

生态学重点学科丛书

北京市生态学重点学科建设项目资助

北京市都市农业学科群建设项目资助



生态工程

李季 许艇 主编



化学工业出版社

生态学重点学科丛书

北京市生态学重点学科建设项目资助

北京市都市农业学科群建设项目资助



生态工程

李季 许艇 主编



化学工业出版社

北京

本书是《生态学重点学科丛书》中的一册,全书共分十章,主要介绍了绪论、生态工程设计基本原理、土壤恢复生态工程、农田复合生态工程、养殖业生态工程、土壤污染修复生态工程、水体污染修复生态工程、固体废弃物利用生态工程、微生物生态工程及综合生态工程等内容,同时相应附加典型工程案例,突出其实践性和可操作性。

本书可供高等院校生态环境专业的本科生、研究生参考使用,也可供生态环境领域工程技术人员、科研人员和管理人员参阅。

图书在版编目 (CIP) 数据

生态工程/李季,许艇主编. —北京:化学工业出版社, 2008. 4
(生态学重点学科丛书)
ISBN 978-7-122-02450-3

I. 生… II. ①李…②许… III. 环境生态学
IV. X171

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 037314 号

责任编辑:刘兴春
责任校对:洪雅姝

文字编辑:陈元
装帧设计:关飞

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:三河市延风装订厂

720mm×1000mm 1/16 印张20¼ 字数419千字 2008年7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: 39.80 元

版权所有 违者必究

《生态学重点学科丛书》编写委员会

主 任：吴文良

副 主 任：李 季 孙振钧

编委会成员(按姓氏汉语拼音排序)：

曹福存 曹志平 李 季 刘云慧 刘正恩
马祥爱 乔玉辉 尚 杰 孙振钧 王 冲
王宏燕 吴文良 许 艇 杨喜田 于法稳
宇振荣 张洪军 赵桂慎

《生态工程》编写人员

主 编：李 季 许 艇

编 写 人 员(排名不分先后)：

李 季 李维炯 许 艇 梁丽娜
黄 灿 吕振宇 王 琳 徐 智
杨合法 张陇利 牛新胜 吴卫中
范聚芳

序

生态学是一门研究生物与环境之间关系的科学，其发生和发展的整个历程都与农业有着密切的联系。半个世纪以来，在世界范围内面临重大生态环境危机的情形下，生态学以其固有的非线性思维和整体性的思想，以自身长期的科学积累为基础，积极面对挑战，在诸多的学科中脱颖而出，在世界探索可持续发展道路上正在发挥着越来越重要的作用。在参与解决社会面临问题的过程中，生态学学科自身也得到了发展，由一门默默无闻，甚至颇受争议的学科发展至今以崭新的面目出现在当代科学的舞台，并引起了科学界和社会各界的广泛关注。

国际生态学研究在半个世纪以来发生了一系列重大的变化。生态学改变了长期以来纯自然主义的倾向，明确提出人类是生物圈固有的组成部分，并对生态系统产生举足轻重的影响。生态学正越来越紧密地与全球及地区的社会经济发展相结合，并服务于生产实践。许多全球性以及国家的重大建设项目和热点问题均离不开生态学的参与，有关生态系统服务、生态系统分析以及生态工程设计等在区域经济发展中正发挥着越来越重要的作用。据 Elsevier 出版社的《Ecological Abstracta》统计，20 世纪 90 年代初生态学论文中有 73.2% 属基础性研究，26.8% 属于应用生态学研究，而到目前为止，生态学研究属于应用生态学的研究已占到 40%。

中国是一个生态脆弱、资源相对短缺、环境压力突出的国家。从 20 世纪 80 年代以来学术界和各国政府普遍关注的“人口、资源、能源、环境和粮食”等重大问题实质上在中国并未得到根本缓解。在全国范围内，城市及公路的绿化和大范围的区域生态建设得到了大幅度的发展，然而更多的生态问题则隐藏到了背后。中国的生态学肩负着太多的任务，一方面它仍要继续高举火炬，揭示那些尚未被人们认识的问题和潜在风险，以照亮未来的前进方向；另一方面它还要紧握利剑，不断创新与探索，并提出解决这些问题的方法和技术。

