

我国农业面源污染现状及其对策研究

李自林

(安康市农村能源工作站, 陕西 安康 725000)

摘要: 随着我国经济的快速发展, 农业面源污染已成为我国环境污染的主要原因之一。农业面源污染制约农业可持续发展, 已成为亟待解决的环境问题。目前, 造成农业面源污染的原因主要是化肥农药的过量施用和流失, 畜禽和水产养殖业污染, 水土流失, 作物秸秆大量废弃以及农膜污染。农业面源污染具有分散性、广泛性、随机性等特征, 对土壤、水体、大气造成负面影响。本文针对农业面源污染问题, 从生物、物理、化学以及农业管理等角度提出了相应的防治对策及措施, 以期有效治理农业面源污染, 保护环境, 促进农业可持续发展。

关键词: 面源污染; 污染现状; 污染防治

中图分类号: X501 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2013)05-0207-06

Review of the current situation and control countermeasures in agricultural non-point source pollution control in China

LI Zi-lin

(Rural Energy Workstation of Ankang City, Ankang, Shaanxi 725000, China)

Abstract: Agricultural non-point source pollution is the main factor to the environmental pollution in rural China now with the development of economy in China. It has gained the attention of the government and scientist in the country, and also is the main factor to restrain the agricultural sustainable development. At present, the reasons are list as follow: chemical fertilizer and pesticide and excessive application; Livestock and aquatic products pollution; soil erosion; a majority of strews abandoned; agricultural plastic film pollution. It has the characteristics of dispensability, universality and randomness, which have negative effects on soil, water and air. In terms of biological chemistry and physics and agricultural management, this paper proposes countermeasures to control agricultural non - point source pollution, protect the environment, and promote the sustainable development of agriculture.

Keywords: non-point source pollution; current situation; causes; control counter measures

面源污染又称为非点源污染, 非点源是指时空上无法定点监测的, 与大气、水文、土壤、植被、土质、地貌、地形等环境条件和人类活动密切相关的, 直接对环境构成污染的污染物来源。与点源污染相比, 面源污染由于比较分散而更难治理。农业面源污染是非点源污染的主要形式之一, 指人们从事农业生产活动时产生的非点源污染物, 包括化肥、农药、农膜、畜禽粪便以及其他污染物, 这些污染物通过降水或人工灌溉等自然条件以及人为活动, 经农田排水、地下渗漏、农田地表流等引起的对水层、湖泊、河岸

等生态系统的污染^[1]。有学者^[2]认为农业面源污染是指由农业生产活动引起时空上(沉淀物、化肥、农药、病菌等)的变化, 这些污染物在各种应力作用下以低浓度、大范围的形式缓慢地从土壤圈向水圈、大气圈扩散, 对大气、水、土壤造成的污染。农业面源污染已经成为我国农村生态环境恶化的主要原因之一, 是目前中国农村环境质量下降的主要形式^[3], 严重制约了农业生态系统和农村经济环境的可持续发展。由于农业面源污染具有随机性大、分布范围广泛、形成机理复杂、潜伏性强、发生滞后和管理控制

难度大的特点^[4],使其近年来成为国内环境领域普遍关注的一个重要问题。加强对其研究、治理和管理,促使农业面源污染得到有效控制,从而实现农业的可持续发展,推动农村经济社会又好又快发展,必须有效防治农业面源污染^[5]。

1 农业面源污染的成因

1.1 化肥农药的过量施用和流失

农业面源污染根本原因在于粮食安全压力大,粮食供给不足,从而导致农用化学品的过量使用。农业化学物质的大量施用,增加了面源污染物流失的机率。在农业生产上化肥用量大幅提高,特别是氮素投入过量现象严重,统计资料显示,我国化肥施用量达到 $261 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,居世界第 1 位^[3]。(而由于我国施肥技术落后、肥料和灌溉水利用率低,使得氮素损失严重。氮的损失导致农业生产中增加了氮的使用量,从而形成了恶性循环的现象。

