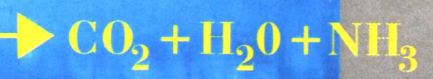
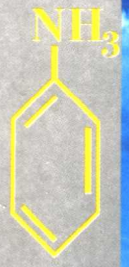
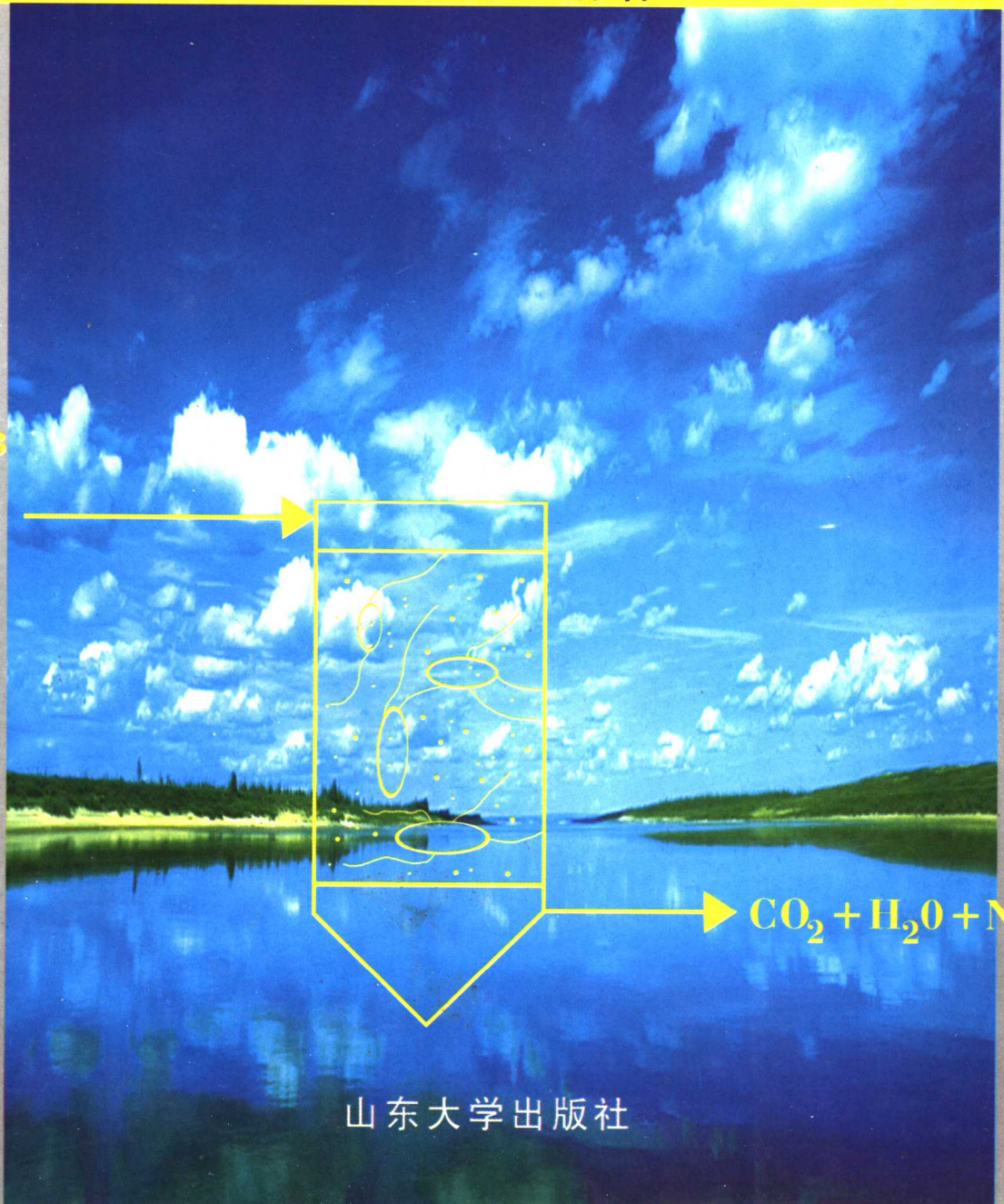


Microbial Ecology

微生物生态学

池振明 编著



山东大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

微生物生态学/池振明编著. —济南: 山东大学出版社, 1999. 6

ISBN7-5607-2028-5

I. 微… I. 池… III. 微生物生态学 IV. Q938.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 25301 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码: 250100)