中国农业在过去 30 余年的现代化过程中成功实现了满足人口迅速增长的食物需求，并根本性地改变了中国人口的食物消费结构，为国家的现代化和人民物质生活水平的提高奠定了坚实的基础。然而，客观上说这些成就的取得是以牺牲资源环境为代价的。在未来中国农业的发展历程中，一味地移植西方高投入、高能耗、高排放、低效率的生产方式对中国来说既不可取也不可能。如何走出一条可持续发展的道路成为世界关注所在，而生态学特别是中国传统的智慧和知识必将为此做出积极的贡献。

中国农业大学的生态学科是一个具有光荣历史的年轻的学科，其生态学研究 and 教学始于 20 世纪 70 年代末，以已故辛德惠院士为代表的老一辈生态学工作者在生

态学理论指导下针对黄淮海平原水盐运动调控和盐碱地改良的研究与实践取得了杰出成就，并创造性地提出了工程生态设计方法、泛生态学理论等一系列理论和方法。近年来，在几代人的努力下，该校已建立了本科-硕士-博士为一体的教学及科研体系，广泛开展了多个领域的生态学研究，并在不同领域做出了突出的成就，逐步形成了“立足华北、理实兼备、应用为主”的发展模式，为国内生态学在农业领域的应用奠定了良好的学科发展基础。

本丛书是在北京市教委及其他国家科研项目和国际合作项目共同支持下，由中国农业大学生态科学与工程系及相关院校教师共同参与编写完成的，是在长期教学研究基础上总结凝练形成的，基本代表了目前国内外的一些主要研究方向和学科进展，其中有些学科如土壤生态学、生态工程等属于生态学的新兴领域。相信该丛书的出版能成为高等院校生态学专业学生学习的重要参考资料，并为农林科研院所的生态学特别是应用生态学研究奠定良好的发展基础。

2007年5月于北京

前 言

20世纪70年代以来,中国生态环境问题一直受到人们的关注,并呈现一波未停,一波又起的态势。从早期的黄土高原水土流失到东北的黑土层减少,从黄河的断流到湖泊水体的大面积污染,从污灌引起的重金属污染到食品农药残留等。事实上许多发达国家如日本、英国等都经历过这样的历程,中国的环境危机在时间上比它们晚了30~40年的时间,但客观上由于中国的资源紧缺、工业快速发展以及公众环境意识薄弱等原因加速了生态的破坏进程,使得一些生态问题远高出一般的情形。仅以化肥使用量为例,国内一些集约化农业区已达到 $2000\text{kg}/\text{hm}^2$,远远高出发达国家的水平,其导致的地下水硝酸盐污染的范围和程度也必然严重许多。

中国严峻的生态问题其解决关键取决于两点。一是广泛的认同和认可;二是可靠的技术和办法。生态问题具有隐蔽性和潜伏性,许多问题治理起来常要付出比产生问题时更大的成本,地下水污染的治理就是这样。然而借助于日益快速发展的现代技术,如工程技术、生物技术等,要找到解决这些问题的办法也并不难。

生态工程(ecological engineering)就是这样一门解决生态问题的学科。H. T. Odum给出的生态工程定义,就是“设计和实施经济与自然协调的工艺技术”。马世骏则进一步认为,“生态工程就是应用物种共生和物质循环再生的原理,结合系统工程的最优化方法,设计的促进分层多级利用物质的生产工艺系统。”与大量的生态学过程及机理研究相比,生态工程的研究尚处于发展初期,表现在其指导原理、设计方法尚不完善,工程应用方向及范围也相对有限。然而随着生命学科与技术学科,生物学与工程学间的合作日益增加,生态工程已在许多领域得到广泛认可和应用,如人工湿地在污水处理中的应用,堆肥技术在固体废弃物处理中的应用,微生物及植物在土壤污染修复中的应用等。近10年来应用生态学的快速发展也充分说明生态学除了在路边像裁判一样评判别人外,它还在逐渐扮演着运动员的角色,以解决问题修复地球为己任。

