



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代食品微生物学

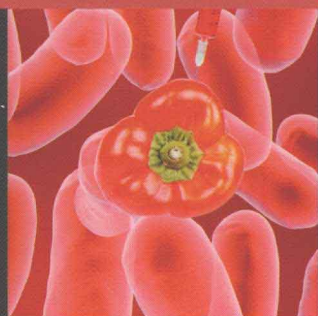
(第二版)

主 编 刘 慧

副主编 张红星 李铁晶

主 审 李平兰

MODERN FOOD MICROBIOLOGY



中国轻工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

现代食品微生物学 (第二版)

主 编 刘 慧

副主编 张红星 李铁晶

主 审 李平兰

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

现代食品微生物学/刘慧主编. —2 版. —北京: 中国轻工业出版社, 2011. 5

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5019-8089-5

I. ① 现… II. ① 刘… III. ① 食品微生物-微生物学-高等学校-教材 IV. ① TS201.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 023944 号

责任编辑: 白 洁

策划编辑: 白 洁 责任终审: 张乃柬 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 宋振全 责任校对: 吴大鹏 责任监印: 张 可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 北京君升印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2011 年 5 月第 2 版第 1 次印刷

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 26.5

字 数: 687 千字

书 号: ISBN 978-7-5019-8089-5 定价: 46.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

080154J1X201ZBW

现代食品微生物学

第二版修订者

主 编 刘 慧

副主编 张红星 李铁晶

修订者 (按修订章序排列)

刘 慧 (北京农学院)

易欣欣 (北京农学院)

高文庚 (运城学院)

高秀芝 (北京农学院)

张铁华 (吉林大学)

熊利霞 (北京农学院)

岳喜庆 (沈阳农业大学)

李铁晶 (东北农业大学)

贺小贤 (陕西科技大学)

张红星 (北京农学院)

刘一倩 (北京农学院)

殷文正 (内蒙古农业大学)

郑 艳 (沈阳农业大学)

许喜林 (华南理工大学)

主 审 李平兰 (中国农业大学)

第一版编者

主 编 刘 慧

参编者 (按编写章序排列)

刘 慧 (北京农学院)

贺小贤 (陕西科技大学)

刘一倩 (北京农学院)

李铁晶 (东北农业大学)

高秀芝 (北京农学院)

徐文生 (北京农学院)

第二版前言

由刘慧主编的《现代食品微生物学》自2004年7月问世以来,作为我国高等院校食品科学与工程、食品质量与安全专业基础课教材被长期广泛使用,深受广大师生和学校领导的一致好评。2004年12月该教材荣获北京市高等教育精品教材奖,2007年12月本教材第二版被遴选为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。第二版编写的指导思想及创新特点(即在编排形式上力求创新、在内容上有所更新、在文字表达上把好质量关)与第一版相一致,以“基本”和“新”为原则,将近几年有关食品微生物学方面的最新理论、新技术、新成果、发展新动态以及科研实践经验不断充实到教材中,内容更臻完善。

此次修订进一步优化了原版教材的体系,章节结构和内容布局更为合理,更新和删减内容适当,叙述详略得当,并使教材前后思路统一,内容不重复,格式较为一致,努力保持基础性与应用性、理论性与实践性、先进性与系统性、可教性与可学性的有机统一。本版最大的一个特色是,在第十章中增加了大量的形式统一的绘制表格,以对比方式描述微生物主要生物学特性的异同,并配合大量的微生物形态图,以便初学者容易理解、记忆和掌握。本书由第一版的十六章缩减为十五章,使章节结构更加紧凑,它们组成紧密关联的总论和各论两大部分:第一章至第八章的总论部分阐述普通微生物学的基础知识,第九章至第十五章的各论部分阐述食品微生物学的应用知识。本教材内容简练清晰、逻辑性强、语言流畅、通俗易懂、循序渐进、深度和广度适中,符合学生的认知规律,并注重启发性,有利于激发学生的学习兴趣 and 多种能力的培养。根据本版编写的宗旨和指导思想,除上述的总体变化外,各章节都进行了逐句校正、修订和增减,主要修改内容如下:

第一章:增加了“古生菌的生理特征、极端嗜盐菌在高盐环境中生长机理、乳酸菌胞外多糖的生理功能及其应用”等内容,修改了“荚膜的化学组成、鞭毛的化学组成与结构、芽孢化学组成的重要特点、接合孢子、病毒的特点及定义、形态结构与功能、一步生长曲线、亚病毒”等内容,精简了“质粒、细菌繁殖方式”等内容,删减了“放线菌的代表属、锁状联合的形成过程、 λ 噬菌体与 P_1 噬菌体、病毒的种类与分类命名”等全部内容。

