

农业面源污染防控实用技术研究

赵春燕¹ 刘俊杰² 邓奇睿^{3*}

1 楚雄彝族自治州乡村建设服务中心

2 楚雄彝族自治州检验检测认证院

3 楚雄彝族自治州植保植检和现代种业发展中心

DOI:10.12238/as.v8i10.3347

[摘要] 农业面源污染是当前我国生态环境保护领域的突出难题,具有排放分散、溯源困难、治理复杂等典型特征。本文系统分析了农业面源污染的形成机制与时空分布规律,指出其主要来源于化肥农药过量施用、畜禽养殖废弃物无序排放及农村生活污染治理缺失。研究重点梳理了物理拦截、化学钝化、生物降解三类技术路径的作用机理与应用效果,探讨了农业废弃物资源化利用的多元模式。结果表明,构建“源头管控-过程阻断-末端治理”的全链条技术体系,结合区域差异化的防控策略,可显著提升治理效能。同时,研究强调需要健全政策法规、创新管理机制、强化科技支撑,形成多方协同的治理格局。本文旨在为推进农业面源污染系统治理、实现农业生产与生态环境协调发展提供理论参考和实践路径。

[关键词] 农业面源污染; 防控技术; 废弃物资源化; 生态治理; 可持续发展

中图分类号: DF413.1 文献标识码: A

Research on Practical Technologies for the Prevention and Control of Agricultural Non-point Source Pollution

Chunyan Zhao¹ Junjie Liu² Qirui Deng^{3*}

1 Chuxiong Yi Autonomous Prefecture Rural Construction Service Center

2 Chuxiong Yi Autonomous Prefecture Inspection, Testing and Certification Institute

3 Plant Protection, Plant Quarantine and Modern Seed Industry Development Center of Chuxiong Yi Autonomous Prefecture

[Abstract] Agricultural non-point source pollution is a prominent problem in the field of ecological and environmental protection in China at present, featuring typical characteristics such as scattered emissions, difficult source tracing and complex treatment. This paper systematically analyzes the formation mechanism and spatio-temporal distribution pattern of agricultural non-point source pollution, and points out that it mainly stems from excessive application of chemical fertilizers and pesticides, disorderly discharge of livestock and poultry breeding waste, and the lack of rural domestic pollution control. The research focused on sorting out the action mechanisms and application effects of three types of technical paths: physical interception, chemical passivation, and biological degradation, and explored the diversified models for the resource utilization of agricultural waste. The results show that constructing a full-chain technical system of "source control - process blocking - end-of-pipe treatment", combined with regional differentiated prevention and control strategies, can significantly enhance governance efficiency. Meanwhile, the research emphasizes the need to improve policies and regulations, innovate management mechanisms, strengthen technological support, and form a multi-party collaborative governance pattern. This article aims to provide theoretical references and practical paths for promoting systematic governance of agricultural non-point source pollution and achieving coordinated development of agricultural production and the ecological environment.

[Key words] Agricultural non-point source pollution Prevention and control technology; Waste resource utilization Ecological governance Sustainable development

随着我国农业现代化进程的加速推进,面源污染已成为制约农业可持续发展的关键环境问题。由于其污染源涉及农业生产、农村生活的多个环节,具有明显的分散性、隐蔽性和随机性特征,给监测评估和精准治理带来巨大挑战。当前,化肥农药利用率偏低、畜禽粪污资源化水平不高、农村环境基础设施薄弱等问题相互交织,导致氮磷等营养物质通过径流、渗漏等途径进入环境介质,对土壤、水体和大气造成复合型污染。这种污染态势不仅威胁农产品质量和生态系统健康,也更直接影响到农村人居环境改善和生态文明建设进程。本文通过剖析农业面源污染的关键症结,系统总结实用防控技术的研究进展与应用实践,以期创新污染治理模式、推动农业绿色发展提供科学依据。

1 农业面源污染现状与危害

1.1 污染现状分析。当前,我国农业面源污染的主要来源包括化肥与农药的过量投入、畜禽养殖废弃物无序排放、农田径流中所携带的污染物,以及农村地区生活污水与固体垃圾的不当处置。统计数据显示,近年来化肥单位面积施用量仍呈上升趋势,而利用率普遍偏低,氮、磷等元素通过径流和渗漏大量进入环境。农药使用中存在种类选择不合理、施药时机不当等问题,导致土壤与水体中残留水平升高。与此同时,规模化养殖场产生的粪污体量巨大,但无害化处理与资源化利用比例不高,直接排放或露天堆放现象仍较普遍。农村生活污染治理基础设施不足,污水收集率低,垃圾随意堆放,进一步加重了面源污染负荷。

