



面向 21 世纪 课 程 教 材
Textbook Series for 21st Century

微生物学

第 五 版

李阜棣 胡正嘉 主编

中 国 农 业 出 版 社

面向 21 世纪课程教材

Textbook Series for 21st Century

微 生 物 学

第 五 版

李阜棣 胡正嘉 主编

植物生产各专业用

中 国 农 业 出 版 社

图书在版编目 (CIP) 数据

微生物学/李阜棣, 胡正嘉主编. - 5 版. - 北京: 中国农业出版社, 2000.6

面向 21 世纪课程教材

ISBN 7-109-06429-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 28911 号

中国农业出版社出版

(北京市朝阳区农展馆北路 2 号)

(邮政编码 100026)

出版人: 沈镇昭

责任编辑 贺志清

中国农业出版社印刷厂印刷 新华书店北京发行所发行

1979 年 1 月第 1 版 2000 年 6 月第 5 版

2001 年 5 月第 5 版北京第 3 次印刷

开本: 850mm × 1168mm 1/16 印张: 19.75

字数: 471 千字 印数: 14 001 ~ 24 000 册

定价: 32.10 元

(凡本版图书出现印刷、装订错误, 请向出版社发行部调换)



面向 21 世纪课程教材



普通高等教育“九五”
国家级重点教材



中华农业科教基金资助

内 容 简 介

本书系统地介绍了微生物学基本原理。全书除绪论外分为 11 章，依次阐述微生物的细胞结构、代谢、遗传、生长繁殖，微生物的多样性，微生物在自然界中的作用以及同人类经济生活的关系。本书体系具有特色，结构紧凑，前后呼应，取材较新，反映了这一学科现代发展水平。

本书为高等农业院校植物生产各专业本科的教材，也可作为其它专业的参考书或教材，还可供农业、园林以及微生物学等领域科技人员参考。

第五版修订者

主编 李阜棣 (华中农业大学)
胡正嘉 (华中农业大学)
参编 何绍江 (华中农业大学)
章 红 (中国农业大学)
李顺鹏 (南京农业大学)
主审 陈文新 (中国农业大学)

前言

陈华癸和樊庆笙主编的《微生物学》作为我国高等农业院校教材长期广泛使用,第四版曾获得全国优秀教材奖,它面世至今已十年了。为适应 21 世纪教学改革和科学发展的需要,有必要编写出版《微生物学》第五版。新版编写的指导思想同前四版基本是一致的,即本书是用作高等农业院校植物生产各专业(以农学、植保、园林和农业化学等专业为主要对象)的专业基础课教材。

这次修订在章节编排上做了较大调整,内容上有所更新,更加重视微生物学基本理论的阐明。编者想说明下面几点:(1)全书除绪论外共 11 章,由紧密关联的 3 个部分组成。第一至第四章讲述微生物的共性,包括细胞结构、能量代谢、物质代谢、信息传递(遗传信息及细胞信号的发射与接收);第五至第七章讲述微生物的多样性,包括真细菌、古细菌、真核微生物、非细胞生物;第八至第十一章讲述多样性的微生物在自然界的作用及其同人类经济生活的关系,重点是同农业生产的关系。(2)从第四版的 15 章调整到第五版的 11 章,不是章节和内容的删减,而是改进全书的整体结构,为了更好地阐明问题。例如,物质转化部分在老版中分为 3 章,新版只设 1 章,但并非简单地合并。将共生固氮作用的内容和共生真菌(主要是菌根)一起构成 1 章。有关固氮的基本原理在微生物代谢和遗传等有关章节讨论。(3)将细菌的分类和微生物常见类群的介绍作为本书第二部分,这有利于加强阐明的深度。现代的细菌分类更加重视遗传学特征和系统发育,分子技术已成为重要手段。(4)有关微生物的应用问题主要置于一章中讲授,而且重点是阐明有关原理。这样,前 10 章之间的衔接紧凑,使微生物学基础知识的阐述一气连贯起来。(5)主要名词均有英文对照,以利读者查阅文献,特别考虑到当前许多新的术语尚无统一汉译名,编者们的根据自己的读书体会,认为有此必要。