同时,不正确的使用化肥物质,使得化肥施用比例失调,偏施、重施单一化肥,N 的比重过大,N、P、K 养分的比例不协调等;另一方面,化肥施用比例过高,有机肥比重较少,导致土壤物理性状变差、团粒结构遭到破坏、土壤板结、保水保肥能力降低,从而加大了养分的地表径流,养分流失加剧^[6]。据太湖农科所实验结果表明:在同等降雨强度下,小麦前期施氮量在 $112.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,被雨水淋洗损失的总氮为施氮总量的 15% 左右;当施氮量提高到 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,淋洗损失高达 30% 以上,太湖流域每公顷耕地每年就会有 6.4 kg 农药流失^[7]。

化肥过量使用与流失,不仅导致农作物中硝酸盐富集,同时还加重病虫害,引起农药用量增加,以致农药残留量增加^[8],因此大量的农药化肥流失成为首当其冲的农业污染源。通常使用的农药中,有 90% 可以在土壤中形成残留,其残留量一般占使用量的 20% ~ 70%^[9-10],农药通过挥发、径流、淋溶及吸附途径进而扩大污染面积。2011 年底,我国化学农药产量达 264.87 万 t,除草剂原药产量为 117.5 万 t,杀虫剂原药产量为 70.9 万 t,杀菌剂原药的产量为 15 万 t,这 3 项高残高毒农药占到化学农药原产量的 76.79%^[11]。

由于在施肥时间、方法以及施肥量上的不合理性^[12],农业集约化水平较低,化肥的利用率低,氮肥的利用率仅为 30% ~ 35%,磷肥为 10% ~ 20%,钾

肥为 35% ~ 50%,农药的利用率也不足 30%^[6]。这些直接形成了农业面源污染的主要来源。

1.2 畜禽和水产养殖业污染

随着规模化养殖业的发展,大量畜禽粪便的产生成为农业面源污染的主要污染源,畜禽粪便中不仅含有丰富的营养物质,也含有一些重金属以及抗生素的残留,如果不适当处理,将会引起土壤-水体污染。预计 2015 年畜禽粪便含量将达到 60 亿 t,而全国 90% 以上的畜禽养殖场没有污水处理系统,畜禽粪便直接排入地表水,少量作为有机肥通过农田再利用^[12]。据美国环保组织 1998 年的一份报告指出:造成江河水质未能改善甚至恶化的头号污染源为两岸养殖业及其附属产业。据实测:一头猪的排泄量约为 $12 \text{ kg} \cdot \text{d}^{-1}$,其中,有机物、N、P 的含量分别为 25%、0.45% 和 0.19%;鸡、鸭等禽类粪便中的 N、P 含量更高。对于水产养殖业,这种污染的来源主要包括鱼类粪便、饲料沉淀。在 1 kg 鱼所生产的排泄物中,含 N 0.08 kg、含 P 0.0184 kg^[7]。这些污染物不仅使水体富营养化,而且在养殖业发达地区,地面水的感观颜色已呈黄褐色,基本失去了人畜饮用功能。

由于养殖业的集约化、规模化,大量的畜禽粪便造成我国土地负荷压力大,达到环境胁迫水平,部分地区甚至产生严重环境压力,大量畜禽粪便不仅造成养殖场周围环境污染,同时污染水体和大气,加剧区域环境矛盾。

1.3 水土流失

据水利部 2005 年 12 月 26 日发布的《2004 年中国水土保持公报》显示,2004 年全国土壤侵蚀量达 16.22 亿 t,相当于从 12.5 万 km^2 的土地上流失掉 1 cm 厚的表层土壤。其中尤以长江、黄河的土壤侵蚀量最多,分别达到 9.32 亿 t 和 4.91 亿 t。调查表明,全国水土流失面广、量大,不论山区、丘陵区、风沙区还是农村、城市、沿海地区都存在不同程度的水土流失问题^[12]。