1.2 污染危害剖析。农业面源污染对土壤、水体及大气环境均构成显著威胁。土壤系统中,长期超量化肥投入导致土壤酸化、板结现象加剧,有机质含量下降,土壤生物活性受损。农药残留不仅影响微生物群落结构,还可能通过食物链产生生物累积效应。就水体环境而言,富含氮、磷等营养盐的农田排水和养殖废水进入地表水体,是引发湖泊、水库富营养化的关键原因,藻类水华频发,严重影响水生生态系统健康与饮用水安全。部分区域的地下水也检测出硝酸盐氮超标现象。大气方面,畜禽粪便堆积过程中释放的氨气、硫化氢等恶臭气体,以及甲烷等温室气体,对局部空气质量和全球气候变化均产生不容忽视的影响。

2 农业面源污染防控实用技术

2.1 物理防控技术。物理防控技术的核心在于通过工程性或生态性措施,对污染物进行空间阻隔、速度调控或相态分离。构建生态沟渠是一种常见方法,即在排水沟道中种植具备强吸附和净化能力的水生植物群落,利用植物根系及其附着微生物体系拦截、吸收径流中的悬浮物、营养盐及农药成分^[1]。植被缓冲带的建立同样有效,通常布设于农田与受纳水体之间的过渡地带,利用草本或灌丛植物带降低地表径流流速,促进泥沙及附着污染物沉降,并通过植物吸收削减养分负荷。人工湿地技术是另一种高效的物理-生态组合工艺,模拟自然湿地功能,通过基质-植物-微生物复合系统的协同作用,实现对有机污染物和氮磷等营养物质的深度净化。

2.2 化学防控技术。化学防控技术侧重于利用化学物质的作用改变污染物的形态、活性或迁移能力。在土壤改良方面,施加

石灰等碱性物质可中和土壤酸度,降低某些重金属离子的生物有效性;施用有机肥或特定土壤调理剂能够改善土壤团粒结构,增强其对养分的持留能力,从而减少淋失和径流损失。针对农药污染,可选用化学钝化剂或降解剂。例如,通过施加特定氧化剂或引入促进降解的催化剂,加速土壤中农药残留的化学分解过程。此外,研发和应用低毒、易降解的环境友好型农药替代传统高残留品种,是从源头减量的重要化学途径。

2.3 生物防控技术。生物防控技术依托生物体自身的代谢功能实现污染物的降解、转化或移除。在种植环节,推行绿肥种植制度,如栽培紫云英、田菁等豆科植物,利用其生物固氮作用补充土壤氮库,增加有机质投入,从而减少化肥依赖^[2]。利用特定微生物菌剂处理畜禽粪便已成为一项成熟技术,通过好氧堆肥或厌氧发酵过程,将粪便中有机物转化为稳定的腐殖质,并杀灭病原体,生产出优质有机肥。水体生态修复中,可引入滤食性鱼类(如鲢、鳙)或贝类控制浮游植物生物量,或种植沉水、挺水植物群落吸收水中营养盐,恢复水体自净能力。

3 农业废弃物资源化利用技术

3.1 畜禽粪便资源化利用。畜禽粪便富含有机物及氮磷钾等养分,其资源化是污染控制的关键。好氧堆肥技术应用广泛,通过在可控条件下利用微生物分解有机物,产生稳定、无害的有机肥产品。厌氧消化技术则在密闭反应器中利用微生物将粪便中的有机质转化为沼气(主要成分为甲烷),可作为清洁能源利用,而消化后产生的沼渣沼液是优质的液态有机肥。此外,也可探索粪便的基质化利用,如生产栽培基质或昆虫蛋白饲料,实现高值化转化。

3.2 农作物秸秆资源化利用。农作物秸秆资源化途径多样。直接还田是最简便的方式,可改善土壤物理性质,补充有机质,但需注意碳氮比调节及病虫害防控。秸秆能源化利用包括固化成型燃料、气化、沼气发酵或直燃发电等,将生物质能转化为热能或电能。秸秆饲料化是通过氨化、青贮、微贮等处理手段,提高其营养价值,用作反刍动物饲料^[3]。此外,秸秆还可作为基料栽培食用菌,或用于生产纸浆、板材、包装材料等,实现原料化利用。

3.3 农村生活污水资源化路径。针对农村生活污水,分散式处理技术如小型人工湿地、土壤渗滤系统、稳定塘等,因其投资运行成本低、管理简便而适用性广,处理后的出水可用于农田灌溉或景观补水。生活垃圾推行分类处理至关重要:可腐烂的有机垃圾宜就地堆肥还田;可回收物(塑料、玻璃、金属等)纳入回收体系;有害垃圾需专门收集安全处置;惰性垃圾可进行就地合理消纳或填埋。通过分类实现垃圾减量化和资源化。

