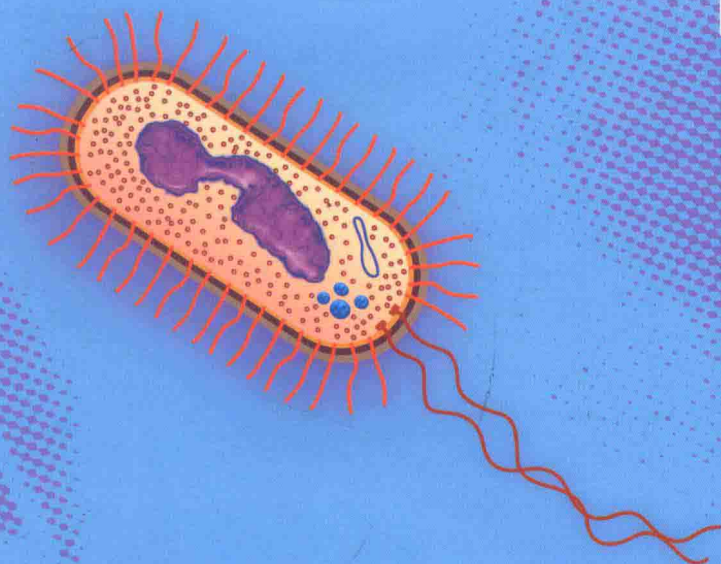




iCourse 教材
生物技术与生物工程系列



微生物学

.....
Microbiology

主编 邓子新 陈 峰

高等教育出版社



微生物学

.....
Microbiology

主 编 邓子新 陈 峰

副主编 王玉炯 张晓昱

编 者 (按姓名拼音排序)

蔡 谨(浙江大学)

陈 峰(上海交通大学)

陈 强(四川农业大学)

邓光存(宁夏大学)

邓子新(上海交通大学/武汉大学)

李 敏(宁夏大学)

梁晶丹(上海交通大学)

刘天罡(武汉大学)

马富英(华中科技大学)

苏建宇(宁夏大学)

孙 群(四川大学)

汪志军(上海交通大学)

王玉炯(宁夏大学)

吴 健(郑州大学)

徐 俊(上海交通大学)

余洪波(华中科技大学)

虞 沂(武汉大学)

张晓昱(华中科技大学)

张作明(吉林大学)

内容提要

本书由上海交通大学邓子新院士牵头,国内9所高校从事微生物学教学、科研工作的老师共同编写而成,把握了微生物学近几十年来迅猛发展的脉络,从微生物的形态结构入手,再论及微生物分子生物学和基因重组技术,并对微生物生态学、宏基因组学与微生物演化进行了阐述,反映了现代微生物学和微生物生物技术发展的主流。全书共分15章,内容包括绪论、原核生物的结构与功能、真核生物的结构与功能、病毒、微生物的营养、微生物的生长和控制、微生物代谢、微生物遗传与育种、微生物系统发育与分类、微生物生态与环境微生物、病原微生物、传染与免疫、微生物与食品、微生物与农业、工业微生物与发酵。

本书采用“纸质教材+数字课程”的出版形式,纸质教材内容精炼,各章均设置了知识导图、开放讨论题、推荐阅读等辅学内容;数字课程资源包括发现之路、知识拓展、科技视野、技术应用、视频、动画、教学课件、自测题、参考文献等内容,有助于学生自主学习,重构学习方式,更好地掌握知识点。

本书可作为高等院校生物技术、生物工程、生物科学、生物信息学等专业的教学用书,也可供从事相关研究和开发的人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微生物学 / 邓子新, 陈峰主编. -- 北京: 高等教育出版社, 2017.8

iCourse·教材: 生物技术与生物工程系列

ISBN 978-7-04-046769-7

I. ①微… II. ①邓… ②陈… III. ①微生物学-高等学校-教材 IV. ①R37

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第318008号

Weishengwuxue

项目策划 吴雪梅 王莉 单冉东

策划编辑 王莉 责任编辑 田红 王莉 封面设计 王凌波 责任印制 赵义民

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn
印 刷	固安县铭成印刷有限公司		http://www.hepmall.com
开 本	889mm×1194mm 1/16		http://www.hepmall.cn
印 张	21.5	版 次	2017年8月第1版
字 数	630千字	印 次	2017年8月第1次印刷
购书热线	010-58581118	定 价	48.00元
咨询电话	400-810-0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物料号 46769-00

iCourse · 数字课程 (基础版)

微生物学

主编 邓子新 陈 峰



iCourse · 教材
生物技术与生物工程系列

登录方法:

1. 电脑访问 <http://abook.hep.com.cn/46769>, 或手机扫描下方二维码、下载并安装 Abook 应用。
2. 注册并登录, 进入“我的课程”。
3. 输入封底数字课程账号 (20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
4. 点击“进入学习”, 开始本数字课程的学习。