由于农业生产结构的不合理,违背了自然经济规则,破坏了生态系统,加之在大量砍伐下,植被破坏,造成了严重的水土流失。水土流失不仅导致土壤肥力下降、养分损失,而且还造成水体富营养化和水质恶化^[13],李温雯^[14]等人考察了因水土流失对滇池水体造成污染,以及泥沙携带的大量氮磷等污染物进入湖区后,可使水体蓝藻暴发,造成水质富营

养化,很大程度上污染了滇池水体。

1.4 作物秸秆大量废弃

随着耕作制度和饲养方式变化后,农作物秸秆的去向仅限于两个方面:一是作为农户燃料,目前已不足农作物秸秆总量的30%;二是直接返田。扣除燃料和返田、消耗,尚有一半左右的秸秆被废弃或焚烧^[7]。据统计,我国每年产出秸秆 6.5×10^8 t左右,也就是说,近 3.2×10^8 t左右秸秆可能会引起污染环境^[15]。农村地区每年收获季节,都会有大量的秸秆堆放在田间地头、路边树旁,除了一部分作饲料或燃料运回家,其余大部分秸秆采用就地集中焚烧的办法处理,不但浪费了生物质资源,在焚烧过程中,还产生滚滚浓烟,生成了极易形成酸雨的二氧化硫,严重破坏了大气环境,直接威胁着人们的健康。

1.5 农膜污染

我国是一个地膜覆盖栽培大国,截至2005年,我国地膜覆盖面积已经达到了350万 hm^2 ,地膜使用量达到95.9万t,地膜使用已经覆盖新疆、山东、山西、内蒙古、黑龙江、陕西、甘肃等高寒冷凉、干旱及半干旱地区的40多种农作物,并呈现持续增长的态势^[16]。

农业白色污染甚为严重,地膜残留量非常高,且不易降解,再生利用率低。使用过的农膜若不加以清除,会对环境造成污染,残存在土壤中的农膜碎片会改变或切断土壤孔隙连续性,影响水分下渗,降低土壤抗旱能力,导致土壤次生盐碱化;残膜在土壤中阻止根系串通,影响作物正常吸收水分和养分,影响肥效,致使作物产量下降;残膜还会对农村环境景观造成“视觉污染”。同时,残膜与牧草收在一起,会影响牲畜消化系统,甚至死亡。

2 农业面源污染现状

在点源与非点源污染贡献中,非点源污染贡献率较高,并呈上升趋势。农业面源污染是导致水体污染以及土壤污染的主要因素,三峡大坝库区1990年统计资料表明,90%的悬浮物来自农田径流,N、P大部分来源于农田径流;北方地区地下水污染严重。在21世纪,面对巨大的人口压力,我国农业土地资源的开发已接近超强度利用,化肥农药的施用成为提高土地产出水平的重要途径。因此,面源污染控制关系到农业及区域社会经济的可持续发展。2003年的调查结果显示^[17],由农业面源污染造成约40%的河流、湖泊水质不合格,农业面源污染是河口污染

的重要污染源之一,同时也是造成水污染和湿地退化的主要原因。

2.1 水体的污染

农业面源污染是水体污染物质的主要来源。中国地下水近50%被农业面源所污染,湖泊的氮磷50%以上来自于农业面源污染。随降水径流和渗漏排出农田的氮素中有20%~25%是当季施用的氮素化肥^[18],就地表水(湖泊等)硝态氮的污染而论,氮素化肥占50%以上^[19]。

地下水中的硝酸盐含量增加,主要是施氮过量引起的。硝态氮不仅来自肥料也来自土壤有机质的分解。因此不合理使用氮肥,无论是无机肥还是有机肥,都会产生硝态氮流失,造成水体污染^[20]。

太湖和淮河流域,农田排水中的氮磷已成为该地区水体富营养化的主要原因^[21]。1995年,进入巢湖的污染负荷中,69.54%的总氮和51.71%的总磷来自于面源污染,在进入滇池外海的总氮和总磷负荷中,农业面源污染分别占53%和42%,太湖流域总氮的60%和总磷的30%来自于面源污染,大部分位于城区上游的水库湖泊,其面源污染比例均超过点源污染^[22]。

