

国家级精品资源共享课立项项目
南开大学教材资助立项项目

微生物学

原理与应用

Microbiology Principle and Application

李明春 刁虎欣 主编



科学出版社

国家级精品资源共享课立项项目

南开大学教材资助立项项目

微生物学原理与应用

李明春 刁虎欣 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本教材是一部注重基础性、强调科学性和应用性的新编教材,着力培养学生的创新意识,提高学生的创新思维能力。全书分为三篇 21 章,第一篇为微生物学理论基础篇,包括微生物细胞的结构和功能及微生物的营养与代谢、生长繁殖与控制、遗传与变异、基因表达与调控,以及微生物的生态、进化和分类鉴定、感染与免疫;第二篇为现代微生物学技术篇,包括微生物基本技术、基因工程技术和发酵工程技术;第三篇为微生物资源应用篇,包括微生物在农业、生物化工、医药、食品、可再生能源、矿藏开采和环境保护等方面的应用。每章均附有知识点回顾、关键词、自测题,以便于学生复习和掌握。同时每章开始都有与本章内容相关的事例,并在正文中穿插一些小故事,以引起读者的兴趣和思考。

本教材以学生为本,突出问题式教学,图文并茂,适合理、工、农、林、医等各类普通高校和师范院校生命科学相关领域的本科生使用,同时也可供其他生物科技工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

微生物学原理与应用/李明春,刁虎欣主编.—北京:科学出版社,2018.5

“国家级精品资源共享课立项项目 南开大学教材资助立项项目”

ISBN 978-7-03-057103-8

I. ①微… II. ①李… ②刁… III. ①微生物学—高等学校—教材
IV. ①Q93

中国版本图书馆CIP数据核字(2018)第070513号

责任编辑:刘 畅/责任校对:孙婷婷 王晓茜

责任印制:师艳茹/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

天津市新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018年5月第 一 版 开本:890×1240 1/16

2018年5月第一次印刷 印张:21

字数:680 000

定价:69.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《微生物学原理与应用》编委会名单

主 编：李明春 刁虎欣

参编人员：（按姓氏笔画排序）

刁虎欣 马 挺 邢来君 乔文涛 刘 方

李 悦 李国强 李明春 杨 超 吴卫辉

宋存江 张 奇 陈容容 徐海津 谈 娟

喻其林 靳永新 蔡 峻 蔡宝立

前言

微生物跨越生物系统进化树的古生菌域、细菌域和真核生物域，是地球生物圈中与动物、植物并列的三大生物类群之一。在人类探索生命奥秘或解决人类可持续发展的重大问题中，微生物像动植物一样成为不可或缺的、极为宝贵的自然资源。当今世界生物信息技术高速发展，学科之间的交叉已成为必然的发展趋势，由此而产生的新技术为微生物学家揭示生命本质的研究提供了良好的机遇。

基因测序技术的飞速发展，激发了微生物学深刻的、质的革命性变革。从基因克隆、聚合酶链反应(PCR)、DNA 测序、反向遗传学、单细胞成像及视频显微技术的发展，到数千种原核生物的细菌乃至近千种低等真核微生物的基因组测序完成，微生物分子生物学步入飞速发展的新时代，为微生物学科创新性研究提供了无限的可能。由此也为深入研究微生物生物学特性及促进工业、农业、食品、医疗卫生、环境保护与能源开发等多个领域的发展带来不竭的动力，微生物作为低等生物的原始代表被推向生物技术的前沿。面对这种挑战，培养高素质、创新型人才成为微生物学科发展的核心任务。因此，微生物学教材建设显得至关重要。

本教材以南开大学微生物学国家重点学科为依托，组织常年坚持在教学第一线且教学成果突出的教师组成编写组，并由几位老教师严格把关而进行编写。编写宗旨为宽口径、厚基础、强调科学性和启发性，着力培养学生的创新意识，提高学生的创新思维能力，尽量把握微生物学科范围内的系统性和整体性。在编写过程中坚持：①基础理论知识与微生物学的基本技术及相关应用相结合的“宽口径”；②尽量做到基础知识与学科发展前沿相结合，理论与实践相结合，要求展示微生物学与工业、农业、医疗卫生、环境保护及能源开发等多个国民经济领域发展的“厚基础”；③作为基础课教材应把握其基础性、科学性，注重先进性和应用性。根据编写宗旨和三条基本原则，其主要内容分为“微生物学理论基础篇”（共 11 章）、“现代微生物学技术篇”（共 3 章）、“微生物资源应用篇”（共 7 章）。为了提高学生的学习兴趣，本教材以学生为本，突出问题式教学，每章既有前沿性开篇事件与思考题，又穿插一些小故事，图文并茂，既适合于大多数普通高校基础微生物学教学需要，也利于自学。