课程绑定后一年为数字课程使用有效期。如有使用问题, 请发邮件至:

lifescience@pub.hep.cn

微生物学

主编 邓子新 陈 峰

用户名 密码 验证码 进入课程

注册

内容介绍

纸质教材

版权信息

联系方式

微生物学数字课程与纸质教材一体化设计, 紧密配合。立足全面展现课程知识体系并反映学科快速发展的趋势和成果, 数字课程涵盖了发现之路、知识拓展、科技视野、技术应用、视频、动画、教学课件、自测题、参考文献等多种资源, 不仅丰富了知识的呈现形式, 而且立体化的教学设计更加贴合课程教学的实际需要。在提升课程教学效果的同时, 为学生学习提供了更多思考和探索的空间。

高等教育出版社

<http://abook.hep.com.cn/46769>

扫描二维码, 下载Abook应用



“十二五”期间是高等教育继续深化改革、走以提高质量为核心的内涵式发展道路的关键时期。课程建设是教育教学改革的重要内容，课程建设水平对教学质量和人才培养质量具有重要影响。2011年10月12日教育部发布了《教育部关于国家精品开放课程建设的实施意见》(教高〔2011〕8号)，开启了信息技术和网络技术条件下校、省、国家三级精品开放课程建设的序幕。作为国家精品开放课程展示、运行和管理平台的“爱课程(iCourse)”网站也逐渐为高校师生和社会公众认知和使用。截至目前，已有2600多门资源共享课和800多门视频公开课在“爱课程(iCourse)”网站上线。

高等教育出版社承担着“‘十二五’本科教学工程”中国国家精品开放课程建设的组织实施和平台建设运营的重要任务，在与广大高校的调研和协作中，我们了解到当前高校的教与学发生了深刻变化，也真切感受到课程和教材建设所面临的挑战和机遇。如何建设支撑学生自主学习和校企共建共享的课程和新形态教材成为现实课题，在教育部高等学校生物技术、生物工程类专业教学指导委员会的指导下，结合我社2009年以来在数字课程建设上的探索和实践，我们提出了“高等学校生物技术与生物工程专业精品资源共享课及系列教材”建设项目，项目建设得到了众多高校的积极响应和广泛参与。2013年5月以来，分别在上海、天津、沈阳、杭州、武汉、无锡、银川等地陆续召开了项目启动会议、主编会议和编写会议。2015年，项目成果“iCourse·教材：生物技术与生物工程系列”陆续出版。

本系列教材涵盖生物技术、生物工程专业15门基础课程和专业课程，在出版形式、编写理念、内容选取等方面体现以下特点：

1. 采用“纸质教材+数字课程”的出版形式。纸质教材与丰富的数字教学资源一体化设计，纸质教材内容精炼适当，并以新颖的版式设计和内容编排，方便学生学习和使用；数字课程对纸质教材内容起到巩固、补充和拓展作用，形成以纸质教材为核心，数字教学资源配合的综合知识体系。

2. 创新教学理念，引导自主学习。通过适当的教学设计，鼓励学生拓展知识面和针对某些重要问题进行深入探讨，增强其独立获取知识的意识和能力，为学生自主学习和教师创新教学方法提供支撑。

3. 强调基础与技术、工程应用之间的紧密联系，注重学生应用能力培养。在讲述理论的同时，通过数字课程对学科前沿进展和工程应用案例进行延伸，在概念引入和知识点讲授上也尽量从实际问题出发，这不仅有利于提高学生的学习兴趣，也有助于加强他们的创新意识和创新能力。

4. 教材建设与资源共享课建设紧密结合。本系列教材是对各校精品资源共享课和教学改革成果的集成和升华，参与院校共建共享课程资源，更可支持各级精品资源共享课的持续建设。

本系列教材以服务于生物技术、生物工程专业课程教学为核心,汇集了各高校学科专家与一线教师的智慧、经验和积累,实现了内容与形式、教学理念与教学设计、教学基本要求与个性化教学需求,以及资源共享课与教材建设的一体化设计,以期对我国生物技术与生物工程专业教学改革和人才培养产生积极影响。

建设切实满足高等教育教学需求、反映教改成果和学科发展、纸质出版与资源共享课紧密结合的新形态教材和优质教学资源,实现“校际联合共建,课程协同共享”是我们的宗旨和目标。将课程建设及教材出版紧密结合,采用“纸质教材+数字课程”的出版形式,是一种行之有效的方法和创新,得到了高校师生的高度认可。尽管我们在出版本系列教材的工作中力求尽善尽美,但难免存在不足和遗憾,恳请广大专家、教师和学生提出宝贵意见与建议。