2.2 土壤的污染

化学肥料的大量使用也造成了诸如土壤重金属和有毒元素的增加,从而引起微生物活性变化、土壤养分失调、酸化加剧等环境污染问题^[23]。

施肥不当或过量施用对土壤环境产生不利的影响,主要表现在以下几方面:对土壤中硝酸盐累积的影响;对土壤肥力和性质的影响,会改变原有土壤的结构和特性,造成土壤板结,有机质减少;同时,化肥中常常含有重金属、有毒有机化合物以及放射性物质等污染物,这些物质施入土壤后会发生一定程度的积累,造成土壤的潜在危害。肥料中铬、铅、砷元素含量较高,它们在土壤—植物系统的积累、迁移和转化中进入食物链,会影响到人体健康^[24]。

喷施于作物叶片上的农药约有50%可进入土壤,施于土壤中的农药更是污染的直接来源,同时农药还会通过土壤进入植物和动物体内,并在体内组织中富集。

1995年沈阳发生氯磺隆污染水稻的重大事故,造成533.4 hm^2 稻田受害,其中267 hm^2 绝收。一些长期使用长残效除草剂的田块还出现了除草剂残留量累积的现象,严重影响了后茬作物的种植,形成了

“癌症田”的现象^[25]。

农膜不仅影响土壤通透性,而且影响土壤质量,由于土壤中残膜碎片改变或切断土壤孔隙连续性,致使重力水移动时产生较大的阻力,重力水向下移动较为缓慢,从而使水分渗透量因农膜残留量增加而减少,土壤含水量也随之下落,削弱了耕地的抗旱能力。甚至导致地下水难下渗,引起土壤次生盐碱化等严重后果。另外,残农膜影响土壤物理性状,抑制作物生长发育^[26]。

2.3 大气的污染

近年来由于全球化学氮肥的投入增加,农田 N_2O 排放量也随之增加。化肥氮的大气迁移不仅是农业中氮素营养的损失,它对环境的影响也不可忽视。目前中国化学氮肥的使用量已占世界化学氮肥的 1/4 以上,且研究表明 N_2O 的排放量与化学氮肥的施用量紧密相关。中国的水稻种植面积占世界水稻面积的 1/5,同时水田又是全球最重要的 CH_4 源之一^[19]。

化肥对大气环境的影响主要集中在氮肥上,氮肥的气态损失主要包括氨挥发、硝化和反硝化,大气中 CO_2 、 CH_4 和 N_2O 是重要的温室气体,它们对全球变暖的贡献率分别是 60%、15% 和 5%,这些温室气体每年以 0.5%、1.1% 和 0.3% 的速度增加,这主要是人类活动的结果,其中农业生产的贡献占相当大的比例。据估算,大气中 20% 的 CO_2 、70% 的 CH_4 和 90% 的 N_2O 的来源于农业活动和土地利用方式的转换等过程^[24]。

施肥除了与温室效应有关外,对酸雨及臭氧层破坏有重要的影响,氮的气态氧化物包括 NO 、 NO_2 、 N_2O 、 N_2O_5 和 N_2O_4 等,都有可能由化学氮肥在农田生态系统中通过生物化学作用而产生,它们与 SO_2 一样也能形成酸雨,对水生生态系统和陆地生态系统造成危害^[24]。

3 农业面源污染的特点

3.1 分散性

与点源污染的集中排放不同,农业面源污染排放是分散的。这种分散性主要表现在:氮、磷等营养物质并非从单一或少数几个固定的排污口流入水体,而是从许多并不固定的排污口流出。在我国,这种分散性由于小规模农户的普遍性以及单个农户拥有农田的分散而显得更为突出。分散性导致在现有

