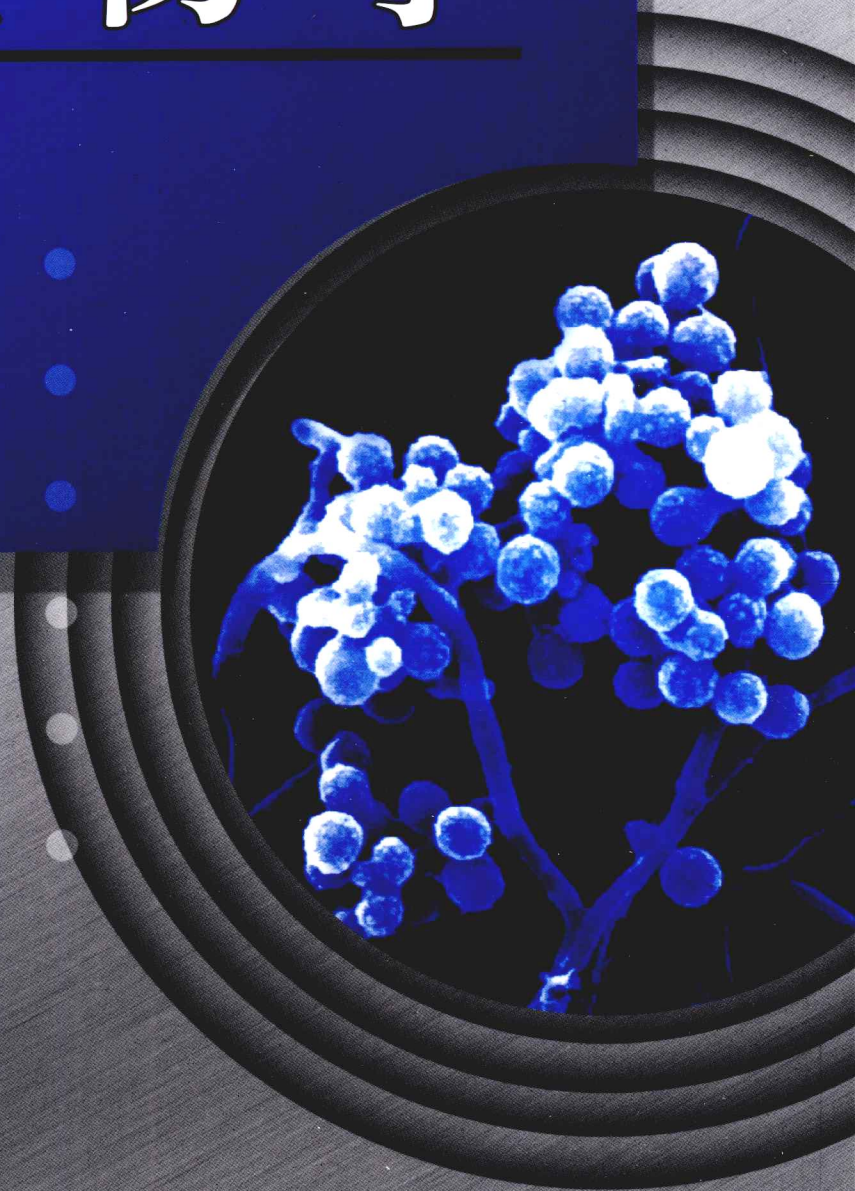


 生物科学专业 **6+x** 简明教程系列

MICROBIOLOGY

微生物学

张利平◎主编



科学出版社

生物科学专业“6+X”简明教程系列

微生物学

张利平 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书在编写过程中参考了许多学科前沿进展,在注重加强基础理论论述的同时,突出教材的新颖性和启发性,体现理论与实践的有机结合。全书简明论述了微生物在其生命活动过程中的基本规律,其主要内容包括微生物的特点、形态结构、营养要求、生长繁殖、新陈代谢、遗传变异、生态环境、分类鉴定、传染免疫以及微生物资源的开发与利用等。

本书可供综合院校本科和其他理工院校中的生物科学类、生物工程类,食品科学与工程类以及环境、药学等相关专业使用,也可作为相关领域的教师、研究生、科研人员颇有益的参考书,同时,也可供从事上述相关行业的技术人员和从业人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微生物学/张利平主编. —北京:科学出版社,2012

(生物科学专业“6+X”简明教程系列)

ISBN 978-7-03-034498-4

I. ①微… II. ①张… 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(2012)第110398号

责任编辑:席慧 王国栋 / 责任校对:林青梅

责任印制:阎磊 / 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>

北京天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2012年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2012年6月第一次印刷 印张:21 1/4

字数:551 000

定价:48.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《微生物学》编委会名单

主 编 张利平 (河北大学)

副 主 编 张秀敏 (河北大学)

李彦芹 (河北大学)

赵宝华 (河北师范大学)

魏淑珍 (衡水学院)

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

贺新生 (西南科技大学)

鞠建松 (河北师范大学)

李彦芹 (河北大学)

李云玲 (长治学院)

吕志堂 (河北大学)

魏淑珍 (衡水学院)

吴智艳 (廊坊师范学院)

张谨华 (晋中学院)

张利平 (河北大学)

张秀敏 (河北大学)

赵宝华 (河北师范大学)

