

农业立体污染防治的生态学思考

杨 修, 章力建*, 李 正, 孙 芳

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所, 北京 100081)

摘要: 分析了我国农业环境污染问题的严重性、污染特点及防治中存在的问题。并依据生态学理论提出了生态平衡、结构与功能、物质循环与再生利用、负载定额、相生相克等原理应作为农业立体污染防治的重要理论基础。进而, 提出了生态工程设计、生态工程技术、生态管理与调控等解决农业立体污染的技术途径。

关键词: 生态学; 农业立体污染; 生态工程

Ecological thought of prevention and cure of agricultural tri-dimension pollution

YANG Xiu, ZHANG Li-Jian*, LI Zheng, SUN Fang (Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(4): 904~909.

Abstract: Agro-environment pollution is a key problem existed in the agricultural development in China. Due to long unreasonable and massive application of chemical synthetics such as pesticides, fertilizers, herbicides, and growth regulating agents, improper treatment of agricultural wastes, sewage farming, "three wastes" (waste water, waste air and waste residues) let out above standards, and acid rain, agricultural pollution has been aggravating continuously. All of these make up of the tri-dimensional agricultural pollution throughout hydrosphere, pedosphere, biosphere and air-sphere. For examples, the annual amount of N fertilizers applied in China reached 30% of the world's total and over 15 million tons of pure N was leaked due to overuse and low efficiency. Except for 30%~40% pesticides applied were absorbed by crops, most of them went into water, soil and the atmosphere. The annual amount of sewage in China was about 35 billion tons and 80% of it was directly discharged into rivers and groundwater untreated. The sewage farming area amounted to 7.33% of the national total irrigation area and cultivated lands contaminated by heavy metals exceeded 20 million hm². There were about 3 billion tons of livestock wastes each year and only less than 5% were well treated. The annual yield of straws was about 650 million tons and 2/3 of them were burned or turned into organic pollutants. The emission of CH₄ from agriculture reached 80% of the nation's total and the emission of N₂O from agriculture reached over 90% of the nation's total. Moreover, there were about 400,000 tons of plastic film abandoned in fields each year, making it another source of pollution ("white pollution"). Only the township industrial pollutions might cause more than 10 billion RMB loss in agriculture each year. The interaction of pollutants from all sources made the agro-ecosystem a complicated tri-dimensional compound pollution. At the same time, pollution is spreading from the east part of China to the west along with the step of the development of west China. In conclusion, agricultural pollution has become the key obstacle that restricts the development of agriculture and rural agro-economy.

However, the prevention and cure of agricultural pollutions also existed some key problems, such as paying great attention to the special pollutant treatment, and lack of systematic concepts and technological system for prevention & cure of

基金项目: 国家科技部科研院所技术开发研究专项资金资助项目(2004EG134184)

收稿日期: 2005-02-20; **修订日期:** 2005-03-28

作者简介: 杨修(1961~), 男, 河南省新安县人, 博士, 副研究员, 主要从事生态农业、退化生态系统修复及乡村可持续发展研究。E-mail: yangxiu@cjac.org.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhanglj@mail.caas.net.cn

Foundation item: Special Funds for Technology Development to Scientific Research Institutions, the Ministry of Science and Technology of China (No. 2004EG134184)

Received date: 2005-02-20; **Accepted date:** 2005-03-28

Biography: YANG Xiu, Ph. D., Associate professor, mainly engaged in eco-agriculture degraded ecosystem restoration and rural sustainable development.

agricultural tri-dimension pollution; excessively stressing on economic benefits in some areas so that the unreasonable model of "pollution first, and then treatment" is popular; farmers are generally poor and absent of environment protection, and moreover the prices of high quality agro-products are not well guaranteed, i. e. the price of the agro-product does not match its quality, which goes against the enthusiasm of farmers participating in agro-environment protection.

