



生态学热点研究丛书

微生物 生态学

杨家新 主编



化学工业出版社

环境科学与工程出版中心

生态学热点研究丛书

微生物生态学

杨家新 主编

张光富 庞延军 邹文欣 闫淑珍 编



化学工业出版社
环境科学与工程出版中心

· 北京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

微生物生态学/杨家新主编. —北京: 化学工业出版社,
2004. 8

(生态学热点研究丛书)

ISBN 7-5025-6025-4

I. 微… II. 杨… III. 微生物生态学 IV. Q938.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 081286 号

生态学热点研究丛书

微生物生态学

杨家新 主编

张光富 庞延军 编

邹文欣 闫淑珍 编

责任编辑: 夏叶清 李彦玲

责任校对: 顾淑云 李 军

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
环境科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 14¼ 字数 212 千字

2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6025-4/X·514

定 价: 27.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

《生态学热点研究丛书》编委会名单

主编 钦 佩

编委 李建龙 刘茂松 钦 佩 阮成江

孙书存 唐建荣 田兴军 杨达源

杨家兴 赵福庚 周文宗

序

生态学是研究生物与环境关系的一门科学。自从生物在地球上出现就与环境有着紧密的联系。人们在长期的生产和生活实践中，早已注意到这种关系，并自觉或不自觉地运用这种规律来指导自己的行动。尽管朴素的生态学思想早在公元前 2000 年就已见诸于古希腊和中国的著作和古歌谣中，但是只是到了 20 世纪的中叶，随着生产的需要和生物学、地理学的发展，生态学 (Ecology) 才作为一门研究生物与环境相互关系的科学登上历史的舞台。生态学是一门多源和多分支的学科。生态学发展的初期在学科上分化为植物群落学、动物生态学，并结合生产部门的特点形成了一系列分支学科。这些学科有的冠以生态学的名称，有的甚至没有用生态学的名称，然而它们却实实在在地进行着生态学的工作，并成为农学、林学、畜牧和渔业的应用基础。

生态学的发展进一步加深了生物与生物间以及生物与环境间认识的深度，并将其提高到整体性和系统性的高度。在 20 世纪 30~40 年代，在生态学界和地理学界几乎是不约而同地提出了一系列的学说和术语来表达这种相互作用的整体。其中，Tansley (1935 年) 提出的生态系统 (Ecosystem) 概念得到了广泛的接受。这一概念的应用和发展不仅把生态学推向系统研究的新高度，同时也为认识和解决当代的环境问题进行了理论准备。而 Linderman (1942 年) 对于营养动力学的贡献为生态学的研究提供了定量化的途径与手段，使生态学脱离了其起源的多种学科而建立起自己的理论和方法体系。20 世纪 50 年代以来，Odum (1953 年, 1993 年) 进一步发展了生态系统的概念并极大地丰富了生态学的内容，使其发展成为一门新的学科分支，即系统生态学。虽然生态学在 20 世纪中叶以前，在理论和实践中都进行了大量工作，但直到 20 世纪中叶，生态学仍是生物科学中的一门不受人们注意的学科，甚至对这一学科的存在有着一些争议。

20 世纪 60 年代以后，世界上人口、资源与环境等全球性问题日益激化，这些当今社会所面临的重大问题，无法用传统的线性思维方式来解决，而生态学的系统研究理论及其所固有的非线性思维方法正是这一危机的解毒剂。生态学在投身解决社会问题的过程中，逐渐摆脱了其产生时的狭隘的学科局限和传统的研究范围，生态学已不再像一度被人们所指责的那样，是一门“不食人间

