


研究生创新教育系列丛书

微生物资源学

(第二版)

徐丽华
娄 恺 张 华 张利平
薛泉宏 张立新 熊 智 等 著

 科学出版社
www.sciencep.com

研究生创新教育系列丛书

微生物资源学

(第二版)

徐丽华

娄 恺 张 华 张利平 等 著
薛泉宏 张立新 熊 智

国家“973”计划

国家科技部重点国际合作计划

国家发展和改革委员会高技术产业化推进计划

国家自然科学基金重点项目计划

国家自然科学基金面上项目计划

云南省重点科技计划

云南省重点国际合作计划

云南大学“211”工程基金

资助

科学出版社

北京

内 容 简 介

微生物资源学是研究微生物资源的种类和分布、微生物资源与环境的关系、微生物资源合理开发利用的战略和策略、微生物资源有效保护的措施等的科学。本书在第一版的基础上,汇集了最近十多年国内外本领域的新进展、新思想、新技术、新成就,其内容更加丰富。

本书可供微生物学及相关学科的研究人员,大专院校教师、学生、研究生及工程技术人员和管理人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

微生物资源学/徐丽华等著. —2 版. —北京:科学出版社,2010

(研究生创新教育系列丛书)

ISBN 978-7-03-029002-1

I. ①微… II. ①徐… III. ①微生物-生物资源-研究 IV. ①Q938

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 182068 号

责任编辑:罗 静 王 静 李晶晶/责任校对:朱光兰

责任印制:钱玉芬/封面设计:陈 敬

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>

陈海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1997年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年9月第 二 版 印张:29 插页:1

2010年9月第一次印刷 字数:767 000

印数:1—2 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

执笔人员

- 毛培宏 新疆大学理学院 phmao@china.com
李文均 云南大学云南省微生物研究所 liact@hotmail.com
来航线 西北农林科技大学资源环境学院 laihangxian@163.com
赵立兴 云南大学云南省微生物研究所 zlx70@hotmail.com
廖振林 华南农业大学资源环境学院 liaozhenlin2004@126.com
唐蜀昆 云南大学云南省微生物研究所 tangshukun@hotmail.com
姜怡 云南大学云南省微生物研究所 jiangyikm@hotmail.com
李洁 云南大学云南省微生物研究所 lijietaren@163.com
田新朋 中国科学院南海海洋研究所 tianxinpeng@hotmail.com
尹敏 云南大学云南省微生物研究所 ym3612003@163.com
曹艳茹 西北农林科技大学资源环境学院 yanrucao3@yahoo.com.cn
云南大学云南省微生物研究所
刘梅 中国科学院微生物研究所 liumeizky@gmail.com
代焕琴 中国科学院微生物研究所 hungqindai@gmail.com
刘向阳 中国科学院微生物研究所 shangdongliu@gmail.com
徐丽华 云南大学云南省微生物研究所 lihxu@ynu.edu.cn
娄恺 新疆异常环境微生物资源重点实验室 loukai02@mail.tsinghua.edu.cn
张华 华北制药集团微生物药物国家工程研究中心 zhanghua@ncpc.com
张利平 河北大学生命科学学院 zhlping@mail.hbu.edu.cn
薛泉宏 西北农林科技大学资源环境学院 xuequanhong@163.com
张立新 中国科学院微生物研究所 zhang03@gmail.com
熊智 西南林学院资源学院 xzhi@public.km.yn.cn
刘志恒 中国科学院微生物研究所 zhliu@sun.im.ac.cn
姜成林 云南大学云南省微生物研究所 lihxu@ynu.edu.cn

自序

微生物资源学是关于微生物资源的种类、分布规律、产物与物种及环境的关系、开发利用及有效保护的科学。《微生物资源学》第一版（科学出版社，北京，1997年）已经出版发行13年了，不少学校开设了微生物资源学专业及相关的课程，并将其作为教学参考书，这对推动该学科的建设、人才培养和微生物资源的开发利用发挥了一定的作用。

13年来，微生物资源研究和开发利用都发生了重大变化，新技术不断出现，新领域不断取得进展。

1. 微生物资源研究从土壤扩展到海洋、极端环境、植物内生菌、人和动物肠道菌，甚至太空。最近几年，在 *Cell*、*Nature*、*Science*、*PNAS* 等杂志发表了大量人体微生物多样性的论文，预示着人体微生物的功能研究将会有重要突破。我们研究中国西部盐碱环境放线菌资源，发现了姜氏菌新亚目及阎氏菌属等约20多个放线菌新属，展现了极端环境蕴藏着极为丰富的微生物资源。