Based on the ecological theory, the authors put forward that the ecological principles such as eco-balance, structure and function, material circulation and reutilization, carrying capacity threshold, bio-interaction and interlocking are the main theoretical bases for the prevention and cure of agricultural tri-dimension pollution. Furthermore, the authors suggested that eco-engineering planning, eco-engineering technologies, eco-management and adjustment etc. should be considered as the main technological approaches.

Key words: ecology; agricultural tri-dimension pollution; eco-engineering

文章编号:1000-0933(2005)04-0904-06 中图分类号:X501,X506 文献标识码:A

农业环境污染问题已成为制约和困扰我国农业可持续发展的一大障碍。所谓“农业立体污染(agricultural tri-dimension pollution)”就是指由农业内部引发和外部导入,包括农业生产过程中不合理农药和化肥的施用、畜禽粪便排放、农田废弃物处置、耕种措施以及工业废弃物农业利用等,造成农业系统中水体-土壤-生物-大气的立体交叉污染^[1]。由于长期不合理的农药、化肥、除草剂、生长调节剂等化学合成物质的大量施用,农业自身废弃物的不当处置,污水灌溉、“三废”不达标排放、酸雨等,造成我国农业污染不断积累和加重。全国受“三废”和农药严重污染的耕地约占全国耕地总面积的 16%;每年因不合理施肥流失的纯氮超过 1500 万 t;每年污水排放量约 350 亿 t,其中 80% 不经任何处理直接进入江河和地下水^[2,3];污水灌溉面积占全国总灌溉面积的 7.33%^①;全国受重金属污染耕地超过 2000 万 hm²;每年畜禽粪便排放量近 30 亿 t,无害化处理不足 5%^[4];每年有 40 万 t 地膜废弃在农田里,形成对耕地的白色污染^[2]。多方面污染相互交织在一起,构成了农业生态系统复杂的立体复合污染。这些污染物在土壤、水体、大气中残留和积累,并通过物质循环进入作物、畜禽和水生动植物体内,进一步通过食物链对畜禽、人体等构成危害^[5]。农业生态环境和农产品的安全性正遇到前所未有的严峻挑战,污染问题已成为制约农业和农村经济发展的重要因素。我国近年来不断发生的急性发作食物中毒事件,以及畜禽水产品中的抗生素、激素、重金属污染等问题^[6],已引起了人们对食品安全的高度关注和不安。严重的农产品污染也使我国农产品出口受到打击,我国出口的农产品屡屡发生国外拒收、扣留、退货、索赔,撤消合同等事件,造成了巨大的经济损失。许多传统出口产品由于污染物含量超标面临退出国际市场的危险,影响我国的农产品国际贸易。农业污染已成为困扰我国农业发展的重要问题。

保护和改善农业环境是保障我国农业持续、稳定、协调发展的战略措施。我国先后组织开展数百项重大农业污染防治项目,取得显著成效。但由于农业环境污染的复杂性,目前对水体、土壤和大气污染的单方面研究已经远远不能有效解决复杂的农业污染问题,必须应用系统的理论和技术体系,特别是应用生态学理论和技术,以科学的农业发展观和循环经济的发展思路,采取水体-土壤-生物-大气立体化的生态系统综合管理和污染防治对策^[3],才能治根治本,才能避免“头痛医头,脚痛医脚”,才是从根本上实现我国农业环境健康、食品安全和可持续发展目标的有效途径。

