



Introduction to Microbial 微生物

生态学导论

Ecology

(Second Edition)

(第二版)

声明 吴甘霖 编著

高等教育出版社

Introduction to Microbial Ecology

(Second Edition)

WEISHENGWU SHENGTAIXUE DAOLUN

微生物

生态学导论 (第二版)

陈声明 吴甘霖 编著



高等教育出版社·北京

内容简介

本书涵盖了微生物生态学基本内容,主要包括微生物生态学的基本原理,自然界中的微生物种类及其多样性,极端微生物的类型及开发意义,微生物种群的相互作用,微生物群落的发展与演替,微生物与生物地球化学循环,环境因子对微生物的影响,微生物与动植物的相互关系,微生物分子生态学,微生物生态学的研究方法、技术及其应用,还介绍了微生态学与微生态制剂等,尤其是极端环境中的太空微生物和微生物分子生态学与研究技术以及基因芯片技术等最新前沿知识。

本书取材新颖,编排合理,结构紧凑,内容丰富而精练。可作为生命科学、生物技术专业及农林、畜牧、医学等领域研究生的教科书,是硕士生专业必修课和博士生选修课的教材,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

微生物生态学导论 / 陈声明,吴甘霖编著. --2 版
--北京:高等教育出版社,2015.8
ISBN 978-7-04-042947-3

I. ①微… II. ①陈… ②吴… III. ①微生物生态学
IV. ①Q938.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 123639 号

策划编辑	柳丽丽	责任编辑	柳丽丽	封面设计	王凌波	版式设计	王艳红
插图绘制	尹文军	责任校对	刘娟娟	责任印制	张泽业		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 三河市华骏印务包装有限公司
开 本 787mm×960mm 1/16
印 张 16.5
字 数 350 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址	http://www.hep.edu.cn http://www.hep.com.cn
网上订购	http://www.landaco.com http://www.landaco.com.cn
版 次	2007 年 3 月第 1 版 2015 年 8 月第 2 版
印 次	2015 年 8 月第 1 次印刷
定 价	49.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 42947-00

第二版前言

本书自出版以来,在一些高校的生命科学学院引起了较大的反响,被选作为教材或主要参考书,尤其是重点大学的微生物学专业研究生考试的指定参考书,具有一定的社会效应。

本书第一版出版距今已有8年,微生物生态学领域的研究突飞猛进,特别是分子生态学的发展和微生物组学研究的深入,相关领域取得了飞速发展,亟须对本书的部分章节进行修订,增加某些新内容和新知识。为此,我们组织力量,重新审核书中的内容,尤其是对第九章、第十二章和第十三章根据学科发展进行了修改和补充,主要涉及人体微生态学的新知识、新方法和新技术,特别是对人体微生物组学的发展进行了补充。此次修订工作具体分工如下:第一章至第八章及第十三章由吴甘霖(安庆师范学院生命科学学院教授,院长)编著、修改;第九章至第十二章由陈声明(浙江大学生命科学学院教授,博导)编著、修改。尽管我们力求精品,但由于该学科领域的发展实在太快,限于我们自身的学术水平,书中难免会有遗漏和不足,企盼同行专家、学者和广大读者批评指正。

本书第一版出版时吴甘霖、陈海敏和周旭辉几位老师做了大量工作,当时由于他们工作单位的变动或在国外攻读博士等原因,在署名时放在次要位置,尤其是吴甘霖、周旭辉,连署名也没有,这次再版时,陈海敏和周旭辉两位老师自愿放弃署名,在此表示歉意和感谢。

本书再版得到安庆师范学院的大力支持与资助,在此深表感谢。

今年正值我校微生物学科创建、发展的前辈之一——钱泽澍先生九十寿诞,我们后辈以本书的再版向他老人家献礼,祝他健康长寿!

