
作用	107	第四节 微生物与氨基酸	166
一、碳素循环	108	一、谷氨酸	166
二、氮素循环	108	二、赖氨酸	167
三、磷素循环	109	第五节 微生物与核苷酸	167
四、硫素循环	109	第六节 微生物与其他食品	168
第四节 微生物在污水处理中的作用	109	一、发酵乳制品	168
一、微生物处理污水的原理	109	二、发酵豆制品	170
二、微生物处理污水的方法	110	三、发酵果蔬制品	171
第七章 微生物遗传变异与育种	113	四、发酵肉制品	172
第一节 遗传变异的物质基础	113	五、发酵水产品	172
一、证明遗传变异物质基础的三个经典		六、单细胞蛋白	173
实验	113	七、益生菌食品	174
二、核酸的结构与功能	114	八、转基因食品	176
三、微生物的基因组	115	第七节 微生物酶制剂在食品工业中的	
第二节 基因突变与诱变育种	116	应用	177
一、基因突变	116	第十章 微生物与食品变质	180
二、诱变育种	125	第一节 微生物引起食品变质的原因	180
第三节 基因重组与杂交育种	131	一、食品内环境因素	180
一、原核微生物基因重组与育种	131	二、食品外环境因素	182
二、真核微生物基因重组与育种	136	第二节 微生物引起的各类食品变质	183
第四节 原生质体融合	138	一、果蔬的变质	183
一、原生质体融合原理	138	二、粮食的变质	184
二、原生质体融合育种	138	三、乳的变质	185
第五节 基因工程	140	四、肉的变质	189
一、基因工程原理	140	五、鱼的变质	190
二、基因工程操作步骤	140	六、禽的变质	191
第六节 菌种的衰退、复壮和保藏	141	七、蛋的变质	191
一、菌种的衰退与复壮	141	八、罐藏食品的变质	192
二、菌种的保藏	142	第三节 食品变质带来的危害	194
第八章 微生物分类与鉴定	145	一、食源性疾病与食物中毒	194

二、细菌引起的食源性疾病	196
三、真菌引起的食源性疾病	209
四、病毒引起的食源性疾病	216
第四节 食品保藏	226
一、食品保藏原理	226
二、食品保藏方法	226
第十一章 食品安全的微生物指标和	
质量控制体系	233

第一节 食品安全的微生物指标	233
一、食品微生物指标的设定	233
二、食品微生物指标及其检验	234
第二节 食品安全的 HACCP 质量控制	
体系	242
一、HACCP 体系的基本内容	242
二、HACCP 计划的实施	243
参考文献	246

结 论

一、微生物的概念及其特点

(一) 微生物的概念及其主要类群

微生物 (microorganism, microbe) 是一类个体微小、结构简单、肉眼不可见或看不清楚的单细胞或多细胞以及非细胞结构的微小生物统称。它们与其他生物一样, 具有形态结构、生长繁殖、新陈代谢、遗传变异等生物学特性。

微生物不是分类学的一个自然类群, 而是人们习惯的称呼。根据现有的生物分类体系, 可将所有生物分为动物界 (Kingdom animalia)、植物界 (Kingdom plantae)、真菌界 (Kingdom fungi)、原生生物界 (Kingdom protista)、细菌界 (Kingdom bacteria)、古生菌界 (Kingdom archaeota) 和病毒界 (Kingdom vira)。在此体系中, 除了动物界和植物界的生物以外, 其他均属于微生物的范畴。根据微生物的进化水平和性状上的显著差别, 通常把微生物分为原核微生物 (prokaryotic microorganisms)、真核微生物 (eukaryotic microorganisms) 和非细胞微生物 (acellular microorganisms) 三大类群。

原核微生物具有细胞形态, 即有细胞壁、细胞膜、细胞质和细胞核, 但不具有完整的细胞核结构, 无核仁和核膜, 只有核物质存在的核区, 包括细菌 (bacteria)、放线菌 (actinomyces)、蓝细菌 (cyanobacteria)、支原体 (mycoplasma)、衣原体 (chlamydia) 和立克次氏体 (rickettsia) 等; 真核微生物具有细胞形态, 且具有完整的细胞核结构, 即细胞核具有核膜和核仁, 包括显微藻类 (algae)、原生动物 (protozoa)、黏菌 (myxomycota)、假菌 (chromista) 和真菌 (fungi), 真菌又包括单细胞真菌 (酵母菌, yeast)、丝状真菌 (霉菌, molde) 和大型子实体真菌 (蕈菌, mushroom); 非细胞微生物无细胞形态, 仅为由核酸和蛋白质或核酸或蛋白质构成的颗粒, 包括真病毒 (euvirus) 和亚病毒 (subvirus) 两大类。