高等教育出版社

2015年6月

前 言

微生物学科源远流长，博大精深，它是生命科学最早的学科门类之一，从民间到学界，从学界又到民间，传颂了一个又一个人类与自然互动的故事，铭刻了科学史上一次又一次激动人心的传奇。它的历史、现在和将来，在不同时期科学家们著书立说中都可以找寻到由浅入深的发展踪迹，早已形成了系统和科学的知识和理论体系，而且为生物科学的整体发展做出了不可磨灭的贡献。光阴荏苒，时光如梭，今天的微生物学仍不失为当今生命科学的前沿，因为它驱动并辐射战略性新兴产业的发展走向，培植生命学科的整体前行，引领生命科学理论发展和深度利用的魅力已经再次显现。疫苗、新型药物、诊断试剂、极端酶类等各种生物产品会更多地以微生物为媒介进行生产，并更加广泛地应用于医药与人类健康、工农业生产、新能源、环境保护等国民经济的各个方面，以应对日益增多的各种严峻挑战，最终改善人类的生活。现代生命科学的迅猛发展，生物工程和技术的日新月异，尤其是多学科的渗透，越来越离不开微生物学的深度研究而进一步带来技术与理念的革命性变革。因此这对我们编撰这本《微生物学》教材提出了更高的要求。

本教材采用统一规划、集中编写、整体协调的指导思想，教材内容依据编者们对微生物学近几十年来迅猛发展的脉络的把握，以基础微生物为引线向分子水平过渡，密切关注现代基因技术向各个微生物领域如微生物生理学、微生物生态学、微生物进化和发育科学的渗透，力求把握现代微生物学发展的主流，反映最新的学科进展，符合和遵循由浅入深、循序渐进的学习规律，注重各知识之间的内在联系，结合生产应用与实践案例，做到理论与实际相结合，形成基础性、系统性、先进性、启发性、适用性和可读性的有机统一。特别是，本书紧跟当前学习方式的变化，创新性地推出“纸质教材+数字课程”相结合的形式。纸质教材提纲挈领，强调内容精炼，注重简洁与实用。数字课程包括可不断新增和更新的发现之路、知识拓展、科技视野、技术应用、视频、动画、教学课件、自测题等资源。在教与学的过程中，可有选择性、针对性地通过与纸质版教材一体化设计的标注、链接，在电脑或移动终端浏览相关内容，实现个性化的学习目标。

本教材是生命科学类本科专业学生的必修专业基础课程教材，主要面向生物技术、生物工程、生物科学及生物信息学等专业的本科生。教材由上海交通大学、浙江大学、武汉大学、华中科技大学、吉林大学、四川大学、宁夏大学、郑州大学和四川农业大学的多位从事教学科研的一线教师共同完成。正是基于各自的教学和科研岗位上积累的丰富经验，以及在人才培养和科学普及方面所做的各种有益

工作，编者由衷地希望呈现给大家一部教学适用性和前沿性俱佳的教材，使读者从中获取广泛的科学知识和技术营养，并顺利打开通向神秘广阔的微生物世界的大门。

书中不尽妥善和疏漏之处，恳请本领域的专家和广大读者给予批评与指正，以使本教材逐步完善。

编者

2017年3月

目 录

1 绪论	1	2.3.1 细菌的细胞壁	21
1.1 微生物与微生物学	2	2.3.2 缺壁细菌	24
1.1.1 什么是微生物与微生物学	2	2.3.3 古菌的细胞壁	25
1.1.2 微生物的特点	2	2.4 拟核与质粒	25
1.1.3 微生物对人类的影响	4	2.4.1 拟核	25
1.2 微生物学的发展历程	5	2.4.2 质粒	26
1.2.1 微生物的发现	5	2.5 细胞表面结构与功能	26
1.2.2 巴斯德与微生物学奠基	6	2.5.1 细菌鞭毛与菌体运动	27
1.2.3 科赫与微生物学奠基	7	2.5.2 菌毛与性毛	29
1.2.4 20世纪微生物学的快速发展	8	2.5.3 糖被结构	29
1.3 微生物学的未来	9	2.5.4 菌鞘	30
1.3.1 微生物多样性与微生物组学研究	9	2.5.5 菌柄	30
1.3.2 基因工程菌的构建与大规模应用	10	2.6 细胞质与内含物结构	30
1.3.3 利用微生物治理环境污染	10	2.6.1 70S核糖体	30
1.3.4 新型传染病的防治	11	2.6.2 内生芽胞	31
1.4 如何学习微生物学	11	2.6.3 颗粒状内含物	32
1.4.1 微生物学的学习目标	11	2.6.4 气泡	34
1.4.2 学习微生物学的方法与建议	11	3 真核微生物的结构与功能	36
2 原核生物的结构与功能	14	3.1 真核微生物细胞的结构与功能	37
2.1 原核生物的细胞结构概述	15	3.1.1 细胞壁	37
2.1.1 原核生物的外部形态	15	3.1.2 细胞膜	40
2.1.2 原核细胞的结构	17	3.1.3 细胞核	41
2.2 细胞膜	18	3.1.4 细胞质和细胞器	41
2.2.1 细菌细胞膜的结构	18	3.1.5 细胞表面附属物	46
2.2.2 古菌细胞膜的结构	19	3.2 真核微生物的分化	47
2.2.3 细胞膜的功能	21	3.2.1 真菌的营养体和繁殖体	47
2.3 细胞壁	21	3.2.2 其他真核微生物的分化	52
		3.3 真核微生物的起源、分类和分子演化	53