第二章:修改了“培养基的类型及应用”中的部分内容,删减了“微生物细胞的化学组成、膜泡运输”全部内容。

第三章:将化能异养微生物能量代谢与发酵类型合并,即在介绍每一代谢途径过程中融入了相应的发酵类型,增加了“微生物的合成代谢、微生物次级代谢的调节、代谢工程”等内容,修改了“典型和非典型异型乳酸发酵途径、微生物的呼吸作用、微生物的分解代谢、微生物代谢的调节”等内容,删减了“自养微生物的生物氧化、ATP的产生、分支代谢途径的调节、初级代谢、微生物的酶”全部内容。

第四章:增加了“火焰灭菌法”部分内容,修改了“微生物的连续培养、温度对微生物生长的影响、电离辐射、高压蒸汽灭菌法、滤过除菌法、抗生素对微生物的作用机理、商业灭菌与巴氏消毒定义”等内容。

第五章:增加了“微生物基因组、基因工程技术在代谢工程育种中的应用、灭活亲株

原生质体融合、常用保护剂及其保护机理”等内容，修改了“遗传物质存在的七个水平、原核微生物的质粒、表型变化的突变类型、基因突变的特点、移码突变的诱变机制、原生质体融合”等内容，精简了“确定最适的诱变剂量、转化、转导、接合”等内容，删减了“基因突变自发性和不对应性的实验证明、自发突变与定向培育”全部内容。

第六章：增加了“感染、宿主的非特异性免疫与特异性免疫、特异性免疫应答、胶体金标记技术”等内容，修改了“抗原的性质、菌体抗原、免疫荧光技术、免疫酶技术、放射免疫测定”等内容，精简了“基因工程抗体、血清学反应的一般特点、影响血清学反应的因素”内容，删减了“补体结合试验”全部内容。

第七章：增加了“微生物分子生态学定义及研究意义、产甲烷的发酵工艺”等内容，修改了“微生物生态学、生态系统、活性污泥、COD 和 BOD”的定义以及“微生物与生物环境间的相互关系、微生物与地球生物化学循环、微生物与污水处理”等内容，删减了“微生物在生态系统中的角色、悬浮细胞法、生物膜法、固体废弃物的处理、气态污染物的处理、微生物与生物农药、微生物与环境污染的监测”全部内容。

第八章：增加了“系统树及三域学说”的内涵解释、原核生物分类系统、16S rRNA 序列分析、rDNA 内转录间隔区序列分析”等内容，修改了“生物分类学的发展概况、分类单元及其等级、分类单元的命名、微生物的分类系统、数值分类、化学分类”等内容。

第九章：增加了“阳离子型表面活性消毒剂、防止交叉污染、高压 CO₂ 杀菌”等内容，修改了“加强食品企业卫生管理、栅栏技术、电离辐射保藏食品、臭氧杀菌、高静压杀菌、高压脉冲电场杀菌、利用防腐剂保藏食品”等内容，精简了“加强食品生产卫生、加强环境卫生管理”等内容。

第十章：将“食品中常见微生物的类群”内容合并到“微生物与食品的腐败变质”中，将常见的细菌、酵母菌、霉菌和乳酸菌的形态与培养特征、理化特征等内容绘制成形式统一的表格，以对比方式比较各类微生物主要特性的异同；增加了乳酸菌产生物活性物质及其益生作用与应用内容，绘制了鲜乳、消毒乳、鲜肉、鲜蛋、粮食、罐藏食品中污染微生物种类的表格，修改了“食品内环境因素、酸性和低酸性食品 pH 界限划分”内容，删减了“微生物引起食品腐败变质的鉴定、腐败变质罐藏食品的微生物学分析”全部内容。

第十一章：增加了“食源性疾病定义、食物中毒的调查处理、椰毒假单胞菌酵米面亚种中毒机理、食物中毒治疗措施、黄曲霉毒素 B₁ 免疫胶体金检测卡”等内容，修改了“沙门氏菌抗原构造、大肠杆菌和蜡样芽孢杆菌的致病因素”，以及“镰刀菌、黄变米、赭曲霉、展青霉、青霉酸毒素、酶联荧光免疫技术筛检原理、API-20E 生化反应数值编码表、Biolog 系统的鉴定原理”等内容，删减了“黄曲霉毒素的允许残留标准”等全部内容。

第十二章：将人畜共患病的病原菌的生物学特性格式统一，增加了“病原菌的预防与治疗措施”，修改了“病毒的形态与结构、传播途径”等内容。

第十三章：增加了“大肠杆菌/大肠菌群计数测试片基本原理、大肠菌群在 LST 和 BGLB 培养基中的生长特性、粪大肠菌群检测意义”等内容，根据 GB/T 4789.39—2008 修正了“菌落总数、大肠菌群、粪大肠菌群定义及其检测方法”，修改了“活菌计数测试片、螺旋接种、最可能数测定、还原试验、浊度测量、ATP 生物发光、鲎试剂测定、电阻抗测量、放射测量”及“嗜冷菌、耐热菌、霉菌和酵母菌检测方法”，删减了“ATP 生物发光技术常规检测方法及其快速检测仪、电阻抗测量与放射测量检测方法”等全部内容。