1 我国农业污染的主要特点

1.1 污染严重,危害巨大

半个世纪以来,我国农业取得了举世瞩目的辉煌成就,实现了农产品供给由长期短缺到总量基本平衡、丰年有余的历史性转变,但同时也付出了沉重的资源环境代价。近年来,我国氮肥的年使用量达到全世界的近 30%,由于施用过量、利用率低,每年有 1500 万 t 的纯氮流失;大量施用的农药除 30%~40% 被作物吸收外,大部分进入了水体、土壤及大气环境中^[7];每年农业产出 6.5 亿 t 秸秆,约有 2/3 被焚烧或变成有机污染物^[8];受乡镇工业污染造成的农业经济损失每年均在 100 多亿元以上;农业源排放 CH₄ 占我国 CH₄ 排放总量的 80%,排放 N₂O 占我国 N₂O 排放总量的 90% 以上^[3]等等。这些污染物不仅危及某个“点”和“面”,而且还通过时空迁移、转化、交叉、镶嵌等过程,产生新的污染,甚至形成循环污染,在更长时间内,对更大的生态系统发生危害^[8],严重危及我国食品安全、农业环境安全、公民健康和农业的可持续发展。

1.2 由单一污染向复合污染发展

随着工农业生产的发展,农用化学品种类越来越多,目前普遍使用的农用化学品有 10 万种之多^[9],污染物之间的共存和交互作用,构成了农业生态系统复合污染的“源泉”。目前我国受复合污染的农田面积不断扩大,尤其在农业发达地区。农业的复合污染增加了污染治理的难度,传统的单项治理技术已很难有效解决农业复合污染存在的问题,其治理需要新的思路。

① 朱益玲. 2004. 四大污染源威胁中国农村公共卫生安全. 中国新闻网: <http://www.qianlong.com/>

1.3 从东部向西部扩展蔓延

西部大开发使某些污染严重的企业西迁、污染转移,西部自身发展中资源的不合理开发和废弃物的不当处置,农业投入加大、农用化学品使用量增加,大气中污染物从东部向西部的远距离扩散等等,使我国农业污染有向西部扩展蔓延的趋势。

1.4 农业污染是具有立体特性的污染

我国农村过量和不合理地使用化学品,未经处理的畜禽粪便、农业废弃物、农村生活垃圾、废水、以及工业对农业的污染等,是造成农业污染的直接因素。污染物的迁移和转化,从而引发土壤污染、地下水污染、生物污染,挥发性污染物向大气的排放造成大气污染(如施用的氮肥中约有一半挥发,以 N_2O 气体形式逸失到空气里—— N_2O 是对全球气候变化产生影响的温室气体之一),从而形成了“从地下到空中”的立体污染。危害面更广,治理难度更大。

2 我国农业污染防治中存在的主要问题

长期以来,国家在农业污染治理上投入了大量资金和项目,开展了重点地区污染治理研究、示范和推广工作,取得很大成绩,但仍存在以下主要问题:

2.1 存在“先污染,后治理”误区

在我国以经济发展为中心的方针指导下,一些地区在农业发展上过分强调经济效益,而不惜牺牲环境代价。从而走出了一条“先发展经济牺牲环境,后治理”的发展模式,这是一种极端不合理的发展模式,治理的费用会更大,得不偿失。而且末端治理往往不能从根本上消除污染,在很大程度上是污染物在不同介质中的转移,甚至形成治不胜治的二次污染^[10]。防治污染必须转变思想,从源头控制上下功夫,走发展经济和保护环境“双赢”模式。

2.2 缺乏污染防治的系统观念和技术体系

农业污染是复杂的复合污染,其防治是一项复杂的系统工程。以往的单项治理技术虽然在解决特定污染方面具有一定作用,但面临当今农业复杂污染的局面已经远远不能有效解决问题。必须充分理解农业污染是基于水体-土壤-生物-大气系统的农业立体污染的现实,树立农业生态系统整体性和系统性观念,以生态学理论为指导,以生态系统管理与调控为基础,树立农业生态系统“整体-协调-循环-再生”的生态农业理念,建立农业立体污染防治的生态技术体系,从源头和全过程进行污染控制并结合污染生态系统修复技术,使农业生态系统重新走上健康发展道路。