山东省新华书店经销

山东省莒南印刷厂印刷

787×1092 毫米 1/16 16.5 印张 381 千字

1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月第 1 次印刷

印数: 1—3000 册

定价: 25.80 元

内容简介

微生物生态学是研究微生物与其周围生物和非生物环境之间相互关系的一门科学。它的内容基本上包括五个方面：(1) 正常自然环境中微生物的分布、分布规律、微生物的代谢及其对环境的影响，环境因素对这些代谢的影响，微生物与微生物之间、微生物与其他生物之间的相互关系。(2) 极端环境中微生物的种类和分布，生命机理和这些微生物在工农业生产中的应用。(3) 污染环境中的微生物学，其中包括污染物对微生物的毒性，某些微生物对有机和无机污染物的抗性，微生物对污染物的转化和降解作用，污染物转化和降解作用与微生物质粒和染色体基因的相互关系，微生物在净化工业废气、生活和工业污水、煤和石油的脱硫、固体废物处理和重金属污染物处理中的应用，某些微生物本身和它们在自然界中的代谢对环境的污染。(4) 微生物生态模型，包括实验模型和数学模型。(5) 微生物生态学的数据处理。由于工业的发展和人口的膨胀，目前环境污染日趋严重，但是人们发现自然界中的许多微生物具有非凡的清除污染物的能力，所以污染微生物生态学引起了人们的高度重视，因此本书把这一部分的内容作为重点。本教材收集了近年来国内外最新的微生物生态学研究进展和研究结果，从1990年开始作为微生物学专业学生的教材，其间经过多次修改和补充，使内容得到不断的完善。本教材可作为微生物学、生态学、环境医学和环保专业学生的教材，并且可以供给从事微生物学、生态学和环境保护的教学和研究人员作为参考材料。

序

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；多用来进行生态系统的调控、推动工农业的生产发展、保护人类生存和环境等方面。由于微生物的微观性等自身特点，给研究微生物生态学带来了诸多的不便，直到60年代后才发展成一门独立的学科。80年代后由于分子生物学的迅速发展以及对微生物生态学的强力渗透，化学分析手段的不断改进和数学概念的引进，分子生态学成了研究的前沿，已涉及到极端微生物、海洋乃至航天等特定区域的生态环境研究的新内容。

微生物这一生物最庞大的家族，已经在人们看不见的世界里默默地生存了几十亿年，是它们维持着自然界物质转化和生态平衡。近年来研究发现，微生物有着非凡的清除环境污染物的能力，在打扫废气、废水和固体垃圾、清除重金属毒物等方面又屡建战功。当然，某些微生物也不是一贯友善的，偶尔也会给人类带来灾难，有疾病肆虐，有时像富营养化等问题甚至还会造成大面积的危害，这就要求我们熟悉并遵从它们的习惯。

面对21世纪教学内容和课程体系改革，池振明博士在多年讲授微生物生态学的过程中，始终关注着微生物生态学的国内外最新研究进展，不断吸收、归纳了许多新内容、新焦点，编写了这本来之不易的教材，它比较全面地反映了当代微生物生态学的各个方面。看了这本书，我感触颇多，如梦初醒。让我们从一味征服自然的恶梦中醒来，走向与大自然和谐相处的新时代。

张长铨

1998年9月于济南

前 言

微生物生态学是研究微生物与周围生物和非生物环境之间的相互关系，是研究微生物在自然环境中的作用和环境因素对微生物的影响。目前本学科主要研究的焦点是如何利用微生物保护和改进环境质量以及极端环境中的微生物。

环境问题是当今世界面临的五大问题之一。由于环境污染日趋严重，给人类生存、生产和生态平衡构成了严重的威胁。但是微生物无处不在，个体微小，生理和代谢功能多样，在各种环境中能代谢和清除环境中几乎所有的天然和人工化合物，是污染环境自净的主力军。利用微生物群落净化污染物只需在常温常压下进行，不会造成二次污染，而且许多处理工艺还会产生许多有用的产品，所以利用微生物群落处理污染物是一种经济而实惠的方法，为当今世界各国所普遍接受。微生物细胞结构简单，遗传功能多样，很容易通过现代基因工程技术进行遗传改造，给构建能降解各种污染物的超级细菌创造了可能。同时，在极端环境和正常自然环境中对某些多聚物降解和氮气固定方面微生物能发挥独特的作用，是维持自然生态平衡的主要力量。

自从改革开放以来，我国相继出版了与之有关的专著和教材，但是多数是为非微生物学专业学生而编写的。本书中力求不重复这些教材和其他微生物学教材的内容，在全面介绍微生物生态学知识的基础上，重点突出介绍微生物在污染环境和极端环境中的作用。

编写一本能全面反映当代微生物生态学最新的研究进展，同时能作为微生物学专业和生态学专业学生的教材，是我多年的愿望，我很高兴今天这一愿望终于得到实现。

在编写该书过程中，得到我院刘自镛教授认真指导，并提出了许多宝贵意见。微生物学博士生导师张长铨教授审阅了所有章节，并为该书作序。本书的出版得到了山东大学教材出版基金、山东大学出版社和山东大学微生物学系主任陈冠军教授的大力支持。在此，一并深表致谢。