序

微生物学是 21 世纪生命科学领域中最活跃的学科之一，也是生命科学中的一门极为重要的基础学科，它涉及工、农、医药、环境、能源等领域的基础研究和应用，特别是与人类的健康和经济发展的关系极为密切。微生物学的理论与实践是生物学科各专业和相关学科有关专业的必备知识和技术，微生物课程是培养生命科学人才过程中必不可少的基础课。在微生物学的教学中，需要有不同风格和不同特色的教材出版，以适应我国不同高等院校的需求。

由河北大学张利平教授主编、多所院校参编的《微生物学》，是在他们多年教学实践的基础上，根据该课程教学的要求，学科的发展以及实际应用的需求撰写而成。本书在介绍微生物的基本知识的同时，反映了微生物学科的一些最新研究成果。通过每章的导读、知识窗、内容小结和复习思考题，这样易教易学的编排结构，帮助学生进一步理解教材的内容，以启迪思考，开阔视野，促进学生在学学习本教材的过程中，初步建立从事微生物及相关学科的基础和应用研究的思维方法。

该教材内容丰富、取材先进、文字表述简明扼要，是一本适用于高等院校生物工程、食品科学与工程、制药工程、环境工程等专业学生使用的实用性强、适应面广的教材，对相关领域的教师、研究生和科研人员也是颇为有益的参考书。

陈文新

中国科学院院士、土壤与环境微生物学家

2012 年 4 月 18 日于中国农业大学

前 言

微生物学是一门应用性很强的学科，微生物学的实际应用是微生物学基础理论知识的实践，同时还涉及生产的特殊设备和有关学科知识。因此，在学生了解和掌握了微生物的基本生命活动规律后，加强学生理论联系实际，综合应用知识的能力，了解微生物的应用范围、问题和前景，从而获得较完整的微生物学基本理论知识和实践能力，并获得从事微生物学理论与实践与应用研究的基本思维方法。

本书是由河北大学、河北师范大学、西南科技大学、衡水学院、廊坊师范学院、晋中学院、长治学院等七所院校，多年从事微生物学教学科研工作的教师合作完成的一本基础微生物学的简明教材。本书的作者都是长期在高校从事微生物学基础课或专业课教学和科研工作的一线教师，积累了丰富的教学和科研经验，使本书内容丰富，结构合理，较好地处理了基础性、系统性和先进性之间的关系，也加强了理论与实际的联系。对于生命科学有关专业的学生和教师来说是一本颇具特色的教材，对于从事微生物学及其相关工作的人员也是一本很好的参考书。

在本书的完成过程中得到了许多兄弟院校的大力支持，特别是赵宝华副主编对编写大纲提出了许多宝贵的意见和建议，所有副主编和参编教师都付出了大量的辛勤劳动。全书共11章，第一章绪论（张利平教授，张秀敏副教授）；第二章微生物细胞的结构与功能（张谨华副教授）；第三章微生物的营养（魏淑珍教授）；第四章微生物的代谢（张秀敏副教授）；第五章微生物的生长繁殖及其控制（吴智艳教授）；第六章病毒（吕志堂教授）；第七章微生物遗传变异和育种（赵宝华教授，鞠建松教授）；第八章微生物的生态（李云玲讲师）；第九章微生物的系统分类（张利平教授、贺新生教授）；第十章感染与免疫（李彦芹副教授）；第十一章微生物的应用和产品（赵宝华教授，鞠建松教授）。在本书的编写过程中，魏淑珍教授和李彦芹副教授分别对第二稿进行了修改，针对编辑对书稿提出的修改意见，主编对全书进行了第三次修改完成定稿。成书前，主编和张秀敏副主编对全稿进行了仔细的审订，在本书出版之际也向他们表示诚挚的谢意！

微生物学的内容极为丰富，但由于篇幅所限，书中不可能包罗万象，有许多内容不得不精减。本书的编写在许多方面是一次改革的尝试，由于编者水平所限，书中难免会有不当或疏漏之处，衷心期望读者多批评指正，以使本书更臻完善。谢谢！

张利平

2012年2月于河北大学

目 录

序

前言

第一章 绪论	1	二、鞭毛与纤毛	36
第一节 微生物与微生物学	1	三、细胞质膜	37
一、什么是微生物	1	四、细胞核	37
二、微生物学的范畴	2	五、细胞质和细胞器	38
三、如何学好微生物学	2	本章小结	41
第二节 微生物在生物界中的地位	3	习题	42
一、两界和三界系统	3	思考题	42
二、五界系统	3	第三章 微生物的营养	43
三、三界(域)系统	4	第一节 微生物的营养要求	43
第三节 微生物学的发展史	4	一、微生物细胞的化学组成	43
一、史前时期	4	二、营养物质及其生理功能	44
二、微生物学的初创时期	5	三、微生物的营养类型	48
三、微生物学的发展	5	第二节 培养基	50
第四节 微生物学的未来	8	一、配制培养基的原则	50
一、微生物基因组学和后基因组研究	8	二、培养基的类型及应用	52
二、微生物系统学研究	8	第三节 营养物质进入细胞的方式	57
三、微生物和环境治理研究	9	一、单纯扩散	57
四、微生物生态学研究	9	二、促进扩散	58
五、病原微生物研究	9	三、主动运送	58
本章小结	11	四、基团移位	59
习题	12	第四节 细菌活的非可培养状态	60
思考题	12	一、“活的非可培养”细菌的诱导因素	61
第二章 微生物细胞的结构与功能	13	二、“活的非可培养”细菌的生物学特性	61
第一节 原核微生物细胞的结构与功能	13	三、“活的非可培养”细菌的复苏	61
一、细胞壁	13	四、“活的非可培养”细菌的检测	61
二、细胞壁以内的构造——原生质体	21	五、进行“活的非可培养”状态研究的	62
三、细胞壁以外的构造	30	理论和实际意义	62
第二节 真核微生物细胞的结构与功能	34	本章小结	63
一、细胞壁	35	习题	63