3.3.1 真核微生物的起源	53	6.1.1 细菌细胞的生长与分裂	102
3.3.2 真核微生物的分类	55	6.1.2 同步生长与同步培养技术	103
3.3.3 真核微生物的分子演化	55	6.1.3 丝状真菌个体生长	104
4 病毒	58	6.2 微生物的群体生长	104
4.1 病毒的形态及分类	60	6.2.1 微生物生长曲线	104
4.1.1 病毒的形态与大小	60	6.2.2 连续培养与连续发酵	105
4.1.2 病毒的化学组成	62	6.3 微生物生长的测定	107
4.1.3 病毒的分类和命名	63	6.3.1 微生物计数	107
4.2 病毒的增殖	65	6.3.2 微生物细胞质量测定	109
4.2.1 病毒增殖的一般特征	65	6.3.3 微生物生理指标测定	109
4.2.2 病毒的吸附和侵入	65	6.4 理化因素对微生物生长的影响	109
4.2.3 病毒核酸的复制和蛋白质的合成	65	6.4.1 温度	109
4.2.4 病毒的装配和释放	67	6.4.2 pH	111
4.3 病毒的培养与检测	68	6.4.3 氧气	112
4.3.1 病毒的培养	68	6.5 微生物的分离与培养	112
4.3.2 病毒的纯化	68	6.5.1 无菌操作技术	113
4.3.3 病毒的检测	69	6.5.2 微生物分离纯化技术	114
4.4 病毒的主要类群	70	6.5.3 微生物的培养	115
4.4.1 噬菌体	71	6.6 微生物生长的控制	116
4.4.2 动物病毒	74	6.6.1 控制微生物生长的物理方法	116
4.4.3 植物病毒	74	6.6.2 控制微生物生长的化学方法	118
4.4.4 昆虫病毒	75	7 微生物的代谢	120
4.5 亚病毒因子	76	7.1 代谢的热力学	121
4.5.1 卫星病毒	76	7.2 微生物的能量代谢	123
4.5.2 类病毒	76	7.2.1 能量代谢概论	123
4.5.3 朊病毒	77	7.2.2 化能异养微生物的生物氧化	123
5 微生物的营养	79	7.2.3 化能自养微生物的生物氧化	130
5.1 微生物的营养需求	81	7.2.4 光合微生物的能量产生	131
5.1.1 微生物的营养元素	81	7.3 微生物的物质代谢	134
5.1.2 微生物的营养物质	82	7.3.1 物质代谢概论	134
5.1.3 微生物的营养类型	87	7.3.2 合成代谢	134
5.2 微生物的物质运输	88	7.3.3 分解代谢	139
5.2.1 微生物对营养物质的吸收	88	7.3.4 初级代谢	140
5.2.2 微生物的产物分泌	94	7.3.5 次级代谢	142
5.3 培养基	96	7.4 微生物代谢的调控	143
5.3.1 培养基的配制原则	96	7.4.1 微生物调节代谢流的两种主要 方式	143
5.3.2 培养基的类型	98	7.4.2 代谢调控原理在发酵工业的应用	146
6 微生物的生长和控制	101	8 微生物的遗传与育种	150
6.1 微生物的个体生长	102	8.1 遗传的物质基础	151

8.1.1 DNA	152	9.3.2 微生物的系统发育鉴定方法	185
8.1.2 RNA	153	9.3.3 微生物的自动鉴定系统	186
8.2 微生物基因组	154	9.3.4 微生物的多相分类学研究	187
8.2.1 大肠杆菌基因组	154	9.4 《伯杰氏系统细菌学手册》	188
8.2.2 酿酒酵母菌基因组	154	9.4.1 《伯杰氏系统细菌学手册》简介	188
8.2.3 链霉菌基因组	155	9.4.2 古菌系统发育概观	189
8.2.4 丝状真菌基因组	155	9.4.3 细菌系统发育概观	192
8.2.5 基因组测序	156	10 微生物生态与环境微生物	195
8.3 质粒和转座因子	157	10.1 微生物生态学基础	196
8.3.1 质粒的结构	157	10.1.1 微生物生态系统	196
8.3.2 质粒的主要类型	158	10.1.2 微生物与微环境	198
8.3.3 质粒的特性	159	10.1.3 微生物聚集体	199
8.3.4 转座因子的分子结构和类型	160	10.2 环境中的微生物	200
8.4 微生物的突变	161	10.2.1 陆地环境中的微生物	200
8.4.1 突变与突变型	162	10.2.2 水环境中的微生物	202
8.4.2 突变的分子基础	162	10.2.3 空气中的微生物	206
8.4.3 DNA 损伤的修复	162	10.2.4 极端环境中的微生物	206
8.5 细菌的基因转移	165	10.2.5 生物环境与微生物	208
8.5.1 细菌的接合作用	165	10.3 微生物与生物地球化学循环	211
8.5.2 细菌的转化	165	10.3.1 碳循环	211
8.5.3 细菌的转导	167	10.3.2 氮循环	212
8.6 真菌的基因重组	167	10.3.3 磷循环	213
8.6.1 有性生殖	168	10.3.4 硫循环	214
8.6.2 准性生殖	168	10.3.5 铁循环	214
8.7 微生物的育种与保藏	169	10.4 环境污染物的生物降解与生物修复	215
8.7.1 诱变育种	169	10.4.1 难降解有机污染物的生物降解	215
8.7.2 基因重组育种	169	10.4.2 污水生物处理技术	216
8.7.3 代谢工程育种	170	10.4.3 污染环境的生物修复	217
8.7.4 合成生物技术育种	170	11 病原微生物	219
8.7.5 菌种的保藏	171	11.1 人体正常微生物群落与病原微生物	220
9 微生物的系统发育与分类	174	11.1.1 皮肤微生物群落	221
9.1 微生物的系统发育学	175	11.1.2 口腔微生物群落	221
9.1.1 微生物与生命起源	175	11.1.3 胃肠道微生物群落	222
9.1.2 系统发育分析	177	11.1.4 人体其他部位的微生物群落	224
9.1.3 细胞生物的三域学说	178	11.1.5 食源性病毒	225
9.2 微生物分类特征和分类方法	179	11.2 植物病害	226
9.2.1 分类等级	179	11.2.1 真菌性植物病害	226
9.2.2 分类系统	180	11.2.2 细菌性植物病害	227
9.2.3 分类指标	181	11.2.3 病毒性植物病害	227
9.3 微生物分类鉴定	184	11.3 病原微生物的毒力和致病性	227
9.3.1 微生物的命名法则	185		