2.3 农民环保意识薄弱,农产品质量价格不匹配

我国的农民文化水平普遍较低,环保意识薄弱。加上农民普遍贫穷,经济利益是他们追求的第一性利益。目前,我国农产品市场还没有真正使优质环保农产品的价格得到保护,不利于调动农民参与环保的积极性。农民是防治农业污染的“主力军”,保护农民利益,提高优质环保型农产品价格,是提高农民环保意识、推进农业污染防治的重要举措。只有这样,才能最终实现农业生产发展、农民增收和环境保护的多赢效果。

3 生态学理论——防治农业立体污染的理论基础

农业是一个复杂的生态大系统,服从生态学规律和遵循生态学原理。按照生态学的观点,农业内部各组分间只有互相协调,系统才能形成良性循环,否则将失去平衡。生态学的许多原理,都是农业立体污染防治的重要理论基础,如生态平衡原理、结构决定功能原理、物质循环与能量流动原理、相生相克原理、生态位原理和限制因子原理等。生态学以其丰富的思想内涵为我们认识农业复杂大系统、顺应自然、寻求农业健康、和谐、可持续发展提供了理论指导与方法论基础。

3.1 生态平衡原理

所谓生态平衡就是生态系统中的生物与环境、生物与生物之间相互适应所维持着的一种协调状态。农业生态系统是开放的人工生态系统,遵循生态平衡原理。农业立体污染是农业生产过程中不合理(过量)使用化学品及废弃物的不当排放,其数量超过了农业生态系统的自净化能力,造成农业生态环境的物理、化学、生物特性发生了人类不希望的变化,从而影响农业生产的正常进行,甚至危害人类健康和生存。农业立体污染是生态失衡的具体表现,是人为因素造成的系统生态平衡失调现象,是人类不合理经营的必然结果。这不是天灾,而是人祸。农业立体污染防治的最终目标是调节好农业系统及其支持环境之间的相互关系,最为重要的是重新建立农业生态系统的平衡,实现系统内部的协调,使系统能够良好运行。通过合理设计和调控,实现农业系统的有序与和谐,从而达到发展经济与保护环境的双重目标^[11]。增强生态平衡的途径有:增加系统组分的多样性,食物链结构的合理性,能量和物质输入输出的平衡性,人为调控措施等等。

3.2 生态系统的结构决定功能原理

生态系统结构是指生态系统构成要素的组成、数量及其在时间、空间上的分布和能量、物质转移循环的途径。系统的结构与功能密不可分。结构直接关系着生态系统的能量流动和物质的转化循环特点、水平和效率,以及生态系统抵抗外部干扰和内部变化而保持系统稳定的能力。一个系统的结构是该系统功能的基础,不同的结构有不同的功能,结构决定功能。最佳系统结构能最大限度地适应和利用环境资源,提高其转化效率及生产力。合理的农业生态结构不应该是单一的粮食作物生产系统,而应该

是农林牧副渔多种组分构成的、食物链长并联结成网的、多种物质循环和能量转化渠道的多样性结构。因此,进行农业立体污染防治必须从系统的观点出发,建立合理的农业生态系统结构(合理的平面结构、垂直结构、时间结构、营养结构等),以提高农业生态系统自身的“弹性”。如南方的基塘系统(如桑基鱼塘:桑叶养蚕,蚕粪喂鱼,塘泥肥桑)和北方的“四位一体”(把沼气池、猪禽舍、厕所、太阳能温室融为一体)的生态农业模式都是典型的良性农业生态系统结构,既发挥了高的多层次物质生产功能,又实现了物质的良性循环。

3.3 物质循环与再生利用原理

物质的循环与再生利用是生态学的一个基本思想,同时也是生态控制论的基本理论^[12]和生态工程设计所要遵循的基本原则之一^[11]。农业生态系统是一个循环的生态系统,其物质循环的每一个环节既是给予者,也是接纳者,循环往复,周而复始。农业立体污染,从循环论观点看,是废弃物大量产生而干扰正常循环途径,系统循环中无法消纳转化大量产生的废弃物,循环失调与失衡,最终造成了污染和环境破坏^[13]。从生态学的角度分析,农业废弃物是十分宝贵的资源、能源和肥源,完全可以通过不同途径转化为价值很高的饲料、肥料和燃料,甚至工业原料,与此同时,农业废弃物也是农业物质循环的最重要载体,是农业可持续发展的物质保障。所以,农业立体污染防治,必须遵循物质循环利用原则,采取适当措施,调节系统循环运转的各个环节及途径,协调这些环节输入、输出的物质量(如控制化肥、农药用量等),同时,把农业自身的废弃物通过资源化利用“变废为宝”,达到农业生态系统的良性循环。