思考题	63	一、环境对微生物生长的影响	130
第四章 微生物的代谢	64	二、微生物生长的测定	132
第一节 代谢概论	64	第五节 微生物生长繁殖的控制	134
第二节 微生物产能代谢	65	一、控制微生物生长的化学物质	134
一、生物氧化	66	二、控制微生物生长的物理因素	135
二、异养微生物的生物氧化	66	本章小结	137
三、自养微生物的生物氧化	75	习题	138
四、能量转换	77	思考题	138
第三节 耗能代谢	84	第六章 病毒	139
一、细胞物质的合成	84	第一节 概述	139
二、其他耗能反应：运动、溶质摄取、 生物发光	92	一、病毒的特点与定义	139
第四节 微生物代谢的调节	93	二、病毒的宿主范围	140
一、酶合成调节	93	三、病毒的分类与命名	140
二、酶活性调节	94	第二节 病毒研究的基本方法	142
第五节 微生物次级代谢及其调节	97	一、病毒的分离与纯化	142
一、次级代谢与次级代谢产物	97	二、病毒的测定	143
二、次级代谢的调节	97	三、病毒的鉴定	145
本章小结	101	第三节 病毒的性质	146
习题	101	一、病毒的形态结构	146
思考题	102	二、病毒的化学组成	150
第五章 微生物的生长繁殖及其控制	103	第四节 病毒的复制	154
第一节 微生物的培养	103	一、病毒的复制周期	154
一、微生物的纯培养	103	二、病毒感染的起始	156
二、微生物的培养方法	105	三、病毒大分子的合成	159
三、微生物的同步培养	107	四、病毒的装配与释放	163
四、微生物的分批培养	108	第五节 病毒的非增殖性感染	166
五、微生物的连续培养	108	一、非增殖性感染的类型	166
第二节 细菌的生长与繁殖	109	二、缺损病毒	167
一、细菌的个体生长	109	第六节 病毒与宿主的相互作用	169
二、细菌的群体生长繁殖	111	一、噬菌体与宿主细胞的相互作用	170
三、原核微生物的生活史	115	二、病毒与真核细胞的相互作用	172
第三节 真菌的生长与繁殖	120	三、机体的病毒感染	174
一、霉菌的形态结构	120	第七节 亚病毒因子	175
二、霉菌的繁殖方式	122	一、卫星	176
三、酵母菌的生长繁殖	128	二、类病毒	177
第四节 环境对微生物生长的影响	130	三、朊病毒	178
		本章小结	180
		习题	180
		思考题	181

第七章 微生物遗传变异和育种 ·····	182	第八章 微生物的生态 ·····	214
第一节 遗传的物质基础·····	182	第一节 微生物在生态系统中的地位 与作用·····	214
一、DNA 作为遗传物质·····	182	一、微生物在生态系统中的作用 ·····	214
二、RNA 作为遗传物质·····	184	二、微生物与生物地球化学循环 ·····	215
三、朊病毒的发现和思考 ·····	184	第二节 微生物在自然界的分布·····	218
第二节 微生物的基因组结构·····	185	一、土壤中的微生物 ·····	218
一、大肠杆菌的基因组 ·····	185	二、水体中的微生物 ·····	219
二、啤酒酵母的基因组 ·····	186	三、空气中的微生物 ·····	220
三、詹氏甲烷球菌的基因组 ·····	186	四、工农业产品上的微生物 ·····	220
第三节 质粒和转座因子·····	187	五、极端环境下的微生物 ·····	220
一、质粒的发现和命名 ·····	188	六、生物体内外的微生物 ·····	222
二、质粒的分子结构 ·····	188	第三节 微生物与生物环境间的关系 ·····	225
三、质粒的主要类型 ·····	188	一、互生 ·····	225
四、质粒的不亲和性 ·····	190	二、共生 ·····	225
五、转座因子的类型和分子结构 ·····	190	三、寄生 ·····	227
六、转座的遗传学效应 ·····	192	四、拮抗 ·····	227
第四节 基因突变及修复·····	192	五、捕食 ·····	228
一、基因突变的类型及其分离 ·····	193	第四节 微生物与环境保护·····	228
二、基因突变的规律 ·····	194	一、微生物对污染物的降解与转化·····	228
三、基因突变的分子基础 ·····	195	二、污染物的微生物处理 ·····	229
四、DNA 损伤的修复 ·····	197	三、环境污染的微生物检测 ·····	232
第五节 细菌基因转移和重组·····	197	本章小结·····	233
一、细菌的接合作用 ·····	197	习题·····	234
二、细菌的转导 ·····	199	思考题·····	234
三、细菌的遗传转化 ·····	201	第九章 微生物的系统分类 ·····	235
四、基因定位和基因组测序 ·····	203	第一节 微生物的分类单元和命名 ·····	236
第六节 真核微生物的遗传特性·····	204	一、微生物分类单元的等级 ·····	236
一、酵母菌的接合型遗传 ·····	204	二、微生物的分类单元的划分 ·····	237
二、酵母菌的质粒·····	205	三、微生物分类单元的命名 ·····	239
三、酵母菌的线粒体 ·····	205	四、微生物的分类系统 ·····	243
四、丝状真菌的准性生殖 ·····	206	第二节 微生物系统分类的依据·····	246
第七节 微生物育种·····	207	一、原核微生物的分类依据及方法·····	246
一、诱变育种 ·····	207	二、真核微生物分类依据 ·····	255
二、体内基因重组育种 ·····	209	第三节 微生物的系统分类和主要的 属·····	256
三、基因组重排技术育种 ·····	210	一、原核微生物的系统分类和主要的属	
四、分子育种 ·····	211		
本章小结·····	212		
习题·····	213		
思考题·····	213		

