



普通高等教育“十三五”规划教材

微生物生物学

(第二版)

李颖 李友国 主编

BIOLOGY OF MICROORGANISMS

(SECOND EDITION)



科学出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

微生物生物学

(第二版)

李 颖 李友国 主编

科学出版社

内 容 简 介

本书是引领本科生进入微生物学领域的基础教材,围绕微生物形态、生理、遗传、生态和应用等方面知识进行了全面阐述,并对每章内容的发展趋势及前沿信息提供了相关拓展阅读的内容。全书包括 13 章,即绪论、细菌、古菌、真核微生物、病毒、微生物的营养、微生物的代谢、微生物的生长与环境条件、微生物遗传和变异、微生物生态、微生物的感染与免疫、微生物的分类及微生物的应用。叙述简明扼要、概念清晰,可读性强。

本书可供农林院校和综合型院校作为微生物学课程教材,也可作为科研人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

微生物生物学 / 李颖, 李友国主编. —2 版. —北京: 科学出版社, 2019.4

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-060869-7

I. ①微… II. ①李… ②李… 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 (2019) 第 049066 号

责任编辑: 刘 畅 / 责任校对: 严 娜

责任印制: 师艳茹 / 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>

北京市密东印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 4 月第 二 版 印张: 32 彩插 4

2019 年 4 月第七次印刷 字数: 819 000

定价: 98.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

编者名单

主 编 李 颖（中国农业大学）

李友国（华中农业大学）

编写人员（以编写章节为序）

李友国（华中农业大学）

文 莹（中国农业大学）

崔中利（南京农业大学）

李 颖（中国农业大学）

王献兵（中国农业大学）

王 磊（中国农业大学）

陈雯莉（华中农业大学）

封文海（中国农业大学）

陈文峰（中国农业大学）

第二版序言

在科学出版社的支持下,《微生物生物学》(第二版)由中国农业大学、华中农业大学和南京农业大学具有多年教学经验的教师合作完成,这是在第一版的基础上,结合目前微生物学科不断发展的趋势和当前国内教学需要进行规划和编写的,并得到了国内外相关领域专家、学者的热情帮助。该书的编写不仅保留了三所农业院校一贯遵循的“尊重历史,注重基础,着眼未来,为农业生产服务”的教学理念,而且在每章后开辟了“拓展阅读”板块,希望能引领学生进一步通过阅读、思考,开阔思路,不断提高服务于社会的意识和能力。

李季伦

中国科学院院士

2018年11月8日

第一版序言

微生物在当代生命科学发展过程中,扮演了重要角色。由于它们形体微小,结构简单,生长繁殖迅速,便于大量培养,因而成为研究生物科学和技术的首选对象。生物的生命活动基本规律许多是在微生物中先被阐明,而后扩展到高等动植物中得到验证,说明不同生物具有同一性。分子生物学的研究也已指出,所有生物(包括最小的病毒颗粒)编码各种氨基酸的遗传密码子基本都可通用,因此将合成人胰岛素的基因引入原本不能产生该物质的大肠杆菌,使后者也能产生人胰岛素,从而人类进入了生物技术的新时代。目前人们可按照自己的愿望,利用基因操作技术,改造某种生物成为人类所需要的新物种。另一方面,正是由于生物有多样性,才组成了五彩缤纷、生机勃勃的世界。微生物虽小,但它们的多样性却表现得异常突出。在一般高等动植物不能存活的强酸、强碱、高温、低温、高盐、高压或缺氧等极端环境中,往往有适应该极端环境的各式各样的微生物生长和繁殖,从而开辟了研究极端环境中生命活动特殊规律的新领域。

此外,微生物在自然界物质循环中起着重要作用,同时也和人类社会的关系非常密切。有些微生物是高等动植物和某些微生物传染病的病原;有些微生物可产生毒素,毒害人类和家畜;有些微生物则产生各式各样的抗生素,可用以防治人或动植物的病虫害;有些微生物可产生促生物质,有利于人或动植物的生长;有些微生物的代谢产物是重要的化工原料;有些微生物可用于食品加工和酿造;有些微生物可用于污水或垃圾处理、修复被污染的土壤等等。消灭有害的和利用有益的微生物属于应用微生物学(如医药微生物学、工业微生物学、农业微生物学、食品微生物学以及土壤和环境微生物学等)的范畴。

综上所述,微生物个体虽小,但所起的作用甚大,不仅涉及到生命科学各个领域,而且已得到广泛应用,形成了庞大的行业,与人类社会的发展密切相关。大学生们对微生物的基本知识应有所了解。