烟火的”、只会说“**No**”的、“批判的学科”。它不仅在理论和方法方面，而且在研究对象的范畴、规模和尺度方面都有了新的发展，生态学已经引人注目地成熟起来。它已经从一门描述性的学科发展成为一门崭新的、结构完整的、量化的学科，并向预测性科学扩展。运用生态学的基础理论、量的测定方法、建模技术以及系统分析等方法来解决自然界和社会面临的迫切问题，以崭新的面貌出现在现代科学的舞台，展现出蓬勃的生机。在解决当前社会问题时，生态学的作用不单纯是作为一个学科参与其过程的探索，并寻求解决方案，其作用还在于它为科学和社会之间架起了一座桥梁。在此过程中生态学也得到了长足的发展，超越了作为其起源的生物学范畴而成为研究生物、环境、资源及人类相互作用的基础和应用基础科学。尽管目前对生态学范围的界定和学科体系方面还存在着一些争议，但这是一个发展中科学的必然具有的特点，丝毫不能否定生态学过去和现在所起的其他学科难于比拟的作用和人们对这一学科未来发展的信心。

在科学自身发展和社会需求的背景下，当前生态学呈现出一系列新的特点，突出的表现在：生态学研究内容的重新定位和研究对象的不断拓宽；学科之间相互融汇与新分支学科的不断产生；从研究结构发展到研究功能和过程；从局部孤立的研究向整体网络化研究发展；研究方法的现代化、定量化和信息化。

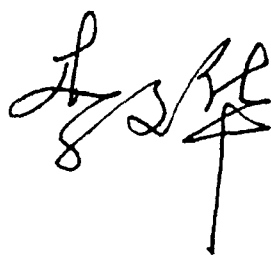
我国生态学发展的历史较短，与国际生态学的总体发展水平还有较大差距。另一方面，我国又是一个发展中国家，短期中对科学的投入还不能有大幅度增加，因此在一段时期内只能实行有限目标。根据国际生态学的发展趋势，从我国国情和生态学实际研究水平和条件出发，选择与发展我国经济，保护生态环境有最密切关系的，并且在一段时期可做出明显成绩并进入国际先进行列的领域和课题为重点，集中研究优势，逐渐形成具有我国特色的生态学，并造就一批进入国际先进行列的生态学研究的杰出人才。

为此，应该着重注意下面几个方面：进一步加强生态学人才的培养和生态实验手段的建设；组织动员各部门、各系统的通力合作；提高全民族、全社会的生态意识，增强决策和管理人员的生态认识；生态学研究必须以为社会建设服务作为指导思想，紧密结合我国生态环境实际，使之成为经济建设决策的好参谋，真正转化为生产力；加强生态学研究和教育的协调，发挥学会作用，加强国际国内学术交流；积极发挥国家自然科学基金支持生态学应用基础与基础研究课题的作用。

基于上述，有理由认为只要我们能立足中国、放眼全球；进一步发展中观尺度的成果，加强向宏观和微观水平的开拓；注意基础理论和研究方法的创

新、研究手段的改善以及对传统经验的总结和提高；瞄准学科的国际前沿，加强对交叉学科的研究，就一定有可能逐步与国际接轨，并建立起具有中国特色的生态学，为我国经济建设和社会发展做出应有的贡献。

我很高兴地看到南京大学钦佩教授组织南京大学和南京师范大学的生态学家，特别是教学科研第一线的中青年学术骨干编写出版“生态学热点研究丛书”。这套丛书聚焦了生态学热点研究领域，不仅跟踪了学科前沿的发展动态，而且还凝聚了作者多年来教学中的积淀和长期积累的科研成果。丛书的出版适应了当代生态学发展的需要，对于综合性大学、师范院校、农林院校有关专业本科生、研究生及教师具有重要的参考价值，亦可作为有关管理部门和科技工作者的参考书。丛书的出版也为我国生态学的发展做出了重要贡献，作为中国生态学会的理事长，我向丛书的主编、作者以及化学工业出版社表示衷心的祝贺与真诚的感谢。

A handwritten signature in black ink, appearing to read '李华' (Li Hua). The signature is fluid and stylized, with a long vertical stroke extending downwards from the right side.