最后衷心感谢科学出版社刘畅编辑的大力支持和帮助。编写组虽然尽了最大努力，但由于水平所限，书中难免有不当或缺憾之处，敬请批评指正，不吝赐教，我们深表谢意！

李明春 刁虎欣

2017 年 11 月于南开大学

目 录

第一篇 微生物学理论基础篇

第一章 微生物世界和微生物学简史..... 3	三、线粒体、氢化酶体和叶绿体..... 31
第一节 微生物世界..... 4	四、内质网与高尔基体..... 32
一、何谓微生物..... 4	五、液泡..... 32
二、微生物的特点..... 4	六、溶酶体与过氧化物酶体..... 33
三、微生物与人类的关系..... 5	七、微管蛋白和肌动蛋白..... 33
四、微生物学的研究内容..... 6	八、细胞壁..... 33
第二节 微生物学简史..... 7	九、鞭毛与纤毛..... 33
一、微生物的发现..... 7	第二节 真菌..... 34
二、微生物学的早期研究..... 7	一、丝状真菌——霉菌..... 34
三、微生物学的发展时期..... 8	二、单细胞真菌——酵母..... 36
四、现代微生物学..... 9	三、共生真菌——地衣和菌根..... 38
第二章 原核微生物..... 13	四、高等真菌——蘑菇..... 38
第一节 原核微生物细胞概述..... 14	第三节 原生生物..... 39
一、原核微生物细胞组成..... 14	一、原生生物的一般特征..... 39
二、细胞形态的多样性..... 15	二、代表性原生生物..... 40
第二节 原核微生物的细胞壁..... 16	第四章 非细胞微生物：病毒..... 46
一、肽聚糖..... 17	第一节 病毒的性质、形态结构与分类..... 47
二、革兰氏阳性菌的细胞壁..... 17	一、病毒的一般性质..... 47
三、革兰氏阴性菌的细胞壁..... 18	二、病毒颗粒的形态结构..... 47
四、缺壁细菌..... 19	三、病毒的化学组成及功能..... 48
五、古生菌的细胞壁..... 19	四、病毒的分类..... 50
第三节 原核微生物细胞内部结构..... 20	第二节 病毒的生长与定量..... 50
一、内含物..... 20	一、病毒的培养..... 50
二、内膜结构..... 20	二、病毒的纯化..... 50
三、芽孢..... 21	三、病毒的测定..... 51
第四节 原核微生物细胞表面结构..... 22	第三节 病毒的复制..... 51
一、荚膜..... 22	一、病毒复制的基本特征..... 51
二、鞭毛..... 22	二、病毒的复制周期..... 52
三、菌毛..... 23	第四节 病毒的多样性..... 54
四、性毛..... 23	一、噬菌体..... 54
第五节 原核微生物其他主要类群..... 23	二、动物病毒..... 56
一、放线菌..... 24	三、植物病毒..... 57
二、蓝细菌..... 24	四、昆虫病毒..... 58
三、螺旋体、立克次氏体、衣原体、支原体..... 24	第五节 亚病毒..... 58
四、古生菌..... 25	一、类病毒..... 58
第三章 真核微生物..... 29	二、拟病毒..... 58
第一节 真核微生物的细胞结构与功能..... 30	三、朊病毒..... 59
一、细胞核..... 30	四、卫星病毒..... 59
二、细胞膜..... 31	五、缺陷干扰颗粒..... 59

第五章 微生物的营养与生理代谢	62	三、细菌的接合转移	104
第一节 微生物的营养物质与吸收	63	第五节 真核微生物的遗传	104
一、营养物质与功能	63	一、有性生殖	105
二、营养类型	64	二、准性生殖	105
三、培养基	64	三、酵母菌的接合遗传	106
四、营养物质吸收方式	64	第六节 菌种的遗传改良	106
第二节 微生物的能量代谢	65	一、理化因子诱变育种	107
一、异养微生物有机底物氧化磷酸化产能	65	二、生物诱变育种	107
二、化能自养微生物无机底物氧化磷酸化产能	68	三、杂交育种	107
三、光养微生物光合磷酸化产能	70	四、代谢控制发酵育种	107
第三节 微生物的合成代谢	73	五、基因工程育种	107
一、自养微生物 CO_2 固定的三条途径	73	第八章 微生物基因表达与调控	110
二、微生物细胞物质生物合成总观	74	第一节 酶活性调节	111
三、微生物特有的物质合成	74	一、反馈抑制	111
第六章 微生物的生长与控制	81	二、共价修饰	112
第一节 微生物的生长	82	第二节 酶基因表达与调控	113
一、细菌的生长	82	一、原核微生物基因表达调控方式	113
二、真菌的生长	84	二、真核微生物基因表达调控方式	119
三、真菌的生殖	85	第九章 微生物生态	124
四、微生物生长的测定	86	第一节 自然环境中的微生物	125
第二节 环境对微生物生长的影响与生长控制	87	一、微生物生态系统	125
一、环境因子对微生物生长的影响	87	二、微生物与高等生物	125
二、微生物生长的控制	89	三、水生环境的微生物	126
第七章 微生物遗传与变异	92	四、土壤环境的微生物	127
第一节 微生物遗传的物质基础	93	五、大气环境的微生物	127
一、证明核酸是遗传物质的实验	93	六、极端环境的微生物	127
二、细菌的染色体	94	七、自然环境中不可培养的微生物	129
三、细菌染色体的复制	94	第二节 微生物与生物群体的相互作用	129
四、质粒	95	一、微生物之间的相互关系	129
五、转座因子	95	二、微生物与植物之间的相互关系	129
六、真核微生物染色体的存在状态	97	三、微生物与人和动物之间的关系	130
七、古生菌的染色体	97	第三节 微生物与自然界的物质循环	131
第二节 微生物的突变	97	一、碳素循环	131
一、突变的类型	97	二、氧素循环	131
二、表型的变化及突变型的筛选	98	三、氮素循环	132
三、自发突变	98	四、硫素循环	133
四、诱发突变	99	五、磷素循环	134
五、突变的回复与抑制	100	六、铁素循环	134
六、诱发突变与致癌物的检测	101	七、各种元素循环之间的相互关系	134
第三节 DNA 的损伤修复	101	第四节 微生物分子生态学新技术	135
一、特殊修复途径	101	一、荧光原位杂交技术	135
二、普遍修复途径	101	二、变性梯度凝胶电泳技术	135
三、容忍差错的修复途径——SOS 反应	102	三、末端限制性酶切多态性分析技术	135
第四节 原核微生物 DNA 的转移和重组	103	四、16S rRNA 基因高通量测序技术	136
一、细菌的转化	103	五、基因芯片检测技术	136
二、细菌 DNA 的转导	103	六、宏基因组分析技术	136
		七、生物传感器	137
		八、实时荧光定量技术	137