陈声明 于杭州

第一版序言

微生物生态学是研究微生物与其环境相互作用规律的学科。

微生物是一大群不同类型的微小生物统称。它们包括非细胞形态而依靠其寄主生物进行繁殖的噬菌体和动植物的病毒,原核生物的古菌和细菌以及低等真核生物的真菌、藻类和原生动物。微生物的共同特点是形体小,大多肉眼难见,因而不易引起人们的注意。但它们种类繁多,而且广泛分布于自然界:上至高空,下达海底,从南极到北极,从高山到平原,从陆地到水域,从生物体内到体外,特别是在一般真核生物不能生存的极端环境中(如强酸、强碱、高温、高压、高盐、无氧或强辐射)都滋生着与之相适应的微生物。因此,微生物生态学的研究范畴比动、植物生态学的更为广阔,既要介绍一般生物生态学的共性原理,也要介绍生存于各种特殊环境中的微生物生态学的特点。

这本《微生物生态学导论》是陈声明教授和林海萍博士等在多年从事微生物生态学教学和科研的基础上编写的。该书涵盖了微生物生态学基本内容,主要包括微生物生态学基本原理,自然界微生物种类及其多样性,极端微生物类型及其开发意义,微生物种群相互作用,微生物群落发展与演替,微生物与自然界的物质循环,环境因子对微生物的影响,微生物与动植物间的相互关系,微生物分子生态学,微生物生态学研究方法、技术及其应用等。该书取材新颖,编排合理,结构紧凑,内容丰富而精练。可供相关专业大学生和研究生以及科研人员学习和参考。

中国农业大学微生物学系教授 中国科学院院士



2006年9月25日,于北京

第一版前言

微生物生态学(microbial ecology)是生态学的一门重要分支学科,同时也是微生物学的一门重要分支学科,它是由生态学和微生物学相结合而产生的一门边缘学科。它是研究微生物与其环境之间相互作用规律的学科。主要研究微生物的分布、种群组成、数量和活力与环境的关系,以及微生物之间及其与高等有机体之间的相互关系。

近代生态学的研究推进到了生态系统生态学的水平,生态系统生态学从生态系统的整体出发来考察系统中生物之间、生物与环境之间的生态关系,形成了生态系统、食物链、食物网、能量流、物质循环、信息传递以及生产者、消费者、分解者的新概念和新的理论框架,而微生物是生态系统的重要成员,特别是作为分解者分解环境中的有机物,对生态系统乃至整个生物圈的能量流动、物质循环发挥着独特的、不可替代的作用。近几十年的科学技术、社会经济迅速发展相伴而来的是环境问题——环境污染和生态破坏。微生物降解污染物的巨大潜力在控制污染,修复污染环境中发挥着重要作用。另外,微生物对植物生长的促进和其他有益作用,有助于缓解生态破坏,恢复受损生态系统。正是由于微生物在生态系统中的这些至关重要的作用,使得微生物生态学越来越受到重视。

生态学在生命科学中是一门新兴的学科,而微生物生态学更是一门年轻的学科,充满无限的生机和无穷的活力。微生物生态学的发展经历了始前阶段、初级阶段、确定阶段和现代阶段等四个发展阶段,正在朝向纵深发展,国内很多研究机构 and 高等院校正在努力把微生物生态学的发展推向学科前沿的现代水平。

林海萍博士在浙江大学读硕士时,开始主攻微生物生态学方向,后与指导老师陈声明教授(博导)和张立钦教授(博导)共同进行微生物生态学的教学,经多年的积累和总结,将研究生教学的讲义予以整理,应运而生。

本书是集多位教授、专家长期从事微生物生态学教学和科研经验的总结。在编写过程中既注重保留传统的经典的基础理论和基本技术,又尽量捕获科学前沿的现代先进知识和近代生物技术。本书涵盖了微生物生态学基本内容,主要包括微生物生态学基本原理,自然界微生物种类及其多样性,极端微生物类型及开发意义,微生物种群相互作用,微生物群落发展与演替,微生物与生物地球化学循环,环境因子对微生物的影响,微生物与动植物间的相互关系,微生物分子生态学,微生物生态学研究方法、技术及其应用,还介绍了微生态学与微生态

制剂等,尤其是极端环境中的太空微生物和微生物分子生态学与研究技术以及基因芯片技术等最新前沿知识。

本书可作为生命科学、生物技术专业及农林、畜牧、医学等领域研究生的教科书,是硕士生专业必修课和博士生选修课的教材,还可以作为从事微生物生态学研究人员的参考用书。

根据中华人民共和国国家科委与俄罗斯科学部 1995 年 7 月 18 日的协议,浙江大学同俄罗斯国家应用微生物学科学中心进行“微生物抗冷冻干燥生理生化机制的研究”的合作项目。陈声明教授、张立钦教授和林海萍博士等与该中心生态生物工程部、植物保护部多位教授、博士进行生态保护、植物保护的全面合作,已获得中国国内两个“948”项目的资助。