.....	256	第十一章 微生物的应用和产品	294
二、真核微生物的系统分类和主要的属		第一节 工业发酵的菌种和发酵特征	
.....	261	294
本章小结.....	264	一、生产菌种的要求和来源	294
习题.....	264	二、大规模发酵的特征	295
思考题.....	265	第二节 工业发酵的方式.....	299
第十章 感染与免疫	266	一、发酵方式	299
第一节 感染的一般概念.....	266	二、固定化酶和固定化细胞	302
一、传染与传染病	266	三、固态发酵	303
二、决定传染结局的 3 个因素	266	四、混合发酵	303
三、传染的 3 种可能结局	270	第三节 微生物发酵的主要产品.....	304
第二节 非特异性免疫.....	270	一、食品和饮料	304
一、生理屏障	270	二、医药工业的主要产品	306
二、细胞因素	271	三、农牧业的主要产品	309
三、体液因素	273	四、微生物在冶金、能源等领域的应用	
第三节 特异性免疫.....	274	311
一、免疫系统	275	五、微生物塑料和生物计算机	314
二、抗原和抗体	277	六、微生物的其他应用	316
第四节 免疫学的实际应用.....	285	本章小结.....	317
一、抗体的制备及应用	285	习题.....	318
二、免疫学技术	287	思考题.....	318
三、免疫预防	290	主要参考文献	319
本章小结.....	293	附录 常用微生物名称	322
习题.....	293		
思考题.....	293		

第一章 绪 论

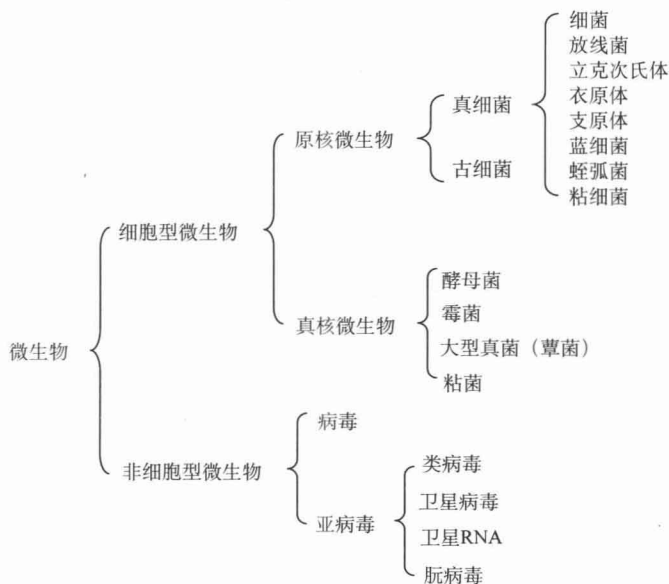
【本章导读】 人类认识微生物已有 300 多年的历史，其间许多科学家做出卓越的贡献，使得微生物这种最小的生命体对人类自身的生存和健康发挥着巨大的、不可替代的作用。微生物学作为最具生命力的学科之一也一直是推动整个生命科学发展的强大动力。本章将从微生物和微生物学的概念、微生物学的发展简史及微生物学在生命科学发展中做出的巨大贡献进行详细介绍。

人类的生活离不开微生物，在它们的许多作用中，微生物对地球化学循环和土壤肥力是必需的。它们通常用于酿造食品、生产药物和工业化合物。在有害影响方面，它们常引起许多植物、动物和人类的疾病。此外，在科研实验中还广泛应用微生物研究细胞的分化过程。

第一节 微生物与微生物学

一、什么是微生物

微生物 (microorganism, microbe) 是一类个体微小，肉眼不易看见，结构相对简单的单细胞、多细胞和无细胞结构的微小生物的总称。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。还有两种个体较大的细菌：①费氏刺骨鱼菌 (*Epulopiscium fishelsoni*) 是 1985 年发现的生活在一种棕色刺尾鱼科肠中的巨大细菌，最大可达 $600\mu\text{m} \times 80\mu\text{m}$ ，比大肠杆菌大 100 万倍，略小于印刷中使用的连字号；②1999 年在海洋沉积物中发现了更大的名为纳米比亚硫珍珠状菌 (*Thiomargarita namibiensis*) 的细菌，直径达 $750\mu\text{m}$ ，肉眼可见。微生物的主要类群包括：



二、微生物学的范畴

(一) 微生物学的定义

微生物学 (microbiology) 是生物学的分支学科之一, 它是在分子、细胞或群体水平上研究微生物的形态结构、生长繁殖、生理代谢、遗传变异、生态分布以及微生物的进化、分类等生命活动规律的一门学科。