就像大家所知道的那样，由于分子生物学技术的引入、现代酶学技术的使用和其他学科的渗透，微生物生态学发展非常迅速，加上本人的水平有限，时间比较仓促，本书内容方面可能有不足之处，敬请有关专家学者和广大读者提出批评指正，以便在下一版中使内容更加完美。

池振明

1999年4月

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 什么是微生物生态学.....	(1)
第二节 微生物生态学的发展简史.....	(2)
第三节 微生物生态学的基本方法.....	(4)
第四节 研究微生物生态学的意义.....	(6)
第二章 自然环境中微生物群落的结构及其变化规律	(8)
第一节 土壤中微生物群落的结构及其变化规律.....	(9)
一、土壤中微生物的分布.....	(9)
二、土壤中的微生物群落.....	(10)
三、影响土壤中微生物分布的因素.....	(11)
第二节 水体中微生物群落的结构及其变化规律.....	(12)
一、淡水中微生物群落的组成和代谢活力.....	(13)
二、海水环境中微生物群落的组成和代谢活力.....	(14)
三、环境条件对水体中微生物群落结构的影响.....	(15)
第三节 空气中微生物群落的结构及其变化规律.....	(16)
一、空气是微生物生长和生存的不良环境.....	(16)
二、空气是传播微生物的介质.....	(17)
三、室外空气中的微生物.....	(17)
四、室内空气中的微生物.....	(18)
五、空气中的微生物对生态的效应.....	(18)
第三章 极端自然环境中的微生物	(19)
第一节 低温环境中的微生物.....	(19)
一、低温环境中的微生物.....	(19)
二、高温对嗜冷菌的影响.....	(20)
三、低温微生物适应低温的分子机理.....	(21)
四、低温微生物的潜在应用.....	(22)
第二节 高温环境中的微生物.....	(23)
一、高温环境中的微生物.....	(23)
二、高温下微生物生命的分子机理.....	(25)
三、嗜热菌的应用.....	(29)
第三节 在强酸环境中的微生物.....	(32)
一、在强酸环境中的微生物.....	(33)

二、微生物抗酸的分子机理	(35)
三、嗜酸菌的应用	(36)
第四节 在强碱环境中的微生物	(36)
一、在强碱环境中的微生物	(37)
二、微生物抗碱的分子机理	(37)
三、嗜碱菌的应用	(39)
第五节 低营养环境中的微生物	(42)
一、低营养环境中的微生物	(43)
二、低营养环境中的微生物生命机理	(44)
三、低营养型微生物的应用	(44)
第六节 高盐环境中的微生物	(45)
一、嗜盐微生物的类型	(45)
二、嗜盐菌的分布	(46)
三、嗜盐微生物抗高浓度 NaCl 的分子机理	(46)
四、嗜盐菌的应用	(49)
第七节 高压环境中的微生物	(50)
第八节 高辐射环境中的微生物	(51)
一、抗辐射微生物	(52)
二、微生物抗辐射的分子机理	(53)
第四章 生物群体的相互作用	(56)
第一节 微生物群体之间的相互作用	(56)
一、一种微生物群体中不同个体之间的相互作用	(56)
二、不同微生物群体之间的相互作用	(58)
第二节 微生物与植物之间的相互关系	(65)
一、微生物与植物根之间的相互作用	(65)
二、微生物与植物其他部分之间的相互作用	(69)
三、病原微生物与植物之间的关系	(71)
第三节 微生物与动物之间的相互关系	(72)
一、微生物作为某些水生动物的食物	(72)
二、微生物帮助动物消化食物和获取营养物质	(72)
三、动物与光合微生物之间的共生关系	(75)
四、动物与发光细菌之间的关系	(75)
五、病原微生物与动物之间的相互关系	(76)
第四节 微生物与人体之间的相互作用	(77)
一、皮肤表面的微生物与人体的关系	(77)
二、口腔中微生物与人体的关系	(78)
三、胃肠道中的微生物与人体的关系	(78)
第五章 微生物在生物地球化学循环中的作用	(80)