3.4 负载定额原理

生态系统的平衡和稳定有赖于系统的自我调节能力,而系统的自我调节能力有一定的限度,不能超越生态阈值。农业生态系统具有一定限度的负载能力,它对来自外界的干扰也具有一定的忍耐极限,当系统受到外界压力或冲击超过其忍耐力或阈值时,系统的自我调节能力随之降低,以至消失,此时生态平衡受到破坏,系统趋向衰退、损伤、破坏以至崩溃^[14]。农业生态系统对污染因子具有一定的自净能力,但污染物超过一定数量时,污染物就会残存于系统之中以致于污染系统及其产品。这个原理告诉我们,在农业生产中,化肥、农药等化学品的施用不应该超出系统的生态承载阈值,需要科学合理地调控肥药等化学品的使用量,才能保证农业系统的良性循环。

3.5 相生相克原理

在生态系统中,每一种生物都是生态系统的一员,各自除了有着自己的相应位置和发挥着它的独特作用外,相互之间有着不可分离的千丝万缕联系。各物种之间相互依赖,彼此制约,相生相克,协同进化。如昆虫与天敌发生发展的消长关系就是相生相克的实例。在农业经营中,有害昆虫往往对农药产生抗药性,是因为其适应性突变所致,可以视为某种协同进化。而生物防治有害昆虫时不同,天敌与害虫只会建立一种相生相克的动态数量平衡关系,而不会导致突变^[15]。利用生物相生相克原理进行农业病虫害的生物防治是提高我国农产品质量安全的重要途径。

4 生态工程——解决农业立体污染的有效途径

生态工程是应用生态系统中物种共存与物质循环再生原理,结构与功能协调原则,结合系统分析的最优化方法,设计的促进多层次多级利用物质的生产工艺系统。生态工程的目标就是在促进生态系统良性循环的前提下,充分发挥资源的生产潜力,防治环境污染,达到经济效益和生态效益同步发展^[16]。生态工程能够利用生态系统无废弃物和物质循环等特点来解决污染问题,它主要包括生态工程设计、生态工程技术、生态管理与调控等^[11]。

4.1 生态工程设计

生态工程设计的实质就是运用生态学、生态经济学原理及其他相关科学知识与方法,从农业生态系统功能的完整性、资源环境特点和社会经济条件出发,调控农业系统各组分的生态关系,使之达到资源利用、环境保护与经济增长的良性循环,这正是科学发展观、循环经济思想和可持续发展的本质所在。生态工程设计要求按照农业生态系统整体、协调、循环、再生、因地制宜原理,以农业生态系统自组织、自我调节功能为基础,在少量人工辅助能的帮助下,充分利用农业生态系统功能的过程。即按照物质在农业生态系统中的迁移、转化、流动与循环规律,优化组合各种技术,使之相互联系成为一个有机系统,达到多层次多目标分级利用物质,促进良性循环,同步增加与兼收经济、生态和社会效益。生态工程的创新性不在于其组成的各单项技术,而在于因地、因类制宜的优化组合。优化后的生产技术系统可变废为宝,化害为利,多层次分级利用产品、副产品、废物,促进良性循环。在农业生态系统中,通过有机组合,促进系统内空间、时间及所有生产过程的产品、副产品及废物循环,不仅可以防止污染,而且可以修复受污染的生态系统。