与食品工业密切相关的主要微生物类群有细菌、放线菌、酵母菌、霉菌、蕈菌、病毒和亚病毒等。

(二) 微生物的特点

微生物除了具有生物的共性外, 还有其独特的特点, 即个体微小、分布广泛、繁殖迅速、代谢力强、种类繁多。

1. 个体微小

微生物大小一般在数微米甚至纳米范围内, 测量它们个体大小的单位为微米 (μm) 或纳米 (nm)。因此, 绝大多数微生物的个体肉眼不可见, 必须用光学显微镜或电子显微镜放大到几十倍、几百倍、几千倍, 甚至几十万倍才能观察到其基本形态。由于其个体极其微小, 单位体积所占有的表面积, 即比面值 (surface to volume ratio) (= 表面积/体积) 巨大。例如, 直径为 $1.0\mu\text{m}$ 的球菌的比面值可达 60000, 而直径为 1cm 的生物体的比面值仅为 6, 两者相差 10000 倍。个体微小和巨大的比面值赋予了微生物的其他特点。

2. 分布广泛

因微生物个体微小, 所以质量极小, 如一个大小为 1 到几微米的细菌, 质量仅为 $1 \times$

$10^{-10} \sim 1 \times 10^{-9}$ mg, 极易飘荡, 无孔不入, 可到处栖息, 广泛分布于地球表面及其附近空间的各个角落, 如土壤、河流、海洋、湖泊、温泉、高山、人和动植物体及空气尘埃等处。

3. 繁殖迅速

微生物具有极高的繁殖速度。以普遍存在于人和动物肠道中的大肠杆菌为例, 在适宜的条件下, 大肠杆菌每 20min 可繁殖一代, 即由 1 个变成 2 个, 以几何级数增殖, 即 2、4、8、16、32、 $\dots$ 、 2^n 。如果生长发育的环境条件始终维持最佳状态, 则一个大肠杆菌于 24h 内可繁殖到 2^{71} 个菌体。但事实上, 由于环境条件、空间、营养、代谢产物等的影响, 微生物繁殖数量受到一定的限制, 一般液体培养时, 细菌细胞浓度仅达 10^8 个/mL 左右。微生物繁殖速度之快, 是其他生物无法比拟的。因此, 自然界的微生物数量是很惊人的。正是由于这一特性使得微生物在食品酿造和发酵工业中发挥着重要作用, 同时, 有害微生物也给人类带来了极大的危害。

4. 代谢力强

微生物比面值极大, 吸收营养物质的能力很强。因此, 其代谢强度通常比高等动植物的代谢强度高数十倍、数百倍、数千倍, 甚至数万倍。例如, 1kg 酒精酵母菌体 1 天内可发酵几千千克糖, 形成酒精; 大肠杆菌 1h 内可发酵其自身重 1000~10000 倍的乳糖, 形成乳酸。微生物代谢速度很高的特性和人工培养微生物不受气候条件限制的特点, 对食品与发酵工业极其有利。但同时又能使食品和其他工农业产品发生腐败变质, 造成严重损失。

5. 种类繁多

有记载的微生物已近 20 万种。由于微生物个体微小, 结构简单, 对外界环境很敏感, 抗逆性较差, 很容易受到各种不良外界环境的影响而发生变异, 具有遗传不稳定性, 在自然条件下, 突变频率为 10^{-6} 左右。微生物遗传不稳定性是造成其种类繁多的重要原因。虽然给微生物菌种保藏工作带来一定的不便, 但正因为微生物的遗传稳定性差, 使得微生物菌种培育相对较容易。通过育种工作, 可大幅度地提高菌种的生产性能, 其产量性状提高幅度是高等动、植物所难以实现的。

二、微生物与人类的关系

从微生物具有的特点不难看出, 微生物与人类的关系极其密切, 微生物的独特性已在全球范围内对人类产生巨大影响。如今的微生物已在食品、发酵、医药、化工、农业、畜牧业、纺织、皮革、造纸、能源、石油、环保等方面发挥着重要的作用。

(1) 微生物与农牧业 利用微生物可生产菌体蛋白饲料、饲料酵母、维生素饲料、发酵饲料、青贮饲料、益生菌饲料添加剂、细菌农药、真菌农药、病毒农药、微生物肥料、农用抗生素等。

(2) 微生物与医药卫生 首先目前所使用的抗生素药物, 绝大多数是微生物发酵产生的。其次利用基因工程菌还可生产干扰素、功能肽、胰岛素、疫苗等生物制品。

(3) 微生物与工业 微生物种类极其繁多, 酶的种类也极其繁多。现已知微生物细胞产生的酶有 2500 多种, 并产生繁多的代谢产物, 应用广泛。因而在酶制剂工业、氨基酸工业、有机酸工业、新材料开发、生物化工、纺织、皮革、造纸、能源、石油等工业中有广泛的应用。