(二) 微生物学的研究对象及任务

随着生物科学研究的深入, 人们逐渐认识到, 微生物不是一个独立的分类类群。它们个体微小、形态简单、生长繁殖快、代谢类型多样、分布广泛和容易发生变异, 以及生物学特性比较接近, 且对它们的研究方法也颇为特殊, 一般都要采用显微镜、分离、灭菌和培养等技术。因此, 人们就把无细胞结构不能独立生活的病毒、亚病毒因子 (卫星病毒、卫星 RNA 和朊病毒), 具有原核细胞结构的细菌、古菌以及具真核细胞结构的真菌 (酵母菌、霉菌、蕈菌)、单细胞藻类, 原生动物这些简单的低等生物统归于微生物学的范畴来研究。它的任务是充分发挥微生物的有利方面, 造福人类; 充分遏制其有害方面, 减少、防止、消除疾病及灾害的发生。

(三) 微生物学的学科分支

微生物学研究领域十分宽阔, 进而又可分为许多不同的分支学科。从基本理论上, 可分为微生物形态学、微生物生理学、微生物遗传学、微生物生态学、微生物分类学、细胞微生物学和分子微生物学等; 从应用上看, 根据从事的工作范围可分为农业微生物学、工业微生物学、医学微生物学、食品微生物学和地质微生物学等; 根据研究对象的类群划分, 可分为病毒学、细菌学、藻类学、真菌学和原生动物学等; 根据生态环境的不同, 可分为环境微生物学、土壤微生物学、海洋微生物学和宇宙微生物学等。每项学科的研究内容也都十分广泛, 如微生物遗传学可包括微生物的细胞遗传、分子遗传和遗传工程等。工业微生物学可研究微生物的酶、医药产品 (如抗生素) 和发酵产品的生产等。

三、如何学好微生物学

由于微生物学既是一门基础理论学科, 又是一门侧重应用的学科, 因此, 要想学好该学科, 就应针对这一特点, 将基础理论和实践应用密切结合起来。为了有效提高学生的学习效果, 特提出几点教学体会, 供学生学习时参考借鉴。

(一) 充分认识微生物学课程的重要性, 树立专业思想

微生物技术是目前生物学研究领域的热点之一, 是 21 世纪最有发展前途的生物前沿技术, 具有突出的优势和广阔的发展潜力。微生物以对环境无污染、不留残毒、增产增收效果稳定、持久等突出优点受到科研工作者和生产者的日益青睐。随着生物技术的广泛应用, 微生物对现代与未来人类的生产活动及生活必将产生巨大影响。

大学生要想学好微生物这门课, 必须充分认识到这一点, 树立专业思想, 这样才能产生强大的学习动力。

(二) 从日常生活和生产实践中发现问题、提出问题、带着问题学习

大学生通常是从中学校门直接进入大学校门, 缺乏对微生物教学内容的感性认识, 同时由于微生物形态微小, 平时看不到、摸不着, 因此, 在日常生活中注意细心观察, 了解掌握本地区农业生产中存在哪些问题? 主要栽培作物(饲养动物)都发生哪些病害? 如何诊断? 如何防治? 防治效果如何? 微生物病原菌给人们带来了哪些灾难? 如何预防和治疗? 如何利用微生物更好地服务于人类? 等等。带着这些问题来学习, 这样才能提高学习的针对性, 激发学习兴趣, 提高学习效果。

(三) 认真上好实验课, 巩固加深理论课学习效果

微生物学是一门理论知识联系生活生产实际比较强的学科, 学习的好坏主要靠实际运用实践来检验。实验课是对课堂理论教学效果的巩固和加深及验证, 是理论联系实际的良好过渡, 对于培养学生的动手能力至关重要。大学生必须克服忽视实验课这种错误倾向。

(四) 积极参加课外实验活动, 提高科研素质和实验操作能力

学生在课外实验活动中所学到的东西, 是通过课堂途径是很难学到的, 因为课外实验和其他实验相比, 学生的自主性更高, 他们能从中体会到在设计 and 准备实验中的极富创造性的思维和完整的操作过程。因而, 可以培养自己分析问题、解决问题的能力, 提高鉴定微生物、研究微生物和利用微生物的本领, 更好地为生产服务。

第二节 微生物在生物界中的地位

一、两界和三界系统

生物分类工作是在 200 多年前 Linnaeus (1707~1778) 的工作基础上建立的。他将生物划分为动物界 (Animalia) 和植物界 (Plantae), 二者在概念上是十分明确的。自从发现了微生物以后, 科学家习惯把它们分别归入动物和植物的低等类型。例如, 原生动物没有细胞壁, 能运动, 不能进行光合作用, 而被归入动物界。藻类有细胞壁, 能进行光合作用, 则被归于植物界。

但是, 有些微生物具有动物和植物共同的特征, 将它们归入动物界或植物界都不合适。因此, 在 1866 年, Haeckel 提出三界系统, 把生物分为动物界、植物界和原生生物界 (Protista), 他将那些既非典型动物, 也非典型植物的单细胞微生物归属于原生生物界中。在这一界中, 包括细菌、真菌、单细胞藻类和原生动物, 并把细菌称为低等原生生物, 其余类型则称为高等原生生物。

二、五界系统

到 20 世纪 50 年代, 人们利用电子显微镜观察微生物细胞的内部结构, 发现典型细菌的核与其他原生生物的核有很大不同, 前者的核物质不被核膜包围, 后者全都有核膜, 并进一步揭示两类细胞在其他方面也有不同, 随后提出了原核生物与真核生物的概念。在此认识基础上, 1969 年 Whittaker 提出生物分类的五界系统, 其中包括原核生物界 (Monera)、原生生物界、真菌界 (Fungi)、植物界和动物界。微生物分别归属于五界中的前三界, 其中原核