第十章 微生物的进化和分类鉴定	140	二、细胞的非特异性免疫	156
第一节 微生物的进化及物种多样性	141	三、补体的非特异性免疫	157
一、微生物的起源与进化	141	四、干扰素、溶菌酶的非特异性免疫	158
二、进化的分子时钟	141	第三节 机体的特异性免疫	158
三、系统发育树	142	一、参与特异性免疫的主要器官和细胞	158
第二节 微生物的分类	143	二、抗原	159
一、微生物分类的单元与命名	144	三、T 淋巴细胞介导的特异性细胞免疫	160
二、细菌分类系统	145	四、B 淋巴细胞介导的特异性体液免疫	161
三、真菌分类系统	146	第四节 T、B 淋巴细胞耐受与克隆选择	163
第三节 微生物的分类方法和技术	147	一、T、B 细胞的耐受	163
一、基于表型特征的微生物分类方法	147	二、T、B 细胞的克隆选择	163
二、基于分子特征的微生物分类方法	148	第五节 免疫病理	163
三、微生物自动化鉴定和检测技术	150	一、超敏反应	164
第十一章 感染与免疫	153	二、器官移植免疫	164
第一节 病原微生物感染	154	三、免疫缺陷病	164
一、病原微生物感染途径	154	第六节 临床免疫诊断技术与免疫预防	165
二、感染的分类	154	一、血清学试验	165
三、病原微生物的致病性	154	二、免疫诊断技术	165
第二节 机体的非特异性免疫	155	三、感染性疾病的预防	167
一、生理屏障作用	156		

第二篇 现代微生物学技术篇

第十二章 微生物基本技术	173	第三节 目的基因的获得	194
第一节 微生物培养基制备与灭菌及无菌操作技术	174	一、目的基因的化学合成	194
一、培养基的制备技术	174	二、目的基因的体外 PCR 扩增	194
二、灭菌技术	175	三、构建文库筛选目的基因	195
三、无菌操作技术	176	四、利用定点突变获得突变基因	196
第二节 微生物纯培养与纯种分离及菌种保藏技术	178	第四节 克隆目的基因并导入宿主细胞	196
一、微生物培养技术	178	一、目的基因片段与载体的连接	196
二、微生物纯种分离技术	179	二、重组 DNA 导入宿主细胞	197
三、微生物保藏技术	180	三、重组体的筛选与鉴定	197
第三节 微生物显微技术	181	第五节 外源基因在微生物中的表达	198
一、微生物形态与结构观察	181	一、表达载体	198
二、微生物测微技术及计数	184	二、外源基因在细菌中的表达	198
三、微生物生长测定	185	三、外源基因在酵母菌中的表达	200
第十三章 微生物基因工程技术	189	四、微生物基因工程产品简介	200
第一节 微生物基因工程的工具酶	190	第十四章 微生物发酵工程技术	203
一、限制性内切核酸酶	190	第一节 发酵工程的基本概念及其发展趋势	204
二、DNA 连接酶	190	一、发酵工程概念	204
三、DNA 聚合酶	191	二、发酵工程产品的种类	204
四、修饰酶	191	三、发酵工程的特点	204
第二节 微生物基因工程克隆载体	191	四、发酵工程产品简介	205
一、质粒载体	192	五、发酵工程的发展方向	205
二、噬菌体载体	192	第二节 微生物发酵工程的类别及其特征	206
三、酵母质粒载体	193	一、微生物发酵菌种必须满足的条件	206
四、人工染色体	193	二、发酵工程的类别及其特征	206
		第三节 微生物发酵工程的设备(生物反	

反应器)	211
一、通用式机械搅拌发酵罐	211
二、固态发酵设备	211
第四节 微生物发酵工程的下游工艺过程	212

第三篇 微生物资源应用篇

第十五章 微生物与农业	221
第一节 微生物农药	222
一、微生物杀虫剂	222
二、微生物杀菌剂	226
三、微生物除草剂	227
四、微生物源植物激素	228
第二节 微生物肥料与饲料	228
一、微生物肥料	228
二、微生物饲料	231
第十六章 微生物与生物化工	234
第一节 微生物发酵生产有机溶剂	235
一、微生物发酵生产丙三醇	235
二、微生物发酵生产丙酮丁醇	235
三、微生物发酵生产 2, 3-丁二醇	236
第二节 微生物发酵生产有机酸	236
一、微生物发酵生产柠檬酸	236
二、微生物发酵生产苹果酸	237
三、微生物发酵生产乳酸	237
第三节 微生物发酵生产胞外多糖	238
一、微生物发酵生产黄原胶	238
二、微生物发酵生产结冷胶	240
第四节 微生物发酵生产酶制剂	241
一、淀粉酶的发酵生产	241
二、蛋白酶的发酵生产	241
三、淀粉酶、蛋白酶制剂的分离纯化	242
四、淀粉酶、蛋白酶的酶学特性及应用	242
第五节 微生物发酵法研制生物降解 高分子聚合物	242
一、 γ -聚谷氨酸	243
二、聚羟基脂肪酸酯	243
第十七章 微生物与医药	247
第一节 经典微生物发酵药物	248
一、抗生素	248
二、维生素	251
三、类固醇激素	252
第二节 微生物产生的其他生物活性物质	253
一、酶抑制剂	253
二、免疫调节剂	254
三、受体拮抗剂	254
第三节 基因工程技术生产药物和疫苗	255
一、基因工程蛋白类药物和疫苗	255
二、基因工程菌生产抗生素	257