(4) 微生物与环境保护 微生物在自然界污水的净化、垃圾的处理、秸秆的降解和有机物的分解等过程中起着决定性的作用, 因此, 对环境保护有巨大的贡献。

(5) 微生物与食品工业 微生物与众多食品的制造密切相关, 如在酿酒、酿造酱油、酿

造食醋、有机酸（柠檬酸和乳酸等）、氨基酸（谷氨酸和赖氨酸等）、核苷酸、发酵乳制品、发酵豆制品、发酵果蔬制品、发酵肉制品、发酵水产品、单细胞蛋白、益生菌食品、转基因食品、酶制剂等的加工中均离不开微生物的作用。另一方面，微生物污染难以避免，微生物污染食品以后，可引起食品发生腐败、变质，甚至引起食源性疾病。

（6）微生物与人类健康 人从出生的一瞬间开始，微生物就伴随人的一生。有益微生物是我们生活、生产取之不尽的宝贵资源，不断为人类创造巨大的物质财富。与此同时，病原微生物却又给人类的生活、生产和健康带来严重危害。人类随时都有病原微生物侵袭的可能，时刻都要与病原菌作斗争。微生物与人体健康息息相关。

三、微生物学的发展简史

我们把微生物学的发展过程分成以下三个阶段加以阐述。

（一）微生物学的史前时期

中国是世界最早的文明发达国家之一，我国劳动人民在长期的实践中，对微生物的认识和应用有着悠久的历史，积累了丰富的经验。例如，我国利用微生物发酵谷物酿酒的历史，至少可追溯到距今四千多年前的龙山文化时期。从我国龙山文化遗址出土的陶器中有不少饮酒的用具。公元前二千多年的夏禹时代，有仪狄作酒的记载。殷代甲骨文中有多种“酒”的象形字。公元前14世纪《书经》有“若作酒醴，尔惟曲蘖”，其意即要酿好酒必须用曲。我国在河南郑州二里岗和河北藁城台西村两处商代遗址中，均发现有酿酒工场遗址。在该遗址内还发现有大量酿酒工具以及人工培养的酵母残壳。可见，至少在商代，我国酿酒已从农业分化发展成为独立的手工业了。《左传》中记载有鲁宣公12年（公元前597年）叔展所说：“有麦曲乎？曰：无……。河鱼腹疾奈何？”，可见当时已知道用酒曲治疗腹泻病。北魏（公元386~534年）贾思勰《齐民要术》一书中，详细记述了制醋的方法。我国在豆类发酵制作酱、豆豉、腐乳等技术也有悠久历史。民间一直沿用的盐腌、糖渍、烟熏、风干等防腐方法，以及利用乳酸菌制作酸菜、泡菜的方法，一直沿用至今。

（二）微生物学的初创时期和形成时期

与我国相对比的是，欧洲新兴资本主义的出现和技术革新的时代潮流的兴起，对生产和研究手段的要求改进，出现了不少对近代科学技术奠定基石的新的发明创造。17世纪，荷兰人列文虎克（Antony Van Leeuwenhock, 1632~1723）发明了第一台简易显微镜（放大倍数200~300倍）。他利用自制的显微镜观察了污水、牙垢、腐败有机物等，直接看到了微小生物，并作了一定的描述，于1669年根据其发明成果出版了《安东·列文虎克所发现的自然界秘密》一书，并首次揭示了微生物世界。

在随后近200年的时期内，随着显微镜的不断改进，其分辨率的提高，人们对微生物的认识由粗略的形态描述，逐步发展到对微生物进行详细的观察和根据形态进行分类研究，为微生物学的形成奠定了基础。

19世纪60年代，在欧洲一些国家中占有重要经济地位的酿酒工业和蚕丝业出现了酒变质和蚕病危害等问题，进一步推动了重视微生物的研究，推动了微生物学的兴起。其中法国人巴斯德（Louis Pasteur, 1822~1895）和德国人柯赫（Robert Koch, 1843~1910）起了重要作用。

巴斯德的主要贡献是经过多年的研究证明，酒、醋等的酿造是由微生物引起的发酵，而不是发酵产生了微生物，彻底否定了“自然发生说”；而且他还认为不同的发酵是由不同的微生物引起的，酒的变质是由于有害微生物引起的；并提出了科学的消毒方法，后被命名为“巴氏消毒法”；同时还奠定了免疫学——预防接种的基础。

柯赫的主要贡献是首先从患病动物的病变脏器中分离纯化得到了炭疽杆菌、霍乱弧菌、结核杆菌等病原微生物，通过将病原菌接种到动物体内，能引起相同症状的疾病，证实炭疽病是由炭疽杆菌引起，结核病原菌为结核杆菌。证明了传染病是由某些特定的病原菌传播的，即柯赫法则；并首次创立了微生物纯培养技术。

巴斯德和柯赫对微生物的研究从形态的描述发展到生理学研究，建立了从微生物分离、接种、纯培养到消毒、灭菌、无菌操作等一系列独特的微生物技术，揭示了食品发酵、食品腐败和人畜患病的原因，为微生物学的形成作出了极大的贡献。可以说他们两位不仅是微生物学的奠基人，而且也是食品微生物学的奠基人。