俄方的合作伙伴有:俄罗斯国家应用微生物学科学中心主任 Urakov N.N. 院士,副主任 Volkov V.Ya. 教授;俄罗斯科学院微生物生化生理研究所中试部主任 Samoilenko V. A. 博士;莫斯科国立大学生物系普通微生物学教研室主任 Alexander I. V. 教授;季米里亚捷夫农业科学学院农业与生物化学教研室主任 Jagodin B. A. 院士;圣彼得堡大学生物与土壤学系主任 Gorlinskii I. A. 教授,微生物教研室主任著名学者 Gromov. P. V. 教授。

随着与俄方进行学术互访和交流,目前正在深化合作内涵,扩大合作范围,准备互派留学生,共同培养研究生,试图将俄方生态学和微生物生态学教材和著作引进国内并予以翻译。将我们的教材和著作译成俄文,输出至俄方。

尽管编写中力求做到全面系统,但是本书涉及面宽,难免有疏漏之处,企盼同行和读者提出宝贵意见。

本书编写分工如下:陈声明(浙江林学院兼职教授、浙江大学教授)编写大纲和前言,全书统稿;林海萍博士(浙江林学院)编写大纲,全书统稿;张立钦教授(浙江林学院副校长)编写大纲和全书统稿;寿森炎教授(浙江大学)编写第一、三、八、十二和第十三章;陈海敏博士生(浙江理工大学)编写第五、七及第九至十一章;吕琴博士(浙江大学)编写第二、四、六章。另非常感谢宣瑛硕士(浙江大学);林英硕士(北京师范大学);徐田红硕士(杭州市第三医院);魏建华硕士(吉林大学);罗依惠博士(浙江大学);陈国东、刘持正、樊琳和许听听(浙江林学院)等为本书所做的部分工作。

本书在编写过程中,得到了浙江大学微生物研究所所长、长江学者、特聘教授冯明光教授和浙江工业大学微生物学专家裘娟萍教授的支持和帮助,特别有幸邀请到中国科学院院士李季伦先生为本书作序,在此一并感谢。

还要特别提出感谢的是浙江林学院森林保护重点学科和浙江林学院副校长张立钦教授,浙江理工大学生命科学院院长张耀洲教授和浙江大学园艺系寿森炎教授的大力支持和资助。

向安庆第一中学百年校庆、浙江林学院五十年校庆、浙江理工大学一百一十年校庆、浙江大学一百一十年校庆献礼。

陈 声 明

2006 年 9 月 30 日

目 录

第一章 生态学与微生物生态学	1
第一节 生态学	1
一、生态学的定义	1
二、生态学的研究内容	2
三、生态学的分类	3
四、生态学的发展	3
第二节 微生物生态学	4
一、微生物生态学的定义	4
二、微生物生态学的研究范畴和方法	5
三、微生物生态学的任务	9
四、微生物生态学的发展	10
五、微生物生态学与其他学科的关系	14
第二章 微生物生态学的基本原理	16
第一节 环境与微环境	16
一、环境	16
二、生境	16
三、生态位	17
四、微环境	18
五、表面环境	18
第二节 生物圈和生态系统	19
一、生物圈	19
二、生态系统	20
三、微生物生态系统	31
第三节 生态系统的功能	37
一、物种流	37
二、能量流	39
三、食物链	41
四、营养级	42
五、信息流	44