一、下游工艺过程的基本知识	212
二、下游工艺技术的步骤和特点	213
三、发酵工程产品分离纯化方法必须 满足的条件	214

第四节 食药微生物	257
一、微生态制剂	257
二、食药两用微生物	257
第十八章 微生物与食品	261
第一节 微生物与传统发酵食品	262
一、微生物在酱油酿造中的应用	262
二、微生物在酿酒中的应用	263
三、微生物在食醋酿造中的应用	264
四、微生物在发酵乳制品中的应用	264
第二节 食用氨基酸的代谢控制发酵	265
一、谷氨酸的代谢控制发酵	265
二、赖氨酸的代谢控制发酵	267
第三节 微生物食品添加剂	268
一、微生物多糖的特性及其在食品 生产中的应用	268
二、微生物来源食用色素的种类及应用	268
三、微生物来源防腐剂的种类及应用	270
第四节 微生物类新食品开发	271
一、食用单细胞蛋白的开发应用	271
二、大型食用真菌的开发利用	271
第十九章 微生物与可再生能源	275
第一节 微生物生产燃料乙醇	276
一、淀粉质或糖质原料发酵生产燃料乙醇	276
二、以木质纤维素为原料发酵生产燃料 乙醇	277
三、用固定化微生物技术将玉米秸秆 转化为燃料乙醇	278
四、高纤维素酶活性或利用戊糖发酵 产生乙醇工程菌的研究与探索	278
第二节 微生物发酵生产沼气	279
一、沼气发酵应用现状	279
二、生物性有机物发酵生产沼气的 三个阶段与相关微生物生理类群	279
三、产甲烷细菌的生物化学特性	281
第三节 微生物产氢	282
一、固氮类产氢微生物	283
二、发酵性产氢细菌	283
三、微藻光解水产氢	284
第四节 微生物发电	284
一、微生物燃料电池的结构及工作原理	284
二、胞外产电菌	285

第二十章 微生物与矿藏开采	288	一、生物外源性有机污染物的来源和种类	304
第一节 油气微生物勘探技术	289	二、生物外源性有机污染物的微生物降解	304
一、油气微生物勘探技术	289	三、降解质粒和降解性转座子	306
二、油气微生物勘探的理论基础	289	第二节 微生物对重金属污染物的转化和脱毒	306
三、油气微生物勘探方法	289	一、重金属污染的危害	306
四、油气微生物勘探应用实例	290	二、微生物对重金属的抗性、吸附和转化	307
第二节 微生物多糖与钻井泥浆	291	三、微生物在处理重金属污染中的应用	307
一、黄原胶用于钻井的优良性能	291	第三节 废水的微生物处理	308
二、黄原胶在油田钻井中的应用	292	一、废水的好氧生物处理	308
第三节 微生物提高石油采收率技术	292	二、废水的厌氧生物处理	308
一、微生物采油技术的基本概念	293	三、废水的生物脱氮和除磷	309
二、微生物地上采油技术	293	第四节 生物修复技术	309
三、微生物地下采油技术	294	一、土壤污染的生物修复	310
第四节 燃料油的生物脱硫技术	297	二、地下水污染的生物修复	310
一、燃料油生物脱硫技术	297	三、海洋石油污染的生物修复	310
二、燃料油生物脱硫工艺的探索	298	第五节 固体废物的微生物处理和资源化	311
三、燃料油生物脱硫的应用和展望	298	一、固体废物的种类和危害	311
第五节 微生物湿法冶金技术	299	二、固体废物的微生物处理	311
一、微生物湿法冶金的基本概念	299	三、固体废物的资源化	312
二、微生物湿法冶金的技术原理	299	主要参考文献	315
三、微生物湿法浸矿工艺	300	常见微生物学名词索引	317
四、微生物湿法冶金的实际应用	300		
第二十一章 微生物与环境保护	303		
第一节 微生物对生物外源性有机污染物的降解	304		