本书是在作者多年的教学及实践基础上编写的。2004年由李维炯、李季、许艇撰写出版的《农业生态工程基础》是国内有关农业生态工程较早的教材。2006年受北京市教委生态学重点学科项目资助,决定出版系列生态学丛书,其中《生态工程》被列入其中,课题组因此组织了相关科研力量对已有内容进行了全面修订:①重新调整了章节内容,扩大了环境治理及微生物的应用,在研究领域方面则倾向面对更多的农业以外的领域;②在讲授内容方面做了大量修改,增加大量工程案例,书中案例部分占了相当篇幅(约1/3),而且多为近年各学科领域的最新进展。全书共分十章,主要介绍了绪论、生态工程设计基本原理、土壤恢复生态工程、农田复合生态工程、养殖业生态工程、土壤污染修复生态工程、水体污染修复生态工

程、固体废弃物利用生态工程、微生物生态工程及综合生态工程等内容，每章后附有大量思考题，同时相应附加典型工程案例，突出其实践性和可操作性，可供高等院校生态环境专业的本科生、研究生参考使用，也可供生态环境领域工程技术人员、科研人员和管理人员参阅。

本书的编写人员及分工是：第一章、第二章由李季、李维炯、许艇编写，第三章由李季、牛新胜编写，第四章由梁丽娜、许艇、杨合法、范聚芳编写，第五章由黄灿、李季、吕振宇编写，第六章由梁丽娜、许艇、牛新胜编写，第七章由王琳、吴卫中编写，第八章由李季、徐智编写，第九章由张陇利、李季编写，第十章由徐智、李季编写；全书最后由李季统稿、定稿。本书出版得到了北京市教委生态学重点学科项目（XK10019440）的资助，李维炯教授虽已退休，但正是由于他的努力才有了这本书的开始，本书中也吸收了他的许多研究成果，中国农业大学生态科学与工程系的谢永利、李银金、生威、崔立莉等同志在准备相关资料方面做了大量工作，在此致以诚挚的感谢。

由于知识的欠缺以及时间有限，本书的编写必然存在一些不足之处，期望读者能给予批评修正，以待后续再版时更正。

编者

2008年2月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 生态工程的概念和意义	1
一、生态工程的概念及由来	1
二、生态工程产生的时代背景	2
三、生态工程相关概念及特点	4
四、生态工程的意义	6
第二节 生态工程的主要类型和特征	8
一、生态工程的主要类型	8
二、生态工程的特点	11
第三节 生态工程的发展历史及现状	12
一、国外生态工程的发展	12
二、我国生态工程的发展历史及现状	16
第四节 我国生态工程的发展战略	24
一、我国生态工程研究发展战略的基本原则	24
二、我国发展生态工程研究的基本对策	24
三、生态工程领域中急需研究的重要课题	25
思考题	26
参考文献	26
第二章 生态工程设计基本原理	27
第一节 系统原理	27
一、整体性和综合性原理	27
二、有机关联性原理	28
三、动态性原理	29
四、协同性原理	30
五、层次性原理	31
第二节 生态原理	31
一、生物共生原理	31
二、物质循环再生原理	32
三、生态系统基本动力原理	32
四、生态系统自组织原理	33
五、生态系统边缘效应原理	34
第三节 经济原理	34
一、自然资源合理利用原理	34

二、生态经济平衡原理	36
三、生态经济效益原理	36
四、生态经济价值原理	37
第四节 工程原理	37
一、太阳能充分利用原理	37
二、水资源循环利用原理	38
三、无污染工艺原理	38
四、生物有效配置原理	39
第五节 生态工程设计思路	39
一、背景——生态设计的起源	39
二、生态设计及思路	39
三、生态设计原则	40
四、生态工程设计的一般步骤	41
五、生态工程设计应用案例	42
思考题	47
参考文献	47
第三章 土壤恢复生态工程	48
第一节 土壤生态系统退化及恢复	48
一、土壤生态系统基本特点	48
二、土壤生态系统的退化类型	51
三、土壤生态系统的退化及特点	51
四、退化土壤生态系统的恢复途径	55
第二节 盐碱地改良生态工程	57
一、盐碱土综合治理配套技术	58
二、盐碱地改良工程案例	59
第三节 荒漠土壤恢复生态工程	66
一、土地荒漠化状况	66
二、荒漠土壤恢复生态工程案例	69
第四节 水土流失恢复生态工程	77
一、水土保持的耕作措施	77
二、水土保持的治坡治沟工程措施	78
三、水土保持的林草生物措施	80
四、水土流失恢复工程案例	80
第五节 湿地恢复生态工程	83
一、湿地恢复途径	84
二、湿地恢复计划及技术	84
三、湿地恢复生态工程案例	86
思考题	88