2. 国内外的研究表明，尽管微生物资源开发利用已经取得了巨大成就，但迄今为止我们能够纯培养的微生物其实还不到实有数的1%，利用的微生物还不到万分之一。所以焦瑞身先生在21世纪初就提出未培养微生物的分离培养是21世纪微生物学者的一项重要任务。这十多年研究者在未培养微生物的研究领域取得了许多新成果，展示了微生物资源开发利用的巨大潜力，同时也说明工作的难度越来越大。

3. 人类基因组计划的影响是全方位的，同时也带动了基因测序技术和分析解读的飞速进步，测序成本大幅降低。2009年，中国启动万种微生物基因组计划，将对有重大利用和开发价值、引起重要疾病的微生物进行测序，并解读这本“天书”，发掘利用这无穷的微生物基因资源。如果这个计划能顺利实施，将对微生物资源的开发利用产生深远的影响，使我国在该领域处于十分有利的地位。

4. 最近十多年，微生物资源开发利用的新技术不断涌现，高通量筛选技术、高通量在线化学分析技术、基因组技术、蛋白质组技术、组合生物合成技术、宏基因组技术、生物信息技术等，这些技术及其理论正在向集成、组合的方向发展，将大大提高微生物资源开发利用的效率。

在这种背景下，第一版《微生物资源学》显得有些陈旧。同时，我们也应该看到，虽然微生物资源的研究、开发利用已经有很长的历史，但微生物资源学作为一门学科却还处在形成过程之中。在《微生物资源学》第一版的基础上，第二版试图尽量吸收国内外近十多年的最新进展和成果，包括作者的最新成果，进一步建立和完善微生物资源学的科学架构，按照资源的产地对微生物资源的种类、分布、用途、开发利用的途径、相关新技术，以及有效保护加以介绍，以期促进该学科的学科建设和人才培养，促进微生物资源的高效开发利用和有效保护，造福社会。

前 言

《微生物资源学》第一版已经问世 13 年。在这 13 年里，一些学校开设了微生物资源专业及相关课程，将其作为主要参考书，这对我们是一种莫大的鼓励和支持。这 13 年来该学科发生了翻天覆地的变化，取得了长足的进步，有必要重新编写。第二版试图尽量吸收国内外近十多年的最新进展和成果，包括作者的最新成果，进一步建立和完善微生物资源学的科学架构，对其基本原理、学科范围、研究方法及未来发展进行探讨。希望本书的出版能对推动我国微生物资源的合理开发利用和有效保护，对这个学科的建设和发展，对有关的科研人员、教学人员、工程技术人员和学生、有关领导有所裨益。

第二版邀请了全国各地相关领域的许多中青年科学家执笔，总人数达 23 位，这不仅丰富了本书的内容，改善了本书的结构，也促进了微生物资源研究、开发利用队伍的发展壮大。这也是出版第二版的重要目的之一。

本书由赵立兴、李洁、曹艳茹、徐丽华、姜成林集体审订。

我们十分感谢科技部（“973”项目子课题 1 项，“973”前期项目 1 项，国际合作重点项目 1 项）、国家自然科学基金会（资助项目 8 项，其中重点项目 2 项）、国家发展和改革委员会和云南省发展和改革委员会（高技术产业化推进项目 1 项）、云南省应用基础研究基金会（资助项目 5 项，重点项目 1 项）、云南省国际合作研究基金会（资助项目 3 项）、云南大学“211”工程基金会长期而持续的支持和资助，使我们得以对微生物资源进行长达 40 多年的系统研究。本书的基本内容来源于这些研究的成果及作者的理论创作。

我们特别感谢云南大学云南省微生物研究所、各位作者所在单位行政人员为我们提供的周到服务。

衷心欢迎各界人士对本书的不足提出宝贵意见。

第一版序

微生物资源学是关于微生物资源合理开发、利用和有效保护相结合的科学。它研究微生物资源的种类和分布，研究微生物资源与环境之关系，研究微生物资源合理开发利用的战略和策略，研究微生物资源的有效保护措施等。我国利用微生物（于酿造、食品工业和医药工业等）虽然有悠久的历史 and 不少成功的经验，但近代化的微生物资源学即使在世界先进国家也还是一门正在形成中的年轻学科，特别需要重视和扶持。