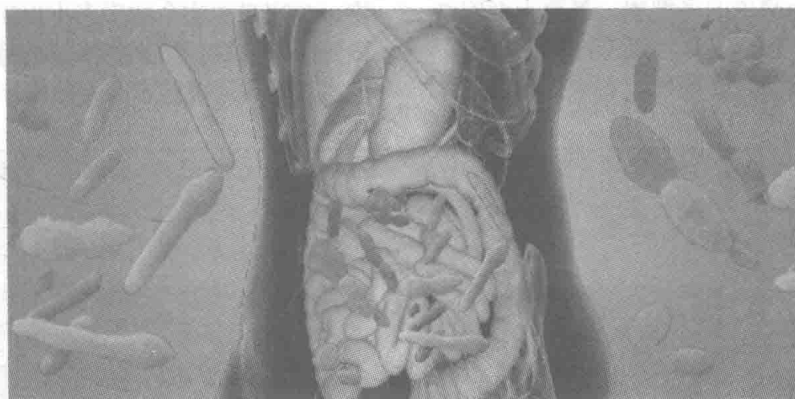
第一篇 >>

微生物学理论基础篇

- ☐ 第一章 微生物世界和微生物学简史 /3
- ☐ 第二章 原核微生物 /13
- ☐ 第三章 真核微生物 /29
- ☐ 第四章 非细胞微生物：病毒 /46
- ☐ 第五章 微生物的营养与生理代谢 /62
- ☐ 第六章 微生物的生长与控制 /81
- ☐ 第七章 微生物遗传与变异 /92
- ☐ 第八章 微生物基因表达与调控 /110
- ☐ 第九章 微生物生态 /124
- ☐ 第十章 微生物的进化和分类鉴定 /140
- ☐ 第十一章 感染与免疫 /153

第一章 微生物世界和微生物学简史

开篇事件：人体神奇的肠道微生物



人体肠道微生物

你知道吗？人体肠道微生物的数量超过人体自身细胞 10 倍之多。帮助消化食物、代谢营养是人们肠道微生物最普遍的认识。但越来越多的研究证明，人体肠道微生物的功能不止于此，它还可通过影响宿主的信号通路，引发炎症、肥胖、癌症、代谢综合征、甲状腺病变等疾病。因为肠道与免疫系统、内分泌系统及神经系统都是相关联的，研究人员发现肠道微生物可以通过释放信号分子进入肠道内，影响人们的生理和行为反应。有研究表明：肠道微生物可通过改变迷走神经的神经信号，来改变味觉受体，使其产生毒素使人们感觉不好，或释放奖励类化学信号使人们感觉良好，从而影响人们的行为和情绪。已经发现某些细菌能增加焦虑行为，但若给那些情绪低落的人食用含有干酪乳杆菌的益生菌后，其心情能得到改善。

参考文献：

Alcock J, Maley CC, Aktipis CA. 2014. Is eating behavior

manipulated by the gastrointestinal microbiota? Evolutionary pressures and potential mechanisms. *Bioessays*, 36 (10): 940-949.

Mayer EA. 2011. Gut feelings: the emerging biology of gut-brain communication. *Nature Reviews Neuroscience*, 12 (8): 453-466.

Nielsen HB, Almeida M, Juncker AS. 2014. Identification and assembly of genomes and genetic elements in complex metagenomic samples without using reference genomes. *Nature Biotechnology*, 32 (8): 822-828.

思考题：

1. 请想一想，哪些因素可以影响人体肠道微生物的生态分布？
2. 通过查阅文献，简述肠道微生物与人体健康的研究进展。

1644 年, 罗伯特·胡克 (Robert Hooke) 第一次描述了显微镜下的微生物, 从此开启了人们对微生物的认识和研究, 经过 300 多年来的不断发展, 微生物学已成为当代生物科学前沿中最具活力和创造力的学科之一。微生物学既是重要的基础学科, 它在生命科学重大基础理论和现代生物技术的形成与发展中起着重要的作用; 又是应用性很强的学科,

它与数理化和信息科学交叉渗透, 与人类的经济发展、社会进步和日常生活, 特别是与人类目前面临的食物、健康、医药、能源和环境等热点问题息息相关。因此本章将带领读者开始微生物世界之旅, 首先了解微生物的种类、特点及与人类的密切关系, 然后追溯微生物学的发展历程并介绍在此过程中做出重要贡献的代表性微生物学家。

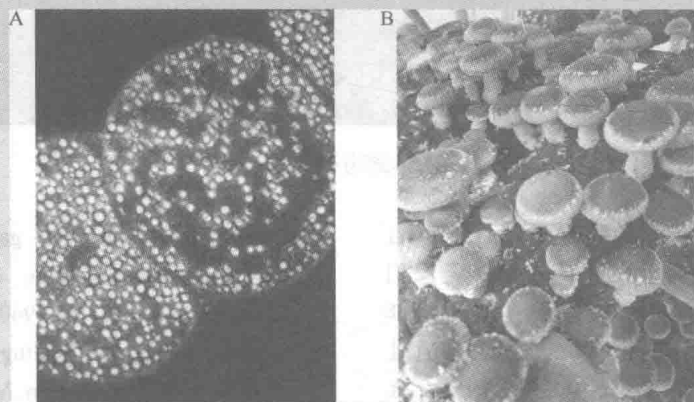
第一节 微生物世界

一、何谓微生物

微生物 (microorganism, microbe) 是形体微小、单细胞或个体结构较为简单的多细胞, 甚至无细胞结构的低等生物的总称, 包括具原核细胞结构的细菌、古生菌、放线菌、蓝细菌、支原体、衣原体和立克次

氏体; 具真核细胞结构的真菌 (丝状真菌、酵母和蕈菌)、单细胞藻类、原生生物; 不具细胞结构的病毒、亚病毒。这些微生物类群, 绝大多数只能借助显微镜才能看清楚其个体形态, 所以微生物又称显微镜下的生物。观察微生物个体形态不但需要共同的仪器——显微镜, 研究这些微生物需要的特殊技术, 如纯种分离技术、消毒灭菌技术及无菌操作技术等也是相同的。

