

农业生态环境 污染防治与生物修复

张立钦 吴甘霖 编著
陈声明 主审

NONGYE SHENGTAI HUANJING

WURAN FANGZHI YU SHENGWU XIUFU

中国环境科学出版社

农业生态环境污染 防治与生物修复

张立钦 吴甘霖 编著

陈声明 主审

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

农业生态环境污染防治与生物修复 / 张立钦, 吴甘霖编著.
北京: 中国环境科学出版社, 2005.12
ISBN 7-80209-250-7

I. 农… II. ①张… ②吴… III. ①农业环境: 生态环境—环境污染—综合治理②农业环境: 生态环境—环境污染—生物防治 IV. S181

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 158107 号

环境科学与工程出版中心

电话(传真): 010-67112735
网 址: www.cesp.cn
电子邮箱: sanyecao@cesp.cn

本中心立足于出版环境科学与工程各类专业图书。以服务为宗旨, 以市场为导向。做绿色文明的倡导者, 充当环境文化的传播者。

责任编辑: 黄晓燕 孔锦

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京崇文区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2005 年 12 月第一版
印 次 2005 年 12 月第一次印刷
印 数 1—3 000
开 本 880×1230 1/32
印 张 8.625
字 数 250 千字
定 价 26.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】
如有缺页、破损、倒装等印装质量问题, 请寄回本社更换

前 言

随着科学技术的突飞猛进、生产力的快速发展，人类改造自然的规模空前扩大，从大自然中获得的资源也越来越多，但随之排放的废物也与日俱增，从而造成对环境的污染和生态的破坏。目前，全球范围内耕地面积减少，森林资源过度砍伐，水资源短缺，物种消失，酸雨危害，臭氧层被破坏和温室效应等引起的气候变暖、厄尔尼诺以及拉尼娜等现象，造成人类生存的环境危害和破坏已引起人们极大关注。

农业生态环境与人类生存大环境是紧密相连，不可分割的。自然环境，特别是大气、水体、土壤环境的污染恶化给农业生态环境带来极大的破坏。另外，由于现代农业生产过度滥用化肥、农药，也直接对自然环境及农业生态环境带来严重污染，并造成农产品对人类食品安全的极大威胁。因此，我们必须坚持科学的发展观，走可持续发展的道路。我们必须重视对农业生态环境的保护，坚持以人为本的科学观，走可持续发展的道路，实现生态和谐、社会和谐。

本书分两大部分共十三章。第一部分主要讲述农业生态环境的污染与防治，共七章。讲述了农业生态环境，农用化学品污染及其防治，水体富营养化及其综合治理，农业废弃物及控制，污水灌溉与农业生产，土地退化与整治等；第二部分主要讲述农业环境的生物修复，共六章。农业环境的生物修复是应用生物技术解决农业环境问题，本书主要讲述了农业环境的生物修复，原位生物修复，易位固相生物修复，无机污染的生物修复，污染土地的植物修复，环境污染预防生物技术。

本书由张立钦教授（浙江林学院）和吴甘霖副教授（安庆师范

学院)编著,陈声明教授(浙江大学)主审。具体分工:张立钦主要编写第一、八、九、十、十一、十二、十三章及拟订提纲、统阅全稿;吴甘霖编写第一、二、三、四、五、六、七、八、十二章及全书统稿。

由于作者水平及时间仓促,书中错误和不当之处在所难免,恳望学界专家、同行和广大读者不吝匡正。

编者

2005年10月10日

目 录

第一章 农业生态环境	1
第一节 环境与农业环境	1
第二节 农业发展与可持续农业	6
第三节 当前我国农业生态环境出现的突出问题	11
第四节 加强我国农业生态环境的保护	25
第二章 农用化学品污染及其防治	28
第一节 农用化学品使用概况及发展趋势	28
第二节 农用化学品的主要种类和污染途径	35
第三节 农药的污染和防治	38
第四节 肥料的污染和防治措施	42
第三章 水体富营养化及其综合治理	46
第一节 水体富营养化概述	46
第二节 评价水体富营养化的方法	50
第三节 影响水体富营养化的因子	55
第四节 限制水体富营养化的营养因子	57
第五节 水体富营养化的综合治理	59
第四章 农业废物控制和资源化	65
第一节 农业废物的产生及危害	65
第二节 农业废弃物的资源化利用	71
第三节 农业废弃物的管理	77
第五章 污水灌溉与农业生产	79
第一节 国内外污水灌溉概况	80