参考文献	88
第四章 农田复合生态工程	89
第一节 农田生态系统	89
一、农田生态系统概念	89
二、农田生态系统特征	89
第二节 农田作物生态工程	92
一、农田复种概念及意义	92
二、农田复种基本类型	94
三、农田复种技术	97
四、农田复种典型案例	99
第三节 农田生物防治生态工程	105
一、生物防治概况	105
二、生物防治的原理和基本类型	106
三、生物防治技术	108
四、农田生物防治典型案例	109
第四节 复合农林业生态工程	116
一、复合农林业概况	116
二、复合农林业基本类型	117
三、复合农林业典型案例	119
第五节 稻田养鱼生态工程	126
一、稻田养鱼概况	126
二、稻田养鱼的基本原理	127
三、稻田养鱼生态工程类型	127
四、稻田养鱼生态工程技术	129
五、稻田养鱼典型案例：浙江德清稻田养鱼工程	133
思考题	136
参考文献	136
第五章 养殖业生态工程	137
第一节 规模化养殖业环境污染问题	137
一、规模化养殖业发展及环境问题	137
二、规模化养殖业环境问题产生的原因	138
三、规模化养殖业排泄物对环境的影响	140
第二节 畜牧养殖生态工程	142
一、畜牧群落生态工程	142
二、综合防治生态工程	142
三、农牧复合生态工程	143
第三节 水体养殖生态工程	145
一、水体生态系统	145

二、常规鱼混养模式	146
三、鱼鳖混养模式	147
四、鱼虾混养模式	148
五、鱼蟹混养模式	148
第四节 生态畜牧业工程	150
一、高效微生物饲料添加剂及其饲料生产技术研究	150
二、无污染畜牧生产配套技术研究	154
三、零排放垫料健康养猪模式研究	160
思考题	163
参考文献	163
第六章 土壤污染修复生态工程	164
第一节 土壤污染特征	164
一、土壤污染的主要途径	165
二、土壤污染物的类型	166
三、土壤污染的特点	167
四、土壤污染的防治	168
第二节 重金属污染修复	168
一、我国土壤重金属污染现状	169
二、重金属污染的生态效应	169
三、土壤重金属污染特点	170
四、重金属污染土壤的修复	170
五、重金属污染土壤植物修复案例	175
第三节 农药污染土壤修复	179
一、我国土壤农药的污染现状	179
二、我国农药污染特点及存在的问题	180
三、农药污染的生态效应	181
四、农药污染土壤的修复	181
五、土壤农药污染微生物修复案例	187
第四节 石油污染修复	189
一、我国土壤石油的污染现状	189
二、石油污染物的物质组成及其危害	189
三、石油污染土壤的修复	190
四、石油类物质微生物降解的影响因素	193
五、美国阿拉斯加石油污染土壤修复案例	193
思考题	197
参考文献	198
第七章 水体污染修复生态工程	199
第一节 水生生态系统	199

一、水生生态系统的特点	199
二、水质净化的生物学原理	200
三、水体富营养化的概念与成因	201
四、水体富营养化产生的危害	202
第二节 景观水体污染生态修复	204
一、景观水体的重要性及其现状	204
二、污染来源及防治方法	204
三、污染生态修复	205
四、生态修复原则	206
五、景观水体污染生态修复案例	206
第三节 湖泊水体污染生态修复	207
一、湖泊水体的重要性及其污染现状	207
二、湖泊污染来源及防治方法	208
三、生态修复原则	211
四、湖泊水体污染生态修复案例	212
第四节 养殖池塘污染生态修复	214
一、养殖池塘污染物及其危害	214
二、养殖池塘的处理和修复技术	215
三、养殖池塘污染生态修复案例	217
思考题	220
参考文献	220
第八章 固体废弃物利用生态工程	221
第一节 固体废弃物处理及利用	221
一、固体废弃物产生及特点	221
二、固体废弃物处理方式	221
三、固体废弃物资源化利用	223
第二节 好氧堆肥原理	223
一、堆肥基本过程	223
二、堆肥生物学原理	225
三、堆肥热力学原理	226
四、堆肥热灭活原理	227
第三节 好氧堆肥工艺	228
一、基本工艺及特点	228
二、条垛堆肥	229
三、静态堆肥	230
四、槽式堆肥	231
五、反应器堆肥	232
第四节 典型堆肥厂设计案例	235