第一节	基本概念	.....	(80)
一、	能量流 (Energy flow)	.....	(80)
二、	营养水平 (Trophic level)	.....	(81)
三、	生物地球化学循环 (Biogeochemical cycling)	.....	(81)
第二节	碳循环	.....	(83)
一、	通过食物网进行碳的转移	.....	(83)
二、	微生物在碳循环中所起的特殊作用	.....	(84)
三、	环境因素和人类活动对碳循环的影响	.....	(85)
第三节	氢循环	.....	(86)
第四节	氧循环	.....	(87)
第五节	氮循环	.....	(87)
一、	N ₂ 的固定	.....	(88)
二、	氨化作用	.....	(90)
三、	硝化作用	.....	(91)
四、	硝酸还原和反硝化作用	.....	(92)
五、	环境因素和人类活动对氮循环的影响	.....	(93)
第六节	硫循环	.....	(93)
一、	硫和硫化物的氧化	.....	(94)
二、	还原性硫的转化	.....	(95)
三、	硫循环的生态学意义	.....	(97)
第七节	磷的循环	.....	(98)
第八节	其他元素的循环	.....	(99)
一、	铁循环	.....	(99)
二、	锰循环	.....	(100)
三、	钙循环	.....	(100)
四、	硅循环	.....	(101)
五、	某些重金属元素的循环	.....	(101)
第九节	各种元素循环之间的相互关系	.....	(101)
第六章	微生物与化学污染物之间的相互关系	.....	(103)
第一节	自然界中化学污染物的种类、来源及其危害	.....	(104)
一、	自然界中化学性污染物的来源和种类	.....	(104)
二、	几种主要污染物的危害	.....	(105)
第二节	化学性污染物对微生物的毒性	.....	(107)
一、	重金属污染物对微生物的毒性效应	.....	(107)
二、	有机污染物对微生物的毒性	.....	(109)
第三节	微生物对化学污染物的抗性	.....	(111)
一、	微生物对重金属的抗性	.....	(111)
二、	抗重金属菌株的应用	.....	(114)

三、微生物对有机污染物的抗性·····	(115)
第四节 微生物对汞化合物的解毒机理·····	(116)
一、自然界中的抗汞微生物·····	(116)
二、微生物对无机汞和有机汞化合物的抗性范围·····	(117)
三、微生物对无机汞和有机汞化合物的解毒机理·····	(117)
第五节 微生物对铬的解毒作用·····	(119)
一、自然界中的铬还原菌·····	(119)
二、微生物还原铬的分子机理·····	(120)
第六节 微生物对砷和锑的解毒作用·····	(120)
第七节 苯环类污染物的降解·····	(121)
一、苯环类污染物降解的共同途径·····	(121)
二、与降解苯环类污染物有关的微生物·····	(123)
第八节 多环芳香烃的微生物降解·····	(124)
一、萘的微生物降解·····	(125)
二、菲和蒽的微生物降解·····	(125)
三、苯(α)并芘的微生物降解·····	(127)
第九节 石油中碳氢化合物的微生物降解·····	(127)
一、各类碳氢化合物的降解·····	(128)
二、石油混合物中碳氢化合物的降解·····	(130)
三、能降解石油污染物的微生物·····	(130)
四、石油污染物降解菌的分布·····	(131)
五、环境因素对石油污染物降解的影响·····	(132)
第十节 有机氯农药的微生物降解·····	(133)
一、降解有机氯农药的基本反应·····	(133)
二、几种有机氯农药的微生物降解·····	(134)
第十一节 有机磷农药的微生物降解·····	(138)
一、降解有机磷农药的基本反应·····	(138)
二、几种有机磷农药的微生物降解·····	(139)
第十二节 合成洗涤剂的微生物降解·····	(141)
一、烷基苯磺酸盐的微生物降解·····	(142)
二、烷基磺酸盐的微生物降解·····	(144)
第十三节 偶氮染料的微生物降解·····	(144)
一、环境中能使偶氮染料脱色的微生物·····	(144)
二、偶氮染料的降解途径·····	(145)
第十四节 氰(腈)化合物的微生物降解·····	(145)
第十五节 PCBs 的微生物降解·····	(146)
第十六节 厌氧环境中苯环化合物的降解·····	(147)
一、厌氧微生物·····	(148)

二、中心活性苯环中间产物的形成.....	(148)
三、苯环的还原和水化作用.....	(148)
四、厌氧和好氧代谢途径的比较.....	(150)
第十七节 降解质粒.....	(150)
一、质粒与质粒的基本特性.....	(150)
二、降解质粒的种类及其功能.....	(151)
三、污染环境中细菌质粒分布的规律.....	(153)
第七章 污染物的微生物处理.....	(156)
第一节 基本概念.....	(156)
一、BOD	(157)
二、甲烯蓝稳定性试验.....	(158)
三、COD	(158)
四、TOD	(158)
五、NOD	(159)
六、SS	(159)
第二节 废气的微生物处理.....	(159)
一、生物涤气器 (Bioscrubber)	(159)
二、滴滤池 (Tricking filters)	(160)
三、生物滤池 (Biofilters)	(161)
四、与废气处理有关的微生物.....	(162)
五、含硫化氢气体的微生物处理.....	(163)
第三节 废水的微生物处理.....	(165)
一、废水处理的基本过程.....	(165)
二、活性污泥法.....	(166)
三、生物滤池法.....	(171)
四、生物转盘法.....	(175)
五、生物接触氧化法.....	(176)
六、厌氧发酵法.....	(177)
七、氧化塘法.....	(180)
八、光合细菌处理法.....	(182)
九、现代生物工程处理法.....	(183)
第四节 重金属污染物的微生物处理.....	(185)
一、生物吸附 (Biosorption)	(185)
二、利用固定化细胞吸附重金属.....	(185)
三、硫化物沉淀法.....	(186)
四、磷酸盐沉淀法.....	(186)
五、利用微生物的转化作用去除重金属.....	(186)
六、处理重金属污染物常用的工艺.....	(187)