4.2 生态工程技术

生态工程技术是生态工程的重要环节,是利用生态系统原理和生态设计原则,如物质多层次分级利用原理、种群匹配原理等,从生产原料开始,系统全面地对生产全过程进行合理设计,达到既有可观经济效益和社会效益,又将其对环境的破坏作用维持在最小的水平,甚至根本杜绝对环境的破坏^[13]。生态工程技术是物质循环利用技术、污染治理技术、废物资源化利用技术、生

物控制技术、生态恢复与重建技术及生态学原理指导下的各项技术的有机组合,为农业立体污染防治提供了技术支持。我国目前应用较多的生态工程技术主要包括:高效立体种养技术、节水农业技术、化肥高效利用与控制技术、农业微生物应用技术、生物防治及生物制剂应用技术、温室与庭院利用技术、生物养地技术、农村污水处理与资源化利用技术、农业固体废弃物处理与资源化利用技术、农村再生能源技术等^[17,11]。充分利用生态学原理,建立一系列行之有效的农业生态工程技术体系,依靠生态系统自我调节能力来维持或恢复良好生态环境,是防治农业立体污染的重要途径。

4.3 生态管理与调控

农业发展过程中所出现的环境污染问题,主要是由于生产过程中管理与调控不善造成的。生态管理与调控对于农业立体污染防治具有特别重要的意义。农业的生态管理,就是以不断改善农业生态环境和促进农业生产水平持续提高为目的,以特定的生态学原则为指导,以尽可能发挥农业内部的资源潜力为基础而形成的一系列农业管理措施。农业的生态管理和调控所遵循的主要生态原则包括:生物与环境相适应原则、生物与生物间的竞争与互利原则、生态系统结构和物种多样性原则、生态系统物质和能量多层次多途径转化和利用原则等^[18]。农业生态管理与调控的主要技术包括:生产过程的生态化管理技术,水肥高效利用与时量调控技术,生态优化植保技术与农药时量调控,农业微生物应用技术等。

5 结语

当代我国农业生产正由数量向质量为主要目标转变,多方压力使我国农业发展面临严峻挑战。目前存在的农业立体污染问题已成为我国农业可持续发展的重要制约因素,并逐渐成为危及人类健康和社会发展的重大问题,到了非治不可的地步。生态学以其博大精深的思想内涵为我们提供了解决这一问题的理论和方法。可以预见,随着我国农业立体污染问题的日益突出,生态学理论和技术必将成为我国未来优质农业生产和农业可持续发展的重要理论依托和技术支撑。

References:

- [1] Zhang L J, Cai D X, Wang X B, *et al.* A study of agricultural tri-dimension pollution and discussion on its control. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, **38**(2):350~357.
- [2] Liu B, Zhang Z G and Huo G. *China farming, countryside and peasantry issue report*. Beijing: China Development Press, 2004.
- [3] Zhang L J, Dong H M, Cai D X, *et al.* Agricultural tri-dimension pollution should not be neglected. *Farmer's Daily*, 2004-12-30.
- [4] Zhang R W. Brief introduction to eco-farming technologies. In: Li W H ed. *Ecological Agriculture*. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. 303~311.
- [5] Liu L F. *Guide book for green food*. Beijing: Enterprise Management Press, 2000.
- [6] Zhu F L, Shi J Y and Chen H P. The existing status, causations and prevention strategies of agro-environmental and product pollution. *Agricultural science and technology management*, 2001, (4):18~21.
- [7] Zhang L, Chen S P, Huang X H, *et al.* The present situation of agro-environment pollution in Guangzhou and the countermeasures. *Ecology and Environment*, 2004, **13**(1): 142~143.
- [8] Zhang L J, Hou X Y and Yang Z L. Several current important issues in prevention and curing against agricultural tri-dimension pollution in China. *Review of China Agricultural Science and Technology*, 2005, **7**(1):3~6.
- [9] Zhou Q X and Sun T H. Pollution ecology. In: Li W H and Zhao J Z eds. *Review and perspectives of ecological research*. Beijing: Meteorology Press, 2004. 567~578.
- [10] Liu J C. Some new reflections on the ways to control pollution after China's entry into WTO. *Journal of Suzhou Institute of urban construction and environmental protection*, 2002, **4**(2):1~4,13.
- [11] Min Q W and Ouyang Z Y. An ecological thinking on sustainable development. *Rural Eco-environment*, 1998, **14**(2):40~44.
- [12] Ma S J and Wang R S. *Compound ecosystem and sustainable development*. Beijing: Science Press, 1993. 230~239.
- [13] Qin P, An S Q and Yan J S. *Ecological engineering*. Nanjing: Nanjing University Press, 1998.
- [14] Zhang Y, Sun T S and Han G M. Ecological thought of some essential issues on land resources. *Soil and water conservation science and technology in Shanxi*, 2004, (1):17~20.
- [15] Cheng X. The basic principles and eco-engineering methodology of modern eco-agriculture. In: Lu M ed. *Modern eco-agriculture*. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2002. 11~30.
- [16] Ma S J and Wang R S. Social-economic-natural compound ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 1984, **4**(1):1~9.
- [17] Li W H. *Ecological Agriculture—the theory and practice of sustainable development in China*. Beijing: Chemical Industry Press, 2003. 303~311.
- [18] Wen D Z. Ecological management of agricultural practice. *Journal of ecology*, 1990, **9**(3):16~20.