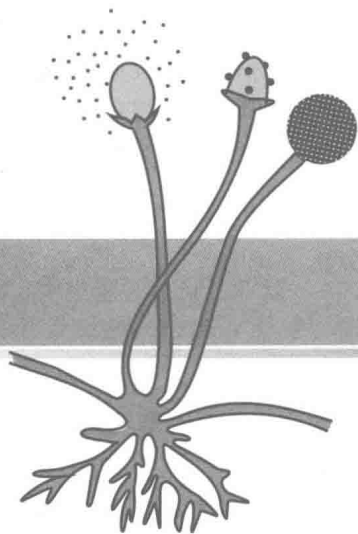
11.3.1 毒力测定	228	13.2.1 影响微生物生长的食品内外 因素	269
11.3.2 致病菌入侵方式——黏附	229	13.2.2 化学和生物控制法保存食品	271
11.3.3 定植和感染	230	13.2.3 物理方法保存食品	271
11.3.4 侵袭	230	13.2.4 栅栏理论在食品防腐保鲜上的 应用	273
11.3.5 外毒素	231	13.3 食源性致病微生物的检测	274
11.3.6 内毒素	234	13.3.1 常规检验	274
11.4 感染中的宿主因素	236	13.3.2 食源性致病微生物的检测方法	275
11.4.1 感染宿主的风险因素	236	13.3.3 预测食品微生物学	277
11.4.2 天生对抗感染的抵抗力	237	13.4 微生物与食品工业	278
12 传染与免疫	240	13.4.1 发酵食品及生产工艺	278
12.1 传染	241	13.4.2 食用菌的分类与生产	280
12.1.1 传染与传染病	241	13.4.3 食品质量与安全的指示菌	281
12.1.2 决定传染结局的因素	242	14 微生物与农业	284
12.1.3 传染的结局	242	14.1 微生物肥料	285
12.2 免疫系统	243	14.1.1 植物根际促生细菌	286
12.2.1 免疫器官	243	14.1.2 根瘤菌肥料	288
12.2.2 免疫细胞	243	14.1.3 固氮菌肥料	289
12.2.3 免疫分子	244	14.1.4 解磷细菌肥料	290
12.3 非特异性免疫	246	14.1.5 菌根菌肥料	291
12.3.1 屏障结构及其作用	246	14.2 微生物农药	293
12.3.2 正常体液和组织中的抗菌物质	246	14.2.1 微生物杀虫剂	294
12.3.3 吞噬细胞及其吞噬作用	247	14.2.2 微生物杀菌剂	298
12.3.4 炎症反应	248	14.2.3 微生物除草剂	300
12.4 特异性免疫	248	14.3 微生物饲料	301
12.4.1 抗原和抗体	248	14.3.1 单细胞蛋白饲料	301
12.4.2 体液免疫	251	14.3.2 青贮饲料	302
12.4.3 细胞免疫	254	14.3.3 发酵饲料	303
12.5 免疫学技术及应用	256	15 工业微生物与发酵	305
12.5.1 抗原-抗体反应的一般规律	256	15.1 微生物发酵生产概况及特点	306
12.5.2 传统的免疫学技术	257	15.1.1 微生物发酵生产的历史	306
12.5.3 现代免疫学技术	257	15.1.2 微生物发酵生产的概况	307
12.5.4 生物制品及其应用	258	15.1.3 微生物发酵生产的特点	308
13 微生物与食品	261	15.2 微生物发酵	308
13.1 微生物生长与食品腐败	262	15.2.1 微生物发酵形式和反应器类型	308
13.1.1 食品微生物的分类和作用	262	15.2.2 微生物发酵的放大过程	312
13.1.2 各类食品中的腐败菌	264	15.2.3 培养基的设计和优化	313
13.1.3 细菌性食物中毒	265	15.2.4 发酵工艺和控制	315
13.1.4 真菌毒素中毒	267	15.3 工业微生物的主要应用	316
13.1.5 病毒性食物中毒	268		
13.2 食品腐败控制与保存	269		

