



# 微生物生态学

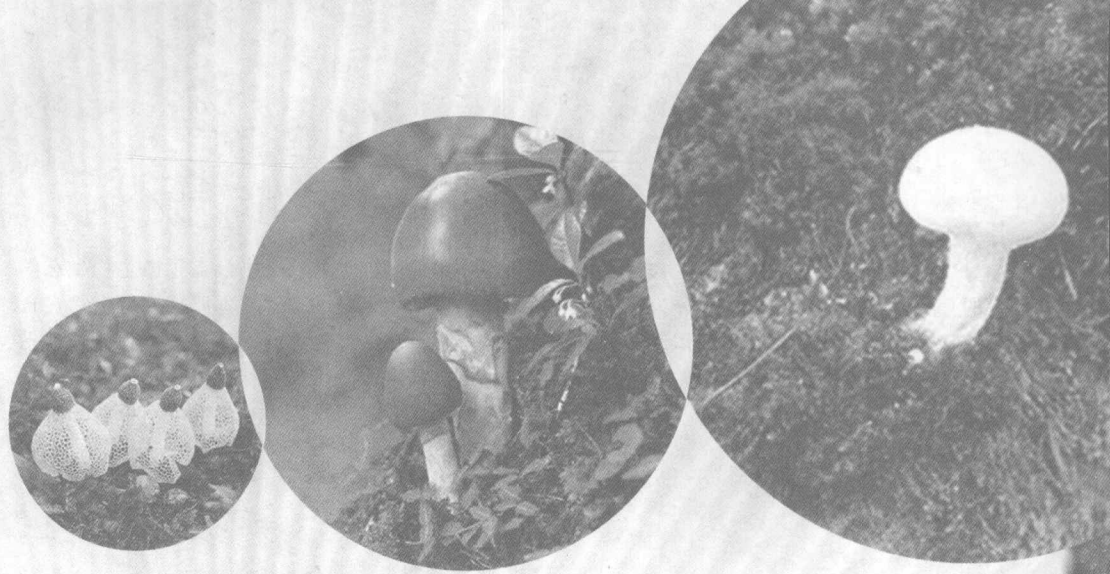
Microbial Ecology

宋福强 编著



化学工业出版社





# 微生物生态学

Microbial Ecology

宋福强 编著



化学工业出版社

·北京·

## 内 容 提 要

微生物生态学是研究微生物对生态系统所起作用的基础学科。全书涵盖了微生物生态学的一些基本原理和知识,共分为八章,其核心内容包括微生物生态学基本原理,微生物在自然环境、极端环境的分布和作用,微生物在地球化学循环、环保中的作用,微生物分子生态学,微生物生态学的各种研究方法。本书内容丰富而精练,可作为农林、畜牧、环境等领域硕士研究生方向必修课和博士研究生选修课的参考书目,还可以作为从事微生物生态学研究人员的参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

微生物生态学/宋福强编著. —北京:化学工业出版社,  
2008.6

ISBN 978-7-122-03309-3

I. 微… II. 宋… III. 微生物生态学 IV. Q938.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 103630 号

---

责任编辑:赵玉清

文字编辑:周 侗

责任校对:吴 静

装帧设计:天女来设计

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 刷:大厂聚鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市延风印装厂

720mm×1000mm 1/16 印张13 字数259千字 2008年9月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:29.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

微生物广泛地分布于自然界中，在每一个特定的微生物区系都包含着不同的微生物，因而同一生态环境中的各种微生物之间存在着十分复杂的相互关系。微生物在自然界物质循环、养分转化、环境净化、动植物生长、工农业生产等方面起着不可替代的作用。近年来，研究微生物群体与其周围生物（植物、动物、微生物）和非生物环境之间相互作用规律越来越受到人们的重视。

微生物生态学正是研究微生物与周围生物和非生物环境之间相互关系的一门学科。由于微生物生态学与微生物学、生态学、环境科学、生物工程学等学科有非常密切的关系，许多高校把微生物生态学作为研究生入学考试的一门主干课程，还有一些学校把微生物生态学作为研究生教学的基础课甚至是博士生的选修课，但是这方面可供参考的资料非常有限。本人一直从事微生物生态学教学和研究工作，对本人的科研工作和其他有关方面的资料进行了整理、精选，组织人员编写了《微生物生态学》，希望以此为我国学习和研究微生物生态学的相关人员提供一些参考资料。