第五版初稿的绪论和第一、三、十章由李阜棣编写;第二、四章由章红编写;第五、六、七、九章由何绍江编写;第八、十一章由李顺鹏编写。胡正嘉改写和重写了部分章节,李阜棣和胡正嘉逐章清稿。插图的收集和复制以及打印稿的多次校对与排版主要由何绍江完成。书中的错误和不妥之处由主编负责,请读者们指出,以便重印或修订新版时改正。

前四版主编人陈华癸院士审阅了编写提纲,在编写过程中给予了指导,在此表示衷心感谢。我们非常感谢中国农业大学陈文新教授对本书的主审以及提出的宝贵意见。我们还要感谢前几版参编人员的辛勤劳动,他们的贡献是我们前进的基础。本书的发展和改进是集体推动的,各版所有编者都是这个接力赛跑队的成员。今后还会有新成员不断加入。本书引用了一些著作者的插图,在此一并作谢。

南京农业大学樊庆笙教授生前审阅了编写提纲,给以指教。在本书完稿之时,编者更加怀念我国教育界和微生物学界的这位老前辈,对他为中国微生物学事业发展作出的重大贡献,表示

2 前 言

崇高的敬意。

第五版修订稿完成于千年之交，新世纪的曙光已经照亮在东方，我们祝愿微生物学和微生物学事业在 21 世纪更加繁荣昌盛。

李阜棣 胡正嘉

2000 年 3 月

目 录

前 言

绪 论	1
-----------	---

第一章 微生物细胞

第一节 细胞的化学性质	4
一、细胞的化学成分	4
二、细胞中的有机单体和多聚体	6
第二节 原核生物细胞的结构与功能	9
一、细胞壁	9
二、细胞质膜和内膜系统	15
三、细胞质和核质	17
四、芽胞和胞囊	19
五、鞭毛和菌毛	19
第三节 真核细胞与原核细胞结构的异同	21
一、真核细胞的基本结构	21
二、原核细胞和真核细胞的比较	24

第二章 微生物的营养和代谢

第一节 微生物的营养物质和营养类型	26
一、营养物质及其功能	26
二、微生物的营养类型	27
三、培养基	29
第二节 微生物的能量代谢	30
一、细胞中的氧化还原反应与能量产生	30
二、高能化合物和 ATP 的合成	31
三、微生物细胞中能量的释放和利用	36
第三节 微生物的分解代谢	37
一、己糖的分解	37
二、丙酮酸代谢的多样性	43
第四节 微生物的合成代谢	45

一、无机养料的同化	45
二、大分子前体物质的合成	49
三、细胞结构成分大分子物质的合成	51
四、微生物合成的次生代谢产物	52

第三章 微生物的遗传和变异

第一节 生物遗传信息的载体	54
一、脱氧核糖核酸 (DNA) 的结构和复制	54
二、核糖核酸 (RNA) 与遗传密码	57
三、基因和遗传成分	59
第二节 遗传信息的传递和基因的表达	62
一、从基因到蛋白质	62
二、基因表达的调节	67
第三节 微生物的变异和遗传重组	74
一、突变及其机制	74
二、细菌基因的转移和重组	75
第四节 重组 DNA 技术	79
一、目的基因的克隆	80
二、克隆子的筛选	83
三、DNA 的人工合成和扩增	83
四、基因的定位诱变	85

第四章 微生物的生长与环境条件

第一节 纯培养微生物群体的生长	86
一、获得纯培养体的方法	86
二、细菌群体生长的测量	88
三、分批培养中细菌群体的生长	91
四、细菌群体生长的连续培养	94
第二节 微生物个体的生长和分化	96
一、细胞的生长周期	96
二、细菌细胞的分化	97
第三节 环境条件对微生物生长和代谢的影响	99
一、温度	100
二、水分及其可给性	101
三、氢离子浓度 (pH)	103
四、氧气和氧化还原电位	104
五、辐射	105
六、化学杀菌剂和抑菌剂	106