2004年2月6日于北京

丛书前言

由于人类活动加剧与全球气候变化的交织作用，导致地球表面各类生态系统大幅度退化，如森林锐减、沙漠扩展、湿地干涸、海平面上升等等。由此引起全球范围内生物多样性的急剧下降，生态系统高价值功能的丧失，灾害不断，疾病肆虐，人类深深感受到生命支持系统的紊乱与恶变对自身健康与安全的威胁。

面对种种挑战，人类愈发瞩目于链接生命支持系统与人类本身的生态学的进步与发展，期望从这门科学中寻求遏制退化、根治痼疾的理论、路线、策略与方法。生态学不负众望，在环境的胁迫和呼唤中得到旷世的发展。尤其是近半个世纪来，生态学的分支与交叉领域不断应运而生，热点研究此消彼长。

科技的进步与社会的发展使全球一体化与多样性并存，越来越多的点、面问题发生连锁反应，最终在全球范围爆发；而许多全球变化又引发了形形色色的区域性反应。因此，许多学科的视角都聚焦在全球变化与区域响应，生态学科也十分重视这一宏观研究方向。从空间序列与时间序列上探讨全球变化所引起的地域反应特征是本书《全球变化与区域响应》专著的主要内容。

面对生态系统的严重退化，其恢复、修复与重建为众人所关注。生态系统恢复的重点主要是恢复其功能，有关生态恢复原理与模式的研究炙手可热。本丛书的《恢复生态学》涉及的主要内容有：基于群落演替理论的亚热带常绿阔叶林的生态恢复；植物种群更新与温带针阔混交林生态恢复；基于流域管理的湿地生态恢复；土壤改良与采矿废弃地的生态修复；物种分子改造与盐土农业建设；温带落叶林生态恢复的景观生态学原理；山地生态系统的生态恢复过程等。

保护生物学与保育生态学研究的重点是生物多样性的保护。生物多样性下降宏观的内容包含着物种多样性的下降，生境数量的下降和生境变迁；微观的内容则指遗传多样性的下降。其后果直接危害地球生命支持系统，最终危害人类自己。本丛书的《生物多样性及其保护生物学》将应对这一变化现状，从生物多样性的概念入手，介绍生物多样性的价值、动态变化、多样性的现状以及生物多样性的保护。

信息技术的发展使生态学的触角从定点到区域的尺度转换中游刃有余，推

动了信息生态学和景观生态学的快速发展。本丛书的《信息农业生态学》在阐明信息生态学的基本理论和技术之后，重点介绍了信息生态学在精确农业和高光谱农业方面的应用与延伸，对农业现代化有很好的指导与示范作用。

《景观生态学》主要从景观的组成、结构、功能、动态、评价、规划、管理、保护等方面系统地介绍了景观生态学的基本原理、研究方法、相关技术及其应用，以及目前该领域的最新成果，尤其在生态规划与设计、景观保护与生态伦理方面有独到的阐述与新意。

世界大约 1/3 以上的城市人口居住在距离海滨 60km 以内的范围。海滨生态系统是海陆两相的过渡带，具有活跃的物流、能流和高生产力；但是，自然因子急剧的梯度变化和脉冲式的强劲输入使该系统处于脆弱状态；人为干扰给该系统带来的危害更大。本丛书的《海滨系统生态学》介绍了海滨生态系统的特征、类型、进化及其对全球变化的响应，强调了海滨生态系统的保护与管理，展示了海滨生态系统的利用前景，明确了其可持续发展的方向。

可持续发展战略的重要操作手段是向自然投资。其中涉及有关生态经济学的理论和方法在本丛书的《生态经济学》中给予充分的阐述和介绍。书中的大量案例分析将使读者从深入浅出中获益不菲。

生态产业是利用生态经济学原理和产业生态学理论组织起来的基于生态系统承载能力、具有高效的经济过程及和谐的生态功能的网络型、进化型产业。本丛书的《生态产业与产业生态学》将食物链理论与方法应用于生态产业研究，从新的角度透视了产业生态学 and 生态产业的设计原则和基本类型，为可持续发展提供了具体手段，颇有新意。