本书编写过程中参阅和引用了有关微生物生态学方面的出版资料，在此对这些资料的作者表示衷心的感谢。同时，也感谢国家自然科学基金委（30571493）、黑龙江省自然科学基金委（C2007-08）、哈尔滨市科技局（2007 RFXN 047）对本书的一些个人研究成果的完成给予的资助。

参与本书编写的还有赵晓娟、孟剑侠、丁明玲、范晓旭和刘远开。受知识水平所限，疏漏和不当之处，敬请读者给予批评指正。

编 者  
2008年6月

# 目 录

<b>第一章 绪论</b> .....	1
<b>第一节 微生物生态学的定义及研究范围</b> .....	1
一、生态学的定义 .....	1
二、微生物生态学的定义 .....	2
三、微生物生态学的研究范围 .....	2
<b>第二节 微生物生态学的发展简史</b> .....	3
一、萌芽时期 .....	3
二、诞生时期 .....	4
三、成长时期 .....	4
<b>第三节 微生物生态学的研究方向和意义</b> .....	5
一、微生物生态学的研究方向 .....	5
二、研究微生物生态学的意义 .....	6
<b>第二章 微生物生态学基本原理</b> .....	7
<b>第一节 环境与生态系统</b> .....	7
一、环境的概念 .....	7
二、什么是生态系统 .....	7
三、生态系统的组成和结构 .....	8
四、生态系统的功能 .....	10
<b>第二节 生态位与生态对策</b> .....	11
一、生态位的定义 .....	11
二、生态对策及其决定因素 .....	12
三、微生物生态对策的类型 .....	12
<b>第三节 种群与种间关系</b> .....	14
一、种群 .....	14
二、种间关系 .....	15
<b>第四节 群落生态</b> .....	17
一、生物群落 .....	17
二、群落的结构 .....	18
三、群落演替 .....	18
四、群落的发展与稳定 .....	19
五、物种多样性与群落稳定性 .....	20

<b>第三章 自然环境中的微生物</b> .....	22
<b>第一节 土壤中的微生物</b> .....	22
一、土壤是适合微生物生长的环境 .....	22
二、土壤环境中的微生物 .....	23
三、土壤微生物的数量与分布 .....	27
<b>第二节 森林中的微生物</b> .....	27
一、微生物与森林植物的共生 .....	27
二、微生物与森林凋落物的分解 .....	31
三、森林中的寄生微生物 .....	33
<b>第三节 水体中的微生物</b> .....	34
一、水体微生物的来源 .....	34
二、淡水环境中的微生物 .....	34
三、海洋环境中的微生物 .....	36
四、海洋微生物群落分布 .....	38
<b>第四节 空气中的微生物</b> .....	39
一、空气中的微生物来源 .....	39
二、空气中微生物的数量和分布 .....	39
<b>第四章 极端环境下的微生物</b> .....	41
<b>第一节 高温环境中的微生物</b> .....	41
一、嗜热微生物的分类 .....	41
二、嗜热微生物的耐热机制 .....	42
三、嗜热微生物的应用 .....	45
<b>第二节 低温环境下的微生物</b> .....	48
一、嗜冷微生物的分布 .....	48
二、嗜冷微生物的嗜冷机理 .....	49
三、嗜冷微生物的应用 .....	52
<b>第三节 高盐环境下的微生物</b> .....	53
一、嗜盐微生物的类型 .....	53
二、嗜盐微生物的分布 .....	54
三、嗜盐微生物抗盐机理 .....	54
四、嗜盐微生物的应用 .....	56
<b>第四节 碱性环境下的微生物</b> .....	58
一、嗜碱微生物的种类与分布 .....	59
二、嗜碱微生物的耐碱机制 .....	60
三、嗜碱微生物的应用 .....	61
<b>第五节 酸性环境下的微生物</b> .....	63
一、嗜酸微生物的种类与分布 .....	63