生物界包括各类细菌，原生生物界包括单细胞藻类和原生动物，而真菌界包括真菌和粘菌。虽然无细胞结构的病毒不包含在这五界中，但微生物学家一直在研究它们。

三、三界（域）系统

在 20 世纪 60 年代末，Woese 采用寡核苷酸编目法比较各类生物的 rRNA 特征序列，并用序列分析方法，确认 16S rRNA 和类似的 rRNA 基因序列为合适的系统发育指标。他在测定了原核生物的 16S rRNA 和真核生物的 18S rRNA 的寡核苷酸顺序谱的基础上，从序列差异计算出它们之间的进化距离，绘制出系统发育树（universal phylogenetic tree）。1977 年，Woese 通过对产甲烷细菌的 16S rRNA 的序列测定，揭示了古菌这个第三种生命形式。根据 Woese 的系统发育树，地球上所有细胞生命沿着 3 个主要谱系进化，又称为域（domain），即细菌、古菌和真核生物，如图 1-1 所示。古菌域的提出是近年来微生物学的一个重大的进展。从图 1-1 可以看出，这 3 个域有共同的祖先，它们向两个不同的方向演化，细菌和古菌虽然同属于原核生物，但古菌和真核生物的关系比它与细菌的关系更近。研究表明，古菌和真核生物享有一些共同的性状，基本上不同于细菌。

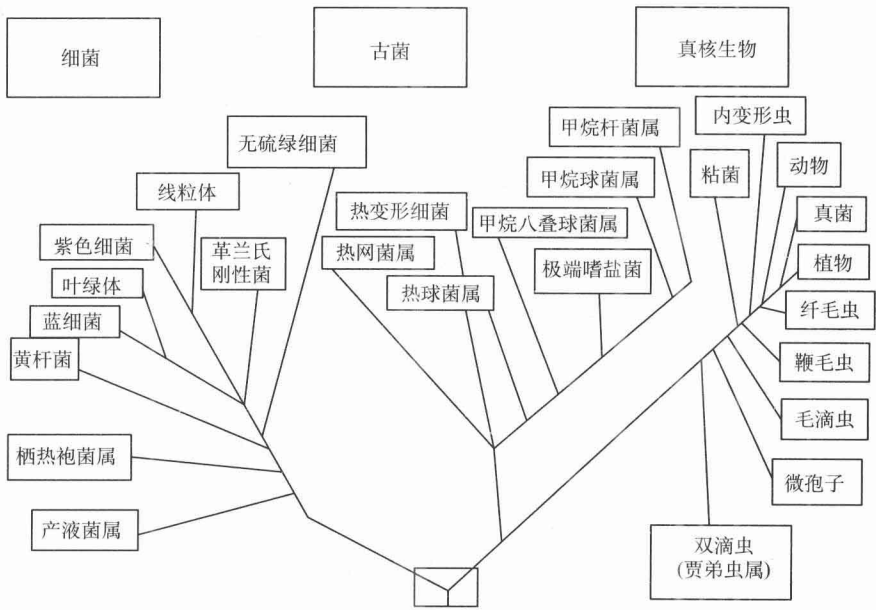


图 1-1 Woese 的系统发育树（引自：杨苏声和周俊初，2004）

第三节 微生物学的发展史

一、史前时期

由于大多数微生物的个体很小，需要在显微镜下才能观察到，所以在古代人们并不知道什么是微生物。但是在长期的生产活动和日常生活中，人类对微生物的认识和利用却有着悠久的历史，并积累了丰富的经验。早在 8000 年以前，我国人民就已发明了制曲酿酒工艺。酿酒是酵母菌活动的结果，需要菌种、原料和控制条件，这些内容在古书中均有详细的叙

述。此外，在 2500 年前的春秋战国时期，就已经知道制醋和制酱。

在农业上，我国农民对于制作堆肥和厩肥有一套完整的技术，这个过程就是利用有机质在微生物的作用下，腐解为简单的可供植物吸收的营养。实际上，就是控制环境条件，使不同生态群的微生物相继分解有机质的过程。这一技术的历史可以追溯到春秋战国时代，在著名的农业著作《齐民要术》中已有详细论述。我国农民还懂得如何利用豆科植物与粮食作物进行轮作和间作，实际上是利用根瘤菌与豆科植物的共生固氮作用，以提高土壤肥力。

在古医书中，也有许多防止病原菌侵染和治病的措施，均涉及消毒灭菌和增强抗菌力的问题。较突出的是种痘防天花，自宋朝就已经广泛应用了。不过当时是人痘法，后来英国医生发明了牛痘法。所以，免疫接种法预防疾病在我国的历史更为悠久。此外，利用微生物作为强身和治病的药剂，如灵芝、茯苓和麦角等，一向被古人视为灵丹妙药。

二、微生物学的初创时期

1676 年，荷兰人 Leeuwenhoek 利用他自制的简单显微镜首次发现了一个神奇的微小生物世界。当时他所用的显微镜可以放大到 300 倍。利用这个工具，他观察了雨水、污水、血液和牙垢等，描绘了细菌和原生动物等的形态和生活方式。在微生物学的发展史上，他的发现具有划时代意义。但是，在 Leeuwenhoek 之后，对微生物的研究有一段沉寂时期，这是因为一方面没有更精密的显微镜出现，另一方面，人们对微生物的研究还停留在形态描述的水平上，而没有对它们的生理活动及其与人类的关系加以研究。直到 1861 年 Pasteur 的工作说明了这个关系后，微生物才开始受到重视。