在国家自然科学基金委员会、云南省应用基础研究基金会、云南省国际合作研究基金会、云南省生物多样性委员会和云南大学“211”工程基金会的支持和资助之下，作者对云南的微生物资源进行了长达二十多年的系统研究。该书的基本内容来源于这些研究的结果及作者的理论创作，重点论述什么是微生物资源、有什么特点、如何利用、如何保护，核心是新资源的开发，尤其是关于天然微生物资源需要有效保护的观点是作者从自己的大量实验结果得到的明确结论，可以说是一种新提法。本书还吸收了近些年来微生物资源合理开发利用的新思想、新方法和新成就。

据了解，国内外还没有这样一本著作。

人类大规模、高效率而又合理地开发利用微生物资源最多不过半个世纪。未知微生物资源无穷，开发利用的潜力很大，但保护微生物资源的大众意识远没有形成。对于微生物资源孳生和进化的森林生态系统及微生物对于农林生态系统和热带、亚热带森林天然生态系统形成和发展的极重要的作用尤其认识不到或认识不足。云南省是国际公认的生物多样性最丰富的地区之一，也是微生物资源最丰富的地区之一。目前，开发生物资源已被列入云南省国民经济发展战略。希望该书的出版能对推动我国微生物资源的合理开发利用和保护，对有关的科研人员、教学人员、学生、研究生、工程技术人员和管理人员，对这个学科的形成和发展有所裨益。

吴征镒

1996年4月27日

与第一版比较，第二版有如下特点。

1. 扩展了资源生态学的内涵。根据微生物的栖息地，重点对土壤、海洋、湿地、异常环境、动物、植物、太空微生物资源的种类、分布、如何获得未知微生物资源，以及微生物基因资源进行了比较深入的叙述。

2. 由于我们已经有《微生物资源开发利用》（中国轻工业出版社，北京，2001年）一书出版，所以，对第一版的第二编（各论）的相关内容进行了压缩，仅保留两章。

3. 本书作者都是相关单位相关领域的学术带头人和业务骨干，书中很多内容都是作者本人的研究成果和长期积累的经验，而且在每个部分都有“值得研究的问题”。这对年轻学者和学生都应该有所裨益。

4. 太空微生物资源、微生物基因资源两章是与时俱进的新内容，将帮助研究人员和工程技术人员探索外太空可能存在的奇妙微生物资源，发掘利用微观而浩如烟海的基因资源。

姜成林 徐丽华

2010年4月10日于昆明

目 录

自序	
前言	
第一版序	
概论	1
第一节 微生物是一类资源	1
第二节 微生物资源的种类	2
第三节 微生物资源的特点	4
第四节 资源微生物的分布	5
第五节 微生物资源开发利用的过去和现在	8
第六节 开发利用微生物资源的新技术	12
主要参考文献	12
第一章 土壤微生物资源	14
第一节 土壤微生物的分离	15
第二节 土壤微生物资源的种类及分布	23
第三节 土壤微生物资源的利用	70
主要参考文献	74
第二章 海洋微生物资源	76
第一节 海洋环境	76
第二节 海洋真菌资源	91
第三节 海洋放线菌资源	98
第四节 值得研究的问题	105
主要参考文献	106
第三章 湿地微生物资源	111
第一节 湿地概述	111
第二节 湿地微生物的分离	114
第三节 湿地微生物资源	118
第四节 云南高原湖泊的放线菌资源	125
第五节 湿地微生物资源的利用	135
主要参考文献	136
第四章 极端环境微生物资源	138
第一节 极端环境和极端环境微生物	140
第二节 极端环境微生物的分离	147
第三节 极端环境微生物资源的分布	151