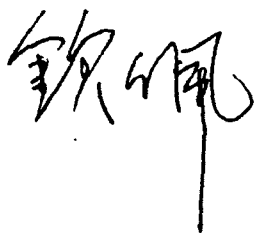
环境胁迫给生物带来压力，也造就了物种的逆境生理过程。本丛书的《植物逆境生理生态学》是从个体水平研究植物在极端环境条件包括生物逆境和非生物逆境下体内生理生化变化、适应性及其反馈机制的专著。首先从不同层次上概述植物与环境的相互关系，环境生态学分析与生态适应性，然后分别就影响植物的环境因素，包括生物因素，指植物之间、动物及病原微生物的影响；非生物因素，重点介绍光损害作用、盐逆境、重金属铅毒害，以及热胁迫下高等植物体内发生的一系列应激反应机理，此外还介绍了在植物抗逆性中起到重要作用的生理活性物质多胺的生理生态功能。

微生物功能群在不同的生态系统中发挥着重要功能，对系统的稳定与发展起着不可替代的作用。本丛书的《微生物生态学》在阐述了研究理论与方法后，着重介绍了微生物在不同生态系统中的功效，对许多应用领域具有很高的参考价值。如微生物在能源开发、清洁生产中的作用；在石油开采、石油和煤炭脱硫、生物制浆、可降解塑料生产中的作用；在环境保护、环境修复与环境

治理中的作用；在矿产形成及生物冶金中的作用；以及微生物生态学在农业、医学、水生生物学中的应用。

生态学的发展从宏观尺度上面向景观、区域和全球化方向；微观尺度则深入到分子生物学领域的基因层面，发展成交叉学科分子生态学。本丛书的《植物分子生态学》以崭新的面貌论述了植物分子生态学的基本理论、研究方法，反映了国内外的研究进展。从个体识别、个体间遗传关系到个体行为；从物种遗传多样性、物种保护到生态遗传学，从重组生物的生态安全性到植物分子生态学今后的发展前景，在分子水平、个体水平、群体水平和生态系统水平的不同层次上对植物分子生态学有较为完整的认识。

本系列丛书是作者在百忙之中完成的。夜空之中，远处有几点荧荧之光，或许是星星，或许就是我们的作者仍在伏案写作，为了核实一个数据，廓清一个观点，熬通宵是常事。为此，我感谢我的同事们——丛书的作者呕心沥血为读者呈上尽量完好的科学文字的敬业精神！同时，也要对读者说一句：本系列丛书是生态学热点研究丛书，而并非生态学的全套分支学科系列丛书，如果由于丛书总体框架设计之缺憾给读者选择参考带来不便，本人表示致歉；而每本书由于编撰匆忙所造成内容的疏漏与不足，我则代表作者表示歉意，并请读者不吝赐教。



2004年4月18日

前 言

微生物学是当今与人们生活密切相关的学科，它渗透到人们生活的方方面面，在日常生活和生产活动中扮演十分重要的角色，而生态学已经成为人人关注的普及性学科，微生物学的生态学问题涉及工业、农业、医药、畜牧业、水产养殖业、食品加工和环境科学的不同研究领域。

随着人类社会经济活动对环境的影响呈现出的多元化和深层次化，人口膨胀、能源短缺、资源匮乏和环境污染加剧已经成为全球关注的问题。人类对地球资源的掠夺式利用使社会的发展潜在巨大的生态灾难，研究诸如农业生产中的土壤污染和治理、水体污染和治理以及大气环境的污染和治理也成为社会发展的重要课题。研究生态系统方方面面的问题迫在眉睫。作为生态系统物质循环和能量传递参与者的微生物的活动更具有独特的地位和角色。因此结合微生物学和生态学，研究的内容更加受到人们的关心。微生物生态学应运而生。