1929年英国人弗莱明（Alexander Fleming, 1881~1955）发现了青霉菌产生的青霉素能抑制金黄色葡萄球菌的生长。1940年Florey等提取出青霉素的纯品，并证实了其临床应用价值。青霉素的发现启发了人类对其他抗生素的寻找和生产，之后链霉素、氯霉素、四环素、红霉素、林可霉素以及庆大霉素等相继被开发并研制成功。抗生素的发现是继化学治疗药物之后治疗微生物感染的重大科学成果，具有划时代的意义。

（三）微生物学的发展时期和成熟时期

20世纪以后是微生物学的全面发展时期和成熟时期。20世纪30年代电子显微镜的问世，为研究微生物细胞和病毒的超显微结构提供了可能。1939年考塞（Kauxche）等第一次用电子显微镜观察到了烟草花叶病毒颗粒呈棒状。1941年比得尔（Beadle）等用X射线和紫外线诱变链孢霉获得了营养缺陷型。这一成果使人们对基因的本质及其作用有了进一步的认识。1944年艾弗里（Avery）证实了肺炎链球菌荚膜多糖遗传性状转化的物质是脱氧核糖核酸，首次把DNA和基因概念联系在一起，开始进入了分子生物学的研究时代。1953年J. D. Watson, H. F. C. Crick发现了DNA双螺旋模型。随后，很多学者在关于信使核糖核酸的遗传密码、病毒的亚显微结构、病毒的感染增殖过程以及固氮菌的固氮机理的研究，微生物代谢类型、代谢途径及代谢调节机理的研究等，对推动微生物学的发展均具有重要的理论和实践意义，展示了微生物学极其广阔的应用前景。此时期，用微生物来生产生长激素、甾体药物、抗生素、维生素、氨基酸、有机酸、核苷酸、酶制剂、单细胞蛋白、植物生长刺激素等已进入了工业化生产。

20世纪70年代以来，基因的人工合成与基因的体外重组，为人类定向改造物种和创建新的微生物种类开辟了新的前景。采用遗传工程组建的“工程菌”已用于生产干扰素，比用组织培养法生产干扰素的效率提高几万倍。把人工合成的胰岛素基因掺入到无毒的大肠杆菌菌体内已获得该基因的成功表达，使用细菌生产胰岛素成为事实。1977年美国运用遗传工程技术，将人工合成的下丘脑生长激素释放抑制因子（somatostatin, SOM）基因，通过质粒作为运载体，将其转移至大肠杆菌细胞中。该基因能随着大肠杆菌的分裂而自我复制，并获得表达，从而使该大肠杆菌产生SOM，原来需要50万头绵羊的脑组织才能提取5mg SOM，应用遗传工程只需10L培养液（含100g大肠杆菌）就能提取同样数量的SOM。

近些年来，我国在利用微生物发酵法生产味精、柠檬酸、乳酸、酶制剂、抗生素等方面都已形成了工业化生产规模，产品质量和生产规模在不断提高，检测手段也日趋完善。我国于20世纪70年代末开始逐渐兴起的啤酒业，现已遍布全国，发展异常迅速。我国在近代微生物学领域的研究方面也取得了一些可喜的成绩，如采用微生物代谢调控理论，已在抗生素、氨基酸、核苷酸、酶制剂、发酵食品、生物保健食品等方面成功选育了多种优良菌种，在原生质体融合和遗传工程等方面也相应开展了众多的研究，取得了可喜的成果。在改革开放和科技与经济迅猛发展的今天，微生物学领域的研究和应用也必将取得更丰硕的成果。

四、微生物学及其分支学科

(一) 微生物学的概念及其主要研究内容

概括地讲,微生物学(microbiology)是研究微生物及其生命活动规律的学科,其研究的主要内容涉及微生物的形态结构、营养与培养、生长繁殖、新陈代谢、遗传变异、分类鉴定、生态分布以及微生物在工业、农业、医疗卫生、环境保护等各方面的应用。研究微生物及其生命活动规律之目的在于充分利用有益微生物,控制有害微生物,使微生物能更好地为人类社会服务。

(二) 微生物学的分支学科

微生物学随着研究范围的日益扩大和深入,逐渐形成了许多分支学科。着重研究微生物学基本问题的分支学科有普通微生物学、微生物分类学(microbiol taxonomy)、微生物生理学(microbiol physiology)、微生物生态学(microbiol ecology)、微生物遗传学(microbiol genetics)等。按照微生物研究对象的不同,可分为细菌学(bacteriology)、放线菌学(actinomycetes)、真菌学(fungi)、病毒学(virology)等。根据微生物的应用领域不同,形成的分支学科有工业微生物学(industrial microbiology)、农业微生物学(agricultural microbiology)、食品微生物学(food microbiology)、发酵微生物学(fermentational microbiology)、医学微生物学(medical microbiology)、药用微生物学(patherological microbiology)、兽医微生物学(viterinary microbiology)、环境微生物学(environmental microbiology)等。根据微生物的生态环境不同,形成的分支学科有土壤微生物学(soil microbiology)、海洋微生物学(marine microbiology)等。