二、嗜酸微生物的抗酸机理 .....	64
三、嗜酸微生物的应用 .....	65
第六节 高压环境下的微生物 .....	66
一、深海环境中微生物的种类与分布 .....	66
二、嗜压微生物的耐压机制 .....	67
三、嗜压微生物的应用 .....	69
第七节 抗辐射微生物 .....	69
一、辐射微生物 .....	70
二、抗辐射微生物抵抗辐射的机理 .....	71
三、抗辐射微生物的应用 .....	72
<b>第五章 微生物与生物地球化学循环 .....</b>	<b>73</b>
第一节 碳循环 .....	74
一、无机碳的有机化——二氧化碳的固定 .....	75
二、有机碳的矿化——二氧化碳的再生 .....	75
第二节 氮循环 .....	82
一、氨化作用 .....	82
二、固氮作用 .....	86
三、硝化作用 .....	89
四、反硝化作用 .....	91
第三节 硫素循环 .....	92
一、有机态硫的分解 .....	92
二、无机硫的同化 .....	93
三、硫化作用 .....	93
四、反硫化作用 .....	95
第四节 磷循环 .....	95
一、有机磷的矿化过程 .....	96
二、难溶性无机磷的可溶化作用 .....	97
<b>第六章 微生物在环保中的作用 .....</b>	<b>98</b>
第一节 微生物修复技术 .....	98
一、微生物修复技术的分类 .....	99
二、微生物修复技术的影响因素 .....	103
第二节 微生物与化学污染物间的相互关系 .....	104
一、污染物的种类以及对环境的危害 .....	105
二、环境污染物对微生物的作用 .....	109
三、微生物对化学污染物的转化和降解 .....	111
第三节 微生物在废水处理中的作用 .....	119
一、废水微生物处理的净化原理 .....	119

二、废水微生物处理的研究方法 .....	120
三、微生物在废水处理中的具体应用 .....	125
<b>第七章 微生物分子生态学 .....</b>	<b>130</b>
第一节 微生物分子生态学理论基础 .....	130
一、微生物与外界因子之间的环境和遗传分子生态效应 .....	131
二、微生物与细胞间的信息交流 .....	131
三、分子生态病毒学 .....	131
四、微生物在环境生物修复中的分子生态学 .....	132
第二节 微生物对环境的适应与调整 .....	132
一、环境条件和微生物相互作用的分子基础 .....	132
二、极端环境微生物适应性的机制 .....	149
三、微生物响应环境新奇信号的分子生态学 .....	154
四、微生物质粒分子生态效应 .....	161
五、微生物适应环境的遗传分子生态效应 .....	170
第三节 微生物在环境生物修复中的分子生态学 .....	174
一、微生物对污染环境修复作用简介 .....	174
二、分子水平研究生物修复多态性 .....	176
三、生物修复的微生物分子生态学原理 .....	178
<b>第八章 微生物生态学研究的基本方法 .....</b>	<b>184</b>
第一节 微生物生态学研究的传统方法 .....	184
一、直接测定 .....	184
二、培养方法 .....	185
三、代谢活力的测定 .....	185
四、数学方法 .....	186
第二节 微生物生态学的分子生物学研究方法 .....	186
一、核酸探针杂交技术 .....	186
二、PCR 特异性扩增技术 .....	190
三、rRNA 基因同源性分析方法 .....	194
四、变性梯度凝胶电泳技术与温度梯度凝胶电泳技术 .....	195
<b>参考文献 .....</b>	<b>198</b>



# 第一章 绪 论

生态学已有 150 多年的历史，现代生态学已成为当今世界发展最迅速的学科之一，呈现出旺盛的生命力。自 20 世纪 60 年代以来，伴随经济增长的同时，人类面临人口、环境、资源、粮食与能源等一系列危机，要解决目前这些难题均有赖于生态学知识的运用。与此同时，生态学已成为一门应用性很强、由多学科交叉的综合性基础学科，这不仅表现在研究的深度和广度，也表现在其研究领域的时空跨度；它不仅有着雄厚的自然科学基础，还具有广泛的人文社会科学底蕴，能够有机地将科学素质教育与人文素质教育结合起来，使其成为新时期培养高素质人才的重要教育课程之一。现代生态学已经从传统的不同生物组织层次领域的研究，派生出了众多的分支学科，而微生物生态学正是研究微生物对生态系统所起作用的基础分支学科。

## 第一节 微生物生态学的定义及研究范围

### 一、生态学的定义

生态学 (ecology) 一词最初是由希腊文 “oekologie” 衍生而来的，词根 “oikos” 是指 “居住地，栖息地，家务”，而词尾 “logos” 意为 “学科，研究或讨论”。因此，从词源字面上理解，生态学原意为 “居住地管理的科学或研究生物栖息环境的科学”。后人将其概括为 “研究生物与其生存环境相互关系的学科”。

生态学自诞生以来，人们对它的定义和提出的概念有很多种。被普遍认可的是最早由德国动物学家赫克尔 (Ernest Haeckel) 于 1969 年所作的生态学的第一个定义：“生态学是研究生物有机体与其周围环境（包括生物环境与非生物环境）相互关系的科学”。生物环境 (biotic environment) 包括微生物、动物和植物，它们之间存在着复杂的种内与种间关系，如竞争、捕食、寄生和共生等。非生物环境 (abiotic environment) 包括空气、土壤、光、水和温度等非生命物质。这一概念的提出，是近代生态学的标志。