第四节 极端环境微生物的开发利用及展望·····	163
主要参考文献·····	172
第五章 固氮放线菌资源 ·····	177
第一节 固氮菌 Frankiae 在自然界中的作用·····	177
第二节 固氮菌 Frankiae 资源的种类及分布·····	182
第三节 固氮菌资源的利用·····	196
第四节 Frankiae 菌资源研究存在的问题与展望·····	201
主要参考文献·····	202
第六章 植物内生菌资源 ·····	206
第一节 植物内生菌的发现及其研究意义·····	206
第二节 植物内生菌的分离·····	207
第三节 植物内生菌资源的种类和分布·····	212
第四节 植物内生菌资源的利用·····	221
第五节 值得研究的问题·····	239
主要参考文献·····	240
第七章 动物肠道菌资源 ·····	243
第一节 动物肠道菌及粪便菌·····	243
第二节 动物肠道菌的种类及分布·····	245
第三节 肠道菌分离方法·····	247
第四节 动物肠道菌的利用·····	249
小结·····	252
主要参考文献·····	252
第八章 太空微生物资源 ·····	256
第一节 宇宙生命起源和进化·····	257
第二节 地外生命科学探索·····	262
第三节 地球微生物在太空中的存活与适应性(假说、论证)·····	267
第四节 人类载人航天活动中相关微生物技术的应用·····	273
第五节 展望·····	283
主要参考文献·····	283
第九章 微生物基因资源 ·····	285
第一节 微生物基因组研究及其意义·····	285
第二节 微生物基因组的研究方法·····	293
第三节 微生物基因资源的开发利用·····	300
主要参考文献·····	311
第十章 资源微生物的分离与保存 ·····	313
第一节 分离资源微生物的基本原则·····	313
第二节 各类微生物的分离程序·····	319
第三节 资源微生物的保存·····	328

主要参考文献·····	332
第十一章 微生物资源的保护 ·····	333
第一节 保护微生物资源的必要性和紧迫性·····	333
第二节 保护微生物资源的措施·····	336
主要参考文献·····	340
第十二章 微生物资源开发利用的战略与策略 ·····	341
第一节 微生物资源开发利用的战略·····	341
第二节 微生物资源开发利用的基本程序·····	343
第三节 放线菌药物研究与开发的新程序·····	344
主要参考文献·····	348
第十三章 微生物天然产物的高通量筛选 ·····	350
第一节 概述·····	350
第二节 高通量筛选技术的发展趋势和国内外现状·····	353
第三节 微生物高通量筛选系统·····	358
主要参考文献·····	370
第十四章 微生物资源开发利用的新技术 ·····	372
第一节 发酵新技术·····	372
第二节 组合生物合成技术·····	378
第三节 蛋白质组技术·····	381
主要参考文献·····	385
第十五章 资源微生物在农业上的应用 ·····	387
第一节 微生物肥料·····	387
第二节 微生物饲料·····	408
第三节 微生物农药·····	414
主要参考文献·····	426
第十六章 资源微生物在医药上的应用 ·····	428
第一节 抗生素·····	428
第二节 其他生物活性物质·····	440
第三节 酶抑制剂·····	442
第四节 微生物药物发展趋势·····	444
主要参考文献·····	444
第十七章 问题与展望 ·····	446
第一节 开发利用已保存的微生物资源·····	446
第二节 未培养微生物资源的发掘利用·····	447
第三节 微生物药物开发面临的问题·····	447
第四节 如何突破限制微生物药物研发的瓶颈·····	447
主要参考文献·····	449

概 论

微生物资源学是关于微生物资源的种类、分布规律、产物与菌种及环境的关系、开发利用及有效保护的科学，它是微生物分类学、生态学、分子生物学、化学、环境科学、医学、农学、工程学等学科的交叉学科。百年来，微生物资源开发利用取得了极其辉煌的成就，并被广泛应用于医药、化工、轻工、食品、矿冶、农业、环保等各个行业，创造了巨大的社会效益和经济效益。可以毫不夸张地说，微生物是国家取之不尽、用之不竭的重大战略资源。但是，微生物资源学作为一门学科却还处在形成过程中。在《微生物资源学》第一版（科学出版社，北京，1997年）的基础上，第二版试图尽量吸收国内外近十多年的最新进展和成就，包括作者的最新成果，进一步建立微生物资源学的科学架构，以促进该学科的学科建设和人才培养，促进微生物资源的高效开发利用和有效保护。

第一节 微生物是一类资源

动物、植物是资源，这是小学生都知道的事。人天天跟动物、植物打交道。动物、植物是人类食物的主要来源。现代工业和现代农业更是大规模地开发利用动物、植物资源为人类造福。但是，由于过度开发或不合理开发，动物、植物资源急剧减少，造成了长期的甚至是难以弥补的损失，气候变暖就是恶果之一。这已经成为国际性的问题，引起了各国政府的高度重视。这是关系到人类生存的大事，因此人类提出了只有一个地球的口号。许多国家都制定了保护珍稀动物、濒危植物的法规，并采取了相关的措施。