第十四章：将第一版“微生物酶及其代谢产物的应用”一节内容分列为三节内容，并

将第一版中“氨基酸发酵”改为“味精发酵”，合并到调味品发酵中；修改了“饮料酒、凝固型酸奶、双歧杆菌酸奶、开菲尔、酱油、食醋、柠檬酸、维生素 C、黄原胶、红曲色素、酶制剂生产菌种特性、发酵机理、发酵条件”等内容，删减了“柠檬酸菌种扩大培养方法及发酵条件的控制、液体法红曲色素生产工艺、菌种在面包制作中的作用”全部内容。

第十五章：增加了“食品微生物学检验、GMP 和 SSOP 标准”等内容，重新编写了“预测食品微生物学、ISO 9000 系列标准”等内容，修改了“食品微生物质量指标、食品微生物学指标、HACCP 体系的产生与发展、基本原理”等内容，删减了“食品微生物安全性指标、用食品微生物作为食品质量控制的标准、在食品加工厂建立和执行 HACCP 体系、食品工业中实施 HACCP 体系的特点和益处”的全部内容。

本教材由刘慧任主编，张红星、李铁晶任副主编，李平兰任主审，修订人员具体分工为：绪论、第四章的第二节和第三节、第九章的第一节和第二节、第十章的第一节、第二节和第三节、第十一章的第三节和第四节、第十三章的第一节、第十四章的第一节和第二节由刘慧修订；第一章、第十二章由李铁晶、刘慧修订；第二章由易欣欣修订；第三章由贺小贤、刘慧修订；第四章的第一节由高文庚修订；第五章、第六章由张红星、刘慧修订；第七章由高秀芝、刘慧修订；第八章由刘一倩、刘慧修订；第九章的第三节由张铁华修订；第十章的第四节和第五节由殷文正、刘慧修订；第十一章的第一节、第二节由熊利霞修订；第十三章的第二节和第三节由郑艳修订；第十四章的第三节和第四节由岳喜庆修订；第十五章由许喜林修订。本书修订初稿完成后，由刘慧对每章节进行了逐句校正、修订和增减修改，并完成了对全书章节的多次校对修改、仔细统稿、插图编排等工作。

本教材自 2008 年起修订工作历经 3 年时间，倾注了编者的心血和智慧，以达精益求精、突出教材特色之目的。在这里对北京农学院教务处董跃娴老师、编者所在校院领导和中国轻工业出版社的大力支持深表感谢。本书引用了一些著作者的插图，在此一并致谢。

由于作者水平和能力有限，本书仍有许多不当或错漏之处，恳请广大读者和同行多加指正。谢谢！

刘 慧

第一版前言

在新世纪里,随着生命科学研究的不断深入和迅猛发展,食品微生物在农畜产品的深加工、食品安全生产等方面都起着巨大作用。特别是我国改革开放进一步加大力度和加入 WTO 后,农畜产品以及食品的生产、加工、监测对食品微生物学知识的要求越来越高。为了满足教学、科研和生产实践的需要,更好地配合“食品微生物学”的教学改革和课程建设,编著者根据自己 18 年讲授“食品微生物学”课程的经验与科研实践,在 1996 年编著的“食品微生物学”教材和总结十几所院校多年教学和科研成果的基础上,借鉴了近年来国内外同类教材的优点,参考大量科技文献资料,编撰了这本《现代食品微生物学》。本书可作为高等院校食品科学与工程专业的教科书,也可作为其他相关专业如食品质量与安全、制药工程、制剂专业的教科书和发酵工程、生物化工本科生的参考书,同时也可作为从事食品微生物和发酵工作者的必备资料。本教材在编撰过程中突出以下特点:

① 在编排形式上力求创新。本教材从总体上分为现代食品微生物学总论和各论。总论部分介绍普通微生物学课程的基础知识,各论部分介绍食品微生物学课程的应用知识。将两门课程的教学内容有机结合起来,目的是使学生更清晰地掌握食品微生物学的基础理论和基本实践技能,并使编排形式紧凑、简练,以便更好地扩展和加深两部分的微生物学所要研究的内容。同时在内容取舍和编排上突出重点,尽量删除陈旧的内容。

② 在内容上有所更新。在整个编撰过程中,以“基本”和“新”为原则,将有关食品微生物学方面的最新理论、新技术、新成果、发展新动态融入教科书的每一章节中,使学生便于了解本学科的前沿发展,并尽力做到理论与生产实际相结合,体现课程改革的精神。