五、食品微生物学及其研究内容与任务

(一) 食品微生物学的概念

食品微生物学是专门研究与食品有关的微生物的种类、特点及其在一定条件下与食品工业关系的一门学科。尽管人类对食品微生物研究的历史很长,但作为微生物学的一门独立的分支学科——食品微生物学,仍属一门新兴学科。尤其在我国,人们对食品科学的重视仅是改革开放以来,人们解决了温饱问题之后的事情。食品微生物学是随着食品科学的发展而产生的一个重要的学科。

(二) 食品微生物学研究内容与任务

根据我国目前的教学体制,食品微生物学是食品科学学科专业的一门专业基础学科,主要学习和研究与食品有关的细菌、放线菌、酵母菌、霉菌、蕈菌和病毒的形态结构特征,生长繁殖特性,营养与代谢规律,生态分布规律,遗传变异与育种,分类与鉴定,以及在食品制造工业中有益微生物的应用和在食品工业中有害微生物的控制,以达到能主动控制和驾驭微生物整个活动进程的目的,为人类提供营养丰富、健康安全食品。

1. 在食品工业中有益的微生物及其应用

前已提及,微生物与众多食品的制造密切相关,酿造食品的动力是微生物,即生产菌种。酿造食品的全部生产工艺及其条件是以生产菌种为中心。因此,我们只有在较全面地了解微生物的全部生命活动规律的基础上,才有可能达到控制微生物的发酵进程,最经济和最有效地获得微生物的代谢及发酵产物。未来食品工业的发展趋势有两个方面,其一是利用现代生物育种技术对生产菌种进行改良;其二是利用现代生物工程技术对传统食品工艺进行改造。自然界微生物资源极其丰富,它有着极其广阔的开发前景,有待我们去研究、开发和利用,为人类提供更多更好的食品,是食品微生物学的重要任务之一。

2. 在食品工业中有害的微生物及其控制

微生物能引起果蔬、粮食、乳、肉、鱼、禽、蛋、罐藏食品等各类食品的腐败变质，使食品的营养价值降低或完全丧失。有些是使人类致病的病原菌，有些能产生毒素，引起食源性疾病和食物中毒，影响人体健康，甚至危及生命。因此，食品微生物学的另一重要任务就是研究与食源性疾病和食物中毒有关的微生物生物学特性及其危害，并进行监测、预测和预报，建立食品安全生产的微生物学卫生指标和质量控制体系，以确保食品的安全性。

第一章 细菌和放线菌

原核生物 (prokaryotes) 在自然界中分布广泛, 种类繁多, 根据其性状上的差异, 可分为六种类型, 即细菌、放线菌、蓝细菌、支原体、立克次氏体和衣原体, 它们与人类的生产、生活及健康息息相关。与食品工业关系密切的主要是细菌和放线菌, 特别是细菌。本章将从细菌和放线菌的细胞形态、细胞构造、繁殖特性和群体特征等方面做一介绍。

第一节 细 菌

细菌 (bacteria) 是原核生物中的一大类群, 是一类个体微小、结构简单、细胞壁坚韧、多以二等分裂方式繁殖和水生性较强的单细胞微生物。绝大部分细菌都是异养型微生物, 其中的有害细菌给人类的生活和生产带来不少麻烦和危害, 如有些细菌具有致病性, 常引起人、动物和植物的传染性疾病; 有些细菌常引起食物腐败变质, 污染发酵工业等; 但同时又有很多有益细菌被广泛应用于工、农、医、药和环保等生产实践中, 如有些细菌是食品工业生产酒类、调味品、氨基酸、有机酸、核苷酸、酶制剂等的生产菌种, 给人类带来了巨大收益。因此, 了解细菌的形态与构造, 能更好地利用有益细菌, 控制有害细菌。

一、细菌菌体形态

依据细菌菌体形态的不同, 可分为球菌、杆菌和螺旋菌三大类型, 每一类型中又包括形态相似的很多种。菌体形态是鉴别细菌的重要依据。在自然界所存在的细菌中, 以杆菌最为常见, 球菌次之, 而螺旋菌最少。

1. 球菌

球菌 (*Coccus*) 的菌体呈圆球形或类圆球形, 大多数球菌的直径为 $0.5 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 。根据球菌在繁殖时的分裂方向及分裂后细胞的排列情况, 又可以将其分为单球菌、双球菌、四联球菌、八叠球菌、葡萄球菌和链球菌。