三、微生物学的发展

(一) 微生物学的奠基时期

微生物学作为一门学科，是在 19 世纪中期才发展起来的。首先，应归功于以法国人 Pasteur (1822~1895) 和德国人 Koch (1843~1910) 为代表的科学家，他们研究了微生物的生理活动，并与生产和预防疾病联系起来，为微生物学奠定理论和技术基础。

Pasteur 的主要贡献之一是他彻底地否定了统治长久的微生物“自然发生”学说。该学说认为一切生物是自然发生的，可以从一些没有生命的材料中产生。例如，烧瓶中的有机物浸汁的腐败，究竟是自然发生的，还是空气中的微小生物造成的？Pasteur 设计了具有细长弯曲的长颈的玻璃瓶，内装有机物浸汁(图 1-2)，将浸汁煮沸灭菌后，瓶口虽然开放，但保持不腐败。这是由于空气虽能进入玻璃瓶，但其中所含有的微小生物不能从弯曲的细管进入瓶内，而附着在管壁上。一旦将瓶颈打破，或将瓶内的浸汁倾湿管壁，再倒回去，则瓶内浸汁才有了微生物而腐败。这个试验证明了空气中含有微生物，可引起有机质的腐解，

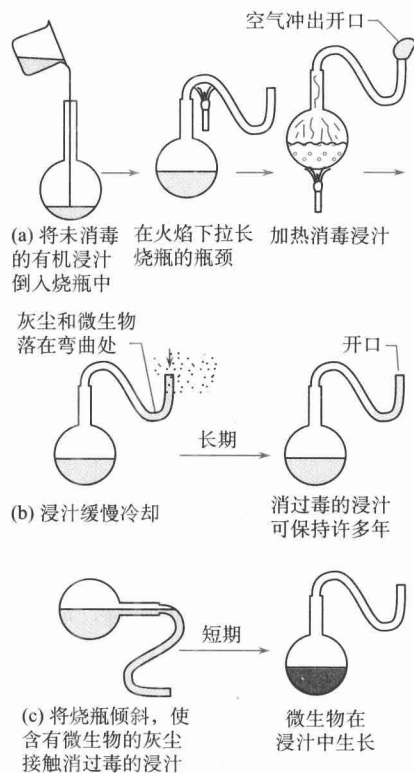


图 1-2 Pasteur 的鹅颈瓶试验

(引自：杨苏声等，2004)

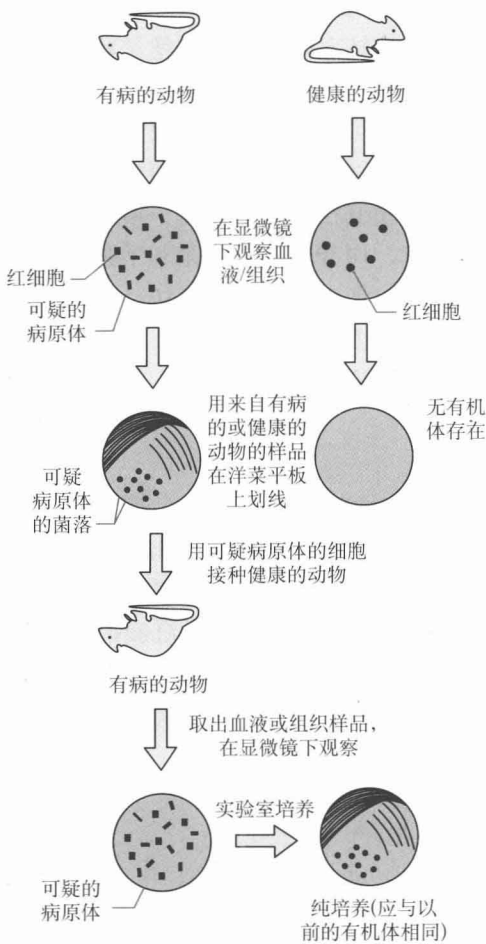


图 1-3 Koch 法则示意图
(引自：杨苏声等，2004)

否定了自然发生学说后，人们对疾病和某些自然界的现象才开始有了正确的认识。

Pasteur 的贡献之二是对发酵的研究。他的研究证明了糖在酵母菌的作用下，可以转变为酒精，而在其他细菌的作用下，可以转变成乳酸和醋酸等。不同微生物所要求的条件不同，发酵过程不同，因而产物也不相同。他在研究了酸发酵时，发现这是在没有氧气的条件下进行的，并证明酵母菌的发酵作用也是在缺氧条件下，因此提出发酵作用不需有氧参加。他在这方面的量为微生物生理学打下了基础。Pasteur 在研究各种物质发酵的同时，为了防止产品的腐败，他提出了一种可以消灭不需要的微生物的方法，这就是著名的巴斯德灭菌法，即采用 50~65℃ 的温度处理产品一定时间，可以达到防腐目的。

此外，Pasteur 还首先发现用钝化的鸡霍乱病原体可以预防鸡霍乱病，后来他研究了炭疽病和狂犬病的疫苗，为免疫学打下了基础，促进了医学微生物学的发展。

Koch 对传染病的病原菌学说有重要贡献。他提出了 Koch 法则 (图 1-3)，确证了炭疽病、结核病和霍乱病等严重传染病的病原菌，并建立和改进了微生物学的研究技术和方法。Koch 法则的内容包括：①病原微生物只出现于患病的动物，而不存在于健康的个体；②这种微生物可以从寄主体内分离出来，并进行纯培养；③将分离出的微生物回接到健康的寄主，可产生相同的疾病；④可从患病的寄主中重新分离出相同的微生物。