③ 在文字表达上把好质量关。本教材编撰力求语言简练、内容精炼、层次分明、表达严谨、图文并茂,避免概念表达不清、内容庞杂、不易被学生掌握记忆等缺点。并注意总论和各论前后章节相关内容的衔接,尽量避免重复。

本教材由刘慧主编。参编人员具体撰写分工为:北京农学院刘慧编写绪论、第一章的第二节、第四节、第六节,第二章、第四章、第六章的第二节、第四节、第五节,第八章的第三节,第九章到第十五章;东北农业大学李铁晶编写第一章的第一节、第三节、第五节、第七节;陕西科技大学贺小贤编写第三章;北京农学院高秀芝编写第五章、第七章;北京农学院刘一倩编写第六章的第一节、第三节、第八章的第一节、第二节;北京农学院徐文生编写第十六章。本书初稿完成后,由刘慧改写和重写了部分章节,并主要完成了对全书章节的多次校对修改、仔细统稿、插图编排和文字排版工作。高秀芝参与了第六章、第八章的校对修改工作。李铁晶为第二章至第四章的编写内容提供了部分参考资料。插图的收集工作主要由各章节编写者负责完成。

本教材编写历经 3 年时间,倾注了编著者的智慧和精力,熬过了一个个不眠之夜,现在终于可以出版了。在这里非常感谢我的父母和爱人在我紧张写书之日给予我时间、精

神、物质方面的大力支持和帮助，同时也要对北京农学院教务处董跃娴老师、编者所在校系领导和中国轻工业出版社的大力支持深表感谢。本书引用了一些著作者的插图，在此一并致谢。

由于编著者水平有限，缺点和错误在所难免，恳请广大读者和同行专家提出宝贵意见。

刘 慧

目 录

第一篇 现代食品微生物学总论

绪 论	(1)
第一章 微生物形态与结构	(9)
第一节 概述	(9)
第二节 细菌	(11)
第三节 古生菌	(33)
第四节 其他原核微生物	(35)
第五节 真菌	(43)
第六节 病毒	(60)
第二章 微生物的营养	(75)
第一节 微生物需要的营养物质	(75)
第二节 微生物的营养类型	(80)
第三节 微生物对营养物质的吸收方式	(83)
第四节 培养基	(86)
第三章 微生物的代谢	(92)
第一节 微生物的能量代谢	(92)
第二节 微生物的分解代谢	(104)
第三节 微生物的合成代谢	(110)
第四节 微生物代谢的调节	(112)
第五节 微生物的次级代谢	(117)
第六节 代谢工程	(119)
第四章 微生物的生长	(122)
第一节 微生物的生长繁殖	(122)
第二节 环境因素对微生物生长的影响	(130)
第三节 有害微生物的控制	(141)
第五章 微生物的遗传	(152)
第一节 遗传的物质基础	(152)
第二节 基因突变和微生物育种	(157)
第三节 基因重组和杂交育种	(167)
第四节 微生物与基因工程	(175)
第五节 菌种的衰退、复壮和保藏	(179)
第六章 微生物与免疫	(184)

第一节	感染	(184)
第二节	宿主的非特异性免疫与特异性免疫	(185)
第三节	血清学反应及应用	(192)
第七章	微生物的生态	(200)
第一节	微生物与生物环境间的相互关系	(200)
第二节	微生物与地球生物化学循环	(204)
第三节	微生物与污水处理	(207)
第八章	微生物的分类与鉴定	(211)
第一节	微生物在生物界的地位	(211)
第二节	微生物的分类与命名	(213)
第三节	微生物分类鉴定的方法	(218)
第二篇	现代食品微生物学各论	(223)
第九章	食品中微生物的污染来源及控制	(223)
第一节	食品中微生物的污染来源及污染途径	(223)
第二节	食品微生物污染的控制	(228)
第三节	控制微生物生长与食品保藏技术	(232)
第十章	微生物与食品的腐败变质	(245)
第一节	食品中常见的细菌	(245)
第二节	食品中常见的酵母菌和霉菌	(257)
第三节	食品中常见的乳酸菌	(271)
第四节	微生物引起食品变质的原因	(282)
第五节	微生物引起的各类食品变质	(286)
第十一章	微生物性食物中毒	(305)
第一节	食物中毒概述	(305)
第二节	细菌性食物中毒	(307)
第三节	真菌性食物中毒	(322)
第四节	食物中毒病原菌的检测技术	(329)
第十二章	食品传播的病原微生物	(338)
第一节	人畜共患病的病原菌	(338)
第二节	消化道传染病的病原菌	(342)
第三节	食品传播的病毒	(344)
第十三章	食品中微生物数量的检测技术与指示菌	(349)
第一节	食品中的菌数检测方法及其新进展	(349)
第二节	指示菌	(356)
第三节	其他菌类数量的检测方法	(360)
第十四章	微生物在食品发酵工业中的应用	(363)
第一节	酒精发酵与饮料酒的酿造	(363)