第五章 原核微生物

第一节 细菌的分类和鉴定	110
一、细菌分类的原则	110
二、细菌分类鉴定的依据和方法	111
三、生物的分类系统	115
第二节 真细菌	118
一、革兰氏阴性细菌 (G^- 细菌)	119
二、革兰氏阳性细菌 (G^+ 细菌)	131
三、放线菌	135
第三节 古细菌	138
一、古细菌与真细菌、真核生物的异同	138
二、古细菌的代表属种	139

第六章 真核微生物

第一节 真菌	145
一、真菌的一般形态	145
二、真菌的繁殖	147
三、真菌的类别和代表种类	151
第二节 藻类	162
一、藻类的特征	162
二、藻类的常见种类	164
第三节 原生动物	165
一、原生动物的基本特征	165
二、原生动物的代表种类	166

第七章 病 毒

第一节 病毒的特性	170
一、病毒的形状和大小	170
二、病毒的结构和化学组成	171
三、病毒的分类	174
四、亚病毒的化学组成	175
第二节 噬菌体	176
一、噬菌体的形态	176
二、噬菌体的生活周期	177
第三节 昆虫病毒和植物病毒	180
一、昆虫病毒	180
二、植物病毒	182

第八章 微生物生态

第一节 生态系统	183
一、生物圈与生态系统	183
二、生态系统中的能量流和物质流	184
三、微生物生态系统的特点	185
第二节 微生物在自然界中的分布	186
一、大气圈中的微生物	186
二、岩石圈中的微生物	186
三、水圈中的微生物	187
四、生物圈中的微生物	188
五、极端环境中的微生物	189
六、微生物的地理分布	189
第三节 土壤圈及其微生物	190
一、土壤中微生物的分布	190
二、根圈微生物	193
三、土壤中微生物生物量的测定	196
四、土壤中微生物的种群结构	197
第四节 自然环境中微生物个体生态学和原位研究	201
一、细菌个体生态学研究技术	201
二、土壤微生物的原位研究	202

第九章 微生物在自然界物质循环中的作用

第一节 碳素生物循环	205
一、碳素循环的途径	205
二、碳水化合物分解	206
三、果胶物质的分解	208
四、木质素的分解	209
五、脂类的分解	210
六、甲烷的形成和转化	211
第二节 氮素生物循环	214
一、氮素循环的途径	215
二、含氮有机物质的分解和氨化作用	216
三、硝化作用	217
四、反硝化作用	219
五、生物固氮作用	222
第三节 硫、磷等元素的循环	224
一、硫素生物循环	224
二、磷素生物循环	228

三、铁、锰、钾的转化	230
第四节 物质循环与土壤肥力	233
一、微生物在土壤中形成的有机质	233
二、有机质的 C/N 率对植物有效养分的影响	235
三、微生物与土壤团聚体的形成	237
四、土壤酶及其作用	237

第十章 微生物同植物和动物的共生关系

第一节 微生物和植物共生关系的类型	241
一、细菌和植物的共生	241
二、真菌和植物的共生	245
第二节 固氮根瘤	246
一、根瘤（和茎瘤）的形态和结构	246
二、根瘤的形成	250
三、根瘤的固氮功能	255
第三节 菌根的形态和功能	260
一、外生菌根	260
二、丛枝菌根	262
第四节 植物内生和寄生微生物	268
一、内生真菌	268
二、内生细菌	269
三、土壤杆菌与植物肿瘤	270
第五节 微生物和动物的共生	272
一、瘤胃微生物生态系统	272
二、共生发光	274