人们活动所涉及的岩石圈、大气圈和水圈构成了全球最大的生态系统。作为生态系统中生产者和分解者的重要角色，在各大生态系统中微生物活动是不可或缺的。无论是在经典生态学领域还是现代航天领域、医学领域和分子生态学领域，微生物生态学研究均具有巨大的生命力，目前对于微生物生态学的研究主要偏重于农业、石油工业、生物医药、食品加工业和环境污染处理等行业。其他全新领域微生物生态学的研究有待拓展或深化。

微生物生态学既是生命科学中基本功能群和分类单位群结合的微生物学范畴，又是研究基于阐明了微生物分类问题后的相关生态学问题的一门学科。微生物学和生态学的学科交叉和应用构成了微生物生态学研究的基本范畴和任务。

而其所属的各类不同类型的生态系统均离不开微生物活动的足迹。本书涉及生态学基础知识、微生物生态学的概论、微生物生态学研究方法、微生物生物种群的生态学关系、生物地化循环、微生物与污染物的关系以及微生物在清洁生产、环境保护及环境处理、微生物与矿产形成及生物冶金和微生物

物在农业、医学和水域生态学研究中的应用共十章内容。

本书不同于学术专著，深入专述某一问题，也不同于教科书面面俱到阐述微生物学和生态学问题，而是基于掌握了一定微生物学和生态学基础知识的科技普及类读物。旨在指导人们了解微生物生态学基础知识和认识微生物生态学与人类活动的关系，丰富人们对微生物生态学的认识。

参与本书编写的有：张光富（南京师范大学）、邹文欣、庞延军（南京大学）、闫淑珍（南京师范大学）。

在本书编写过程中，承蒙中科院院士李文华教授作序。南京大学钦佩教授给予了热情的支持。化学工业出版社也为本书的出版给予了很大的帮助。在此一并致以衷心的感谢。

由于微生物生态学和生态学科学发展和现代生命科学实验技术手段的完善，参考文献、资料和研究成果层出不穷，编写本书的所有作者都是微生物专业不同领域的年轻学者，受知识水平限制，疏漏和错误在所难免，热切盼望读者予以批评指正。

编 者

2004年7月

内 容 提 要

本书是《生态学热点研究丛书》之一。结合现代生态学研究 and 微生物特点, 本书从微生物的生态学角度阐述了微生物的基础生态学理论、微生物种群和微生物与动植物群落的相互作用、微生物的生物地化循环问题、微生物与环境污染物之间的相互作用、微生物生态学原理与能源和清洁生产关系、微生物生态学与环境处理、微生物与矿产形成及生物冶金、微生物生态学在农业生产、医学和水域生态学上的具体应用。

本书不同于学术专著就某一专门领域拓展, 也非教科书面面俱到涉及全面的知识点, 而是结合人类活动涉及的具体问题的热点科学普及读物。

本书是从事环境保护、生态学和环境管理的科技人员的一本很好的参考书, 也可供从事农业、医药、食品工程、水污染处理和流域管理的科技工作者参考。

目 录

第一章 生态学简介	1
第一节 生态学的定义与研究对象	1
一、生态学的定义.....	1
二、生态学的研究对象.....	3
第二节 生态学的分支学科	4
一、根据生物的组织水平划分.....	4
二、根据生物分类群划分.....	6
三、根据栖息环境划分.....	6
四、根据交叉学科划分.....	6
五、根据学科性质划分.....	7
第三节 生态学发展简史	8
一、生态学的萌芽时期.....	8
二、生态学的建立时期.....	9
三、生态学的成长时期.....	10
四、现代生态学时期.....	11
第二章 微生物生态学概论	14
第一节 微生物生态学概念和研究内容	14
第二节 微生物生态学原理与意义	15
第三节 微生物生态学类型简介	16
第三章 微生物生态学的研究方法	18
第一节 微生物生态学研究中的传统方法	18
一、样品的采集、富集培养和微生物纯培养分离.....	18
二、最大或然值法.....	19
三、活菌计数法.....	19
第二节 微生物生态学中的分子生物学方法	20
一、核酸探针杂交技术.....	20