参考文献:

- [1] 章力建,蔡典雄,王小彬,等. 农业立体污染及其防治研究的探讨. 中国农业科学,2005,38(2):350~357.
- [2] 刘斌,张兆刚,霍功. 中国三农问题报告. 北京:中国发展出版社,2004.
- [3] 章力建,董红敏,蔡典雄,等. 2004.“农业立体污染”不容忽视. 农民日报,2004-12-30.
- [4] 张壬午. 生态农业技术概论. 见:李文华主编. 生态农业——中国可持续发展的理论与实践. 北京:化学工业出版社,2003. 303~311.
- [5] 刘连馥. 绿色食品导论. 北京:企业管理出版社,2000.
- [6] 朱方林,施金元,陈和平. 农业环境和农产品污染现状、原因及预防对策. 农业科技管理,2001,(4):18~21.
- [7] 张舜,陈绍平,黄小红,等. 广州市农业环境污染及其对策. 生态环境,2004,13(1):142~143.
- [8] 章力建,侯向阳,杨正礼. 当前我国农业立体污染防治研究的若干重要问题. 中国农业科技导报,2005,7(1):3~6.
- [9] 周启星,孙铁珩. 污染生态学. 见:李文华、赵景柱主编. 生态学研究回顾与展望. 北京:气象出版社,2004. 567~578.
- [10] 刘金春. 入世后污染防治模式的新思考. 苏州城市建设环境保护学院学报,2002,4(2):1~4,13.
- [11] 闵庆文,欧阳志云. 可持续发展的生态学思考. 农村生态环境,1998,14(2):40~44.
- [12] 马世骏,王如松. 复合生态系统与可持续发展. 北京:科学出版社,1993. 230~239.
- [13] 钦佩,安树青,颜京松. 生态工程学. 南京:南京大学出版社,1998.
- [14] 张勇,孙泰森,韩桂梅,等. 土地资源若干基本问题及其生态思考. 山西水土保持科技,2004,(1):17~20.
- [15] 程序. 现代生态农业的基本原理和生态工程方法论. 见:路明主编. 现代生态农业. 北京:中国农业出版社,2002. 11~30.
- [16] 马世骏,王如松. 社会-经济-自然复合生态系统. 生态学报,1984,4(1):1~9.
- [17] 李文华. 生态农业——中国可持续发展的理论与实践. 北京:化学工业出版社,2003.
- [18] 闻大中. 农业生产的生态管理. 生态学杂志,1990,9(3):16~20.