有些细菌如纳米比亚硫磺珍珠菌 (*Thiomargarita namibiensis*) (图 A) 和具子实体的大型真菌如蘑菇 (图 B) 等是肉眼可见的。地球上最大的微生物是真菌中的蜜环菌。最大的微生物比最小的微生物至少要大 250 000 倍。



在生物进化的长河中, 在 38 亿~39 亿年前, 地球上出现了最早的细胞, 且在很长的一段时期, 这些有机体仅是微生物。因为地球最初的 20 亿年, 大气中没有氧气, 在这种条件下, 只有厌氧代谢的产甲烷菌、光养紫色细菌及其他不产氧光合营养菌能够存活。经过近 10 亿年的进化, 出现了能产生氧气的光养蓝细菌 (cyanobacteria), 开始向大气中释放氧气, 随着大气中氧气的不断增加, 多细胞生命逐渐进化, 最终形成了我们今天所见到的动物和植物。可以说, 微生物是地球上最早具有生命特征的生物体, 而其中的蓝细菌在生物进化过程中起到了里程碑式的作用。长期以来, 虽然人们一直在利用微生物, 但真正认识和研究微生物是在显微镜发明之后,

经过了 200 多年, 才最终确认了微生物在生物界中的分类地位。微生物分布在由共同祖先进化形成的 3 个域 (domain): 细菌域、古生菌域和真核生物域, 前两个域的生物不含细胞核, 称为原核微生物, 后一个域的生物含有细胞核, 不仅包括了真菌、单细胞藻类、原生生物等真核微生物, 还包括了动物和植物。

二、微生物的特点

微生物具有与其他生物共有的特点, 如它们将从环境中摄取的营养转变为细胞中新的物质和废物, 通过新陈代谢进行生长和繁殖; 细胞在进化过程中, 通过复制、转录、翻译等关键过程, 可选择

性地保留遗传变异；微生物与高等生物共用一套遗传密码子，其基因组上含有与高等生物同源的基因等。这些充分反映了“生物体之间的高度统一性和同一性”。

除了上述这些共有特性外，微生物还具其自身所特有的属性：①形体微小、比表面积（表面积/体积）大。例如，杆菌的平均长度为 $2\mu\text{m}$ ，1500 个杆菌首尾连接起来也只是一粒芝麻的长度，以人的比表面积为 1 的话，大肠杆菌（*Escherichia coli*）则为 30 万，如此大的比表面积非常有利于微生物与其周围环境进行物质、能量和信息的交换。该属性是微生物区别于其他生物最根本的特点，同时也决定了微生物的其他属性。②吸收营养多、物质转化快。例如，产朊假丝酵母（*Candida utilis*）合成蛋白质的能力比大豆强 100 倍，该属性为微生物的快速生长繁殖提供了物质基础，同时人类可利用微生物生产大量有益代谢产物。例如，利用微生物菌种生产抗生素、氨基酸、酶类、有机酸、单细胞蛋白、生物农药、多糖、维生素等产品。③生长旺盛、繁殖速度快。可以说微生物“生儿育女”的能力惊人，如大肠杆菌平均 20min 就可以繁殖一代，酿酒酵母（*Saccharomyces cerevisiae*）也不过 120min。因此，该特性使得微生物在实际生产应用中，可缩短发酵周期，提高生产效率。例如，利用酵母菌生长繁殖快的特点，采用基因工程技术在酿酒酵母、巴斯德毕赤酵母（*Pichia pastoris*）和多形汉逊酵母（*Hansenula polymorpha*）中生产乙肝疫苗。④营养物质与营养类型多样。微生物可以利用纤维素、木质素、几丁质这些大分子化合物，也可以利用酚类、氰化物等有毒化合物作为其营养物质，主要原因是微生物除了具有植物的光能自养型、动物的化能异养型外，还具有化能自养型、光能异养型等独特的营养代谢类型，因此，微生物获取营养的方式之多、其食谱之广是动植物无法比拟的。⑤对环境适应性强。在地球的大多数地方都可以找到微生物的存在，特别是在高温、高盐、高压、强酸、强碱、高辐射、高寒等极端环境中生长的微生物，称为“极端微生物”，其酶系统、代谢产物极具多样化，具有潜在的经济价值和应用前景。⑥易变异。微生物由于具有个体微小、结构简单、生长繁殖快等特点，因此相对于动植物来说，其自发突变率高，同时理化因素可以提高基因突变率，这为微生物菌株优良性状的选育奠定了基础。例如，产黄青霉（*Penicillium chrysogenum*）最初生产青霉素时，其产率仅为 0.01%，经过菌种改造，目前产率达到 5%，提高了 500 倍。⑦分布广、数量多。可以说我们生活在“微生物的海洋”中，它们无处不有、无时不在。例如，人体的肠道是人体微生物存在数量

最多、种类最丰富的地方，大约 80% 的人体正常菌群都集中在此，微生物总量超过 100 万亿，种类达 400~500 种。

口腔中的细菌种类超过 500 种，每个喷嚏的飞沫含 4500~150 000 个细菌，重感冒患者为 8500 万个。你知道每张纸币上所带的细菌数量吗？

《伯杰氏系统细菌学手册》第 2 版记载了 875 属细菌，*Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi* 第 10 版描述的真菌达 8283 属，约 10 万种之多。虽然目前已定种的微生物远少于动植物，但一般认为目前被人类所发现的微生物还不到自然界微生物总数的 1%，因此微生物具有物种多样性、遗传多样性、代谢多样性和生态多样性的特点，大量的微生物资源有待人们去合理地开发利用。