由杨苏声和周俊初两位教授主编的《微生物生物学》系统全面、简明扼要、图文并茂地介绍了微生物的形态与分类、生理、遗传以及生态等当代微生物的生物学基础知识和技术,并展望了该学科的发展前景,适合作为我国高等院校生物学科的基础微生物学教材,并为广大学生进一步学习和研究应用微生物学以及其他相关学科提供坚实的基础。

李季伦

中国科学院院士

2004-8-10

第二版前言

本书第一版由中国农业大学生物学院杨苏声教授和华中农业大学生命科学技术学院周俊初教授主编，于2004年9月由科学出版社出版，重印多次，至今已经沿用了15年，在教学实践中发挥了重要作用。

接过前辈的接力棒，我们承担了本书的编写任务。根据教学学时的要求，经过详细研讨，我们制订了本书的大纲，将原书16章的内容缩编为13章。分别为绪论、细菌、古菌、真核微生物、病毒、微生物的营养、微生物的代谢、微生物的生长与环境条件、微生物遗传和变异、微生物生态、微生物的感染与免疫、微生物的分类及微生物的应用。在每个章节后提供了一定数量的思考题，全书末提供了参考文献。为了引导学生自学微生物领域新知识，了解前沿动态，我们在每章后开辟了“拓展阅读”板块，根据章节内容，选择性地介绍了重要进展和知识热点，并提供了相关参考文献，旨在本书有限的版面中为学生提供更多的信息，从而激发和延伸学生的兴趣，启迪和拓展探究式的学习思路。

本书由中国农业大学、华中农业大学、南京农业大学长期工作在教学一线的教师合作完成。第一、九章由李友国编写，第二章由文莹编写，第三、十三章由崔中利编写，第四、八章由李颖编写，第五章由王献兵编写，第六章由王磊编写，第七、十章由陈雯莉编写，第十一章由封文海编写，第十二章由陈文峰、李颖编写。全书由李颖、李友国统稿。

我们的编写宗旨是注重基础知识和技能，指导学生在掌握基本概念的同时，提高思考、分析的能力，为后续的学习奠定牢固的基础。本书的特色主要有三个方面：其一，微生物学是农业类高校传统的优势学科，总结并融合了三所学校的教学经验，确定和优化了本书各个章节的结构体系。本着夯实基础的原则，对本书体系和内容进行了科学组织，做到结构上循序渐进，内容上深入浅出；从个性到共性，从理论到应用。同时，参阅了国内外最新版本的微生物学相关专著、文献和教材，扩充和加强了病毒、免疫学、基因操作、代谢调控等方面的重点知识和技术。其二，根据三所学校的微生物学科优势，突出特色内容，反映了农业微生物领域的最新知识和动态，包括微生物在自然界物质转化中的重要作用、菌（包括病毒）植互作及其相关机制、土壤及环境修复等。其三，在本书编写过程中，得到了国内外相关领域专家的热情帮助，特别是在拓展阅读部分增加了前沿领域的新信息，尽可能地把微生物学的新知识、新技术和新思想，及时地融入本书，体现其新颖性和先进性。作为高等农业院校生物学科的基础课程，本书是引领学生进入微生物学世界的钥匙，在编写中力求做到概念准确，语言描述清楚、严谨。

衷心感谢李季伦院士为本书撰写序言，感谢徐孝华教授、杨苏声教授、周俊初教授等在以往长期的教学实践和教材写作过程中打下的良好基础，感谢于嘉林教授和李大伟教授（中国农业大学）、肖天研究员（中国科学院海洋研究所）、吴龙飞教授（法国科研中心地中海微生物研究所）、刘杏忠研究员和郭惠珊研究员（中国科学院微生物研究所）、王风平教授和王寅熠博士（上海交通大学）、张维佳副研究员（中国科学院深海科学与工程研究所）和王旭博士（中山大学）等热心地提供最新资料，认真地审核相关章节并提供综合作图，