第五节 固体废物的微生物处理·····	(188)
第六节 煤脱硫的微生物方法·····	(188)
一、煤中的含硫化合物·····	(189)
二、煤脱硫过程中所用的微生物·····	(189)
三、微生物法煤脱硫的机理·····	(191)
四、影响煤脱硫的环境因素·····	(193)
五、煤脱硫的方法·····	(193)
六、煤的微生物液化·····	(194)
七、将来的方向·····	(195)
第八章 微生物及其代谢产物对环境的污染·····	(196)
第一节 病原微生物对环境的污染·····	(196)
一、病原微生物对空气的污染·····	(196)
二、病原微生物对水体的污染·····	(196)
三、病原微生物对土壤的污染·····	(197)
第二节 富营养化作用及其控制方法·····	(197)
一、引起富营养化作用的原因·····	(198)
二、引起富营养化作用的藻类·····	(198)
三、富营养化作用的危害·····	(198)
四、富营养化作用的人工控制·····	(199)
第三节 重金属的甲基化作用对环境的污染·····	(201)
一、汞的甲基化作用·····	(201)
二、其他重金属的甲基化·····	(203)
第四节 含氮化合物的微生物代谢对环境的污染·····	(204)
一、NH ₃ ·····	(204)
二、NO ₃ ⁻ ·····	(204)
三、NO ₂ ⁻ ·····	(205)
四、羟胺·····	(205)
五、亚硝酸胺·····	(205)
第五节 含硫化合物的微生物代谢对环境的污染·····	(206)
一、H ₂ S·····	(206)
二、SO ₂ 和氧硫化碳·····	(206)
三、有机硫化合物·····	(207)
四、酸矿水·····	(207)
第六节 微生物产生的简单碳化合物对环境的污染·····	(208)
一、乙烯·····	(208)
二、CO·····	(209)
三、有机酸·····	(209)
第七节 微生物产生的毒素对环境的污染·····	(209)

一、细菌毒素	(210)
二、藻类毒素	(211)
三、真菌毒素	(213)
四、微生物产生的毒素对生态的效应	(214)
五、微生物毒素的用途	(214)
第九章 微生物生态模型	(216)
第一节 实验模型	(216)
一、分批培养系统 (Batch systems)	(217)
二、流过培养系统 (Flow-through system)	(217)
三、微世界	(220)
第二节 数学模型	(221)
一、群体生长方程式	(222)
二、竞争方程式	(223)
三、共生方程式	(224)
四、捕食方程式	(224)
五、生物群落的数学模型	(225)
六、组建数学模型常用的方法	(227)
第十章 微生物生态学中的统计学问题	(228)
第一节 数据收集和实验设计	(228)
一、自变量和因变量	(228)
二、偏差	(229)
第二节 中心趋向的估计	(229)
第三节 变异性测量	(231)
第四节 假设检验	(232)
一、显著性与假设检验	(232)
二、参数的显著性检验	(234)
三、非参数显著性检验	(238)
四、U 检验	(238)
第五节 相关和回归	(239)
第六节 成束分析 (Cluster Analysis)	(241)
第七节 因子分析	(245)
第八节 计算机-程序化统计分析的方法	(247)
参考文献	(248)

第一章 绪 论

第一节 什么是微生物生态学

生态学 (Ecology) 这个名词最早是由德国生物学家 Ernest Haeckel 于 1869 年首先提出来的, 他当时认为生态学是动物对有机和无机环境的全部关系。从现代科学观点来看, 较为全面的生态学定义应是研究生物与其周围生物和非生物环境之间相互关系的一门科学。非生物环境 (Abiotic environment) 包括非生命物质, 如土壤、岩石、水、空气、温度、湿度、光和 pH 等等。生物环境 (Biotic environment) 包括微生物、动物和植物, 这些生物之间存在有生物种内和种间关系。

近年来, 人们也把生态学称为环境生物学 (Environmental Biology)。

那么, 微生物生态学 (Microbial Ecology) 便是指研究微生物与其周围生物和非生物环境之间相互关系的一门科学。人们仅在本世纪 60 年代初期才开始使用微生物生态学这个名词, 所以它是一门比较年轻的科学。