第二节	乳制品与调味品发酵	(369)
第三节	食品添加剂与酶制剂的生产	(379)
第四节	微生物的菌体及其内含物的应用	(385)
第十五章	食品微生物质量与管理控制体系	(390)
第一节	食品微生物质量	(390)
第二节	食品微生物学检验	(391)
第三节	预测食品微生物学	(396)
第四节	食品质量管理与控制体系	(399)
主要参考书目		(403)

第一篇 现代食品微生物学总论

绪 论

一、微生物简介

1. 微生物及其主要类群

微生物是形体微小、结构简单、大多数肉眼看不到、必须借助显微镜才能观察到的一类低等生物的总称，它包括属于原核微生物的细菌（真细菌和古生菌）、放线菌、蓝细菌、立克次氏体、支原体、衣原体和螺旋体，属于真核微生物的真菌（酵母菌、霉菌和蕈菌）、单细胞藻类和原生动物，以及属于非细胞微生物的病毒（动物病毒、植物病毒、噬菌体、真菌病毒、藻病毒和原生动物病毒等）和亚病毒（卫星病毒、类病毒和朊病毒）。

2. 微生物在生物界中的分类地位

在生物学发展史上，曾将所有生物分为植物界和动物界。藻类有细胞壁，进行光合作用，归于植物界。原生动物无细胞壁，可运动，不进行光合作用，归于动物界。而微生物中的许多细菌具有细胞壁，进行光合作用，又可运动，将它们归于植物界或动物界均不合适。因此，1866年赫克尔（Haeckel）提出三界系统，将生物分为动物界、植物界和原生生物界。1969年魏塔克（Whittaker）提出生物分类的五界系统，将具有细胞结构的生物分为原核生物界（包括细菌、放线菌和蓝细菌等）、原生生物界（包括大部分藻类、原生动物和黏菌）、真菌界（包括酵母菌和霉菌等）、植物界和动物界。1977年我国学者王大耜等提出将所有生物分为六界系统，即在五界系统上增加病毒界。据此，微生物分别属于病毒界、原核生物界、真核原生生物界和真菌界。当代流行的观点是1990年伍斯（Woese）根据16S rRNA序列进行同源性比较提出的将所有细胞生物分为三个域（Domain）或三个原界（Eukingdom）：细菌（Bacteria，或称真细菌）、古生菌（Archaea，或称古细菌）和真核生物（Eukarya）。由此可见，微生物在生物界中占有极其重要的地位。生物的分类如图0-1所示。

3. 微生物的特点

微生物与动植物一样具有生物最基本的特征——新陈代谢、生长发育、衰老死亡，有生命周期。除此之外，还有其自身的特点：个体小，繁殖快；面积大，代谢旺；食谱杂，易培养；适应强，易变异；种类多，分布广。

（1）个体小，繁殖快 微生物个体极其微小，测量其大小通常用微米（ μm ）或纳米（ nm ）为单位。微生物用肉眼一般看不见，必须借助光学（或电子）显微镜才能看清。但也有例外，如大型真菌子实体常肉眼可见。微生物的繁殖速度惊人。细菌一般每20~30min即分裂1次，细胞数目比原来增加1倍，例如大肠杆菌在适宜条件下20min即分裂1次，那

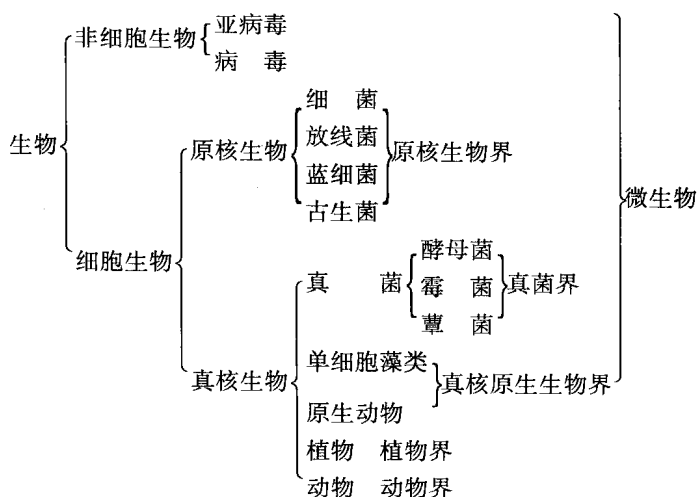


图 0-1 生物的分类

么 1h 后就是 2^3 个，24h 后就是 2^{72} 个细菌，即 4.7×10^{23} 个。但实际上由于受空间、营养物质、代谢产物、生物拮抗及环境条件的限制，微生物的几何级数分裂速度只能维持数小时。发酵工业利用微生物繁殖快的特点可在短时间内获得大量菌体和发酵产物。例如，利用啤酒酵母生产蛋白质，一般每 8~12h 即“收获”1 次，而农作物一般要 1 年才收获 1 次。