二、项目背景	235
三、工艺说明	240
三、工程设计	242
四、成本与效益分析	246
思考题	248
参考文献	249
第九章 微生物生态工程	250
第一节 微生物生态系统	250
一、微生物生态系统及特点	250
二、微生物生态学的研究意义	254
第二节 土壤微生物生态工程	255
一、土壤微生物分布及群落变化	255
二、集约农业活动下的土壤微生物群落变化	257
三、有机肥长期施用下的土壤微生物群落变化	260
第三节 环境微生物生态工程	263
一、海洋及极端环境微生物分布及群落变化	263
二、污染水体微生物群落变化	266
三、堆肥过程微生物群落变化	267
第四节 食品微生物生态工程	269
一、食品微生物	269
二、酿酒微生物群落变化	271
三、酸奶微生物群落变化	273
思考题	275
参考文献	275
第十章 综合生态工程	277
第一节 综合生态工程特点	277
一、综合生态工程的基本原理	277
二、综合生态工程的类型和特点	278
第二节 生态村建设	282
一、生态村建设的原则	282
二、生态村建设的特色	283
三、典型生态村建设——以留民营村为例	283
第三节 生态工业园	286
一、生态工业园的由来和发展	286
二、生态工业园的涵义和规划	286
三、生态工业园区规划案例——广西贵港国家生态工业园区	288
第四节 循环经济示范区	290
一、循环经济的基本模式	290

二、循环经济示范区的概念、指导思想及规划原则	291
三、循环经济示范区的规划步骤	292
四、循环经济示范区的建设内容	292
五、循环经济示范区建设案例——山东九发产业园	294
第五节 生态县（省）建设	297
一、生态县的建设	297
二、生态省的建设	299
三、生态县（省）规划建设案例	300
思考题	307
参考文献	307

第一章 绪 论

生态工程作为应用生态学的分支学科之一，其历史不过四十多年，是一个正在形成中的新兴学科。

第一节 生态工程的概念和意义

一、生态工程的概念及由来

首先使用生态工程 (ecological engineering) 一词的是美国的 H. T. Odum。他在 1962 年把生态工程定义为：“人运用少量辅助能而对那种以自然能为主的系统进行的环境控制。”1971 年他又指出“人对自然的管理即生态工程”。显然这种定义是很不确切的概念。1983 年他对此定义进行了进一步修正后提出，“设计和实施经济与自然的工艺技术称为生态工程”。

1988、1989 年美国 Mitsch W. J. 和 Jorgenson S. E. 提出的生态工程概念是：“为了人类社会和其自然环境两方面利益而对人类社会和自然环境的设计”。1993 年，在为美国国会撰写的文件中，又修改为：“为了人类社会及其自然环境的利益，而对人类社会及其自然环境加以综合的且能持续的生态系统设计。”它包括开发、设计、建立和维持新的生态系统，以期达到诸如污水处理、地面矿渣及废弃物的回收、海岸带保护等目的，同时还包括生态恢复、生态更新、生物控制等目的。

此外，Uhlmann D. (1983), Straskraba M. (1984, 1985)、Straskraba 和 Cnauck, A. H. (1985) 又提出了生态工艺一词，并定义为“在深入了解生态学基础上，在措施上花最小代价，对环境最少的损伤，是对生态系统管理技术的运用。”1993 年 Straskraba 进一步阐述，认为生态工艺是：“生态原理向生态管理的转移”。也即生态工艺或生态技术是把生态原理付诸实践的重要手段。