第十一章 微生物的应用

第一节 微生物接种剂	278
一、接种剂的性质	278
二、接种剂的应用	279
第二节 微生物农药	282
一、微生物农药的性质和种类	283
二、微生物对害虫的防治	283
三、微生物对植物病害的防治	286
第三节 微生物与农村有机废物处理	288
一、堆肥制作的微生物学过程	288
二、沼气发酵的微生物学原理	291
第四节 微生物与城市污水的处理	293
一、自然水体的自净作用	293

二、污水处理及微生物的作用	294
第五节 污染物的生物治理	295
一、改善微生物生活的环境条件	295
二、降解微生物的应用	297
三、耐水树木和根圈微生物在生物治理中的作用	298
第六节 血清学技术的原理	299
一、外源微生物引起的动物免疫反应	299
二、抗原和抗体	300
三、常用的血清学技术	301
主要参考资料	303

绪 论

微生物学是生命科学的一个领域。在本书的开头,我们先简要地阐述什么是微生物、微生物学的发展、微生物学研究的意义,以此作为一个引子。

一、微 生 物

人类生活的地球形成于 46 亿年前,经过约 8 亿年的物理和化学变化,具备了生命起源的条件。最早出现的简单原始生物在随后 30 多亿年的漫长过程中进化繁衍,形成现在多样性的各个生物类群和物种。当代流行的观点将所有细胞生物划分为三个原界 (Erkingdom),即真细菌 (Bacteria 或称“细菌”)、古细菌 (Archaea, 或称“古菌”)、真核生物 (Eucarya),前二者为原核生物,也通称细菌 (bacteria)。真核生物包括单细胞生物,直到高等动植物。微生物不是生物分类系统中的一个类群,它们是微小生物的总称,涵括全部真细菌和古细菌,真核生物中的部分真菌、单细胞藻类和原生动物,以及非细胞生物病毒。它们之间有着许多共同点:①在形态上,个体微小,肉眼看不见,需用显微镜观察,细胞大小以微米和纳米计量;②生长繁殖快,在实验室培养条件下细菌几十分钟至几小时可以繁殖一代;③代谢类型多,活性强;④分布广泛,有高等生物的地方均有微生物生活,动植物不能生活的极端环境也有微生物存在;⑤在局部环境中数量众多,如每克土壤含微生物几千万至几亿个;⑥相对于高等生物而言,较容易发生变异。在所有生物类群中,已知微生物种类的数量仅次于被子植物和昆虫。微生物种内的遗传多样性非常丰富。所以微生物是很好的研究对象,具有广泛的用途。

二、微生物学的发展

微生物学是研究微生物生命活动规律的学科。它的基本内容是:①微生物细胞的结构和功能,研究细胞的构建及其能量、物质、信息的运转;②微生物的进化和多样性,研究微生物的种类,它们之间的相似性和区别,以及微生物的起源;③生态学规律,研究不同微生物之间以及它们同环境之间的相互作用;④微生物同人类的关系。

尽管对于某些微生物的有益和有害作用及其利用和防治可以追溯到古代,在中外古籍中有很多关于微生物知识的记载,但微生物学的发端只有在人们直接看到了微生物之后才有可能。17 世纪中叶荷兰人吕文虎克 (Antoni van Leeuwenhock) 用自制的简单显微镜观察并发现了许多微生物,包括一些细菌和原生动物。他于 1676 年向英国皇家学会报告了发现结果。可是由于时代的局限性,在随后的两百年间没有重要的研究成果。19 世纪初中叶西欧各国相继完成了产业革命,生产力空前提高,科学技术的发展进入了一个新时期,微生物学的研究也活跃起来。

对微生物的深入研究是从几方面开展起来的。研究微生物在有机物质转化中的作用,认识了

酒精发酵是酵母菌的功能，进而证明了各种发酵作用是由不同微生物推动的。通过对动物炭疽病的研究，发现了细菌是它的病原体，于是病原菌的研究引起了更大兴趣。在植物方面，开展了病原真菌生活史和致病过程的研究。对土壤中有有机物质的分解、硝酸盐的来源和植物氮素营养的研究，认识了微生物的分解作用、细菌的硝化作用，也证明了豆科植物根瘤的固氮功能，并分离出根瘤菌。一大批研究者在 19 世纪下半叶推动了微生物学研究的蓬勃发展，其中贡献最突出的有巴斯德、科赫、贝耶林克和维诺格拉德斯基。