(2) 面积大，代谢旺 微生物代谢旺盛表现为代谢能力强和代谢类型多。微生物体积小，单位体积表面积大（即比表面积大），能迅速与周围环境进行物质交换，使其代谢速率最大，因此具有很强的合成与分解能力。例如，1kg 酒精酵母 1d 能消耗几千公斤的葡萄糖转变为酒精，大肠杆菌每小时可消耗自重 2000 倍的糖，乳酸菌发酵乳糖每小时可产生自重 1000 倍的乳酸，产朊假丝酵母合成蛋白质的能力是大豆的 100 倍。此种特性为微生物快速生长繁殖和产生大量代谢产物提供了充分的物质基础，从而使微生物有可能更好地发挥“活的化工厂”的作用。发酵工业利用微生物高效率的生物化学转化能力将基质快速转化为发酵产品。微生物代谢类型之多动植物所不及的，它们几乎能分解地球上的一切有机物，既能分解天然气、石油、纤维素、木素等初级有机物，又能分解氰化钾、酚、聚氯联苯、DDT 等有毒物质，也能合成次级代谢产物等各种复杂有机物。微生物有多种产能方式，有的利用分解有机物或无机物的氧化获得能量，有的利用光能进行光合作用，有的利用化学能进行化能合成作用，有的能进行有氧呼吸、无氧呼吸或发酵等而产能。有的具有固定分子态氮或利用复杂有机氮化物的能力，有的具有抗热、冷、酸、碱、高渗、高压、高辐射剂量等极端环境的特殊能力。不同微生物可产生不同的代谢产物，如氨基酸、有机酸、抗生素和酶类等，在生产实践中可应用此特点获得种类繁多的发酵产品。

(3) 食谱杂，易培养 微生物利用物质的能力很强。凡是能被动植物利用的物质，如蛋白质、糖类、脂肪和无机盐等微生物均能利用，而且有的还能分解动植物不能利用的物质，如纤维素、石油、塑料等。微生物容易培养，能在常温常压下利用简单的营养物质，甚至工农业废弃物生长繁殖，积累代谢产物。发酵工业借助微生物这一特点，利用可再生资源，如秸秆、米糠、麸皮、废糖蜜、酒糟、蔗渣等为原料，制造食品、医药和化工原料。

(4) 适应强，易变异 微生物有极其灵活的适应性，这是高等动植物不可比拟的。为了适应多变的环境条件，微生物在长期进化中产生了许多灵活的代谢调控机制，并有很多种

诱导酶（占细胞蛋白质含量的10%）。一些极端微生物都有相应特殊结构蛋白质、酶和其他物质，使之适应极端恶劣环境。例如，海洋深处的某些硫细菌可在100℃以上的高温下正常生长，一些嗜盐细菌能在32%的盐水中正常活动。此外，微生物为了保护自己，形成了一些细胞特殊结构。例如，在菌体外附着的荚膜可免受干燥和寄生吞噬细胞的吞噬，细菌的休眠体芽孢、蓝细菌的静息孢子、放线菌的分生孢子和真菌孢子均比其营养细胞有较强的抗不良环境能力。微生物的个体一般都是单细胞、简单多细胞或非细胞的生物，其表面积与体积的比值大，使之与外界接触面大而受环境条件影响大，一旦环境条件激烈变化，多数微生物死亡，少数个体发生变异（基因突变）而存活下来，但由于微生物繁殖快，数量多，即使变异频率十分低（一般为 $10^{-10} \sim 10^{-5}$ ），也容易产生大量变异后代。此种变异涉及细胞的形态构造、代谢途径、生理类型以及代谢产物的质或量等性状的变化。人类利用微生物容易变异的特点实施诱变育种，再进行突变株的筛选，即可在短时间内获得优良菌种，提高产品质量和产量。微生物易发生变异的特性还常导致菌种衰退以及对抗生素的耐药性。

（5）种类多，分布广 微生物在自然界是一个十分庞杂的生物类群。据统计，已发现的微生物种类多达10万种以上。据估计，人类已发现的微生物种类仅占自然界中微生物总数的10%，而人类至多仅开发利用了已发现微生物种类的1%，更大量的微生物资源还有待于人类发掘。微生物在自然界的分布极为广泛。由于微生物体积小而重量轻，可以随风飘荡，走遍天涯，以致达到“无孔不入”的地步，地球上不论在动植物体内外，还是土壤、空气、沙漠、温泉、河流、深海、冰川、盐湖、高山、油井、地层下都有大量与其相适应的各类微生物聚居。利用微生物分布广的特点可以从各种场所分离筛选生产菌种，开发菌种资源。如从土壤中筛选生产抗生素的放线菌；从果园土壤中筛选生产乙醇的酵母菌等。