(1) 单球菌 (*Micrococcus*) 分裂后呈单独分散状态存在, 如尿素小球菌 (*Micrococcus ureae*)

(2) 双球菌 (*Diplococcus*) 在一个平面上分裂后, 常成对排列, 如肺炎双球菌 (*Diplococcus pneumoniae*)。

(3) 四联球菌 (*Tetracoccus*) 在两个相互垂直的平面上分裂, 常常由四个菌体呈“田”字形排列, 如四联小球菌 (*Micrococcus tetragenus*)。

(4) 八叠球菌 (*Sarcina*) 在三个相互垂直的平面上分裂, 常以八个菌体有规则地堆叠在一起, 呈正方体, 如胃八叠球菌 (*Sarcina ventriculi*)。

(5) 葡萄球菌 (*Staphylococcus*) 在多个不同方向的平面上分裂后, 很多个球菌无规则地堆集在一起, 呈葡萄串状, 如金黄色葡萄球菌 (*Staphylococcus aureus*)。

(6) 链球菌 (*Streptococcus*) 在一个平面上分裂后, 常呈长短不同的链状排列, 如嗜热链球菌 (*Streptococcus thermophilus*)。

2. 杆菌

杆菌 (*Bacillus*) 菌体呈杆状, 大小差异很大, 大多数杆菌的大小为 $(1 \sim 5) \mu\text{m} \times$

(0.5~1) μm , 有些杆菌可长达10 μm , 有的呈长丝状。根据排列情况可将其分为单杆菌、球杆菌、链杆菌、棒状杆菌和梭状杆菌。

(1) 单杆菌 (*Bacillus*) 菌体呈单个分散排列, 如大肠埃希杆菌 (*Escherichia coli*)。

(2) 球杆菌 (*Coccobacillus*) 菌体很短, 几乎呈椭圆形, 如流产布氏杆菌 (*Brucella abortus*)。

(3) 链杆菌 (*Streptobacillus*) 菌体常呈链状排列, 如保加利亚乳杆菌 (*Lactobacillus bulgaricus*)。

(4) 棒状杆菌 (*Corynebacterium*) 菌体的一端膨大呈棒状, 如谷氨酸棒杆菌 (*Corynebacterium glutamicum*)。

(5) 梭状杆菌 (*Clostridium*) 菌体中间膨大呈梭状, 如肉毒梭状芽孢杆菌 (*Clostridium botulinum*)。

3. 螺旋菌

螺旋菌 (*Spirilla*) 菌体呈螺旋状, 若螺旋不足一环者则称为弧菌 (*Vibrio*), 如霍乱弧菌 (*Vibrio cholerae*); 螺旋2~6的小环、僵硬的螺旋状细菌称为螺菌 (*Spirillum*), 如干酪螺菌 (*Spirillum tyrogenum*); 而螺旋周数多、体长而柔软的螺旋状细菌称为螺旋体 (*Spirochaeta*)。

4. 细菌形态的多变性

细菌的菌体形态受环境因素影响很大, 如改变培养温度、培养时间、培养基成分、渗透压、pH等条件, 均可引起细菌菌体形态发生变化。但是在一定的环境条件下, 各种细菌常保持着一定的形态, 一般以在适宜的培养条件下培养18~24h的培养物作为典型的菌体形态, 并呈现典型的染色反应。而在陈旧老化的培养物中或在不适于细菌生长的环境中培养的细菌, 常出现不规则的形态, 称为衰退型, 或表现为多形性, 如菌体膨大、呈长丝状、轮廓模糊等。这类细菌常常表现着色不均匀、染色反应改变、特征不典型等特点。

二、细菌细胞构造

细菌的细胞结构可分为基本构造和特殊构造。

(一) 基本构造

即所有细菌都具有的构造, 包括细胞壁、细胞膜、细胞质、核质体、内含物等。

1. 细胞壁

细胞壁 (cell wall) 是细菌细胞的外壁, 坚韧, 有弹性, 起固定菌体形状和保护菌体的作用。其质量为细胞干重的10%~20%, 厚度10~30nm。由于细菌细胞既微小又透明, 故一般要经过染色才能作显微镜观察。细菌染色方法很多, 其中以革兰染色法 (Gram stain) 最为重要, 此法由丹麦医生 C. Gram 于1884年发明, 故得名。细菌经过革兰染色后, 能区分为两类, 一类是最终被染成紫色, 称为革兰阳性细菌 (Gram positive bacteria, G^+); 另一类是最终被染成红色, 称为革兰阴性细菌 (Gram negative bacteria, G^-)。革兰染色反应与细菌细胞壁组成及结构有密切关系。