微生物生态学所研究的内容包括在正常自然环境中的微生物种类、分布及其随着不同的环境条件变化而发生的变化规律。在极端自然环境中的微生物种类和它们所起的作用, 在极端环境中微生物的生命机理和这些微生物在实际中的特殊用途。在自然界中微生物与微生物相互之间的关系, 微生物与动植物之间的相互关系, 这些相互关系对自然界的影响和环境因素对这些相互关系的影响。在正常自然环境中, 微生物代谢活动对自然界的影响, 环境条件的变化对这些代谢活动的影响。目前环境污染日趋严重, 对人类健康、工农业生产和生态平衡构成了重大的威胁。但是微生物在净化污染环境方面起着非常重要的作用, 在这种情况下, 微生物生态学应重点研究污染环境中的微生物学, 主要包括污染物对某些微生物的毒性, 微生物对污染物的抗性和抗性机理, 微生物对污染物的降解作用, 环境条件的变化对污染物降解的影响, 自然微生物群落和实验室构建的特殊污染物降解菌在净化废气、废水、固体废物和其他污染物的应用。自然环境中某些微生物本身以及某些微生物的代谢产物对环境的污染。由于微生物生态学是研究自然环境中的微生物学, 各种生物因素和非生物因素的相互作用十分复杂, 所以必须用一些实验模型和数学模型, 并借助计算机来研究和描述这些相互作用, 这一部分也是微生物生态学的重点内容。最后的一部分内容是关于如何处理微生物生态学研究过程中所收集到的数据和微生物生态学的统计学。

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资源, 并保护好微生物基因资源, 了解环境条件的变化对自然界微生物群体生长和代谢的影响, 了解微生物在自然中所起的作用, 并利用有关的微生物为人类服务, 为提高生产效率、保护人类健康

和保护生态平衡发挥微生物的最佳作用。

微生物生态学与医学、发酵工业、环境保护、数学、化学和社会科学都有着密切的关系。

上面说过，生态学也可以称为环境生物学，那么微生物生态学也可以称为环境微生物学 (Environmental Microbiology)，但是在内容的重点和所包括的范围方面它们是有区别的。微生物生态学包括研究非污染环境 and 污染环境中的微生物学；而环境微生物学讨论的重点是污染环境中的微生物学，主要包括污染物对微生物活动的影响，微生物活动对污染物降解、转化和环境质量变化的影响。

从 70 年代开始，又兴起一门称为微生态学的学科，微生态学 (Microecology) 是研究细胞水平的生态学。这就说明微生物生态学是宏观生态学；而微生态学是生态学的微观层次。微生物生态学的研究对象是微生物与外环境的相互关系；而微生态学的研究对象是有生命的宿主。微生物生态学侧重于微生物；而微生态学侧重于植物、动物和人类宿主，研究正常微生物菌群与宿主相互关系的生命学科。

第二节 微生物生态学的发展简史

A. T. Kluyver, C. D. van Niel, Roger Stanier 和 Gause 这四位科学家对微生物生态学的早期发展做出过许多贡献。Kluyver 对微生物生态学的最大贡献就是通过研究发现自然界种类繁多的微生物世界中，各种代谢过程都有相互关系。van Niel 是 Kluyver 的一位学生，他发现光合细菌和绿色植物的光合过程有许多相似之处。Roger Stanier 是 van Niel 的一位学生，他利用假单胞菌研究好氧微生物的代谢，结果发现这些好氧微生物能降解各种结构很复杂的有机化合物。Gause 于 1934 年设计了一个生态学方面的经典实验，就是纤毛虫原生动物中存在有捕食关系，其中节毛虫 (*Didinium nasatum*) 能利用草履虫 *Paramecium caudatum* 作为食物，袋状草履虫 (*Paramecium bursaria*) 能以粟酒裂殖酵母菌 (*Schizosaccharomyces pombe*) 作为食物。

几乎在同一时期，人们发现把载玻片埋在土壤或沉积泥中，载玻片就像土壤颗粒一样能给微生物生长提供一个表面，然后小心地取出这块载玻片并在显微镜下观察，可以观察到微生物在自然环境中生长和相互作用的情况。

到了本世纪 50 年代末和 60 年代初，由于人口的膨胀，各种工业的迅速发展，环境污染日趋严重。同时人们发现排放到自然环境中去的污染物对土壤和水中的微生物生命和代谢有很大的影响，并发现许多微生物能降解各种人工合成的和天然的污染物。另外由于农民大量使用合成洗涤剂、各种农药和化肥，引起农村的水体也受到了严重污染并引起许多水体出现富营养化的问题。还发现许多污染物，如 DDT、PCBs 和汞化合物能在食物链中引起生物放大作用 (Biomagnification)。由于这些问题引起许多科学家对微生物生态学的浓厚兴趣，并使它得到了迅速发展。太空技术的发展给人们提供了研究某些极端环境微生物的有力工具。在 70 年代由于氮肥的短缺促使人们研究共生固氮微生物和非共生固氮微生物。能源的危机使人们试图利用一些废物，经过微生物的转化作用生产有用的燃料。