但微生物是一类资源却远远没有被公众所认识。

首先，微生物的发现就很晚，迄今仅三百多年。微生物的发现与显微镜密切相关。早在17世纪时，荷兰玻璃透镜磨制者就做成了第一批望远镜和显微镜。今天已经难以考证第一台显微镜的制造者，比较大的可能性是1590年Johannes和Jessen制成的。后来经过改进，科学家用它第一次撞击了微观世界的大门，开启了认识、了解和研究微生物的新时代。相比之下，人类利用动物、植物资源的历史则长很多。

其次，人类不但很晚才发现微生物，而且起初发现的微生物还都是引起疾病的病原微生物。1683年Leeuwenhoek就是从牙垢中第一次发现细菌的。自那以后很长的一段时间内，微生物研究的历史实际上是一部与病原体作斗争的历史，人们都把微生物作为敌人看待。1796年Jenner研究天花免疫。1847年Semmelweiss发现产褥热的病因，同时创制了防腐剂。19世纪50年代Pasteur研究了炭疽病免疫、狂犬病免疫。1882年Koch发现结核杆菌，1883年发现霍乱弧菌，1896年研究考察鼠疫、麻风病、疟疾等。这都是人类与疾病斗争的重要事件。所以，在很长的时期内，人们都把微生物同疾病联系在一起，认为它对人类有害无益，而对微生物有益性的认识则晚得多。

人类有意识地开发和利用微生物的历史大约只有百年的时间。如果 1929 年 Fleming 从真菌中发现青霉素算是人类科学利用微生物的开端,那么人类科学利用微生物的时间到现在已经 80 多年了,为此 Demain 专门写了一篇纪念性评述。只是近些年来人们才明确地认识到,与动物、植物一样,微生物也是一类重要的可再生自然资源。

1992 年联合国环境与发展大会通过了《生物多样性公约》(Convention on Biological Diversity),这是人类对保护生物多样性及其永续利用的共同纲领。我国是该公约的缔约国之一。1993 年我国成立了“中国环境与发展国际合作委员会生物多样性工作组”。1994 年云南省政府第一个率先成立了“云南省生物多样性保护委员会”。

《生物多样性公约》明确指出:“生物资源是指对人类具有实际或潜在用途或价值的遗传资源、生物体或其部分、生物群体或生态系统中任何其他生物组成部分”。“最好在遗传资源原产国建立和维持移地保护及研究植物、动物和微生物的设施”。这是对微生物资源及其保护最具权威性的表述。

杂草是对农作物有害的植物,苍蝇、老鼠传染疾病,是对人有害的动物。微生物中也有病原菌,它们是有害微生物。本书涉及的是“具有实际或潜在用途或价值”的微生物。诚然,有的致病菌也有实际用途。例如,引起水稻恶苗病的赤霉菌就可以用来生产赤霉素等。所以,有益和有害也是相对的。

我们根据《生物多样性公约》的定义,从以下几方面认识微生物这类资源。

从维持生态系统的平衡而言,微生物起的作用是巨大而多方面的,是其他生物不可取代的。很难想象,如果没有微生物地球会变成什么样子。

从“有实际或潜在用途或价值”的观点看。除了传统的酿酒工业、面包工业、奶酪工业所利用的微生物以外,现代发酵工业生产的医药、农药、氨基酸、有机酸、维生素、酶类、有机溶剂类等以及石化工业、冶金工业使用的微生物,其“价值”是难以估量的。2007 年全球仅抗生素的年产值就达 660 亿美元之巨,而抗生素对人类医疗保健事业的贡献无论怎样估计都不为过。

第二节 微生物资源的种类

本书的微生物资源包括已培养和未培养、已利用和未利用的有益微生物。根据当代比较一致的看法,微生物资源包括丝状真菌、细菌及古菌。由于放线菌的利用价值很高,因此我们往往把它从细菌中单独分出来进行叙述。

一、真菌资源

按照比较流行的分类系统,目前的真菌界分为:接合菌门(Zygomycota),含接合菌纲(Zygomycetes)和富有菌纲(Trichomycetes);子囊菌门(Ascomycota),含半子囊菌纲(Hemiascomycetes)、粒毛盘菌纲(Neolectomycetes)和核菌纲(Pyrenomyces);担子菌门(Basidiomycota),含胶质菌纲(Heterobasidiomycetes)、同担子菌纲(Homobasidiomycetes)和腹菌纲;Blastocladiomycota, Blastocladiomycetes;不完全真菌门(Chytridiomycota)。它们当中,有的产生体积很大的子实体,因此也有人将其