细菌细胞壁的基本成分为肽聚糖, 除此以外 G^+ 、 G^- 细菌还有自己的特点, 见表1-1。

表 1-1 革兰阳性菌和革兰阴性菌细胞壁比较

项 目	革兰阳性菌	革兰阴性菌	项 目	革兰阳性菌	革兰阴性菌
强度	坚韧	较疏松	脂类含量	1%~4%	11%~22%
厚度	20~80nm	10~15nm	磷壁酸	+	—
肽聚糖层数	15~50层	1~3层	外膜	—	+
肽聚糖含量	占细胞壁干重的 50%~80%	占细胞壁干重的 10%~20%	脂蛋白	—	+
糖类含量	约45%	15%~20%	脂多糖	—	+

注: “+”表示有; “—”表示无。

(1) G^+ 细菌的细胞壁 厚而致密 (图 1-1), 化学组成简单, 由肽聚糖 (peptidoglycan) 和磷壁酸 (teichoic acid) 组成。肽聚糖分子由肽和聚糖两部分组成, 金色葡萄球菌是 G^+ 细菌的代表, 其细胞壁肽聚糖分子中的肽包括四肽 (由 L-Ala-D-Glu-L-Lys-D-Ala 组成, L-丙氨酸-D-谷氨酸-L-赖氨酸-D-丙氨酸) 侧链和五肽 (由甘氨酸组成的五肽) 交联桥两种, 而聚糖则是由 *N*-乙酰葡萄糖胺和 *N*-乙酰胞壁酸两种单糖相互间隔交替排列, 经 β -1,4-糖苷键联结成的长链, 四肽侧链连接在胞壁酸上, 相邻聚糖骨架上的四肽侧链通过五肽交联桥交叉连接形成具有三维网状结构的肽聚糖, 如图 1-2 所示。磷壁酸的主要成分为甘油磷壁酸或核糖醇磷壁酸。其中与肽聚糖分子进行共价结合的称为壁磷壁酸, 跨越肽聚糖层并与细胞膜相交联的称为膜磷壁酸, 是 G^+ 细菌细胞壁特有的成分, 如图 1-3 所示。