第二节	污水灌溉对农业生产的影响	81
第三节	污水灌溉的农业生产效益	91
第四节	合理污灌的对策和措施	93
第六章	酸雨的形成和危害及其防治	96
第一节	酸雨对农业的危害	97
第二节	酸雨污染的防治	108
第七章	土地退化与整治	111
第一节	土地问题概述	111
第二节	土地退化与农业生产	114
第三节	土地的保护与整治	117
第四节	土地的农业可持续利用	126
第八章	农业环境的修复	131
第一节	污染物的土壤修复	131
第二节	污染物的植物修复	137
第三节	污染物的微生物修复	142
第四节	农村地下水污染与自净	148
第九章	原位生物修复	154
第一节	水力学控制	154
第二节	亚表层供给系统	156
第三节	阻塞控制	164
第四节	原位氧源	169
第五节	原位共代谢	172
第六节	生物通气	173
第七节	我国原位生物修复的研究与实践	180
第十章	异位固相和泥浆相生物修复	185
第一节	设计因素	185

第二节	土地耕作	190
第三节	堆制处理	194
第四节	泥浆相处理	201
第五节	我国易位生物修复的研究	204
第十一章	无机污染的生物修复	209
第一节	无机污染物的修复	209
第二节	无机污染物的生物积累和生物吸着	212
第三节	生物氧化和还原	219
第四节	基化和去甲基化	221
第五节	金属—有机络合和配位体的降解	224
第六节	典型无机污染的生物修复潜力	225
第十二章	污染土壤的植物修复	230
第一节	植物修复的特点	231
第二节	污染物的植物提取	232
第三节	植物挥发	235
第四节	土壤污染物的植物稳定化	236
第五节	有机污染物的植物降解	237
第六节	放射性污染的植物修复	241
第七节	植物修复实例	241
第十三章	环境污染预防生物技术	245
第一节	农药环境污染与生物农药开发概述	246
第二节	微生物农药	250
第三节	农用抗生素	261
第四节	源于植物的生理活性物质	262
第五节	昆虫生长调节剂	264
第六节	作物病虫害的生物防治技术	266
参考文献		268

第一章 农业生态环境

农业是以土地、水、气候和生物资源为基础的产业部门，这些资源的数量和质量变化，直接影响着农业的生态环境和农业的发展。进入 20 世纪后，随着世界人口急剧增长，自然资源快速消耗，出现了气候变暖、土地沙化、水资源污染、生物多样性减少等重大资源环境问题，不同程度地困扰着各国农业的发展和人民生活的改善，甚至政局的稳定。面对经济全球化趋势和国际农产品一体化的进程，世界各国正在积极制订保护和改善农业环境质量、防治农产品污染的政策和措施，并发展相关技术，加紧推进农业环境保护工作进程。因此，农业生态环境是 21 世纪面对的社会重大问题之一。

第一节 环境与农业环境

一、环境

(一) 环境的定义

所谓环境是一个相对于某个主体而言的客体，它与主体相互依存，它的内容随着主体的不同而不同。主体以外的一切客观事物的总和称之为环境。对于环境科学而言，“环境”的含义是以人类社会为主体的外部世界的总体，即是人类生存、繁衍所必需的、相适应的环境。它不仅包括未经人类改造过的自然环境，如阳光、空气、陆地、土壤、水体、天然森林和草原、野生动物等，而且包括经过人类社会加工改造的人工环境，如城市、村落、水库、港口、公路、铁路、空港、园林等。