中文 “生态学” 一词来源于日文，1895 年日本东京帝国大学三好学把 ecology 译为 “生态学”，后经武汉大学张挺教授介绍到我国。也有人把生态学称为环境生物学 (environmental biology)。随着生态学理论研究和实践应用的不断深化拓展，生态学的定义也发生了相应的变化。

尽管后来人们对生态学的定义有不同的见解，但是出现过的各种定义与 Haeckel 最初的定义并没有本质的区别，只是研究的侧重点有所不同。例如，elton 侧重于动植物生态研究，warming 则强调种群和群落的研究等。

## 二、微生物生态学的定义

微生物生态学 (microbial ecology) 是研究微生物与其周围环境之间相互关系的一门科学，是生态学的一个分支。其中的微生物主要包括细菌、病毒、放线菌、真菌、单细胞藻类及原生动物。某些学者根据微生物生态学研究的特点，认为微生物生态学的现代定义可以理解为环境生物学，实际上微生物生态学的范畴包括了微生物在特定空间中的分布、组成、生理生化特性、彼此之间的关系以及它们与环境间的相互关系和功能等。

微生物生态学与微生态学之间是有区别的，后者不只是研究微生物与自然环境条件的关系，如微生物与动物的关系，微生物同植物的关系，还有微生物与昆虫的关系或微生物之间的关系等，还应该包括所有的细胞同其所在环境条件关系的研究。

微生物生态学作为一门新兴学科，与动植物生态学相比起步较晚。而且由于微生物体积小、种群数量大，微观性和群体性成为微生物生态学的显著特点。人们在研究微生物生态学时难以直观地观察其形态、机能与环境之间的关系，首先需要得到比较准确的有关微生物种类和数量的参数及其所处环境的参数。而要获得这些准确的参数，在技术上人们一般是很难做到的。

## 三、微生物生态学的研究范围

微生物生态学作为一门独立的学科，具有其专门的理论基础和研究方法，有着自己的任务和目的。随着微生物生态学的发展，其研究对象的广泛性和现代科学新技术的应用，微生物生态学研究在解决人类面临的各种危机（人口增长、环境污染、能源危机、资源枯竭等）问题中，已成为融众学科所长的综合性学科，也是现代生物学的前沿研究领域。

为拯救资源、保护环境，赋予生态学的使命就是利用其基本原理揭示生物和环境之间的关系。由此，根据研究的具体任务可将微生物生态学分为：研究具体种群在不同环境下的微生物生长、发育、繁殖和反应机制的微生物行为生态学；研究多种微生物种群之间相互作用的微生物种群生态学；研究微生物各种群特征、更迭和功能的微生物群落生态学；特殊微生物生态学等。

根据研究对象的差异，可以认为广义上的微生物生态学就是以研究微生物为对象的生态学学科；而狭义上的微生物生态学也还包含一些微型微藻、原生动物等。微生物生态学是研究微生物与周围环境和非生物环境之间的相互关系及其在自然环境中的作用和环境因素对微生物的影响的学科。主要研究微生物的种类、分布及不同的环境条件对其影响，极端环境中微生物的生命机理及其应用，微生

物群落之间的相互关系，微生物代谢环境的相互关系，微生物在环境污染和保护中的功能及意义等。

微生物生态学与资源、农业、环境保护、医学、国防建设、社会科学等领域都有密切的关系。研究微生物生态学的目的在于开发和利用自然界中的微生物及其代谢产物、基因资源，并对其进行保护；了解自然环境中微生物群落对环境变化的影响，环境条件的变化对自然界微生物体生长代谢的影响，以及微生物在自然界中所起的作用，并利用它们为人类服务，为提高生产率，保护人类健康和生态平衡，发挥微生物的最佳作用。

总之，伴随着现代科学技术的发展，特别是生命科学研究技术手段的突飞猛进和材料工艺等新技术的出现，微生物生态学的研究也得到极大的发展。

## 第二节 微生物生态学的发展简史

微生物生态学的起源和生态学基本上是同步的，作为一门系统的学科伴随着生态学发展的整个历程。对微生物与环境之间关系的早期研究可以追溯到 19 世纪中叶。如法国微生物学家巴斯德 (L. Pasteur) 就发现了微生物的乳酸发酵作用，并进行了大量相关研究。