三、微生物与人类的关系

著名的法国微生物学家路易斯·巴斯德（Louis Pasteur）形容微生物为：“在自然界中，它无限小，但作用无限大”。当今微生物已涉及化工、农药、饲料、肥料、食品、医药、冶金、石油、轻纺、能源、环境保护、可降解生物材料、生物医学材料等众多领域，人们不仅可以利用微生物本身，还可以利用其产生的代谢产物为人类带来的巨大益处（图 1-1）。

微生物离我们很近，即使在人体内，如肠道、皮肤、口腔中也存在着大量正常的微生物菌群，可帮助人体消化吸收营养。大多数微生物对人类是有益的，是地球赖以生存和造福人类所必需的，对人类社会的发展和进步具有巨大的价值。当然，我们也应该看到目前人类仍然受到微生物的威胁，由微生物引起的疾病仍然是人类死亡的首要因素，特别是在发展中国家，每年都有数百万人被疟疾、结核、肺炎、霍乱、严重腹泻等夺去生命。一些新的病原微生物如艾滋病病毒正在全球蔓延，另外一些原本只存在于动物体上的病毒，如埃博拉病毒、甲型 H1N1 流感病毒、禽流感病毒、严重急性呼吸综合征（SARS）病毒、朊病毒，近些年来也在人群中快速传播，威胁着人们的生命。

在几内亚、利比里亚和塞拉利昂 3 个西非国家，自 2014 年暴发埃博拉疫情后的一年多时间里，已导致 24 350 人疑似或确诊感染埃博拉病毒，夺走了其中 1.4 万条人命。

因此，微生物既是人类的朋友，又是人类的敌人。微生物学家的任务就是在认识微生物特性的基础上，增加其益处，减少其危害。

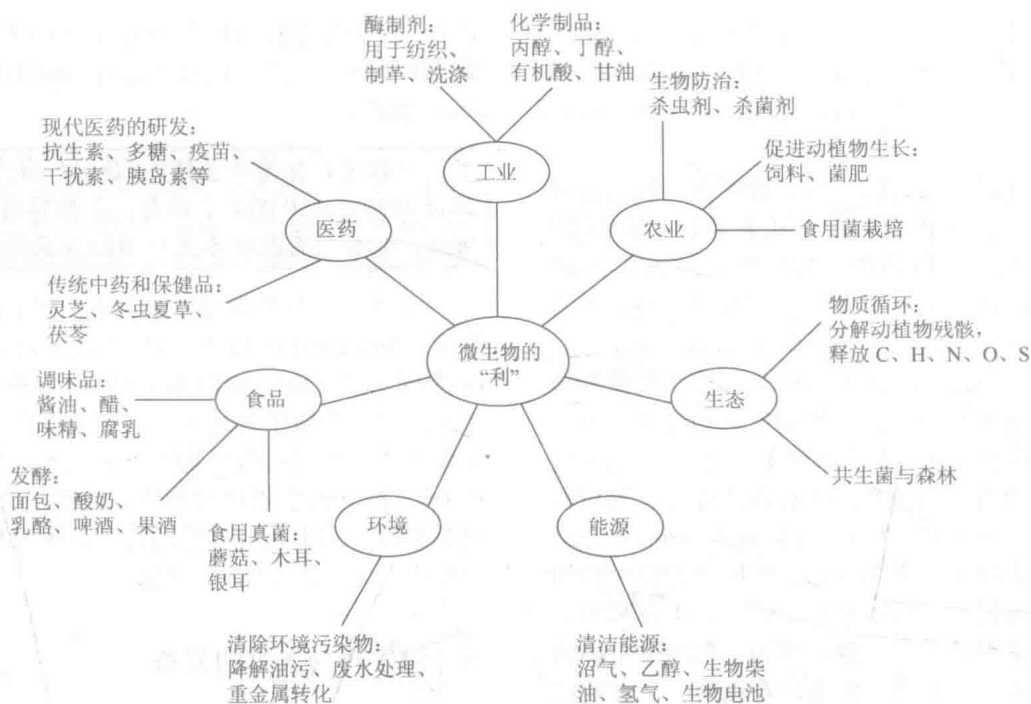


图 1-1 微生物对人类的“利”

四、微生物学的研究内容

微生物学 (microbiology) 是研究微生物生命活动规律、技术方法及开发应用的一门学科, 以 17 世纪显微镜的发明为标志, 但直到 19 世纪五六十年代巴斯德的微生物自然发生说的诞生, 才使微生物学成为了主流科学。具体的研究内容包括微生物形态结构、生理生化、遗传变异、分类进化等自身的生命活动规律; 微生物在自然界各种元素的生物地球化学循

环中的作用及与其他微生物之间、与动植物之间、与外界环境理化因素之间的相互关系; 微生物在工业、农业、医疗卫生、环境保护、食品生产等各个领域中的广泛应用; 以及研究微生物所需的特有技术, 如纯种分离技术、无菌操作技术、发酵技术等。

随着研究的不断深入, 微生物学在基础微生物学 (basic microbiology) 和应用微生物学 (applied microbiology) 的基础上, 已形成了多个分支学科 (图 1-2), 推动着人类社会的进步和经济的发展。