巴斯德 (Louis Pasteur, 1822—1885) 将微生物研究推向了生理学阶段，他证明乳酸发酵是微生物推动的 (1857)，并揭示了氧气对酵母菌发育和酒精发酵的影响 (1861)。他用弱化的致病菌防治鸡霍乱 (1880)，发明疫苗，导致了免疫学的发端。巴斯德用实验证据推翻了自然发生学说，证明引起食品腐败的细菌是本身繁殖的，而不是从非生物直接自然发生的。巴斯德还建立了巴氏灭菌法，至今广泛应用。

科赫 (Robert Koch, 1843—1910) 创立了疾病的种质学说，为医学微生物学奠定了基础。他最先描述了细菌芽胞及其耐热性 (1867)。证明炭疽杆菌是炭疽病的致因 (1876)，发现了结核菌 (1882)。他用固体培养基获得了细菌的纯培养 (1881)。作为病原学研究指导的科赫法则 (Koch's postulates) 于 1884 年发表，至今在医学微生物学和农业微生物学中起指导作用。

微生物学的一套基本技术在 19 世纪后期均已完善，包括显微术、灭菌方法、加压灭菌器 (Chamberland, 1884)、纯培养技术、革兰氏染色法 (Gram, 1884)、培养皿 (Petri, 1887) 和琼脂作凝固剂等。贝耶林克 (Martinns Beijerinck, 1851—1931) 和维诺格拉德斯基 (Sergei Winogradsky, 1856—1953) 的研究是跨世纪的，在 20 世纪上半叶继续作出重要成就。贝氏提出了加富培养 (enrichment culture) 的概念，并用选择性的加富培养基进行微生物的培养。他从土壤和水体样本中获得了许多种细菌的纯培养，包括根瘤菌 (1888)、好氧固氮菌 (1901)、硫酸还原菌和硫氧化菌、乳酸杆菌和绿藻等。贝氏为病毒学的建立做出了开创性工作。维氏毕生创导土壤微生物研究的生态学观点和原位研究路线，他研究了氮素和硫素的转化，证明硝化作用的两个阶段由两类细菌相继推动，采用无机盐平板分离获得硝化细菌 (1890)。在硫氧化菌的研究中，他提出了化能自养 (chemolithotrophy) 的概念。维氏分离获得了第一个自生固氮细菌，即厌氧的巴斯德梭菌 (1893)。他还设计了许多原位研究方法，有的至今仍被采用。维氏是土壤微生物学的主要奠基者。

20 世纪上半叶微生物学事业欣欣向荣。微生物学沿着两个方向发展，即应用微生物学和基础微生物学。在应用方面，对人类疾病和躯体防御机能的研究，促进了医学微生物学和免疫学的发展。青霉素的发现 (Fleming, 1929) 和瓦克斯曼 (Waksman) 对土壤中放线菌的研究成果导致了抗生素科学的出现，这是工业微生物学的一个重要领域。环境微生物学在土壤微生物学研究的基础上发展起来。微生物在农业中的应用使农业微生物学和兽医微生物学等也成为重要的应用学科。应用成果不断涌现，促进了基础研究的深入，于是细菌和其它微生物的分类系统在 20 世纪初中叶出现了，对细胞化学结构和酶及其功能的研究发展了微生物生理学和生物化学。微生物遗传与变异的研究导致了微生物遗传学的诞生。微生物生态学在 20 世纪 60 年代也形成一个独立的学科。

20 世纪 80 年代以来，在分子水平上对微生物的研究迅速发展，分子微生物学应运而生。在短短的时期内取得了一系列进展，并出现了一些新的概念，较突出的有，生物多样性、进化、三