从这些描述可见，尽管早在 20 世纪 60 年代初就有人提出了生态工程的名词，但始终没有一个确切和完整的概念。1984 年我国著名动物学家和生态学家马世骏教授提出的生态工程的定义被多数人认为是较完整的一个定义。

在《中国的农业生态工程》这本书中绪论开端，即提出：“生态工程是应用生态系统中物种共生和物质循环再生的原理，结合系统工程的最优化方法，设计的促进分层多级利用物质的生产工艺系统。生态工程的目的是在促进自然界良性循环的前提下，充分发挥物质的生产潜力，防止环境污染，达到经济效益和生态效益同步发展。它可以是纵向的层次结构，也可以发展为几个纵向工艺链索横连而成的网

状工程系统。”(马世骏, 1987)。

早在 1954 年, 马世骏在研究防治蝗虫灾害时, 即从生态学理论出发, 提出调整生态系统结构、控制水位及苇子面积等改变蝗虫的滋生地, 改善生态系统结构和功能的生态工程设想、规划与措施, 实践结果表明生态效益和经济效益十分显著。1979 年, 马世骏在中国环境科学学会作了《环境理论的发展和意义》的学术报告, 在总结了他几十年生态学研究的基础上, 进一步形成了生态工程思想。他说: “由于工业发展过程中, 出现的环境受干扰和迫切需要采取的保护政策, 促使人们不得不在社会-经济-生态-资源物质系统之间, 考虑多方面依赖的特点, 从而近来在社会科学和自然科学之间产生了新的杂交科学前沿, 即社会-经济-自然生态系统的结合, 它是处理当前国际上五大社会问题的重要理论依据。”他又说: 工业城市生态学是近年开展研究的典型的社会-经济-自然生态系统, 在此复合系统中, 包括复杂的物质能量代谢系统及地质化学循环系统。此项研究密切联系废物管理、营养物质循环和区域性食物供应系统这三个系统的循环关系, 可以及时而有效地把人类和动物废物还回土壤, 把工业废物分别加以分解或再生, 这对持续地维护现代化都市的优良环境和支持郊区现代化农业是重要的。它依据的机理就是模拟自然生态系统长期持续链环结构的功能过程, 可称为生态系统工程。继而又提出生态工程的原理是生态系统的“整体、协调、再生、循环”。他强调生态工程是生态学的原理在资源管理、环境保护和工农业生产中的应用。

马世骏关于生态工程的研究和理论为引导国内外生态工程研究打开了思路、奠定了坚实的理论和实践基础。1987 年由他和李松华主编的《中国的农业生态工程》一书在我国出版。1989 年, 马世骏、颜京松和仲崇信参与了由美国 Mitsch W. J. 和丹麦 Jorgenson S. E. 主编的世界上第一本生态工程专著, 使生态工程在国内外成为一门新兴的学科而正式问世。

根据 Mitsch (2003) 在其一篇论文中的介绍, 中国生态工程的产生基本上是与西方同步的, 并带有显明的独立性。在马世骏等人的推动下, 中国生态工程充分地吸收了我国几千年传统思想与智慧结晶, 并对一些长期实践的生态工程进行了初步的总结和分析, 如稻田养鱼、桑基鱼塘等。相对而言, 西方的生态工程应用较窄, 局限于小规模试验研究以及一些较大的湿地工程中, 而中国的生态工程无论是应用范围, 还是应用规模均远胜于西方。

二、生态工程产生的时代背景

生态工程是在 20 世纪 60 年代全球生态危机的爆发以来, 人们寻求解决对策以及资源环境保护的宏观背景条件下应运而生的。是科学发展和社会需求的必然结果, 有着客观的历史背景和坚实的理论和方法基础。

20 世纪 60 年代以来, 由于人口激增、资源破坏、能源短缺、环境污染和食物供应不足造成了全球性的生态危机, 是人类所面临的共同问题。但在不同的国家和地区表现不尽相同, 在发达国家中主要面临的是由于高度的工业化和强烈集约型的农业经营带来的环境污染问题。为解决这一问题, 20 世纪 60 年代末、70 年代初人们认真讨论过“无废物”(zero-discharge) 目标, 并希望完全消除污染, 防止其进