### 一、萌芽时期

生态学概念正式被提出是在 19 世纪中叶 (Ernest Haeckel, 1869)。最早是 Henry Thoreau 于 1858 年在书信中使用过，但是未对其下定义。在微生物生态学萌芽时期，很多科学家做出了重要贡献。如 1921 年，荷兰学者 Beijerinck 从土壤中分离出好氧性的自生固氮菌，首次提出用个体生态学的方法研究微生物。后来，俄国学者 Winogradsky 对土壤微生物的物质转化作用进行了一系列研究，从土壤中分离出了能够将氨转化成硝酸的硝化细菌，详细研究了厌氧固氮细菌和共生固氮细菌，并首次提出了土著微生物的生态习性。

20 世纪 30 年代以前，微生物很少被作为生物看待，而仅仅是无机环境因素的一部分。微生物只被简单地看成是“酶的载体”。在应用生物学领域中，由高等植物构成的第一线生产力很早就得到了生物学家们的高度重视，但环境中由微生物引起的物质分解现象一直很少被人注意。20 世纪中叶前期，人们仍普遍缺乏对微生物引起的物质循环作用的认识，对微生物学方面的知识和技能的掌握也有所欠缺。此外，生态学基本而传统的研究手段与微生物学大致无共通之处。两者之间的这种差异使得在本世纪中叶以前，微生物学和生态学之间几乎没有学术上的联系。在这一时期，包括微生物学在内的基础生物学，如动物学、植物学、生理学、遗传学、生物化学等的进展极为迅速，这些学科的研究内容是非常直接地同生产实践相联系的，它们的应用意义是显而易见的。而生态学及其研究在当时很少有人能清楚地阐明其应用价值。

进入 20 世纪 30 年代后, Kluver、Niel、Cholodny 等的研究促进了微生物生态学的形成。首先, 对酵母菌和大肠杆菌的一系列生理生化方面的研究证明了微生物与动植物的代谢机制的同一性, 从而证明了微生物在自然界中的地位; 其次是在土壤微生物研究手段上出现了埋片观察法, 埋片观察法作为生态学的研究手段能更近似地反映自然界中微生物真实的生活状况。在这段时期, 其他生物学的发展和研究, 也为微生物生态学的形成准备了充分的条件。

## 二、诞生时期

微生物生态学是 20 世纪中叶以后才发展起来的的一个学科。作为生命科学发展的一个分支, 到 20 世纪 60 年代后, 由于人们对环境科学越来越多的关注, 微生物生态学得到了飞速发展。

1934 年, Gause 设计了一个生态学经典实验, 证实纤毛虫等原生动物的捕食关系。Kluver 发现在自然界种类繁多的微生物世界中, 各类代谢过程都存在相互关系。Roger 利用假单胞菌研究好氧微生物的代谢, 并发现其具有降解复杂的有机化合物的作用。他们的研究为微生物生态学早期的发展做出了重要贡献。

20 世纪 50 年代末, 随着工农业的飞速发展, 人口的快速膨胀, 环境污染日趋严重。人类所面临的危机日益引起了普遍关注, 在这种背景下, 人们发现许多微生物能降解各种人工合成和天然的污染物, 特别是面对难分解的合成洗涤剂、农药以及汞化合物引起的富营养化和生物放大作用时有着良好的收效。这些问题引起了科学家们对微生物生态学的浓厚兴趣, 并推动其迅速发展。如 20 世纪 60 年代, 人们就已经开始研究微生物降解海洋石油污染物。

1962 年召开了第八次国际微生物学会议, 在此次会议上设立了经济和应用微生物学委员会, 旨在加强对微生物资源开发利用方面的研究, 以此来促进粮食产量的增长, 首先要解决化学肥料短缺问题, 氮肥的短缺问题刺激了对微生物共生以及自生固氮作用的研究。全球性的资源、能源危机的出现, 促进了对微生物资源转化作用的研究。由于开发稀有生物遗传资源的需要, 促进了对微生物生态的研究。美国微生物学家 Brock 把当时积累的有关微生物生态的资料进行了系统整理, 并编写成了《微生物生态学原理》。这是第一本比较系统的微生物生态学专著, 它的问世是微生物生态学作为一门独立学科而诞生的标志。

1970 年在墨西哥召开的第十届国际微生物学会议上, 正式成立了微生物生态学委员会。此次会议的中心议题是环境问题和如何利用微生物来净化环境。这次国际学术会议的召开表明, 对微生物的生态学意义, 人们的认识程度已经有了飞跃性的发展, 微生物作为自然界生物中的重要成员, 以其丰富多彩的生命活动, 在更多方面对环境产生积极的影响。