希望我们共同合作及努力的成果,能充分运用到今后的教学工作中并激发学生对科学探究的兴趣。感谢科学出版社刘畅编辑及其团队为本书出版所付出的努力。

由于我们的能力和水平有限,书中难免会出现不足之处,希望广大读者给予批评和指正,我们将不断改进。

编 者

2019年1月

目 录

第二版序言

第一版序言

第二版前言

第一章 绪论	1
一、微生物及其特点	1
二、微生物在生物界中的地位	1
三、微生物学的研究范畴	3
四、微生物学的发展历程	3
五、微生物学的最新趋势	8
复习思考题	12
拓展阅读	12
第二章 细菌	14
第一节 细菌的形态	14
一、细菌的个体形态和大小	14
二、细菌的繁殖和群体形态	17
第二节 细菌的结构和功能	19
一、细胞壁	19
二、细胞质膜	25
三、拟核和质粒	27
四、间体及其他内膜结构	27
五、细胞质及其内含物	30
六、细菌细胞的特殊结构	33
第三节 放线菌	40
一、放线菌的个体形态	41
二、放线菌的繁殖和群体形态	43
第四节 蓝细菌	44
一、蓝细菌的形态和结构特征	44
二、蓝细菌的繁殖	46
第五节 其他细菌类群	46
一、螺旋体	46
二、黏细菌	47
三、鞘细菌	48
四、立克次氏体	49

五、衣原体	50
六、支原体	51
七、蛭弧菌	52
复习思考题	53
拓展阅读	53
第三章 古菌	56
第一节 古菌的主要特征	56
一、古菌的细胞结构	56
二、古菌的遗传学特征	58
第二节 古菌的主要类群	60
一、产甲烷古菌	60
二、极端嗜盐古菌	61
三、极端嗜热的代谢元素硫的古菌	63
四、无细胞壁的古菌	64
五、还原硫酸盐/ Fe^{3+} 的古菌	64
六、氨氧化古菌	65
七、与其他古菌共生的超微古菌	65
复习思考题	65
拓展阅读	66
第四章 真核微生物	68
第一节 真菌	68
一、真菌的形态和细胞结构	68
二、菌丝结构	74
三、无性繁殖	76
四、有性繁殖	79
五、真菌的形态形成	85
六、真菌的菌落	87
第二节 黏菌	87
一、黏菌的形态	88
二、黏菌的生活周期	90
三、黏菌的培养	92
四、黏菌的形态建成	92
复习思考题	93
拓展阅读	93
第五章 病毒	95
第一节 病毒的研究历史	95
一、病毒病的经验认知时期	95
二、病毒的发现时期	95
三、病毒本质的研究时期	96
四、病毒的分子生物学研究时期	96

第二节 病毒的形态结构和化学组成	96
一、病毒的特征和定义	96
二、病毒粒子的形态和大小	97
三、病毒粒子的基本结构	98
四、病毒粒子的化学组成	100
第三节 病毒的分类与命名	102
一、病毒分类的原则	104
二、病毒分类体系和命名规则	104
第四节 病毒的侵染与复制	104
一、吸附	105
二、侵入	105
三、脱壳	105
四、病毒大分子的生物合成	106
五、病毒的装配和释放	109
第五节 病毒与寄主的相互作用	109
一、噬菌体与宿主的相互作用	110
二、动物病毒与寄主的相互作用	114
三、植物病毒与寄主的相互作用	115
第六节 亚病毒	118
一、类病毒	118
二、卫星病毒	119
三、卫星核酸	119
四、朊病毒	120
五、缺陷干扰颗粒	121
第七节 几种重要病毒的特征	122
一、动物病毒	122
二、植物病毒	125
复习思考题	127
拓展阅读	127
第六章 微生物的营养	129
第一节 微生物细胞的化学组成和营养要求	129
一、微生物细胞的元素组成	129
二、微生物细胞中的有机化合物	130
三、微生物营养物质的来源和功能	132
第二节 微生物的营养类型	137
一、光能无机营养型	137
二、光能有机营养型	139
三、化能无机营养型	139
四、化能有机营养型	140
第三节 培养基	141

一、培养基的配制原则	142
二、培养基的类型及其应用	144
第四节 微生物吸收营养物质的机制	146
一、被动扩散	146
二、促进扩散	146
三、主动运输	147
四、基团转移	149
五、铁的吸收	152
复习思考题	154
拓展阅读	154
第七章 微生物的代谢	156
第一节 微生物的能量代谢	156
一、ATP 的结构与生成	156
二、微生物的产能代谢	161
三、能量的利用	165
第二节 微生物的分解代谢	166
一、己糖的分解	166
二、丙酮酸代谢的多样性	170
三、多糖的分解	175
四、蛋白质的分解	175
五、氨基酸的分解	176
六、脂肪和其他有机物的分解	177
第三节 微生物的合成代谢	177
一、无机养料的同化	178
二、前体分子及其大分子的合成	182
三、细胞壁的合成	187
四、次生代谢及其产物	188
第四节 微生物的代谢调控(基于酶水平的调控)	190
一、酶活性的调节	190
二、代谢调节的应用	193
复习思考题	194
拓展阅读	194
第八章 微生物的生长与环境条件	196
第一节 微生物的生长和测定方法	196
一、微生物的生长	196
二、微生物生长的测定方法	199
三、细菌的群体生长——生长曲线	203
四、细菌的二次生长、同步生长和连续培养	205
五、真菌生长的测定	210
第二节 环境条件对微生物生长的影响	211