《中华人民共和国环境保护法》规定我国法定的环境“是指影响人

类生存和发展的各种天然的和经过人工改造的自然因素的总体，包括大气、水、海洋、土地、矿藏、森林、草原、野生生物、自然遗迹、人文遗迹、自然保护区、风景名胜区、城市和乡村等。”这里所指的主要是自然环境，也包括一部分社会环境。

当然，随着人类社会的发展，环境概念也在发展。特别是人们已经发现地球演化发展的规律同宇宙天体的运行有着密切的联系，如反常气候的发生，就与太阳的周期性变化紧密相关。所以从某种程度上说，宇宙空间终归是我们环境的一部分。因此，我们要用发展的、辩证的观点来认识环境。

（二）环境的分类

环境是一个非常复杂的体系，目前还没有形成统一的分类方法。一般是按照环境的主体、范围、要素以及人类对环境的利用或环境的功能等原则进行分类。

按照环境的主体来分，目前有两种体系：一种是以人类作为主体，其他生命物质和非生命物质都被视为环境要素，即环境就是人类的生存环境，在环境科学中，多数人采用这种分类法；另一种是以生物体（界）作为环境的主体，不把人以外的生物作为环境要素，在生态学中，往往采用后一种分类法。

按环境的范围大小来分类比较简单。如把环境分为特定的空间环境（如航空、航天的密封舱环境等）、车间环境（劳动环境）、生活区环境（如居室环境、院落环境等）、城市环境、区域环境（如流域环境、行政区环境等）、全球环境和宇宙环境。

按照环境要素进行分类较为复杂，可分为自然环境和**社会环境两大部分。

1. 自然环境

自然环境是人类目前赖以生存、生活和生产所必需的自然条件和自然资源的总和，即阳光、温度、气候、地磁、空气、水、岩石、土壤、动植物、微生物以及地壳的稳定性等自然因素的总和，用一句话概括：“直接或间接影响到人类的一切自然形成的物质、能量和自然现象的总体”，简称为环境。

2. 社会环境

社会环境是指人类的社会制度等上层建筑条件,包括社会的经济基础、城乡结构以及同各种社会制度相适应的政治、经济、法律、宗教、艺术、哲学的观念与机构等。它是人类在长期生存发展的社会劳动中所形成的,是在自然环境的基础上,通过长期有意识的社会劳动,被加工和改造过的自然物质,与所创造的物质生产体系及所积累的物质文化等构成的总和。

(三) 环境问题的的发展

环境问题是指全球环境或区域环境中出现的不利于人类生存和发展的各种现象。环境问题是目前世界人类面临的主要问题之一。环境问题是随着人类社会和经济的发展而发展的。环境问题的历史大致可以分为以下三个阶段。

1. 生态环境的早期破坏

此阶段从人类出现开始直到产业革命前,与后两个阶段相比,是一个漫长的时期。在该阶段,人类经历了从以采集狩猎为生的游牧生活到以耕种和养殖为生的定居生活的转变。随着种植、养殖和渔业的发展,人类社会开始第一次劳动大分工。人类从完全依赖大自然的恩赐转变到自觉利用土地、生物、陆地水体和海洋等自然资源。人类的生活资料有了较以前稳定得多的来源,人类的种群开始迅速扩大。人类社会需要更多的资源来扩大物质生产规模,开始出现烧荒、垦荒、兴修水利工程等改造活动,从而引起了严重的水土流失、土壤盐渍化或沼泽化等问题。但当时的人类还意识不到这样做的危害后果,一些地区曾发生了严重的环境问题,主要是生态环境的退化。

2. 近代城市环境问题

此阶段从工业革命开始到 1980 年代发现南极上空的臭氧洞为止。工业革命(从农业占优势的经济向工业占优势的经济迅速过渡称为工业革命)是世界史上一个新时期的起点,此后的环境问题也开始出现新的特点并日益复杂化和全球化。18 世纪后期欧洲的一系列发明和技术革新大大提高了人类社会的生产力,以空前的规模和速度开采和消耗能源及其他自然资源。新技术使英美等国在不到一个世纪的时间