技术水平下对农业面源污染物排放的监测成本很高。

3.2 随机性

农业面源污染不仅取决于可变要素投入(化肥、农药等)多少、土地利用情况以及管理实践(耕作技术),还受到一些随机因素(如降雨、刮风等)的影响。这些随机因素打破了可变要素投入与污染物排放量之间、污染物排放量与水环境质量之间的稳定关系,使得农业面源污染排放的检测结果缺乏稳定性^[27]。

3.3 广泛性

由于面源污染涉及多个污染者,在给定的区域内它们的排放是相互交叉的。且不同的地理、气象、水文条件对污染物的迁移转化影响很大。

4 农业面源污染的防治技术

4.1 生物控制技术

生物控制技术主要是通过自然界生物之间的作用对农业面源污染长期有效的一种控制和去除的技术。在治理水体富营养化、防治害虫等方面应用广泛。

4.1.1 植物绿篱 植物绿篱能改变坡面的微地形,可以有效地对坡面径流进行拦挡,阻滞径流中的悬浮物和推移物质,也增加了地表径流的入渗,因此减少了坡面中的氮磷的流失。植物篱对不同粒径的土壤颗粒的流失均有控制效果,但对粒径较大的颗粒的流失控制效果更明显,植物绿篱对土壤全氮、碱解氮、全磷、速效磷、速效钾均有良好的拦截效果^[28]。

4.1.2 缓冲带及人工湿地 由漂浮植物池-沉水植物池-挺水植物池以及草滤带组成的人工湿地,对氮磷、泥沙以及有机物有较好的吸收-吸附以及物理沉降作用,可以控制农田径流污染,具有工艺简洁,运行管理方便,生态效益显著,投资少等优点,是控制农业面源污染的实用工程技术^[29-30],缓冲带对氮磷具有良好的拦截效果,氮磷拦截率最高分别可达 91%、92%。研究表明,草带对颗粒态氮磷拦截效果要好于对水溶性氮磷^[31]。目前,人工湿地技术在国际和国内的应用方兴未艾,已应用到许多城市的点源污染和重要水源区的面源污染。在有效的环境容量下,能对养分含量较高的径流起到明显的净化作用。

4.1.3 人工复合生态床 人工复合生态床是选择最佳的植物栽种方式,并在床体内部填充多孔的、有

较大比表面积的介质,以改善湿地的水力学性能,可为微生物提供更大的附着面积,同时增强系统对污染物,尤其是对氮、磷的去除能力。该方法在人工湿地形式的基础上提高了系统负荷,减少了占地面积,节约了填料费用。研究表明,在高水力负荷的条件下,深度为60 cm的床体对COD、总氮、氨氮和总磷的去除率分别为66.4%、57.7%、78.7%和63.2%^[32]。表明人工复合生态床系统在处理农业生活污水中具有广阔的应用前景。

4.1.4 氧化塘技术 氧化塘是最简单易行的氮磷污染处理措施,易于推广,可利用天然池塘,也可以用人工修造的浅水池塘,塘深约0.5 m~1.5 m。农田排水或径流水进入氧化塘后,固体物沉于池底,有机物进行兼氧分解,产生沼气、二氧化碳和氨,前者散入空气,后者溶于水中。溶于水中或悬浮水中的有机物进行好气和兼性分解,放出二氧化碳和氨,供藻类生长。藻类进行光合作用放氧,为微生物利用以分解污水中的有机物质。通过上述一系列作用,达到自然净化的目的,在我国氧化塘技术应用于农田氮磷污染的防治具有较好的推广价值。

4.2 物理-化学防治技术

4.2.1 土壤改良剂技术 高分子聚合物聚丙烯酰胺作为土壤结构改良剂很早就被人发现,目前应用于农田氮磷污染水土保持领域也渐成为一个热点。研究发现采用高分子作为土壤改良剂能改善土壤的结构和增加土壤中团聚体的(水)稳定性,特别是PAM(高分子聚合物聚丙烯酰胺),它不但能有效地维护土壤团聚体的结构,而且能形成新的团聚体。PAM与水相互作用形成的黏絮作用有效地缓解了雨滴对土壤表面的打击并抑制了土壤团聚体的物理-化学分解,抑制了结皮的形成,从而可以增加土壤的入渗能力,降低地表径流^[33]。