一、温度	211
二、水活度和渗透压	214
三、酸碱度	216
四、 O_2 和 Eh	217
五、辐射	218
六、超声波	220
七、控制微生物的化学药剂	220
复习思考题	224
拓展阅读	224
第九章 微生物遗传和变异	227
第一节 微生物遗传物质的存在方式	227
一、原核微生物的遗传物质	227
二、真核微生物的遗传物质	228
三、DNA 的结构与复制	230
第二节 微生物基因和基因组	232
一、基因和基因表达	232
二、微生物的基因组	234
第三节 微生物的核外遗传因子	238
一、细菌的质粒	238
二、转座遗传因子	242
三、真菌染色体外的遗传因子	244
第四节 微生物的基因重组	250
一、原核生物的基因重组	250
二、真菌的基因重组	258
第五节 微生物的基因突变	262
一、突变的概念	263
二、突变体的类型和分离方法	264
三、突变的分子机制	268
四、诱发突变及其分子机理	277
五、DNA 损伤的修复	282
第六节 微生物基因表达的调控	288
一、基因表达的诱导和阻遏	288
二、微生物基因表达调控的基本方式	290
三、酵母菌基因表达的调控特点及其与原核微生物的区别	303
复习思考题	305
拓展阅读	306
第十章 微生物生态	310
第一节 生物圈和生态系统	310
第二节 微生物的自然环境	311
一、微环境和生态位	311

二、生物膜和微生物垫	312
三、微生物与生态系统	313
第三节 自然界中的微生物	314
一、土壤中的微生物	314
二、水体中的微生物	318
三、空气中的微生物	320
四、岩石圈中的微生物	322
五、食品中的微生物	322
六、极端环境中的微生物	323
七、未能培养的微生物	326
第四节 微生物生态学的研究方法	327
一、富集法与分离法	327
二、维诺格拉斯基柱法	329
三、生态环境中微生物的直接检测和测数	330
四、16S rDNA 扩增和序列分析	331
五、生态环境中微生物活性的测定	331
六、未培养微生物的检测及研究方法	334
第五节 微生物在自然界物质循环中的作用	337
一、碳素循环	338
二、氮素循环	340
三、硫素循环	342
四、磷素循环	344
五、铁素循环	344
第六节 微生物间的相互关系	345
一、中性关系	346
二、偏利作用	346
三、初级合作	346
四、互惠共生	347
五、竞争关系	347
六、拮抗作用	348
七、寄生关系	349
八、捕食关系	349
第七节 微生物与高等植物间的相互关系	350
一、植物的根圈与根圈微生物	350
二、植物内生菌	351
三、微生物与高等植物间的共生关系	352
四、植物茎叶和果实上的微生物	358
五、微生物引起的植物病害	359
第八节 微生物与人和动物间的相互关系	362
一、互生关系	363

二、捕食关系	364
三、共生关系	364
四、寄生关系的病原微生物	368
复习思考题	368
拓展阅读	369
第十一章 微生物的感染与免疫	372
第一节 感染	372
一、病原微生物感染宿主的过程	372
二、病原微生物感染造成损伤	374
第二节 免疫	377
一、固有免疫	378
二、适应性免疫	384
第三节 超敏反应	395
一、I型超敏反应	395
二、II型超敏反应	397
三、III型超敏反应	398
四、IV型超敏反应	398
复习思考题	399
拓展阅读	399
第十二章 微生物的分类	401
第一节 微生物的多层次分类单元	402
一、种的概念	402
二、种以下的等级	403
三、菌株	403
四、属、科、目和域的划分	403
五、微生物分类单元的命名	404
第二节 细菌分类方法	405
一、传统分类法	405
二、数值分类法	407
三、化学分类法	411
四、遗传学分类法	412
第三节 细菌分类系统和常见的原核生物类群	417
一、细菌分类系统	417
二、常见细菌类群的代表	420
三、常见古菌类群的代表	429
第四节 真菌分类	432
一、真菌分类常用的分子生物学方法	432
二、以往常用的真菌分类系统	433
三、常见真菌类群的代表	437
复习思考题	450