15.3.1	微生物发酵生产氨基酸	316
15.3.2	微生物发酵生产酶制剂	317
15.3.3	微生物发酵生产抗生素	318
15.3.4	微生物能量代谢产物	319
15.3.5	微生物与生物炼制	323
15.3.6	微生物与生物能源	326

附录 I 名词索引 ㊟

附录 II 微生物学名索引 ㊟

附录 II 微生物中文名索引 ㊟



绪 论

● 1.1 微生物与微生物学

什么是微生物与微生物学；微生物的特点；微生物对人类的影响

● 1.2 微生物学的发展历程

微生物的发现；巴斯德与微生物学奠基；科赫与微生物学奠基；20世纪微生物学的快速发展

● 1.3 微生物学的未来

微生物多样性与微生物组学研究；基因工程菌的构建与大规模应用；利用微生物治理环境污染；新型传染病的防治

● 1.4 如何学习微生物学

微生物学的学习目标；学习微生物学的方法与建议

在地球形成于宇宙的46亿年间，微生物存在于地球的历史至少有35亿年之久。地球上所有生物之中，微生物是种类最为繁多、代谢最为多样、生长最为快速、变异最为迅速的生物类别。和一般大众的认识不同的是，微生物并不是分类学上的专有词汇，它是一类个体微小、结构简单、一般需要借助显微镜才能看到的生物的总称。自17世纪荷兰人列文虎克用自制显微镜首次观察到微生物、19世纪法国人巴斯德与德国人科赫为现代微生物学奠基以来，微生物学已经成为现代生命科学和生物技术的重要组成部分。近年来，高通量测序、宏基因组学等新兴研究方法的出现，将微生物学的研究推向了一个新的发展阶段。

通过本章学习，可以掌握以下知识：

1. 微生物与微生物学的定义
2. 微生物的特点
3. 微生物与人类的关系
4. 微生物学的发展历程与展望
5. 学习微生物学的方法

关键词

微生物 微生物学 系统发育树 科赫法则 微生物组

1.1 微生物与微生物学

1.1.1 什么是微生物与微生物学

微生物 (microorganism) 是自然界中体形微小、结构简单、肉眼一般看不见, 必须借助光学显微镜或电子显微镜才能观察到的微小生物的总称。从定义来说, “微生物” 一词不是分类学上的专有词汇, 仅是一大群“微小生物”的总称。在生物的分类上, 植物属于植物界 (Kingdom Plantae)、动物属于动物界 (Kingdom Animalia), 但不存在一个“微生物界”。

微生物学 (microbiology) 是研究微生物的形态、生命活动规律及其防治和应用的学科, 其研究对象见图 1-1。微生物学是一门理论与应用相结合的学科, 在学习过程中, 必须牢固建立一种“微小”的眼光, 即能够“知道”或“看到”什么地方是“有菌”的, 什么地方是“无菌”的, 并能清楚地知道如何才能保持操作环境的“无菌”状态, 知道如何培养自己所需要的微生物。

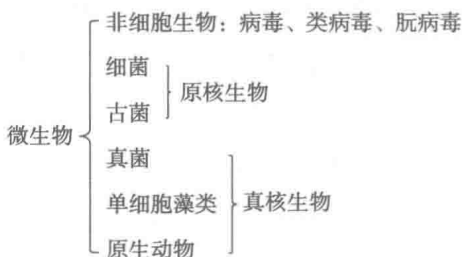


图 1-1 微生物学的研究对象

1.1.2 微生物的特点

1.1.2.1 个体微小, 繁殖迅速

大多数细菌细胞的直径为 $0.2 \sim 1 \mu\text{m}$, 大多数真菌细胞的直径为 $2 \sim 10 \mu\text{m}$, 最大的病毒直径约 280 nm , 最小的病毒直径只有 20 nm 左右。例如一个大肠杆菌 (*E. coli*) 大约为 $1 \mu\text{m} \times 2 \mu\text{m}$, 这是原核生物最常见的尺寸。1 500 个大肠杆菌首尾相连才等于一粒芝麻的长度。一个大肠杆菌的质量大约是 10^{-12} g , 也就是说 10 亿个大肠杆菌才有 1 mg 。

相对于大型细胞而言, 小细胞有更大的比表面积 (即表面积与体积的比值), 这有利于它们和周围环境进行物质、能量、信息的交换。更快速的物质与能量交换速率, 意味着更快速地生长与繁殖, 因此与大型的真核生物相比, 微生物生长繁殖更为迅速。