1979 年左右, Robert Hungate 在研究反刍动物瘤胃中微生物后发现微生物群体之间存在非常复杂的相互关系。

在国际上, 微生物生态学发展的一个重要里程碑是 1972 年在瑞典 Uppsala 举行的微生物生态学现代方法的国际会议。从 1977 年以后, 每三年举行一次微生物生态学国际会议。

在 1981~1982 年期间, Martin Alexander 发现许多人工合成的化合物完全不能被微生物降解, 这就引起许多研究者对污染物的生物可降解性产生了浓厚的兴趣。

在海洋中石油污染物的降解研究开始于 60 年代后期, 所以到了 90 年代人们开始利用微生物去除环境污染物。

现在, 国际上许多专业杂志刊登有微生物生态学的研究报告和研究进展, 如《Microbial Ecology》, 《Applied and Environmental Microbiology》, 《Applied Microbiology and Biotechnology》, 《Plasmid》和《Advances in Microbial Ecology》等等。

我国在微生物生态学研究方面也取得了许多进展。我国土地辽阔, 存在各种各样的自然环境, 有高山、平原, 有寒冷的冰川, 也有四季温暖的南方, 还有温泉等高温环境。在内蒙古有一个哈马台碱湖, 在东北和云南还有原始森林。与世界其他国家一样, 由于人口的膨胀, 工业的迅速发展, 我国环境污染日趋严重, 许多自然环境已受到石油、洗涤剂、各种废气、各种固体废物和重金属等严重污染。所以我国的微生物资源一定十分丰富。到目前为止, 我国在微生物生态学研究方面主要集中在以下几个方面:

1. 微生物资源的调查, 特别是食用真菌的调查已取得了重大进展, 从我国各地和各种环境中分离到了 567 种食用菌, 有许多食用菌有重要的医疗和保健功能。灵芝、冬虫夏草等食用菌已通过发酵生产保健品。从土壤和其他环境中还分离到了大量的能产生各种抗生素的放线菌和细菌, 其中一些微生物经过人工诱变后能合成大量的抗生素。中国科学院微生物研究所开展了内蒙古哈马台碱湖的微生物生态调查, 从中得到了许多有实际应用和理论研究意义的特殊微生物。有人还开展了我国某些温泉的微生物种类和分布的研究, 从中得到一些嗜热的微生物。我国改革开放后相继建造了核电站和在长江黄河建造了一些大型水库, 这些核电站和水库建造前后对周围环境的微生物生态有什么影响已引起我国有关专家和政府的重视。

2. 广泛开展了我国各大城市空气中微生物数量、种类和分布的调查, 以便对我国的空气质量进行评估。国家海洋局还考察了环球空气的微生物, 得到了很有价值的结果。

3. 近几十年来, 我国人口迅速增长, 特别是改革开放后乡镇企业突飞猛进的发展, 在给我国人民带来经济繁荣的同时, 也给我国的环境造成了严重威胁, 许多江河、土壤和农田受到了严重污染, 新的污染源和污染物种类不断出现。为了解决我国日趋严重的环境污染问题, 我国政府和有关企业投放了大量的人力和财力开展了污染环境的治理工作。由于利用微生物处理污染物有许多优点, 我国十分重视利用微生物处理各种污水和废气, 并广泛开展了各种污染环境的微生物种类和分布的调查, 发现了许多对污染物具有强降解能力的微生物, 并对各种苯环污染物、石油、洗涤剂、农药、染料的降解途径和降解程度, 各种重金属的微生物转化和吸附, 废水中氮和磷的微生物去除, 各种污水处理系统中微生物生态学进行了比较全面的研究, 建立了各种处理效果显著的污水处理工艺, 包

括活性污泥法、各种生物膜反应器、固定化细胞等等。清华大学环境科学系还建立许多方法用于测定有机污染物的好氧降解。

4. 改革开放后,我国的微生物生态学教学工作也取得了很大进展,在医学院,各大综合性大学,各类工科大学设立了环境医学、环境生物学和环保专业,并开设了环境微生物学和微生物生态学等课程。

第三节 微生物生态学研究的基本方法

研究微生物生态学的方法是很多的,但基本上可以分为直接测定、培养、代谢活力的测定、遗传学方法和数学方法。

一、直接测定

这种方法就是利用光学和电子显微镜对样品中的微生物进行直接观察,并计算微生物数目或测定丝状微生物的长度,其结果可以用每单位面积或每单位体积或重量的微生物数目来表示,以此来估计生物量。有时为了观察的方便,还需对样品进行染色或进行适当的稀释。直接观察的优点是能够使人们直接观察到天然样品中的微生物形态和微生物在自然样品中所处的位置。但是使用这种方法时,只能取少量的样品,与微生物所生活的整个自然环境相比,少量的样品不能代表整个自然环境,这是该方法的主要缺点。