## 三、成长时期

微生物发展的一个重要里程碑是 1972 年在瑞典召开了国际微生物生态学学

术会议，会上主要探讨了微生物生态学研究方法的改进问题，强调了在纯培养的基础上进一步结合自然环境条件进行研究的必要性。从1977年以后，每三年举行一次微生物生态学国际会议，第11届国际微生物生态学大会（11<sup>th</sup> International Symposium on Microbial Ecology, ISME-11）于2006年8月20~25日在奥地利首都维也纳召开，本届大会的主题是“隐藏的力量——微生物群落的作用（The Hidden Powers—Microbial Communities in Action）”，参加会议的代表来自60多个国家，共2000余人。

在微生物生态学理论体系的发展方面，继1966年由Brock完成第一部微生物生态学专著以来，不断有新的有关微生物生态学理论的著作问世。其中影响较大的主要有：美国土壤微生物学家Martin Alexander编写的《微生物生态学》（Microbial Ecology）、英国R. E. Campbell的《微生物生态学原理入门》（Microbial Ecology—a Conceptual Approach）等。

许光辉等所编写的《微生物生态学》是我国微生物生态学方面的第一本专著。20世纪70年代末，分子生物学研究技术被借鉴到微生物生态学的研究中去，在物种多样性，分子适应及进化等微生物生态学基础理论方面取得了突破，如中国科学院武汉病毒研究所张素琴研究员2005年编著的《微生物分子生态学》就是本类著作方面的杰出代表。

近年来，各种极端环境中的微生物的生命机理的影响和极端微生物的特殊用途引起了人们极大的兴趣，使得对嗜极端微生物的研究得到了迅速发展。在微生物生态学的形成和发展过程中，有许多相关学科的研究为之积累了大量资料，促进了微生物生态学理论体系的建立。

### 第三节 微生物生态学的研究方向和意义

#### 一、微生物生态学的研究方向

微生物生态学研究已经成为微生物学乃至整个生物学中最活跃和最有潜力的研究方向。从事这个领域研究的高水平的机构和专家也越来越多。当前，微生物生态学研究的主要方向包括：①水生微生物；②微生物与金属的相互作用；③生物信号；④微生物膜和垫；⑤人体微生物生态；⑥细菌与真菌、原生动物的拮抗作用；⑦微生物群落的生态原理；⑧陆地生态系统的微生物多样性和作用；⑨微生物与有机污染物的相互作用；⑩不可培养微生物；⑪原核生物与植物的相互作用；⑫微生物驱动的生态系统功能；⑬微生物群落对全球变化的影响；⑭极端环境和天体微生物；⑮细菌共生体是朋友还是敌人；⑯进化生态学；⑰环境微生物基因组学；⑱病毒对微生物群落分析的影响；⑲微芯片用于微生物群落分析；⑳胁迫（抗逆）反应；㉑环境生物技术；㉒生物地球化学循环——新生命和新代谢途径；㉓海洋微生物；㉔病原体生态学；㉕新的生物分析和生物信息学方法。

以上分类内容基本上反映了当今微生物生态学研究方向的全貌。

微生物生态学快速发展的原因主要体现在：①分子生物学技术和基因组学以及蛋白质组学等技术用于研究微生物群落，是微生物生态学领域能够迅速发展的重要原因，基因芯片技术用于微生物群落的多样性分析已经开始成熟，必将对微生物生态学研究产生重大影响；②不可培养微生物的分析与培养研究已成为微生物生态学或微生物学领域中的热点研究方向，宏基因组学技术在分析不可培养微生物及利用不可培养微生物的基因资源方面将大显身手；③微生物生态学家已经不满足于仅对微生物群落结构的分子分析，而是尽力把群落结构分析与微生物群落的生理代谢功能的测定联系在一起，生物信息学、计算生物学和系统生物学已经在微生物生态学领域得到普遍重视，为微生物生态学理论的发展提供了良好的条件；④随着微生物生态学在医药卫生、生物能源、环境保护、海洋、农业、石油、冶金等领域的日益广泛的应用，该领域呈高速发展的势头。

## 二、研究微生物生态学的意义

生态学在解决当代重大社会问题中所起的重要作用，对促进工农业生产、改进城市结构、改善生态环境和防止环境污染所做出的贡献受到人民的高度重视，生态学已成为目前发展最快的前沿学科之一。微生物生态学是生态学的重要组成部分，在生态系统中有重要地位，微生物生态学与工业、农业、环保和医学等社会科学都有着极其密切的关系。微生物生态学的研究有助于解释生物基因的进化、基因及酶的代谢调控和生物适应环境的机理等问题，研究自然样品中的微生物和有关基因有利于了解生物的多样性、保护微生物资源和基因库，故微生物生态学的研究有着重要的理论和现实意义。