原界学说；细菌染色体结构和全基因组测序；细菌基因表达的整体调控和对环境变化的适应机制；细菌的发育及其分子机理；细菌细胞之间和细菌同动植物之间的信号传递；分子技术在微生物原位研究中的应用。经历约 150 年成长起来的微生物学，在 21 世纪将作为统一生物学的重要内容而继续向前发展，其中两个活跃的前沿领域将是分子微生物遗传学和分子微生物生态学。

三、微生物学研究的重要意义

科学来源于社会实践，服务于社会实践，反映客观现象的本质和规律。微生物作为生物界的一部分，对其客观规律的认识是生命科学的不可分割的内容。微生物学的发展既得益于其它学科、也促进了它们的前进。而且微生物学一直处于生命科学的前沿，生命活动的许多基本规律，大多数是在研究微生物的过程中首先被认识的。利用酵母菌及其无细胞制剂对酒精发酵的研究，不但阐明了生物体内的糖酵解途径，而且为生物化学领域的酶学奠定了基础。以细菌作材料所确定的 DNA 双螺旋结构和遗传密码的揭示，导致了分子遗传学的发端。20 世纪 90 年代发展起来的细菌全基因组碱基测序，工作进展迅速，促进了人和植物染色体遗传密码的破译研究，已发展为基因组学 (genomics)。由此可见，生命科学的前沿是无限推进的，它的一些分支领域将继续采用微生物作为研究材料，新的边缘学科会不断出现。

有益微生物在人类社会生产力发展中的重要作用是显而易见的。当今，微生物生产与动植物生产并列为生物产业的三大支柱。在工业中许多产品利用微生物来生产，如各种生物活性物质（抗生素等）、化工原料（酒精等）。微生物在农业生产中也有着多方面的作用。例如微生物对土壤和土壤肥力的形成与发展有着本质上的联系。微生物在植物营养中的作用也是明显的，分解有机物质和进行固氮作用为植物提供可给态养料。有害微生物则导致植物病害，因而需要进行致病规律的研究；另一方面，也可以利用微生物来防治植物病虫害。微生物在食品加工中有广泛用途，发酵食品和许多调味品都离不开微生物。微生物是消除污染、净化环境的重要手段。有害微生物可严重破坏生产力，并导致人类疾病发生。这些问题分别是工业微生物学、农业微生物学、医学微生物学和环境微生物学研究的对象。因此，微生物对社会生产力的发展具有重要的意义。特别是在新兴的生物技术产业中，微生物的作用更是不可替代。作为基因工程的外源 DNA 载体，不是微生物本身（如噬菌体），就是微生物细胞中的质粒；被用作切割与拼接基因的工具酶，绝大多数来自各种微生物。由于微生物生长繁殖快、培养条件较简易，当今大量的基因工程产品主要是以微生物作为受体而进行生产，尤其是大肠杆菌、枯草芽孢杆菌和酿酒酵母。借助微生物发酵法，人们已能生产外源蛋白质药物（如人胰岛素和干扰素等）。尽管基因工程所采用的外源基因可以来自动植物，但由于微生物生理代谢类型的多样性，它们是最丰富的外源基因供体。

与高等动植物相比，已知微生物种类只是估计存在数量的很小一部分。哺乳动物和鸟类的物种几乎全部为人们所掌握，被子植物已知种类达 93%，但细菌已知种数仅为估计数的 12%，真菌为 5%，病毒为 4% (Bull, 1992)。目前研究的也只是已知种类的很少一部分。根据 SCI (science citation index) 资料，1991—1997 发表的微生物学文献大量集中在 8 个属，尤其是埃希氏杆菌，其中大肠杆菌又占主要部分 (Galvez 等, 1998)。可以想像，既然对少数已知微生物的研究就已为人类作出了重要贡献，通过对多样性微生物的开发必然会为社会带来巨大利益。微生物学事业方兴未艾。