以 1 个大肠杆菌 (仅 10^{-12} g) 为例, 在适宜的培养基中, 它可以每 20 min 分裂一代, 以零时间为起点, 20 min 后有 2 个细胞 (2^1 个), 再 20 min 后有 4 个细胞 (2^2 个) ……那么 1 天之后 (24 h , 共 72 个 20 min) 将有 4 722 366 583 万亿个细胞 (2^{72} 个), 即 $4 722 \text{ t}$; 2 天之后 (48 h , 共 144 个 20 min) 将有 2.2×10^{43} 个后代, 重达 $2.2 \times 10^{25} \text{ t}$, 也就是 4 000 个地球的质量。然而事实上, 在我们每个人的肠道里, 都有无数个大肠杆菌与我们平安共度了无数个夜晚, 但它们从来都没有“撑爆”过我们的肚皮! 有人说那是因为我们不断地排出多余的大肠杆菌, 可是有谁能产生哪怕是 1 个地球质量的粪便

呢? 所以, 真实的情景是, 哪怕在适宜的培养基中, 大肠杆菌由于培养条件的限制(主要是营养物的限制和代谢废物的积累), 只能维持数小时的对数生长(以2的 n 次方增长), 随后即出现生长的拐点。另外, 需要注意的是, 人和动物的肠道虽然是大肠杆菌的原始生境, 但肠道中的营养实际上并不如微生物学家为大肠杆菌专门设计的培养基, 所以大肠杆菌在动物肠道里的生长速率通常慢于实验室的培养基环境。

1.1.2.2 种类繁多, 分布广泛

目前已经定名的微生物有十余万种, 但这些微生物可能仅占微生物种类的1%以下。微生物的多样性至少可以有三层含义: 其一是形态的多样性(morphological diversity), 即基于微生物的大小、形状所展现的多样性; 其二是功能的多样性(functional diversity), 即基于微生物的生理、生态、代谢等功能不同所带来的微生物的多样性, 也可称为代谢的多样性; 其三是系统发育多样性(phylogenetic diversity), 即基于微生物之间的演化关系所带来的微生物的物种多样性。

系统发育多样性可以通过系统演化树清楚直观地表达出来, 并将不同的生物列入种、属、科各等级中。目前, 广泛使用的、基于16S rRNA序列(真核生物为18S rRNA序列)多样性所构建的系统发育树能清晰地展示地球细胞生物之间的系统发育多样性, 该系统发育树将细胞生物区分为三个域(domain): 细菌域(Bacteria)、古菌域(Archaea)和真核生物域(Eukarya)(见图9-5)。本书第9章将对系统发育学知识进行详细介绍。

微生物的代谢类型多样, 既有自养型也有异养型, 自养型中既有光能自养也有化能自养; 异养型微生物根据它们对其他生物的依赖性又可分为腐生、互生、共生和寄生等。微生物代谢类型的不同, 决定了其生理、生态功能的不同, 从而体现了微生物功能的多样性。功能的多样性可依据生物所具有的共同或相似的功能而归纳在一起, 如硝酸盐代谢、硫酸盐代谢、产甲烷作用、固氮作用等。生物之间相同或相似的功能往往是因为它们有相似或同源的基因或基因簇, 并由此具有相同或相似的生理特征、生态功能。需要注意的是, 相同或相似功能的两种生物不一定具有系统发育学的亲缘关系, 甚至有可能分属两个不同的域。

微生物的生活环境广泛, 土壤、水体、动植物体等无不存在各种微生物。土壤是细菌生存的大本营, 每克土壤中有高达数亿个细菌; 人体的体表及体内也存在大量的微生物, 如皮肤表面平均有10万个细菌/cm²; 人体肠道中微生物的总量可达100万亿个, 是人体自身细胞总数的100倍以上。可以说, 只要人迹可到之处, 都有微生物的存在; 人迹不到之处, 也可能有微生物的存在, 如科学家从南极3500 m以下永冻冰层分离得到了微生物。

1.1.2.3 容易变异, 遗传多样

大多数微生物是单细胞生物, 个体微小、结构简单, 每个细胞通常都与外界环境直接接触, 所以外界各种物理与化学因素易对细胞产生直接影响。微生物繁殖快、数量多, 这意味着基因组复制的次数也多。由于遗传物质在复制过程中存在自发突变, 自发突变频率一般为 $10^{-10} \sim 10^{-5}$, 所以微生物繁殖次数越多, 就意味着带有突变碱基的个体(突变体)越多。

大多数微生物不仅是单细胞生物, 其基因组还是单倍体, 所以微生物比多细胞的大型生物更易表现出表型效应。自发突变所带来的大多数表型效应不是有利的, 但在微生物生存环境发生改变时, 这些突变中的极少部分可能就会带来生存优势。例如, 在无青霉素的自然环境中, 无耐药性的野生型亲本往往比带有青霉素耐药性的突变株更有生存优势, 但环境发生改变, 有青霉素存在于环境中时, 不能抗青霉素的亲本无法生存, 耐药性突变株成为唯一可以存活并适应新环境的优势菌株。