微生物的这些特点使其在工业生产中正起着愈加显著的作用，有的直接利用菌体及其内含物，有的利用酶及其代谢产物。微生物已被广泛用于生产食品、药物、化工原料、生物制品、饲料、农药等，也有的被用于纺织、制革、石油发酵、细菌冶金、石油开采。近年来也有的利用微生物生产塑料、树脂等高分子化合物。随着基因工程、固定化酶、固定化细胞等先进技术的应用，进一步发掘了微生物在工农业生产中的巨大潜力。

二、微生物学及发展简史

微生物学是研究微生物及其生命活动规律和应用的科学，其研究内容包括微生物的形态结构、生理生化、生长繁殖、遗传变异、分类鉴定、生态分布，以及微生物与生物环境间的相互关系，理化环境因素对微生物生长的影响，并将其应用于发酵工业、农业、医药卫生、生物工程和环境保护等实践领域。其根本任务是发掘、利用、改善和保护有益微生物，控制、消灭或改造有害微生物。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。

人类在长期的生产实践中利用微生物，认识微生物，研究微生物，改造微生物，使微生物学的研究工作日益得到深入和发展。微生物学的发展过程一般可分以下五个时期。

1. 朦胧时期（史前期）

在人类首次见到微生物个体之前，虽然还未知自然界有微生物存在，但是在长期的生产实践和日常生活中已利用微生物的有益作用生产果酒、食醋、酱、面包等产品。在工业方面，早在4000多年前的龙山文化时期我国劳动人民就会利用微生物制曲、酿酒，并以其工艺独特、历史悠久、经验丰富、品种多样的4大特点闻名世界，这是我国人民在史前期的重

大贡献。当时埃及人也已学会烤制面包和酿造果酒。2 500 年前春秋战国时期，我们的祖先已发明制酱和食醋。公元 7 世纪（唐代）食用菌的人工栽培是我国劳动人民的首创，要比西欧（最早是法国）早 11 个世纪。长期以来，我国劳动人民一直利用盐渍、糖渍、干燥、酸化等方法保存食物。在农业上，我国早在商代已使用沤粪肥田。虽然还不知道根瘤菌的固氮作用，但已经利用豆科植物轮作提高土壤肥力。在医学方面，我国劳动人民早在 2 500 年前就知道用曲治疗消化道疾病，很早以前就应用茯苓、灵芝等真菌治疗疾病。2 000 多年前认识和防治许多传染病、狂犬病。公元 11 世纪（宋代）接种人痘苗预防天花已广泛应用。这是我国对世界医学史上的重大贡献，后来传至俄国、日本、朝鲜、土耳其及英国。18 世纪末英国医生琴纳（E. Jenner）提出用牛痘苗预防天花。

2. 形态学描素时期（初创期）

人类对微生物的利用虽然很早，并已推测自然界存在肉眼看不见的微小生物，但由于科学技术条件的限制，无法用实验证实微生物的存在。显微镜的发明揭开了微生物世界的奥秘。17 世纪下半叶，荷兰人安东·列文虎克（Antong Van Leeuwenhock, 1632—1723）用自制能放大 200~300 倍的简单显微镜观察到了污水、牙垢、雨水、腐败有机物中的微小生物，发现了细菌、酵母菌和原生动物，并对它们进行了形态描素，为微生物的存在提供了有力证据，开始了微生物的形态学描素时期，并一直持续到 200 多年后的 19 世纪中叶。安东·列文虎克即成为微生物学的先驱者。

3. 生理学研究时期（奠基期）

19 世纪中叶，以法国人路易·巴斯德（Louis Pasteur, 1822—1895）和德国人柯赫（Robert Koch, 1843—1910）为代表的科学家才将微生物的研究从形态学描述推进到生理学研究阶段，揭示了微生物是造成葡萄酒发酵酸败和人畜传染病的原因，并建立了接种、分离、培养和灭菌等一整套独特的微生物学基本研究方法，从而奠定了微生物学的基础，同时开辟了医学和工业微生物等分支学科。巴斯德成为微生物学的奠基人，而柯赫是细菌学奠基人。

（1）巴斯德的主要贡献 巴斯德原是化学家，曾在化学领域做出重要贡献，后来转向微生物学研究领域，为微生物学的建立和发展做出了卓越贡献，主要表现在下列 4 个方面：

① 彻底否定了“自然发生”学说：该学说认为一切生物是自然发生的。当时由于技术问题，如何证实微生物不是自然发生的仍是一个难题。巴斯德在前人工作的基础上进行了著名的曲颈瓶试验。取一个曲颈瓶和直颈瓶，内盛有机汁液（肉汁），两者同时加热以杀死瓶中原有微生物，而后长久置于空气中。结果曲颈瓶中没有微生物发生，而直颈瓶中出现大量微生物使肉汁变质。前者之所以肉汁不变质（保持无菌状态），是因为空气中带菌尘埃不能通过弯曲长管进入瓶内。由此证明了肉汁变质是由于外界微生物侵入的结果，并不是自然发生的。从此，将微生物的研究从形态描述进入生理学研究的新阶段。