拓展阅读	451
第十三章 微生物的应用	453
第一节 微生物在农业和环境保护中的应用	453
一、微生物接种剂	453
二、农用抗生素	458
三、单细胞蛋白	459
四、污染物的微生物降解与转化	460
五、污染环境的微生物治理与修复	463
第二节 微生物工业发酵	467
一、通风型发酵罐	468
二、厌氧型发酵罐	469
三、空气过滤系统	469
四、发酵后处理的工艺	470
第三节 代表性微生物的工业发酵产品和工艺简介	470
一、酵母菌的酒精发酵与含酒精饮料的制备	471
二、抗生素的工业发酵	473
三、柠檬酸的工业发酵	474
四、氨基酸的工业发酵	475
五、酶制剂	476
第四节 微生物基因工程	477
一、基因工程的基本要素	478
二、基因工程的工艺流程	480
三、微生物的遗传工程设计	482
四、基因工程的应用前景、风险与对策	484
复习思考题	487
拓展阅读	487
主要参考文献	489
彩图	

1

第一章 绪 论

一、微生物及其特点

生物，无论是动物、植物，还是微生物，虽然有多种多样的类型和特征，但是归纳起来，它们有着共同的特点。第一，绝大多数生物的基本组成单位是细胞；第二，主要化学组分相同，尤其是大分子化合物如蛋白质、核酸、多糖和脂类等；第三，新陈代谢等生理活动相似；第四，遗传机制是受基因控制的；第五，具有繁殖能力。但是，微生物的个体微小，其直径小于 1mm，肉眼不易看见，而且结构简单，必须借助于显微镜才能观察清楚。它们包括单细胞个体、简单的多细胞个体和没有细胞结构的低等生物，类群庞杂。例如，具有原核细胞结构的细菌、古菌，具有真核细胞结构的真菌、藻类和原生动物，以及病毒等。但是，也有少数微生物是肉眼可见的，如一些藻类和真菌。近年来，人们还发现两种细菌的个体较大，显微镜也可以观察到，它们是纳米比亚嗜硫珠菌（*Thiomargarita namibiensis*）和费氏刺骨鱼菌（*Epulopiscium fishelsoni*）。随着对生物科学的深入研究，人们逐渐认识到，微生物不是一个独立的分类类群。由于它们个体微小，形态简单，生长繁殖快，代谢类型多样，分布广泛，容易发生变异，生物学特性比较接近，而且对它们的研究方法颇为特殊，一般都要采用显微镜观察、分离、灭菌和培养等技术，在其实应用方面也有许多类似的地方，如发酵生产等。因此，人们就把这些简单的低等生物统归于微生物学的范畴来研究。另外，微生物的这些特征使它们成为研究许多基本生命过程的理想材料。它们大多数能够生长在试管或锥形瓶中，且便于保存。它们生长迅速，如有些细菌在 24h 内几乎能繁殖 100 代。微生物的代谢过程也与高等动植物的模式相同，如酿酒酵母的酒精发酵机制和脊椎动物肌肉的糖酵解十分相似，可见其酶系统是相同的。过去已有许多有关生命机制的著名成果是用微生物作为材料得到的，尤其在遗传学方面。例如，在深入研究肺炎链球菌的基础上，发现遗传物质是 DNA，明确了生物遗传物质基础的问题。近年来，微生物的研究在基础理论上和应用上都发展迅速。当前，微生物已不仅是一个研究生物学基本规律的理想材料，而且它们本身就是重要而独具特色的生物群体。微生物的应用与人类生活密切相关，范围十分广泛，如在医学、农业、工业、环境、食品和生物技术的利用等方面都有应用。这些都促使微生物学不断地发展壮大，日益受到重视，使微生物学成为生物学的重要学科。目前，微生物生产已成为与动物生产、植物生产并列的第三大产业，用以生产面包、奶酪、啤酒、抗生素、疫苗、维生素和酶等重要产品，为人类的生活和健康做出重要贡献。

二、微生物在生物界中的地位

生物分类工作是在 200 多年前瑞典植物学家 Linnaeus Carolus (1707~1778) 的工作基础上建立起来的。他将生物划分为动物界和植物界，二者在概念上是十分明确的。自从发现了