以青霉素产生菌为例, 1943年时, 青霉素发酵的产量仅能达到20 U/mL发酵液。数十年以来, 科学家们不断用紫外线、乙烯亚胺等各种物理、化学方式人工诱导突变株, 青霉素产生菌的能力日益提高, 产量早已超过了10000 U/mL发酵液。

由于微生物易于变异的特点, 原核生物体的DNA序列差异很大, 即使是同一个种的不同菌株, 其基

因组 DNA 序列的差异也可能达到 30%。

1.1.2.4 抗逆性强，可长期保存

一些细菌可以产生抵抗极端恶劣环境的休眠体，即内生芽胞。内生芽胞对热和化学物质有极高抗性，100℃高温不能杀死内生芽胞。生物学实验室一般使用 121℃蒸汽灭菌 15 min，就是针对内生芽胞而设计的，以保证内生芽胞被高温灭活。

有科学家从形成于 2.5 亿年前的二叠纪盐晶中，发现了一些细菌的内生芽胞，取出后这些内生芽胞仍有活性，可正常萌发并形成营养态细胞。这是迄今发现的最古老的活的地球生命。

1.1.3 微生物对人类的影响

自从人类发现微生物以来，人类对微生物的了解日益深入。实际上，微生物并非只是给人类带来疾病和灾难的病原物，地球上大多数的微生物对人类都是无害甚至有益的，人类已经利用微生物广泛地服务于健康医疗、工业、农业、环境保护等方面。

1.1.3.1 作为病原物的微生物

100 年前，流感、肺炎、结核病、胃肠炎等由病原物引起的疾病曾长期位列人类死亡原因的前几大因素；近些年来，由病原物引起的感染性疾病 (infectious disease) 仍是低收入国家的主要死亡原因，但中等收入及高收入国家的主要死亡原因则是中风、心脑血管疾病等非感染性疾病。

得益于微生物学和医学的发展，只要能得到及时和正确的处理，感染性疾病已经不再像 100 年前那么致命了。许多曾经令人谈之色变的烈性传染病已经可以被很好地控制甚至被消灭 (如天花)，然而仍有不少感染性疾病对人类健康造成很大威胁，诸如疟疾、麻疹、结核、霍乱、肺炎、腹泻等仍然横行于发展中国家，特别是低收入国家；一些新型或原有的传染病仍可能突然爆发，如禽流感、SARS、埃博拉出血热等。因此，作为病原物的微生物依然是对人类生存的一个重要威胁。

1.1.3.2 微生物与医药

如上所言，虽然微生物作为病原物给人类带来了健康危害，但更多的微生物也给人类带来了健康的希望。抗生素是由细菌、真菌等微生物产生的，它使得人类获得了对抗致病菌的强大能力。自 20 世纪 20 年代亚历山大·弗莱明 (Alexander Fleming, 1881—1955) 发现青霉素以来，人类已经发现了上万种不同结构的抗生素，并有数十种用于临床医学。此外，医学上使用的许多生化药品也是由微生物发酵后提取而来，如辅酶 A、核黄素、维生素 C、生物素等。用微生物制成的疫苗，也广泛用于疾病的控制，如预防结核的卡介苗和预防小儿麻痹症的“糖丸”等。

1.1.3.3 微生物与农业

农业微生物学是微生物学的一个重要分支。农业生产与微生物有着密切的关系，对这些关系进行研究不仅增加了人类对自然的认识，也可以指导人类的农业生产过程。例如，牛的基因组中没有纤维素酶基因，但牛可以通过其瘤胃中共生的微生物菌群来降解纤维素，从而获得必需的养分。豆科植物与根瘤菌形成共生关系，通过根瘤可固定空气中的氮气，为植物提供必需的氮素营养。农业学家通过根瘤菌接种剂，大大提高了豆科植物的产量。有些芽胞杆菌可以产生伴胞晶体，伴胞晶体对人体无毒，但对鳞翅目昆虫有很强的毒性，将这些芽胞杆菌制成菌剂，就可以作为生物农药使用。

有些微生物是农作物或畜禽的病原物，它们导致的感染造成农业和畜牧业的重大损失，甚至对人类的健康带来危害。例如，一些真菌可以在玉米采收之前就感染玉米，造成玉米带有真菌毒素，这些带毒玉米一旦被动物或人食用，就可能造成慢性甚至急性中毒。

1.1.3.4 微生物与食品工业

微生物与食品工业的关系主要体现在三个方面：食品安全、食品保存与食品生产。

食品安全 (food safety) 指在食品加工、存储、销售等过程中确保食品卫生及食用安全，降低疾病隐患，防范食物中毒，并符合应有的营养要求，对人体健康不造成任何急慢性危害。食品安全需要保

知识拓展 1-1
WHO: 2012 年全
球前十位人类主
要死亡原因