二、培养方法

培养微生物的方法是很多的,一般来说对所采集的样品应进行适当的稀释,以便每一个平板上只能生长有一定数目的微生物菌落。这种方法的优点是可以计算自然样品中的活微生物数目,并可以辨认真菌、放线菌和细菌。但是这种方法也有许多缺点,造成计算误差的因素很多。比如,自然中的许多微生物细胞成群粘接在一起,用普通的方法很难把它们分开,这样形成的单菌落可能是由许多个细胞增殖而来的,而不是由单个细胞形成的菌落;有些微生物在平板上只能形成微菌落,不便于肉眼观察;一般情况下实验室所用的培养条件很难满足所有微生物的生长,所用的有限种类的培养基也无法满足所有微生物的生长;另一个问题就是在平板上形成的丝状微生物菌落不知是从孢子而来的还是从菌丝而来的。尽管如此,这种方法还是被广泛用于微生物生态学研究中,特别适合用于研究细菌生态学。

三、代谢活力的测定

第三种方法是测定自然环境中的微生物代谢活力。如果我们知道一个微生物群体的大小,那么通过测定 H^3 标记的胸腺嘧啶组入微生物群体 DNA 中的速率便可以估计微生物的代时。同样用带有放射性标记的各种污染物作为微生物生长的底物,可以用来测定这些污染物的分解速率,并可推测它们的代谢途径。

另一代谢活力测定法便是分析某些特殊酶类的酶活力,这一方法是假设所有待测的细胞都含有这些特殊的酶类,并且所有细胞以同样的能力使用这些酶类。但是在实验室

测定的酶活力与在自然界中所表现的酶活力往往差别很大，这是因为在实验室中测定酶活力时所用的条件是不同于自然界所存在的条件。

测定自然样品中的 ATP 含量也可以反映微生物代谢活力的大小和生物量的大小。这一测定方法是假设 ATP 仅存在于活细胞中，并且每个微生物细胞的 ATP 含量基本上一致。但是，实际上某一种微生物的 ATP 含量是随着环境中的磷含量不同而变化，并且高浓度的有机物会干扰 ATP 含量的测定。

测定叶绿素的含量和其他光合色素的含量可以用来估计藻类和其他光合生物的生物量和代谢活力。

最广泛使用的测定代谢活力的方法是估计整个微生物群体的呼吸作用和藻类的光合作用，测定的对象是 O₂ 和 CO₂ 量的变化。通过测定土壤呼吸速率可以间接地估计土壤中的生物量，首先用氯仿处理土壤样品，以便杀死土壤中的所有微生物，然后用“活”土壤样品重新接种经氯仿薰蒸过的土壤，并测定呼吸速率。这种测定方法不适合用于测定只能进行厌氧呼吸或发酵的微生物。另外，在采集样品和在实验室处理样品过程中，会对自然样品造成许多干扰作用，这样会对样品中的微生物呼吸作用产生很大的影响。代谢活力测定的一个最大缺点是所得出的结果无法说明自然样品中存在哪些微生物种类和微生物在自然样品中的分布情况。

四、数学方法

过去，人们在研究微生物生态学过程中惯用的方法，是以感官观察为基础，经过一些实验将搜集的资料加以分析和解释，并进一步归纳、假设和推理。在这过程中，其结果大多数是描述性的，数据基本是孤立的。近年来，人们开始将数学应用于微生物生态学研究，以统计数据和建立生态模型来定量描述微生物生态学问题。

在这种方法中，首先在实验室中建立人工的经过简化的环境，这就是所谓的模拟实验。所用的样品可以是自然的水样、土样、植物落叶和其他样品。所用的条件基本与自然条件一致。然后把复杂多变的自然生态系统分解成许多小的、较为简单的亚系统。这些亚系统之间的相互作用，亚系统之内各种因素的作用则用数学方程式描述。由于这种模拟实验是在人工控制下进行的，可以大大地压缩真实过程的时间、人力和物力，并在短时间内调查生态演变过程的规律，并预测生态演变过程的发展趋势，提供最优的利用方案。

五、基因工程方法

这是近年来发展起来的用于研究微生物生态学的新方法，尤其是用于污染物降解的研究。现在发现许多污染物降解与微生物细胞中的质粒或染色体基因或转座子基因有关，这些基因编码的酶可以控制某些污染物的部分降解途径。这样通过基因工程的方法可以改造有关微生物降解污染物的能力，得到的基因工程菌可以直接用于处理污染物或经过固定化后用于处理污染物。另外，还可以利用 PCR 扩增技术研究自然界中的微生物种类和分布。