第三章	自然界中的微生物及其多样性	47
第一节	微生物在土壤中的分布	47
一、	土壤的形成	47
二、	土壤的环境条件	48
三、	土壤中微生物的生态分布	49
第二节	微生物在水体中的分布	52
一、	清水型水生微生物与腐败型水生微生物	53
二、	淡水微生物和海水微生物	54
三、	水中微生物的作用	55
四、	水中的微生物与饮用水	55
第三节	微生物在大气中的分布	56
第四节	工农业产品中的微生物	57
一、	粮食和食品中的微生物	57
二、	肉类上的微生物	57
三、	鱼类上的微生物	58
四、	乳制品中的微生物	58
五、	工业材料及其制品中的微生物	58
第五节	生物圈中的第四大生命域	59
第四章	极端环境中的微生物	60
第一节	嗜热微生物和嗜冷微生物	60
一、	嗜热微生物	60
二、	嗜冷微生物	62
第二节	嗜酸微生物和嗜碱微生物	62
一、	嗜酸微生物	62
二、	嗜碱微生物	63
第三节	其他嗜极微生物	63
一、	嗜盐微生物	64
二、	嗜压微生物	64
三、	抗辐射微生物	64
四、	太空微生物	64
第四节	嗜极微生物的开发利用	65
第五章	微生物种群增长及其相互作用	67
第一节	种群的基本概念	67
一、	种群的定义	67
二、	种群密度	68

三、种群的相互作用	68
第二节 种群增长	69
一、微生物在封闭环境内的增长	70
二、微生物在开放环境内的增长	72
第三节 种群之间的相互作用	74
一、相互作用的基本类型	74
二、种群之间竞争的动力学原理	78
第六章 微生物群落发展与演替	83
第一节 群落的基本概念	83
一、群落定义	83
二、群落形成	83
第二节 群落的主要特征	85
一、种多样性	85
二、垂直结构	87
三、优势种	87
四、群落生境	88
第三节 群落的发展和演替	88
一、微生物种群的适应作用和自然选择	88
二、微生物群落的发展	91
三、微生物群落的演替	93
第七章 微生物与生物地球化学循环	97
第一节 有机物的微生物降解	98
一、微生物在生态系统中的作用	98
二、有机物降解的重要性	99
第二节 碳素循环	99
一、含碳化合物的主要来源	99
二、碳在食物网中的转移	99
三、生境中的碳循环	100
四、自然多聚物的微生物降解	101
五、微生物与全球性的碳循环	102
第三节 氮素循环	103
一、硝化作用	103
二、硝酸还原作用和反硝化作用	104
三、固氮作用	105
四、环境和农业活动对氮素循环的影响	106

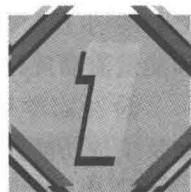
第四节 其他元素的循环	108
一、氧循环	108
二、氢循环	109
三、硫循环	109
四、磷循环	112
五、铁循环	115
六、硅循环	117
 第八章 环境因子对微生物的影响	118
第一节 营养因子对微生物的影响	118
一、最小量定律	119
二、营养因子及其生理作用	119
第二节 物理因子对微生物的影响	125
一、温度	125
二、水分活度	129
三、渗透压	132
四、辐射	133
五、超声波	136
六、微波	136
七、压力	137
第三节 化学因子对微生物的影响	137
一、pH	137
二、 E_h	140
三、化学物质	142
 第九章 微生物与动植物的相互关系	148
第一节 微生物与植物之间的相互关系	148
一、植物表面微生物	149
二、植物与微生物的共生体	151
三、微生物引起的植物病害	155
第二节 微生物与动物之间的相互关系	157
一、微生物与昆虫的共生	157
二、瘤胃共生	158
三、发光细菌和海洋鱼类的共生	159
四、光合微生物与无脊椎动物的共生	160
五、动物与微生物的捕食关系	160
六、动物致病的某些生态学问题	160
第三节 微生物与人体之间的相互关系	162

一、微生物与皮肤健康	162
二、微生物与口腔健康	163
三、微生物与胃肠道健康	164
四、身体其他部位的正常菌群与健康	165
五、病原体入侵的相关生态学问题	166
第十章 微生物生态学研究的方法和技术	168
第一节 经典方法和技术	168
一、样品的采集、富集培养和微生物的纯培养的分离	168
二、显微计数法和荧光染色直接计数法	169
三、最大近似值法	169
四、活菌计数法	169
第二节 生理生化方法	170
一、Biolog 微平板法	170
二、PLFA 谱图分析	171
第三节 分子生物学方法	172
一、(G+C)摩尔百分含量	173
二、核酸探针杂交技术	173
三、DNA-DNA 杂交	175
四、基于 PCR 的指纹图谱分析	176
五、DNA 序列分析	184
六、基因芯片	185
七、宏基因组学	187
第四节 人类微生物组计划	188
第十一章 微生物分子生态学	191
第一节 微生物分子生态学的由来	191
一、自然种群结构鉴定的普遍性问题	191
二、利用遗传信息鉴定微生物种群的可行性	193
第二节 自然种群鉴定的策略	193
一、单细胞的直接鉴定	194
二、从自然样品中抽提细胞	194
三、从自然样品中直接抽提核酸	195
第三节 微生物分子生态学研究方法的优势和不足	196
一、微生物分子生态学研究方法的优势	196
二、微生物分子生态学研究方法的不足	197
三、展望	201