实践证明，Koch 法则对大多数病原菌的确定是实用的。至今，这个法则仍是行之有效的确定未知病原菌的常规方法。

在微生物的培养方面，Koch 的助手 Petri 做出了重要贡献，他所设计的玻璃培养皿，称为 Petri 皿。这种培养皿既便于容纳培养基，也便于观察细菌等微生物菌落，同时它还可以达到通气而不易污染杂菌的目的。迄今，这种培养皿仍是微生物学中广泛使用的器材之一。

另一项为培养基的使用，培养基成分中的凝固剂最初使用明胶，但明胶在 28℃ 以上就会熔化，因此，对于培养人类的病原菌 (最适温度为 35~37℃) 极不合适。此外，有些细菌可以分解明胶，使它失去作为培养基支撑物的作用。为此，Koch 的另一名助手 Hesse 在妻子的启发下，用她做果冻的洋菜作为固体培养基的支撑物。洋菜是从一种海藻中提取出来的，在 100℃ 左右熔化为液体，在 42℃ 以下则凝固为固体，且不为微生物所分解。所以，洋菜确实是一种优良的凝固剂。

在早期，微生物学的发展速度比较缓慢，主要是受了研究方法的限制，但是，无论如

何, 初期的工作打开了微生物世界的大门, 奠定了微生物形态学、微生物生理学、微生物分类学及医学微生物等各方面的基础。

(二) 微生物学的发展时期

从 19 世纪后期到 20 世纪初期是微生物学全面发展的时期, 其中包括微生物生物化学、医学微生物学、土壤微生物学和病毒学的发展。

土壤微生物学的发展与俄国微生物学家 Winogradsky (1856~1953) 的贡献是分不开的。他发现在土壤中存在一类化能自养菌, 它们只需氧化无机物就可以存活。他还着重研究了在温泉中生活的一种硫细菌, 证明这种细菌能将 H_2S 氧化成 S, 并在菌体内积累硫颗粒。其后他还研究了铁细菌和硝化细菌, 从而肯定了细菌中这种化能无机营养类型。这一工作不仅丰富了细菌的种类, 而且揭示了新的一类代谢类型。由于自养菌的培养方法与异养菌不同, 他创造了一套用硅酸凝胶法培养自养菌的技术。此外, 他还第一个从土壤中分离获得了厌氧的自生固氮菌——巴斯德梭菌 (*Clostridium pasteurianum*)。Winogradsky 一生的工作开辟了研究微生物生态和微生物在自然界物质循环中的作用等重要课题, 奠定了土壤微生物学的基础。

Beijerinck (1851~1931) 是荷兰的微生物学家, 他首先发现了自然界存在固氮细菌这一特殊类型的微生物。他最初分离到好氧的固氮菌, 即现在大家所熟知的褐球固氮菌 (*Azotobacter chroococcum*)。1888 年, 他还成功地自豆科植物的根瘤中分离出根瘤菌, 揭示了这种共生固氮现象。其研究范围非常广泛, 还涉及硫酸还原菌和发光细菌等。Beijerinck 不仅是土壤微生物学的奠基人之一, 在发展普通微生物学方面也做出了很大的贡献。

1929 年, 英国细菌学家 Fleming 在培养葡萄球菌的培养皿中, 发现在污染有青霉菌菌落的周围完全不长葡萄球菌。进一步的研究发现, 这种抑菌物质存在于青霉菌的培养液中, 他称这种物质为青霉素。奇怪的是, 这种物质对动物没有毒性, 因此, 使人联想到将它用于治疗疾病的可能性。后来, Florey 提纯了青霉素, 用于治疗革兰氏阳性菌所引起的疾病, 为医疗方面开辟了一个新的途径。随后, 科学家们纷纷从微生物中寻找这类抗生物质。1944 年, 美国土壤微生物学家 Waksman 等找到了由链霉菌所产生的链霉素, 并陆续找到了氯霉素、地霉素、四环素和金霉素等数百种抗生素。这些工作使抗生素的研究从筛选发酵到提纯、包装全面展开, 并形成了一套完整的抗生素工业系统, 抗生素的应用范围也越来越广泛。至今在人畜医药治疗上仍是有效的药剂, 挽救了无数人的生命。目前, 抗生素也应用于植物病害的防治上。

(三) 微生物学成熟时期

20 世纪 30 年代以来, 由于电子显微镜和同位素示踪原子的运用, 人们将微生物学、生物化学、遗传学、生物物理学和计算机科学综合起来, 在分子水平上进行研究, 形成了现代微生物学的特点, 并诞生了分子微生物学。

微生物学在分子水平上的发展起始于分子遗传学的研究。1941 年, Beadle 和 Tatum 用粗糙脉孢菌 (*Neurospora crassa*) 分离到几个营养缺陷型突变株, 根据研究结果, 提出“一个基因一个酶”的假说, 使细胞遗传学进入了生化遗传学阶段。更重要的成果是, 1944 年 Avery 在研究细菌的转化因子时发现 DNA 的作用, 揭露了基因的化学特性, 从而证实了遗传的物质基础。1953 年, Watson 和 Crick 提出了 DNA 的双螺旋结构, 大大促进了分子遗