我国地域广阔，在丰富多样的自然环境中存在着大量至今仍未开发的微生物资源，特别是我国有许多极端的自然环境，如高温、低温、高辐射、强酸环境等，还有微生物参与氮气的固定、纤维素等某些特殊化合物的分解过程，这些循环、转化、分解作用对于保持生态平衡起着非常重要的作用，研究这些生态环境的微生物种类和生理功能，有重要的实际意义。

由于自然界中微生物的特有个性，如体积小、代谢力强、生理生化功能多样等，在环境保护中，应用其在常规条件下利用微生物高降解力菌株处理污染物，能彻底净化很多难降解的污染物，具重要的实际和经济意义。特别是近年来科学技术的飞速发展，各种生物技术与微生物生态学的不断交叉融合，微生物生态学的研究为环境医学及其保护对策等提供了充足的科学理论依据。

## 第二章 微生物生态学基本原理

### 第一节 环境与生态系统

#### 一、环境的概念

环境是指某一特定生物体或群体以外的空间，以及影响该生物体或群落生存与生活的外部条件的总和。这些空间由无机的物理、化学因素以及有机的生物因素构成。无机的物理、化学因素指土壤、温度、水分、光、气候等；有机的生物因素指来自研究对象以外的其他生物的作用和影响，如拮抗、共生等。

环境是针对某一特定主体而言的，离开了这个主体或中心也就无所谓环境，故环境是一个相对的概念，是相对于一定的主体而存在的。由于主体不同，环境的内涵也不同，就算是对于同一主体，因对主体的研究目的及研究尺度的不同，环境的分辨率也会不同。如整个地球上的生物圈，是一切生物生存和发展的大环境；而广阔的原始森林又可构成一个森林环境。

对于微生物来说，微环境的概念常常更为重要，某一类群微生物所处的微小环境称为微环境。而植物的一个叶片、一条根毛的表面都可能构成某种微生物生存的环境。

环境是生物的生存空间中各种作用于生物的要素的总和，是个抽象的概念。与此相对，某一生物的个体、种群所分布的具体区域称为生境 (habitat)，简单地说就是生物的居住地。对于微生物来说，由于其居住地常常是微小的，所以常常使用微生境 (microhabitat) 一词。不同种类的微生物各有其特定的生境，也即最适合其生活的居住地。

#### 二、什么是生态系统

1935年英国生态学家坦斯列 (A. G. Tansley) 首先提出了生态系统 (ecosystem) 的概念，把生物与其生存的自然环境视为一个相互作用的有机体。亦即把生物与生物、生物与环境以及环境诸多因子之间的相互联系和相互作用的关系作为一个系统加以研究。后来美国生态学家 (E. P. Odum) 给生态系统下了一个更全面的定义，即生态系统是指生物群落与生存环境之间，以及生物群落内的生物之间的密切关系、相互作用，通过物质交换、能量转化和信息传递，成为占据一定空间、具有一定结构并执行一定功能的动态平衡整体。生态系统这一概念并不难理

解, 用一个简单的公式可概括表示为: 生态系统=非生物环境+生物群落。在这个紧密结合的系统中, 物质、能量在生物与生物、生物与环境之间不断循环流动, 形成一个能够自己维持下去的、相对稳定的, 并具有一定独立性的统一整体。

生态系统是一个相对的概念, 一片海洋可以构成一个生态系统, 而一片森林、一个湖泊、一片草地也可以构成一个生态系统。每一个生态系统内部的所有生物都能通过其内部联系进行环境之间物质、能量的不断循环流动来保持其结构的相对稳定性。

在一个生态系统中, 任何一种生物群落都不是孤立存在的, 总是和环境密切相关, 相互作用。如土壤和气候决定了一个区域具有什么样的群落, 而群落对土壤和气候也会有明显的影响。生物群落与非生物环境之间的互补关系, 以及能量在生物之间的流动和物质循环现象, 就是典型的生态系统行为。生物圈是一个由种类多种多样的生态系统构成的复合体。生物圈在其进化的过程中, 由于受到不同程度、不同性质的地质、气候、生物等因素的作用分化成了许多相互具有一定独立性的单元, 即不同的生态系统。最典型的例子是陆地上的草原和森林、荒漠、沼泽和水域中的湖泊、海洋等。