看作是植物资源。目前已经定名的真菌大约有 7 万种之多，是各国菌种保藏中心保存量最大的微生物资源。其中有一部分是致病菌。

二、古菌资源

古菌界有：初古菌门 (Korarchaeota)；纳古菌门 (Nanoarchaeota)；泉古菌门 (Crenarchaeota)，热变形菌纲 (Thermoprotei)；广古菌门 (Euryarchaeota)，包括古丸菌纲 (Archaeoglobi)、盐杆菌纲 (Halobacteria)、甲烷杆菌纲 (Methanobacteria)、甲烷球菌纲 (Methanococci)、甲烷微菌纲 (Methanomicrobia)、甲烷火菌纲 (Methanopyri)、热球菌纲 (Thermococci) 和热原体纲 (Thermoplasmata)。

三、细菌资源

细菌界有：酸杆菌门 (Acidobacteria)，酸杆菌纲 (Acidobacteria)；高 G+C 革兰氏阳性菌的放线菌门 (Actinobacteria)，放线菌纲 (Actinobacteria)；产水菌门 (Aquificae)，产水菌纲 (Aquificae)；拟杆菌门 (Bacteroidetes)，拟杆菌纲 (Bacteroidetes)、黄杆菌纲 (Flavobacteria) 和鞘脂杆菌纲 (Sphingobacteria)；衣原体门 (Chlamydiae)，衣原体纲 (Chlamydiae)；绿菌门 (Chlorobi)，绿菌纲 (Chlorobia)；绿弯菌门 (Chloroflexi)，厌氧绳菌纲 (Anaerolineae)、暖绳菌纲 (Caldilineae) 和绿弯菌纲 (Chloroflexi)；产金菌门 (Chrysiogenetes)，产金菌纲 (Chrysiogenetes)；蓝藻门 (Cyanobacteria)，蓝藻纲 (Cyanobacteria)；脱铁杆菌门 (Deferribacteres)，脱铁杆菌纲 (Deferribacteres)；异常球菌-栖热菌门 (Deinococcus-Thermus)，异常球菌纲 (Deinococci)；网团菌门 (Dictyoglomi)，网团菌纲 (Dictyoglomi)；纤维杆菌门 (Fibrobacteres)，纤维杆菌纲 (Fibrobacteres)；低 G+C 革兰氏阳性菌的厚壁菌门 (Firmicutes)，芽孢杆菌纲 (Bacilli) 和梭菌纲 (Clostridia)；梭杆菌门 (Fusobacteria)，梭杆菌纲 (Fusobacteria)；芽单胞菌门 (Gemmatimonadetes)，芽单胞菌纲 (Gemmatimonadetes)；黏胶球形菌门 (Lentisphaerae)，黏胶球形菌纲 (Lentisphaerae)；硝化螺旋菌门 (Nitrospirae)，硝化螺旋菌纲 (Nitrospira)；浮霉菌门 (Planctomycetes)，浮霉菌纲 (Planctomycetacia)；海绵杆菌门 (Poribacteria)；变形菌门 (Proteobacteria)， α -变形菌纲 (Alphaproteobacteria)、 β -变形菌纲 (Betaproteobacteria)、 δ -变形菌纲 (Deltaproteobacteria)、 ϵ -变形菌纲 (Epsilonproteobacteria)、 γ -变形菌纲 (Gammaproteobacteria)；螺旋体门 (Spirochaetes)，螺旋体纲 (Spirochaetes)；柔膜菌门 (Tenericutes)，柔膜菌纲 (Mollicutes)；热脱硫杆菌门 (Thermodesulfobacteria)，热脱硫杆菌纲 (Thermodesulfobacteria)；热微菌门 (Thermomicrobia)，热微菌纲 (Thermomicrobia)；热袍菌门 (Thermotogae)，热袍菌纲 (Thermotogae)；疣微菌门 (Verrucomicrobia)，丰佑菌纲 (Opitutae) 和疣微菌纲 (Verrucomicrobiae)；未定门的纤线杆菌纲 (Ktedonobacteria)。目前已定名的细菌约 1 万种，其中放线菌约 4000 种，其他细菌约 6000 种，有一部分是人、畜和农作物的致病菌。