施加土壤改良剂以控制N、P流失:生物质炭由于其良好的吸附性能、低廉的成本以及良好的生物亲和性,将其运用于农田营养盐释放控制,受到研究人员的关注^[34]。姬红利等^[35]人采用外源施用土壤改良剂(硫酸亚铁、硫酸铝和聚丙烯酰胺)和土壤消毒剂(五氯硝基苯)的办法,研究了土壤改良剂对土壤解吸过滤液中TP和TDP浓度变化的影响。实验结果表明:施加改良剂后,径流雨水中TP和TDP值明显降低,土壤改良剂的施用对降低P流失具有明显效果。

4.2.2 其他治理技术 积极开发研制和使用可降解的农膜,提高废旧农膜的回收利用率,采取鼓励和扶植政策,发展废旧农膜回收和加工企业,不仅可以减少农用地膜的残留污染,还可以提高经济效益。

4.3 农业管理措施

由美国环保署(USE-PA)提出的“最佳管理措施(BMPS)”是目前最有效的防治措施。BMPS是指任何能够减少或预防水资源污染的方法、措施或操作程序,主要是由工程措施和管理措施两部分组成^[36]。其中,工程措施主要是梯田、植草水道、水渠改道、构筑拦沙坝、引水槽、山塘等,梯田工程是一种水土保持坡面治理工程措施,是控制坡耕地水土流失、保持水土和实现农业高产与稳产的根本措施之一。梯田工程可以拦蓄天然降水以及上部来的径流和泥沙,能够使土壤水分和肥力有所增加,改变土壤的理化性状、微生物状况、土壤水分状况、减蚀蓄水作用及微地形小气候等,具有良好的水土保持效益。构筑拦沙坝、引水槽、山塘等能起到拦水截沙的效果,不仅可减少泥沙冲刷,还可以有效减少水体污染。管理措施主要包括退耕还林、还草、还湿等。耕作措施主要是通过保护土壤的表面来减轻土壤侵蚀,提高作物对营养元素和矿物质的利用吸收率,减少它们向环境的输入,从而可以有效地防止农业面源污染的形成^[37]。

5 结语

随着社会经济的不断发展,农业机械化程度不断提高,农业生产活动和农村污染物排放造成的农业面源污染加剧。传统的环境处理技术存在效率低、二次污染等问题。现代环境生物技术与传统技术相比,效率高、速度快,更有利于环境的可持续发展,在控制农业面源污染中具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] 段玉杰,肖尚斌,黎国有.我国农业面源污染现状及改善对策[J].环境保护与循环经济,2010,(3):19-21.
- [2] 刘丽,张仁慧,柴瑜.西安市农业非点源污染控制[J].干旱地区农业研究,2005,23(3):209-212.
- [3] 王建英,邢鹏远,袁海萍.我国农业面源污染原因分析及防治对策[J].现代农业科技,2012,(11):216-223.
- [4] 李秋芳,宋维峰.农业面源污染及其防治对策研究进展[J].亚热带水土保持,2012,24(2):23-26.
- [5] 易志刚.农业面源污染及其防治策略研究[J].安徽农业科学,2007,35(24):7589-7590.