里先后进入工业化社会，并迅速向全世界蔓延，在世界范围内出现了发达国家和发展中国家的差别。

这一阶段的环境问题跟工业和城市同步发展。在 20 世纪六七十年代，发达国家普遍花大力气对这些城市环境问题进行治疗，并把污染严重的工业转移到发展中国家，较好地解决了国内的环境污染问题。随着发达国家环境状况的改善，发展中国家却开始步发达国家的后尘，重走工业化和城市化的老路，城市环境问题日益突出，并伴随着严重的生态破坏。

3. 当代环境问题

从 1984 年英国科学家发现、1985 年美国科学家证实南极上空出现“臭氧洞”开始，人类环境问题发展到当代环境问题阶段。这一阶段环境问题的特征是，在全球范围内出现了不利于人类生存和发展的酸雨、臭氧层破坏和全球变暖三大环境问题。与此同时，发展中国家的城市环境问题和生态破坏使一些国家的贫困化愈演愈烈，水资源短缺在全球范围内普遍发生，其他资源（包括能源）也相继出现将要耗竭的信号。这一切表明，生物圈这一生命支持系统对人类社会的支撑已接近它的极限。

二、农业环境

（一）农业环境的定义

农业环境是指农业生物（包括各种栽培植物、林木植物、牲畜、家禽和鱼类等）正常生长繁育所需的各种环境要素的综合整体，主要包括水、土壤、空气、光照、温度等环境要素（表 1-1）。

表 1-1 农业环境要素

要 素	内 容
气候要素	太阳辐射、气温、空气、湿度、风等
土壤要素	地温、土壤水分、通气性、酸度、无机物、有机物等
水要素	池塘、河流、湖泊、水库、海洋、地下水、灌溉水等
生物要素	植物、动物、微生物等
人为因子	人对生物的作用，包括环境污染、生态破坏等

（二）农业环境的特点

1. 范围的广阔性

农、林、牧、副、渔业生产活动的领域非常广阔，除了人迹罕至的远海、原始森林、荒漠、冻源和城镇、工矿区以外，都属于农业环境的范围。由于各地自然条件不同，形成了各种各样的局部地区的农业环境。因此，农业环境范围的广阔性和局部地区农业环境的差异，决定了农业环境规划、管理、监测和研究工作的复杂性和艰巨性。

2. 系统的不稳定性

农业环境是在一定程度上受人类控制和影响的半自然环境。人们为了追求高产而单一种植或养殖少数理想的品种，改变了原来丰富多样的自然生物种群，使农业生态系统变得单调，缺乏自然生态系统对抗环境条件变化的强大“缓冲力”。为了追求高产，人们对农业生态系统给予大量投入，如使用机械、化肥、农药和其他物质，同时又把大量的农产品作为商品输出。因此，现代农业生态系统成为一个能量和物质大量流进流出的开放系统，在高强度的投入和产出的情况下，如果控制不当，容易使农业生态系统失去平衡，造成生态结构的破坏和生产能力的衰退。

3. 质量恶化的不易察觉和难恢复性

农业环境质量恶化是积累性的，一般不会对宏观上立刻出现明显变化，只有通过科学的监测和分析才能捕捉其变化发生的踪迹。同时，由于农业环境因素复杂，各因素的定量测定不易进行，更不容易了解各因素之间的相互关系，这些都是农业环境因素恶化不易察觉的客观原因。但是，农业环境质量恶化在经历较长时间积累表现出明显的质的改变以后，要恢复和改善它的生产能力和安全性是非常困难的。

（三）农业生态系统

农业生物和农业环境相互作用和影响形成了一个统一的农业生态系统。农业生态系统是在人类生产活动干预下经过长期发展和适应而形成的一种人工生态系统，是保持着一定的动态平衡关系的整体。

1. 生态系统的定义

生物与生物之间及生物与其生存环境之间密切联系、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、执行一定功能的动态平衡整体,称为生态系统。