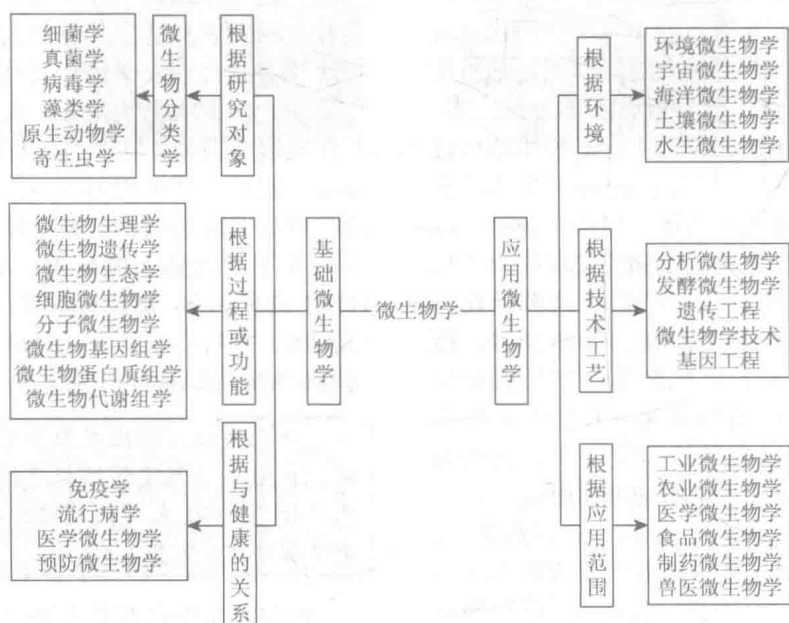


图 1-2 微生物学的主要分支学科

第二节 微生物学简史

一、微生物的发现

早期,人们虽然还不知道微生物这个概念,但在实际生活中已广泛应用。例如,我国 8000 年前就利用酒曲酿酒,2500 年前开始酿酱和醋,用曲治疗消化道疾病等;公元前 400 年,希腊医生希波克拉底(Hippocrates)认识到疾病可通过患者的衣物传染,我国名医华佗也提出了“割腐肉以防传染”。

直到 17 世纪下半叶,显微镜的发明才使人们真正认识微生物。首先英国的罗伯特·胡克(Robert Hooke)利用一个复式显微镜观察并描绘了土壤中类似真菌子实体的第一个显微结构。随后荷兰布衣商人安东尼·范·列文虎克(Antony van Leeuwenhoek, 1632~1723)凭借对制作显微镜的爱好,先后制作了 400 多架显微镜,分别在雨水、湖水、死水潭、患者身上和口腔中都观察到了若干形状各异的“微小动体”,并发现这些微小动体随着时间延长,数量会增加。于是,他将观察到的结果发表在英国皇家学会会刊上。可以说,他是描述细菌形态的第一人,对微生物世界的开启具有划时代的意义。但他对自己制作显微镜的技术守口如瓶,并拒绝卖给别人,使得在他逝世后的一个多世纪,微生物学的发展停滞不前。

二、微生物学的早期研究

19 世纪中期,随着显微镜不断改进和微生物培养技术的发展,微生物的本质被逐渐揭开。其间,路易斯·巴斯德的曲颈瓶实验推翻了微生物自然发生说;费迪南德·科恩(Ferdinand Cohn)建议从形态学上对细菌进行分类,他最早使用了“杆状”来描述细菌,并发现耐热细菌存在内生孢子,从而奠定了细菌分类学基础;罗伯特·科赫(Robert Koch)建立的微生物纯培养技术证明了细菌和疾病之间的联系,从而开启了病原微生物的黄金时期。该时期,将微生物学研究从形态描述水平推进到了生理学研究水平,自此形成了独立的微生物学学科。这里主要介绍微生物学主要奠基人巴斯德和科赫的贡献。

(一) 路易斯·巴斯德

巴斯德(图 1-3)生于法国东部东尔城,爱好

画画,20 岁时以优异成绩考入巴黎高等师范学校(Ecole Normale Supérieure)学习物理学和化学。他最初是名化学家,在化学方面具有较深的造诣,开辟了光学异构体新领域,发现染了霉菌的溶液的光学活性会变强,并提出了具有光学活性的有机物形成都是生物体生命活动的结果。虽然他不擅长微生物学,但他总是怀揣着理论探索的热情去解决实际问题,然后又从实践中总结概括去推动理论的发展。渐渐地,其研究兴趣转移到了微生物学领域。



图 1-3 路易斯·巴斯德(Louis Pasteur, 1822~1895)

有位利用甜菜进行乙醇发酵的企业家请求巴斯德帮助解决他们工厂遇到的杂质干扰乙醇正常发酵的问题。当时,社会上普遍认为乙醇发酵是一个严格的化学反应过程,发酵液中的能使糖转化成乙醇的酵母细胞是复杂的化学物质,而不是生物体。但巴斯德经过细心的化学分析和显微观察,发现了发酵液中除了有酵母菌以外,还有更小的生物体存在,而且有具有旋光活性的戊醇化合物存在,由此,凭借他多年的化学功底,提出了发酵不单纯是化学变化过程,而是有微生物体参与的生物反应过程,且不同的微生物可产生不同的代谢产物。此后,他还发现了乳酸发酵、乙酸发酵、丁酸发酵,这些都是由不同的细菌引起的。可以说巴斯德是微生物发酵生理学的创始人。

为了进一步证明发酵源于生物体活动,巴斯德着手进行了著名的曲颈瓶实验,有力地驳斥了自然发生说。当时争论的问题是有有机溶液的腐败是外源微生物入侵的呢?还是微生物自然发生的