### 三、生态系统的组成和结构

#### 1. 生态系统的组成

生态系统 (ecosystem) 是生物物种和群落在长期进化过程中与其生存和发展的外部环境互相适应的结果, 是具有特定的物种结构、空间结构和营养结构的一个有机整体。生态系统在一定时期内, 其结构和功能可以处于相对稳定的状态, 即使受到外来干扰, 也能够通过自我调节而恢复到原来的稳定状态。一个生态系统之所以能维持稳定, 在于它具有合理的组成结构, 各成员之间具有相互协调的功能。生态系统的本质是利用太阳的辐射能, 并把这些化学能在系统内部进行合理的分配, 从而达到生态系统的动态平衡。生态系统的组成见图 2-1。

##### (1) 生物组分

① 生产者 (producers) 也叫初级生产者, 是指自养生物, 主要包括所有绿色植物和化能合成细菌。它们能利用自然界中无机物合成有机物, 并把环境中的太阳辐射能或化学能转化成生物化学能储存在生物有机体中, 从而为其他生物提供食物和能源。

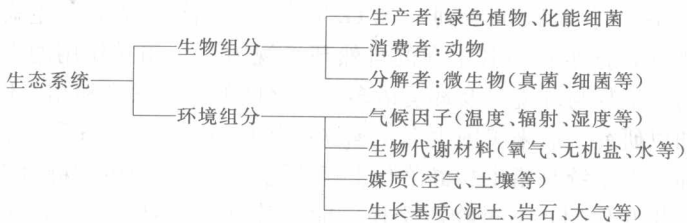


图 2-1 生态系统的组成



② 消费者 (consumers) 主要由各种动物组成, 是指除微生物以外的异养微生物, 可分为草食动物、肉食动物和杂食动物等。

③ 分解者 (decomposers) 又称为还原者, 是指细菌、真菌和放线菌等异养微生物, 也包括一些营腐生生活的原生动物和微小的土壤腐食动物。

(2) 环境组分 环境是生态系统物质和能量的来源, 包括生命活动的基质——大气、土壤、水和岩石以及参与新陈代谢的光、氧气和各种矿质营养元素。

生态系统中的能量流动开始于绿色植物光合作用对太阳能的固定。绿色植物通过叶绿素的光合作用, 以二氧化碳和矿质元素为原料合成碳水化合物, 从而将太阳能转化成储存于有机物中的化学能。动物是主要的消费者, 它们消耗有机物使能量得以流动, 而微生物则分解有机物将其还原为植物, 使之可重新被作为生产者的植物再利用; 此外, 微生物也能够从动植物合成有机物。在一个生态系统中, 植物是主要的生产者, 动物是主要的消费者, 微生物则是主要的分解者。在自然环境这一大生态系统中, 生产者、消费者和分解者在组成结构和功能上的协调合作完成了生态系统中的能量流动和物质循环。

在地球生态系统中, 生物组成部分 (即植物、动物、微生物) 是物质和能量的主要转化者。非生物组成部分 (阳光、水分、二氧化碳、土壤等) 则是形成生态系统的基本。由生产者生产的有机物是生态系统能量流动和物质循环的基础。能够直接合成有机物的生物叫自养生物 (autotrophic organisms), 它们主要是绿色植物以及能进行光合作用的少数细菌。不能合成有机物, 而只能利用现成有机物的生物叫异养生物 (heterotrophic organisms), 动物和绝大多数微生物都是异养生物。

对一个生态系统而言, 它的稳定性往往是有限的, 当外来的压力或冲击超过了这个限度时, 自我调节就会失效, 生态系统不能恢复到原来的稳定状态, 这就会导致生态失调, 最终可能引起整个生态系统的崩溃。例如, 气候、地质的急剧变化, 洪水、森林火灾等突发性灾害, 以及人类不合理的资源开发活动, 都可能引起生态平衡的破坏, 导致严重的后果。

## 2. 生态系统的结构

当具有了生态系统的各个组分后, 并不能说生态系统就能运转了。各组分只有通过一定的方式组成一个完整的、可以实现一定功能的系统时, 才能称为完整的生态系统。构成生态系统的各个部分, 尤其是生物组分的种类、数量和空间配置, 在一定时期内通过相互联系和相互作用而处于相对稳定的有序状态。通常把生态系统构成要素的组成、数量以及在时间、空间上的分布和能量、物质转换循环的有序状态称为生态系统结构。

(1) 形态结构 是指生态系统的生物种类、种群数量、种的空间配置和群落的组成。生态系统的形态结构是生态系统的基本骨架, 它不仅影响着生态系统营养结构的形成, 而且对系统内的能量转化方式、物质循环利用和信息传递途径都