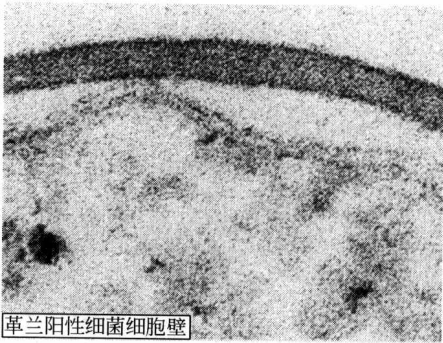


图 1-1 G^+ 细菌细胞壁结构

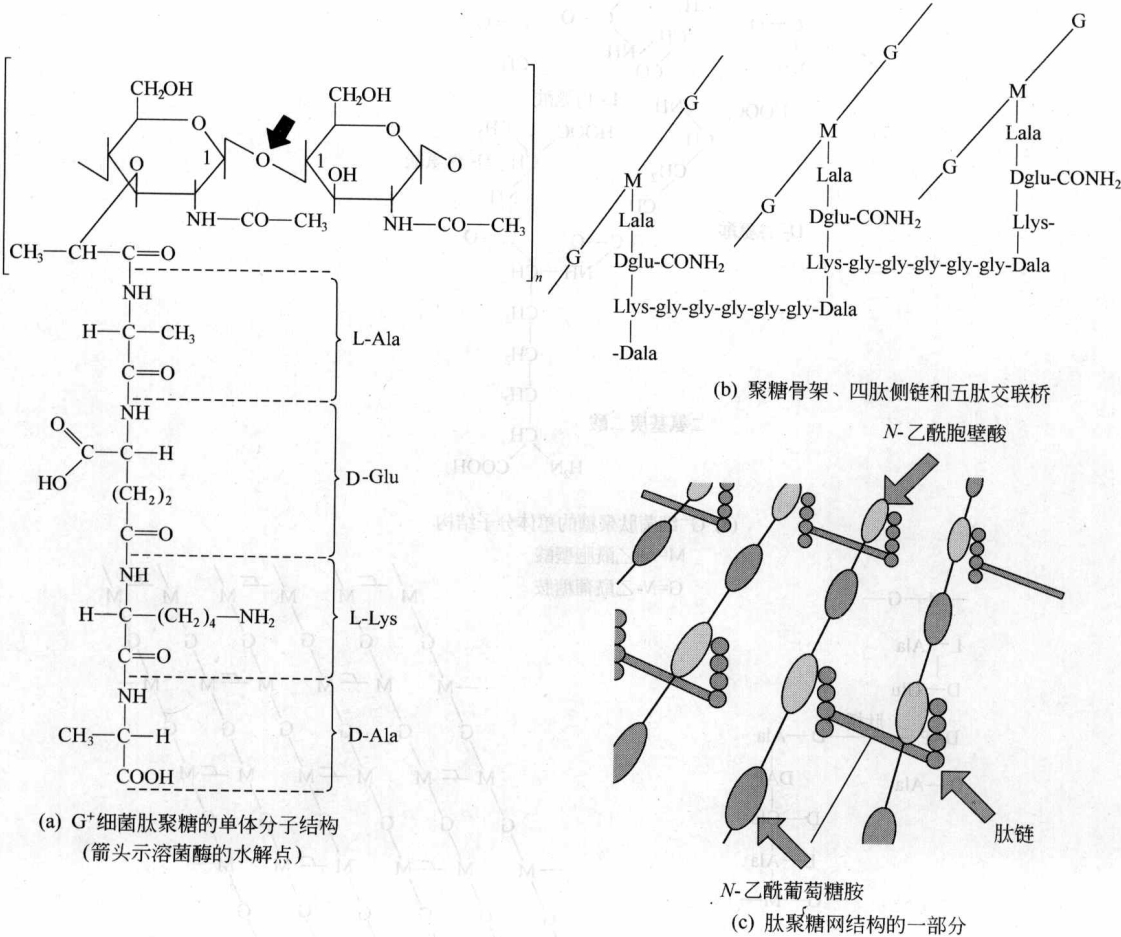


图 1-2 G^+ 细菌 (金色葡萄球菌) 肽聚糖结构示意图

(2) G^- 细菌的细胞壁 大肠杆菌是 G^- 细菌的代表, 其细胞壁由外膜 (脂多糖层) 和肽聚糖组成 (图 1-4、图 1-5)。肽聚糖单体结构与 G^+ 细菌基本相同, 差别在于 G^- 菌的肽聚

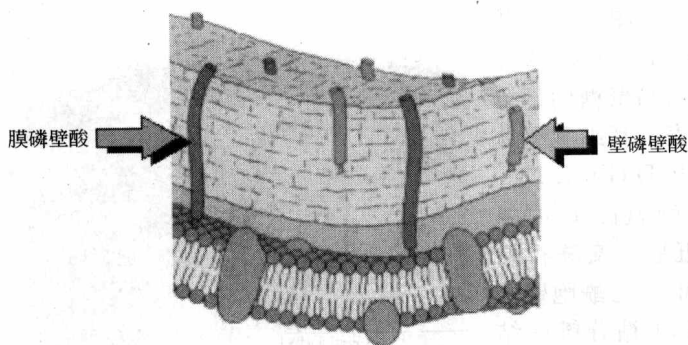
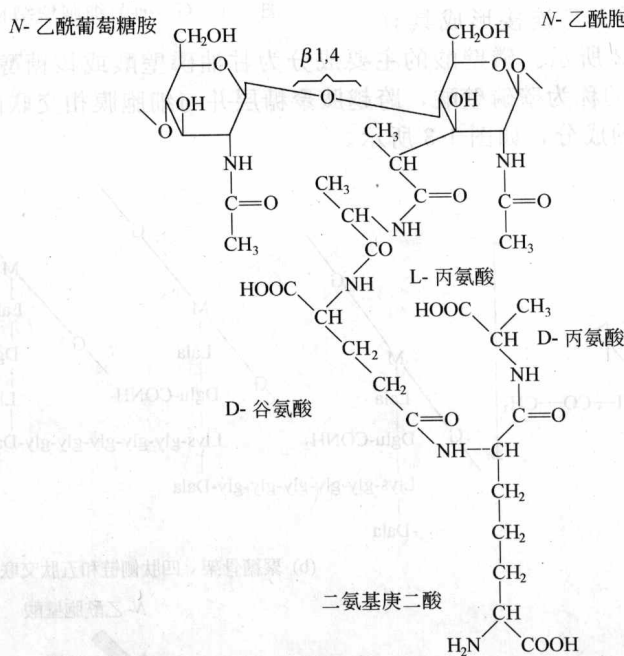


图 1-3 磷壁酸结构



图 1-4 G⁻ 细菌细胞壁结构



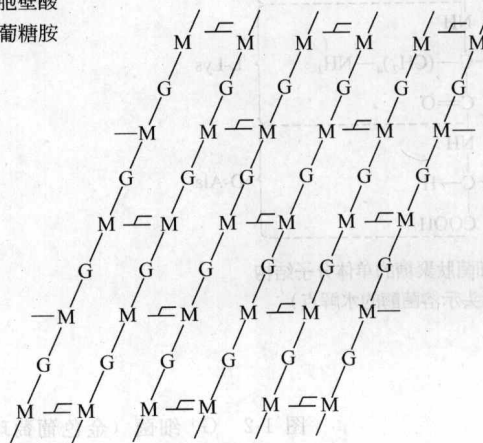
(a) G⁻ 细菌肽聚糖的单体分子结构

M=N-乙酰胞壁酸

G=N-乙酰葡萄糖胺



左：肽桥的连接方式；



右：肽聚糖网结构的一部分

(b) 肽桥的连接和肽聚糖网结构

图 1-5 G⁻ 细菌 (大肠杆菌) 肽聚糖结构示意图