二、PCR 特异性扩增技术	21
三、rRNA 基因同源性分析方法	22
四、变性梯度胶电泳技术	25
第四章 微生物生物种群的生态学关系	27
第一节 微生物之间的相互作用	27
一、中性关系或称一般关系	27
二、偏利共生关系	27
三、协同作用	28
四、互惠共生关系	28
五、竞争关系	29
六、拮抗作用或称偏害作用	29
七、寄生关系	29
八、捕食关系	30
第二节 微生物与植物的相互作用	30
一、菌根 (<i>Mycorrhiza</i>) 和根瘤 (<i>Nodules</i>)	31
二、植物的微生物病害——植物病原体	32
三、植物的真菌病害	32
第三节 微生物与动物的相互作用	33
一、微生物为动物提供营养	33
二、真菌捕食动物	34
三、动物疾病	35
第五章 元素的生物地球化学循环	37
第一节 生物地球化学循环的一般特征	37
一、生物地球化学循环的定义	37
二、生物地球化学循环的类型	38
三、生物地球化学循环的元素	39
四、生物地球化学循环的基本特征	41
第二节 基本元素的生物地球化学循环	43
一、碳循环	43
二、氢循环	45
三、氧循环	46

四、氮循环	48
第三节 大量元素的生物地球化学循环	53
一、磷循环	54
二、硫循环	57
第四节 微量元素的生物地球化学循环	61
一、铁循环	61
二、汞循环	65
第六章 微生物与环境污染物的相互作用	69
第一节 污染物的生态学效应	69
一、人工合成有机污染物的生态效应	69
二、农药对环境的生态效应	70
三、石油类对环境的生态效应	70
四、水中的有机污染物的生态效应	71
五、固体污染物的生态效应	71
第二节 微生物与环境污染物的相互作用	72
一、微生物分解各种污染物的巨大潜力来自于它本身的特性	73
二、微生物的共代谢，拓展了微生物对难降解有机污染物的 作用范围	74
三、微生物的生物化学降解转化作用	76
四、环境中影响微生物对污染物的降解转化的因素	77
第三节 微生物对有机污染物的转化和降解	79
一、微生物对天然有机污染物的转化和降解	79
二、微生物对人工合成有机化合物的转化和降解	87
第四节 微生物对无机污染物的转化和抗性作用	95
一、金属元素的生态效应及对微生物的抗性	95
二、微生物对金属元素的转化作用	96
第五节 煤的微生物脱硫与降解	103
一、煤炭微生物脱硫	103
二、煤炭生物液化	105
第六节 微生物对石油的降解与转化	106
一、降解石油烃类的微生物	106

二、石油烃类的微生物降解·····	107
三、微生物、烃类以及它们之间的相互作用·····	109
四、环境因子的影响·····	109
第七节 微生物在处理固体废弃物中的作用与转化·····	110
一、堆肥原理·····	110
二、卫生填埋·····	115
三、厌氧发酵(消化)·····	116
第七章 微生物生态学与能源和清洁生产·····	119
第一节 微生物在能源开发中的作用·····	119
一、微生物与石油开采·····	119
二、微生物与未来石油的替代物——乙醇·····	124
三、微生物与“石油农业”·····	126
四、微生物与沼气·····	126
五、微生物与其他未来新能源·····	127
第二节 微生物在清洁生产中的作用·····	129
一、矿物燃料的生物脱硫·····	129
二、微生物与生物制浆·····	131
三、微生物在可降解塑料生产中的作用·····	132
第八章 微生物生态学与环保及环境处理·····	136
第一节 微生物修复技术·····	136
一、原位生物修复·····	136
二、异位生物修复技术·····	138
三、厌氧生物处理·····	140
第二节 微生物在处理工业废水中的作用及工程·····	141
一、废水微生物处理的研究方法和原理·····	141
二、活性污泥法·····	142
三、生物膜法·····	143
四、稳定塘处理法·····	145
五、厌氧处理法·····	148
六、光合细菌法·····	151
第三节 微生物在处理废气中的作用及应用·····	153