② 证明发酵是由微生物引起的：他认为一切发酵都与微生物生长繁殖有关，并历经辛苦分离到了许多引起发酵的微生物，证实了酒精发酵由酵母菌引起，乳酸发酵、醋酸发酵和丁酸发酵都由不同细菌引起，还研究了 O_2 对酵母菌的生长和酒精发酵的影响，为进一步研究微生物的生理生化特性和建立工业微生物学、酿造学、食品微生物学奠定了基础。

③ 创立了巴氏消毒法：他认为酒的变质是有害微生物繁殖的结果，为解决当时法国酒变质问题，他创造了科学的巴氏消毒法（60~65℃，30min），一直沿用至今，仍广泛用于食品制造业的消毒工作。与此同时他证实了家蚕软化病由病原微生物引起，并解决了“蚕

病”的实际问题，推动了病原学的发展，并深刻影响医学的发展。

④ 接种疫苗预防传染病：琴纳医生虽早在 1798 年发明了接种牛痘苗预防天花，但不知其免疫过程的机制。1877 年巴斯德发现将鸡霍乱病原菌经过减毒可使机体产生免疫力，以此预防鸡霍乱病。随后，他又研究了牛、羊炭疽病和狂犬病，首次制成炭疽疫苗、狂犬疫苗，并创造了接种疫苗方法，从而开创了免疫学，为人类防治传染病作出了重大贡献。

(2) 柯赫的主要贡献 柯赫曾是德国医生，为著名的细菌学家，其功绩在于：

① 建立了一整套研究微生物的基本技术：他发明了用固体培养基分离和纯培养微生物的技术。即找到了较理想的琼脂作为培养基凝固剂，设计了浇铺平板用的玻璃培养皿，并创造了细菌接种和染色方法。这项技术是研究微生物学的前提条件，一直沿用至今。此外，他发明的培养基制备方法也是微生物研究的基本技术之一。这两项技术不仅建立了一套研究微生物的实验方法，而且也为今天的动植物细胞培养作出了贡献。

② 对病原菌的研究：他证明了炭疽病、霍乱病和肺结核病由炭疽杆菌、霍乱弧菌和结核杆菌引起，并分离培养出相应的病原菌。1884 年他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——柯赫法则：a. 病原菌必须来自患病机体；b. 从患病机体中分离纯培养必须得到该病原体；c. 用该纯培养物接种到敏感动物体内必然引发相同的疾病；d. 从被感染的敏感动物体内能分离到与原来相同的病原菌。这一法则至今仍指导对动植物病原菌的确定。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 年代发现的各种病原微生物有上百余种，其中还包括植物病原菌。

由于巴斯德和柯赫的杰出工作，使微生物学作为一门独立的学科开始形成。此后，李斯特 (J. Lister) 用杀菌药物防止微生物侵入手术伤口，发明了消毒 (无菌) 外科操作技术；埃尔里赫 (P. Ehrlich) 用化学药剂控制病原菌，开创了化学治疗法。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，使微生物学进入了高速发展时期，相继建立了微生物学各分支学科，如食品微生物学、酿造学、工业微生物学、农业微生物学、环境微生物学、医学微生物学、畜牧兽医微生物学、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、分子微生物遗传学、分子微生物生态学等。

4. 生物化学研究时期 (发展期)

1897 年德国人毕希纳 (E. Büchner) 对酵母菌“酒化酶”进行生化研究，发现了磨碎的酵母菌仍能发酵葡萄糖产生酒精，并将此具有发酵能力的物质称为酶。这样发酵现象的本质才真正被认识。此外，他还发现微生物的代谢统一性，并开展广泛寻找微生物的有益代谢产物，开始了生物化学研究阶段。毕希纳即成为生物化学的奠基人。1929 年英国医生弗莱明 (A. Fleming) 发现青霉素能抑制细菌生长。此后开展了对抗生素的深入研究，并用发酵法生产抗生素。青霉素的发现建立了微生物工业化培养技术，推动了抗生素工业的发展。

5. 分子生物学研究时期 (成熟期)

进入 20 世纪，由于电子显微镜的发明，同位素示踪原子的应用，生物化学、生物物理学等边缘学科的建立，推动了微生物学向分子水平的纵深方向发展。同时微生物学、生物化学和遗传学的相互渗透，又促进了分子生物学的形成。

20 世纪 30 年代：发明了电子显微镜，为微生物学等学科提供了重要的观察工具。1939 年考雪 (C. Kausche) 等首次用电镜观察到了烟草花叶病毒。