生态系统,是一种含有生物及其生活环境的系统。例如,在陆地上有森林生态系统、草原生态系统、农田生态系统等,在水域上有淡水生态系统、海洋生态系统等。由于受人类干扰和控制程度的不同,生态系统又可分为:原生自然生态系统,如热带雨林生态系统;经过人类驯化的生态系统,如农业生态系统。

2. 农业生态系统

(1) 系统组分。生物组分以人工驯化和选育的农业生物为主,生物组分中人是系统最重要的调控力量。环境组分中,除了自然环境组分,还有人工环境组分,如排灌渠、地膜、温室、禽舍、道路等。同时,农业生态系统中的大气、水、土壤也受到了人类活动的深刻影响。

(2) 系统输入。农业生态系统的输入既有自然的输入,如降雨、日照、生物固氮等,还有社会的输入,如人力、机械、化肥、农药、信息、资金等。

(3) 系统输出。农业生态系统的生产目标明确,有大量的农产品输出,然而还保留一些非目标性的输出,如水土流失、水分蒸发、有机物分解等。这些输出也已经受到人类的深刻影响。

(4) 系统功能。由于农业生态系统和外界有着更大量的能源物质和信息交流,系统更开放,更易造成系统内部组分间的能流和物流联系强度的人为削弱,而形成能与物的浪费和系统的低效率。

(5) 系统调控。农业生态系统不仅保留了自然生态系统的自然调控方式,而且由农民直接实施人工调控,同时还受社会工业、交通、科技、教育、经济、法律、政治的间接调控。

第二节 农业发展与可持续农业

一、全球农业发展趋势

联合国粮农组织在第 30 届大会上发表的“2000—2015 年全球农

业战略框架”，对世界粮食安全前景和今后农业发展的环境趋势作了分析和展望。综合世界政治、经济、社会和技术等因素，联合国粮农组织提出了今后农业发展所面临的主要趋势。

1. 继续推行经济全球化和贸易自由化

贸易和金融市场的日益一体化可能进一步限制国内的政策选择。农产品贸易自由化预计将继续按照乌拉圭回合《农业协定》和国际管理框架、公约以及其他法律文本进行。在国际和国家一级建立机制，增进金融市场的透明度，进一步确保投资的可持续性，并将通过私人投资和贸易进行更多的技术转让。

2. 中等收入国家的数量增加，对区域集团的依赖将加强

预计中等收入国家与最贫困国家之间将进一步分化。中等收入国家将从自给性农业迅速发展为商品农业，但城市和农村一些贫困点可能继续存在。预计区域和分区域集团将加强，这将增加对全球事务的影响。

3. 贫困继续存在，贫富差距扩大

现在趋势表明，规定的目标（如人类、社会和经济平等）与实际结果很少吻合，全球范围内国家一级的贫富差距正在加剧。如果不纠正性别、年龄和种族获得和控制生产资源、信息、就业、公共教育、技术和决策过程方面的持续不平等，将对家庭和国家粮食安全带来威胁。

4. 与灾难有关的复杂紧急情况的威胁继续存在

灾害次数可能仍然较多，有自然因素也有人为因素。这有可能进一步加深粮食不安全、人口流动和社会、经济及政治动乱问题；需继续努力和慎重处理好生态环境与资源问题，特别值得引起以农业为基础的贫困易受害的发展中国家的重视。

5. 日益城市化的社会对农业的需求更多

发展中国家居住在城市中人口的比例迅速增加，通过市场交换获得食物的比例日益增加。这就要求农业生产进一步集约化和商品化，进一步提高农业劳动生产率。农业部门的作用不只是经济方面，还有社会、文化教育和生态方面的作用，要重视农村妇女、青年的重要地位与作用。