四、未知微生物资源

近十多年来,很多实验室(包括作者的实验室)从不同生态环境和动植物中取样,用分子生物学方法反复证明,迄今为止我们所认识、定名、保存的微生物不到实有数的10%,甚至不到1%。焦瑞身教授甚至呼吁:未培养微生物的分离培养是21世纪微生物学者的一项重要任务。这里我们想统一一下两个术语。一些学者在描述还未培养的微生物时用“unculturable”。我们觉得,从理论上来说,任何微生物都有可能被人工培养。所以我们建议用已培养微生物(cultured microbe)来描述已经人工培养的微生物;而用“uncultured microbe”来描述至今还未人工培养的微生物。微生物资源的研究和开发利用已经100多年,但绝大部分微生物我们还不认识。可以说认识、研究微生物资源的任务还很重,开发利用的前景十分广阔,潜力十分巨大。但要获得这些未培养的微生物的难度也很大。

第三节 微生物资源的特点

本节讨论作为资源的微生物与动植物资源相比有什么特点,在开发利用方面又有什么特点。

第一,微生物最大的特点是代谢类型极其多样化,生长繁殖速度惊人。在最适条件下,有的细菌20min就能繁殖一代。在动植物不可能生长的地方都有微生物分布。它既可能提供极为多样化的产品,又适于大规模工业化生产。而且微生物的培养完全可以在人工控制的条件下进行,不受天气等因素的影响。

第二,如表0-1所示,微生物物种丰富,未知者众。动物、植物有珍稀、濒危之说,稀者必珍。国家对珍稀濒危动物、植物已有一些保护措施及有关的法规。而微生物并没有珍稀濒危之说,目前也很难用多少属、多少种、“蕴藏量”来估价微生物的资源量。现在人们还不知道微生物的种类究竟有多少。根据Berdy的报道,目前所知道的细菌约6000种,实际可能有150万种,已知菌不到实有数的0.4%;已知放线菌4000多种,实际可能有5万~8万种;已知真菌约7万种,实际可能有150万种,甚至更多。换言之,各国学者已经用分子生物学手段确切地证明,迄今为止仍然有90%~99%的微生物没有被认识。所以微生物是一类种类繁多的可再生的资源,是最丰富的遗传基因库。对微生物资源的开发利用不存在“过度”问题,也不会因开发造成原产地环境的恶化。但这并不是说,微生物种类没有减少的危险。我们在后面将会谈到,很多微生物种类,在人们还不知道它们的存在之前就在地球上灭绝了。这不是由于开发微生物资源本身带来的减少,而是因为天然环境的破坏所造成的结果。

第三,微生物变异性大。相比高等动物、植物而言,微生物的变异性要大得多。这就为人们改造它们提供了更大的可能性。例如,最初从微生物中找到青霉素时,其产率不到万分之一,但经过人们的改造,今天其产率达到8%以上,产率提高上千倍。经验告诉我们,要在短期内将微生物的生产能力提高10倍并不困难。近些年建立的许多微生物的遗传操作系统可以进行理性设计,通过基因操作,产生非天然天然产物,大幅

表 0-1 生物资源的种类

类群	已知种	估计种	已知种约占百分比/%
病毒	5000	130 000	4
细菌	6000	50万~150万	<1
放线菌	4000	35 000~80 000	2~11
真菌	69 000	150万~几百万	5
藻类	40 000	6万~40万	1~6
Pryophytes	17 000	25 000	68
裸子植物	750	800	94
被子植物	250 000	270 000	93
原生动物	30 800	100 000	31
多孔动物	5000		
腔肠动物	9000		
线虫	15 000	500 000	3
甲壳虫	38 000		
昆虫	800 000	10 000 000	8
其他节肢动物	132 460		
软体动物	50 000		
棘皮动物	6100		
两栖动物	4184		
爬行动物	6380		
鱼类	19 000	21 000	90
鸟类	9198	10 000	~100
哺乳动物	4170	4300	~100

度增加化合物的多样性。

第四，微生物资源的研究与开发比动物、植物晚许多。相对来讲，我国微生物资源的研究还是当代人的事，投入的力量很有限，仅在个别领域工作基础比较好，但整个资源家底还极不清楚。微生物资源的开发利用也还处于较低层次，零星、分散、不成体系，原始创新少，还未闯出一条路来，在国民经济建设中的作用也不明显。