第十二章 微生物生态学的应用	202
第一节 农业微生物生态学及其应用	202
一、作物根系环境的微生物区系	203
二、土壤微生物的生态功能	205
第二节 医学微生物生态学及其应用	207
一、口腔微生物与人类健康	207
二、胃肠道微生物与人体健康	209
三、呼吸道微生物与人类健康	211
四、泌尿生殖道微生物与人类健康	212
五、皮肤微生物与人类健康	214
第三节 水生微生物生态学及其应用	216
一、水体基本特性	216
二、水体中的微生物区系	216
三、水体微生物的作用	217
第十三章 微生态学与微生态制剂	224
第一节 微生态学的概念	224
第二节 微生态学的创立与发展	224
第三节 正常微生物群及其与宿主的关系	225
一、正常微生物群	225
二、正常微生物群与人和动物的关系	226
第四节 微生态学 with 微生态制剂	228
一、微生态制剂的含义和类型	228
二、微生态制剂的作用机制	229
三、展望	231
主要参考文献	232

第一章

生态学与微生物生态学



第一节 生态学

一、生态学的定义

地球上的一切生物都是在极其复杂的条件下,经历了漫长的地质变迁、气候变化、冰川袭击和生物之间的竞争等无数次考验才幸存下来的。它们的形态、生理、行为特点都是与它们生存的特定环境相适应的,它们同周围的环境相互联系、相互依存、相互协调,通过繁衍后代,才得以生存和发展。

生态学(ecology)就是研究生物与其周围的生物与非生物环境之间相互作用规律的科学。这里所指的周围环境有两个明显区别的部分,即无机环境和有机环境。无机环境是指温度、光、水分、空气及土壤等的物理和化学因素。有机环境是指来自其他生物的任何影响,如竞争、捕食、寄生和共生等。这就是说,生物的生存、活动不仅受环境中无机因素的影响,而且和环境中的其他生物有着密切的关系,即生物之间彼此互为环境条件。生物与环境之间的相互关系不仅表现在生物受环境的影响,而且生物通过自己的生命活动,可以影响甚至改变周围的环境,表现出动态平衡的关系。生态学是生物科学的一个重要分支与基础学科之一。

生态学一词,由希腊文“oikos”和“logos”两个词的词根组成,前者意为“居住地”或“住所”,后者是指“研究”或“科学”,从字面上来看,生态学意为生物的科学。最早使用这个词的是德国生物学家海克尔(E.Haeckel)。

后来许多学者对生态学也作过各种解释,可以说是众说纷纭,但一般可归纳如下6个方面。

- ① 生态学是研究包括人类在内的生物与环境相互作用规律的科学。
- ② 生态学是研究生物与生物以及生物与自然环境相互作用及其动态规律的科学。
- ③ 生态学是研究人类活动与社会环境和自然环境之间相互作用规律的科学。

④ 生态学是研究包括人类在内的生态系统与地理环境系统之间物质循环和能量流动规律的科学。

⑤ 生态学是研究生物在自然因素及人为因素作用下,在数量变化、空间分布及生理功能方面适应环境变化的科学。

⑥ 生态学是研究自然景观的形成及其动态规律的科学。

以上的定义都反映了不同的侧面。从长远来看,对这个内容广泛的学科领域,最好的定义可能是最短的和最不专业化的,如可定义为环境的生物学。而至今为大家所广泛采用的定义为生态学是研究生物与其周围的生物与非生物环境之间相互作用规律的科学。

生态学概念的确立标志着人类对自然生态规律的认识发展到了一个新的阶段,然而生态学的现象和知识却是生物有史以来就存在的。它反映自然界生物生存、发展和进化的必然规律,表现为生物与环境之间协同进化的过程。