- [6] 杨林章,冯彦房,施卫明,等.我国农业面源污染治理技术研究进展[J].中国生态农业学报,2013,21(1):96-101.
- [7] 王东爱.苏州市农业污染现状调查及综合防治对策研究[C]//全国环保系统优秀调研报告文集.北京:国家环境保护总局,2001:28-29.
- [8] 王建英,刑鹏远,李国庆.浅谈中国农业面源污染的原因[J].现代农业科学,2009,16(2):135-137.
- [9] Anonymous. Registration of pesticides in the United States-roposed idelines[M]. London: Federal Registration, 1975.
- [10] Kearneg P C. Nitrosamines and pesticides: special report on occurrence of notrosamines as terminal residues resulting from agricultural use of certail pesticides[J]. Pure and Appl Chem, 1980,52(3):499-526.
- [11] 肖人太.我国农业面源污染现状及对策[J].现代农业科技,2012,(16):258.
- [12] 朱兆良,孙波,杨林章.我国农业面源污染的控制政策和措施[J].科技导报,2005,2(4):49-51.
- [13] 徐瑞祥.城市尺度人居环境质量评价及预警研究[D].南京:南京大学,2002:52-69.
- [14] 李温雯,焦一之,关轶,等.滇池流域水土流失造成的农业面源污染及治理对策[J].安徽农业科学,2009,37(26):12679-12680,12694.
- [15] 赵本涛.我国农业面源污染的严重性与对策探讨[J].环境教育,2004,(3):70-71.
- [16] 严昌荣,梅旭荣,何文清,等.农用地膜残留污染的现状与防治[J].农业工程学报,2006,22(11):269-272.
- [17] 冉江华,黄洁.农业面源污染研究现状及发展趋势[J].山西农业科学,2009,37(3):7-10.
- [18] 韦鹤平.环境系统工程[M].上海:同济大学出版社,1993,183.
- [19] 朱荫湄.施肥与地面水富营养化[C]//施肥与环境学术讨论会论文集.北京:中国农业科技出版社,1994:40-44.
- [20] 陈防,鲁剑巍,万开元.有机无机肥料对农业环境影响述评[J].长江流域资源与环境,2004,13(3):258-261.
- [21] 王海芹,万晓红.农业面源污染的立体防控[J].农业环境与发展,2006,3:69-72.
- [22] 陈吉宁,李广贺,王洪涛.流域面源污染控制技术[J].中国水利,2004,9:47-50.
- [23] 李东坡,武志杰.化学肥料的土壤生态环境效应[J].应用生态学报,2008,(5):1158-1165.
- [24] 叶文芳.农业化学品引起的农业面源污染及其综合防治[J].环境,2006,(2):46-49.
- [25] 韩厚安.关于“长残效”除草剂在应用中的几个问题[J].湖北植保,1996,26(1):28-31.
- [26] 王俊娥.农业地膜污染与防治[J].农村百事通,2013,(2):62-63.
- [27] 裴永辉,尹昌斌,程磊磊.农业面源污染控制的生态补偿机制研究[J].安徽农业科学,2009,37(30):14842-14844.
- [28] 朱远达,蔡强国,张光远,等.植物篱对土壤养分流失的控制机理研究[J].长江流域资源与环境,2003,12(4):345-351.
- [29] 刘文群.人工湿地在农业面源污染控制中的应用研究[J].环境科学研究,1997,10(4):15-19.
- [30] 杨昌凤.模拟人工湿地去除富营养化湖水中藻类[J].水处理技术,1993,19(3):158-161.
- [31] 李国栋,胡正义,杨林章,等.太湖典型菜地土壤氮磷向水体径流输出与生态草带拦截控制[J].生态学杂志,2006,25(8):905-910.
- [32] 刘超翔,胡洪营,张健,等.人工复合生态床处理低浓度农村污水的中试研究[J].中国给水排水,2002,18(7):1-4.
- [33] 梁新强,邢波,陈英旭,等.流域农业面源污染生态工程调控措施[J].环境科学与技术,2007,30(11):55-58.
- [34] Xu G, Lv Y C, Sun J N, et al. Recent advances in biochar applications in agricultural soils: Benefits and environmental implications [J]. CLEAN - Soil, Air, Water, 2012,40(10):1093-1098.
- [35] 姬红利,颜蓉,李运东,等.施用土壤改良剂对磷素流失的影响研究[J].土壤,2011,43(2):203-209.
- [36] 可欣,于维坤,尹炜,等.小流域面源污染特征及其控制对策[J].环境科学与技术,2009,32(7):201-205.
- [37] 田卫堂,胡维银,李军,等.我国水土流失现状和防治对策分析[J].水土保持研究,2008,15(4):204-209.