第五，微生物资源的开发利用潜力大，前景广阔。既然未知微生物如此浩繁，且已开发利用的又比较少，那么，微生物资源开发利用的潜力就很大。微生物的种类繁多，生存环境又极为多样化，在高等动物、植物无法生存的地方，微生物都能生长，这就决定了微生物的代谢类型极端多样化。这种极端多样化的代谢类型本身和极其多样化的代谢产物都完全可以被人类利用。例如，我们可以利用一类化能自养菌来氧化含硫砷金矿，以除去有毒的砷，同时回收金。

动物、植物和微生物是生物资源的三个支柱。微生物是一类与动物、植物资源不同的、开发潜力巨大的生物资源。

第四节 资源微生物的分布

一、土壤微生物资源

土壤是微生物的主要栖息地。目前定名、保存和利用的微生物资源主要来源于土

壤。每克土壤有 $10^5 \sim 10^{10}$ CFU 纯培养的微生物。一般来说,肥沃土壤(如蔬菜地)中的微生物数量最多,而种类则以原始森林及其他原始环境最为丰富。曲霉属 (*Aspergillus*)、青霉菌属 (*Penicillium*)、链霉菌属 (*Streptomyceae*) 和芽孢杆菌属 (*Bacillus*) 是土壤常见的优势微生物。

二、湿地微生物资源

1971年2月2日,14个发起国在伊朗的拉姆萨尔签署拉姆萨尔公约(Ramsar Convention),全称为《关于特别是作为水禽栖息地的国际重要湿地公约》(以下简称《湿地公约》),1975年12月21日生效。1982年3月12日议定书修正。1999年5月,在哥斯达黎加召开的第7届缔约方大会正式确认世界自然基金会(WWF)、国际雀鸟联盟(BirdLife Internation)、世界自然保护联盟(IUCN)和湿地国际(WI)为公约的伙伴组织。到2004年9月为止该组织已有141个成员,并已将1387块湿地列入国际重要湿地名录,总面积达1.23亿 hm^2 。中国于1992年加入《湿地公约》。《湿地公约》的宗旨是:通过国家行动和国际合作来保护与合理利用湿地。湿地系指天然或人工、长久或暂时的沼泽地、湿原、泥炭地或水域地带,带有或静止或流动、或为淡水、半咸水或咸水的水体,包括低潮时水深不超过6m的水域,陆地上的所有江、河、湖泊都是湿地。这里的湿地微生物包括除海洋以外的所有水生微生物。湿地不但有大量的动植物资源,同时还有大量的微生物资源。湿地微生物有的来源于陆地,有的则是水体土著菌。湿地土著菌的组成与陆地上的有明显区别。例如,已培养的陆地放线菌是以链霉菌为优势菌,而水体中的则以小单孢菌属(*Micromonospora*)占优势。

三、极端环境微生物资源

极端环境系指高低温、酸碱、重盐、重金属、高压、高辐射、太空等环境,也指人为极端环境如污染环境。在动植物和人类无法生存的这些极端环境中确有微生物存在。它们在整个生物进化历程中,扮演了非常重要的角色。为了适应极端环境,微生物产生了许多特殊的机制、特性和产物,这为开发利用提供了可能。最近一二十年来,极端微生物是研究生物进化的极好对象,也是开发利用的极好材料。我国专门将此列入国家基础研究重大计划(“973”计划)。根据我们的研究结果,极端环境存在大量未知微生物,是很值得研究的资源。

四、海洋微生物资源

海洋占了地球表面的2/3以上,蕴藏着无穷的微生物资源。与陆地不同,海洋环境以较高盐浓度、高压、低温和稀营养为特征。海洋微生物不但在维持整个海洋生态系统的平衡中起着重要作用,而且在其长期适应海洋环境的过程中形成了独特的生物学特性,这为开发利用提供了可能性。但总体上来说,海洋微生物的研究相对较晚,对其种类、分布和特性知之甚少,开发利用更显不足。最近十多年各国都加强了海洋微生物的研究和开发利用。目前研究得比较多的是海洋真菌,尤其是海绵共生菌。从海洋生物中发现的活性物质,海绵就占40%左右。海洋微生物的研究和开发利用亟待加强。