二、生态学的研究内容

生态学由其定义可见,它不仅涉及生物之间的相互关系,其研究内容还包括生物与非生物之间的相互关系。前者包括种群内和种群间关系,后者包括非生物物质,如土壤、水体、空气、温度、湿度和光等。

生态学在很广的尺度上讨论问题,从个体分子到全球生态系统,但对于四个明显可辨别的、不同尺度的亚部分有特殊的兴趣,它们是个体(individual)、种群(population)、群落(community)与生态系统(ecosystem)。具体为以下4个方面。

① 探讨个体对其环境的反应。

② 研究单个物种的种群对于环境的反应,并探讨诸如多度(abundance)及其波动等的过程。

③ 群落(出现在确定面积中的种群集合)的组成和结构。

④ 生态系统(群落与非生物成分的结合)内的各种过程,例如,能流、食物网和营养物的循环等。

在每个尺度上,生态学家感兴趣的对象是有变化的。在个体水平上,个体对环境(生物的和非生物的)的反应是关键项目,而在单种种群水平上,多度与种群波动的决定因素是主要的。群落是给定领域内不同种种群的混合体,生态学家的兴趣在于决定其组成和结构的过程。生态系统包括生物群落和与之关联的描述物理环境的各种理化因子联成的复合体。在这个水平上生态学家感兴趣的项目包括能流、食物网和营养物循环。

同时,生态学的研究内容并不局限于“自然系统”,了解人类对自然的影响和人工生态系统(例如农田)也是生态学研究的重要领域。

三、生态学的分类

生态学作为一门学科有自己的体系。

生态学以生物群落来分,有植物生态学、动物生态学和微生物生态学(microbial ecology)。而每一个门类中,又可以按更小的类群细分,例如,在动物生态学中又有昆虫生态学、鱼类生态学、鸟类生态学和兽类生态学等。在微生物生态学中又有水域微生物生态学、土壤微生物生态学、草原微生物生态学、森林微生物生态学和工业微生物生态学、农业微生物生态学与医学微生物生态学等。

生态学从其研究的内容来看,则各有其特点。例如,有的是研究自然环境不同区域范围中环境因素和生物的关系,谋求提高生物的生产力和改善环境条件,因而形成了诸如森林生态学、草原生态学、海洋生态学、淡水水域生态学以及以人工控制为主的农业生态学等。

生态学也可按其研究对象的不同来划分。行为生态学(behavioral ecology)关心动物行为模式的解释。生理生态学(physiological ecology)探讨个体的生理及其对于功能与行为的后果。特别强调进化对于现有模式的影响是进化生态学(evolutionary ecology)的焦点。利用分子生物学方法研究生态学问题产生了一个新的分支——分子生态学(molecular ecology)。另外还有个体生态学(individual ecology)与群体生态学。后者包括种群生态学(population ecology)、群落生态学(community ecology)和生态系统生态学(ecosystem ecology)等。

各类群的生态学和纵向发展的生态科学的四级水平以及各种自然环境的生态研究相互交错、相互联系,形成了自己独特的学科体系,而且从各个方面与工农业生产和建设紧密联系。

四、生态学的发展

从生态学的发展来看,在生态学名词提出之前,在人类历史的早期,人们就已经为了某些实际目的而与生态学建立了密切的关系,人们常常在自己没有意识到的情况下进行着生态学的研究。约在公元前 200 年以前,我国的古籍《管子·地员篇》中就已记载了江淮平原上沼泽植物的带状分布与水文地质的关系。在 18 世纪和 19 世纪生物学复兴时期,许多科学家也致力于生态学的研究。例如:列文虎克曾经开创“食物链”和“种群调节”这两个现代生态学重要领域的研究。约从 1900 年开始,生态学被公认为是生物学的一个独立领域。到 20 世纪 50 年代,生态学已发展成为一门具有明确理论基础和特殊方法论的学科。特别是近 50 年来,由于科学技术的突飞猛进,世界各国工农业的不断发展,各地大力开发自然资源,工业三废(废水、废气、废渣)和农业化肥、农药等造成了日趋严重的世界范围的环境污染,已经到了直接威胁人类生存、非解决不可的时刻。