6. 消费者喜好改变, 公众对粮食和环境问题的认识提高

消费者对鱼类、水果、蔬菜等非主食产品与无污染、绿色产品的需求增加, 同时对食品安全和环境问题的认识提高, 要求有更科学的标准保障食物质量和安全。

7. 对自然资源的压力增加, 对其利用的竞争加剧

对水土资源的压力增加, 因自然资源的基础退化所产生的风险将增加, 人均淡水可供量继续减少。由于城市化发展, 土地的各种用途之间竞争加剧, 其使用将进一步集约化。生物多样性将继续受到威胁。对林产品的需求量增加, 将推动商业性林业开发。海洋与内陆渔业自然资源将逐渐枯竭。气候波动对农业的影响将增加, 但预测预报及防治技术会有所提高。

8. 研究和技术开发稳步进展, 但获得新技术的机会仍不平等

在能源、运输、生物技术和信息技术方面的进步可能较大, 影响各国在国际市场上的竞争能力。农业研究日趋全球化, 私营部门将进行大部分生物技术研究。发展中国家贫困农民的技术需求仍需由公共部门包括国际机构来支援。

9. 为农业发展提供资金的性质和构成发生变化

除国际货币基金组织的支持外, 外部(包括双边、多边来源)对农业援助资源总量可能减少。非盈利私人组织的各种援助可能增加。多边金融机构提供的贷款可能保持原有水平或略有增加。外国直接投资增加, 竞争也随之加剧。

二、可持续农业

(一) 可持续发展概念的提出

1980年由世界自然保护同盟(IUCN)、世界野生生物基金会(WWF)和联合国环境规划署(UNEP)合编的《世界自然保护大纲》第一次对可持续发展进行了宣传, 强调了环境保护与经济发展之间的相互依存性。

1987年, 联合国世界环境与发展委员会(WCED)在《我们共同的未来》一书中强调指出“可持续发展不仅是本世纪末, 也是21世纪发达国家和发展中国家的共同发展战略, 是人类取得生存与发展唯一

可供选择的途径”。

1990年由世界资源研究所(WRI)、国际环境发展研究所(IIED)、联合国环境规划署(UNEP)联名宣称:“持续发展为我们的指导原则”,并遵守此原则去研究世界问题。

1992年召开的联合国环境与发展大会通过了《里约宣言》,制定了《21世纪议程》,提出了“只有一个地球”“明天和今天一样重要”“新的全球伙伴关系”以及“可持续发展的战略”等观念,还提出“所有发展必须考虑环境问题,要把环境保护作为一个前提条件,作为一个重要内容来综合决策”。这说明可持续发展已成为绝大多数国家的共识,并已从理论付诸行动。1993年,我国制定了《中国21世纪议程(草案)》,它是世界上第一部国家级的可持续发展战略文件,确定了我国实施可持续发展战略的行动目标、政策框架和实施方案。

1995年,江泽民总书记在中共十四届五中全会上讲:“在现代化建设中,必须把实现可持续发展作为一个重大的战略。要把控制人口、节约资源、保护环境放在重要位置,使人口增长与社会生产力的发展相适应,使经济建设与资源、环境相协调,实现良性循环。”

1997年,江泽民总书记在中共十五大报告中指出:“必须实施可持续发展的战略。”“正确处理经济发展与人口、资源、环境的关系,资源开发和节约并举,把节约放在首位,提高资源利用率。统筹规划国土资源开发和整治,严格执行土地、水、森林、矿产、海洋等资源管理和保护的法律。实施资源有偿使用制度,加强对环境污染的治理,种树种草,搞好水土保持,防止荒漠化,改善生态环境。”

(二) 可持续农业的涵义

由于各国国情不同,对农业发展有不同的要求,因此也产生了对可持续农业理解上的差异。发达国家追求食品生产以质量目标为主,而发展中国家的农业发展注意力更多地集中于数量上的增长,以解决温饱问题。不过,发达国家与发展中国家因起点不同,对农业要求虽各有侧重,但共同点都是要求保护资源与环境,使农业可持续发展。因而“丹波宣言”中的“可持续发展”定义已为世界各国普遍接受,即可持续农业是“采取某种使用和维护自然资源的基础方式,以及实