4 防控技术体系集成与优化策略

4.1 构建全过程综合治理体系。针对农业面源污染的系统性特征,应突破单一技术局限,构建涵盖“源头控制—迁移阻截—末端消纳”的全链条防控模式。源头控制方面,重点推行精准农业技术,如基于土壤养分检测的配方施肥和以生物防治为核心的绿色植保措施,从根本上降低化肥农药的施用量。迁移阻截环节,

需科学布设生态拦截设施,包括植被缓冲带、生态沟渠和下沉式绿地等,以减缓径流速度、促进污染物沉降与吸收。末端消纳阶段,可充分利用人工湿地、稳定塘等自然净化系统,对汇集后的径流或低污染水体进行深度处理,实现养分的资源化回收与水质的进一步改善。

4.2 推进分区分类精准施策。技术体系的集成必须充分考虑地域差异性,实行分区分类的精准管理策略。在地势平坦的平原河网区域,防控重点应集中于农田排水的高效拦截与净化,构建沟塘湿地串联系统。而对于水土流失风险较高的丘陵山区,则需将面源污染防控与水土保持工程紧密结合,优先采用等高种植、条带间作等措施削减径流冲刷,并配套建设生物篱笆以控制养分的面源输出。通过这种区域适配性的技术配置,可显著提升防控措施的针对性与实效性。

4.3 强化智慧监测与决策支持。现代信息技术的融合应用是提升体系管理效能的关键。应着力构建天地一体化的农业面源污染监测网络,综合利用遥感、传感器、物联网等手段,动态监控土壤墒情、水质变化和养分迁移。在此基础上,通过大数据分析 with 模拟预测模型,实现对重点区域污染负荷的准确评估与风险预警^[4]。该智慧化平台可为管理决策提供科学依据,例如优化施肥用药方案、智能调控生态工程的运行参数,从而推动防控策略从被动响应向主动预测、精准干预转变。

5 政策引导与长效机制构建

5.1 健全制度框架与激励机制。构建完善的制度框架是推进农业面源污染治理的基础保障。当前亟需在现有环保法律体系内,进一步细化农业生产者的环境责任,明确规模化养殖场、家庭农场等不同经营主体的污染防控义务。建议制定分区分类的污染物排放标准,特别是针对重点流域和敏感区域实行更严格的控制要求。在激励机制方面,需要创新政策工具组合,建立以绿色补贴为主体,生态补偿、环境税费调节、绿色金融支持为补充的政策体系。例如,可对采纳生态种植模式的农户提供生产成本补贴,对开展畜禽粪污资源化利用的企业给予税收优惠,通过多元化经济手段有效引导农业生产方式绿色转型。同时,探索建立农业生态环境效益交易市场,让采取环保措施的经营者获得实实在在的经济回报。

5.2 创新流域协同治理模式。针对面源污染的流域性特征,必须打破行政区划壁垒,构建基于自然地理单元的协同治理机制。重点推进流域生态补偿制度创新,建立由上级政府协调、上下游地区协商的补偿标准确定机制,通过资金补偿、产业合作、人才交流等多种方式,实现流域生态环境保护的成本共担和效益共享^[5]。在此基础上,完善跨行政区划的联合监测预警体系,建立统一的环境信息平台,实现流域内面源污染数据的实时共享和综合分析。同时,创新治理主体结构,积极引导农民专业合作社、农业企业、环保社会组织等多元主体参与治理决策和实施过程,形成“统筹协调、权责清晰、多方参与”的流域治理新格局。

5.3 强化科技服务与能力建设。科技服务的有效供给是政策落地的关键支撑。要构建多层次的技术推广体系,强化科研院

所、农技推广机构和新型农业经营主体之间的协同联动。重点建设一批面源污染防控科技示范基地,开展技术集成示范和本土化适配改进,形成可复制、可推广的区域解决方案。加强基层农技人员和新型职业农民的培训,提升其绿色生产技术的应用能力。创新技术推广方式,充分利用现代信息技术手段,开展线上线下相结合的技术指导服务。同时,通过通俗易懂的宣传材料和生动形象的示范案例,提高农民对面源污染危害的认识和绿色生产技术采纳的主动性,营造全社会共同参与农业面源污染治理的良好氛围。

6 结论与展望

6.1 结论。本研究系统阐明,农业面源污染的有效防控是一项集技术集成、政策调控与机制创新于一体的综合性工程。分析表明,尽管物理、化学及生物等单项技术在特定污染环节能发挥积极作用,但其治理效能的最大化根本上依赖于各类技术的系统性整合与协同优化。更为关键的是,科学技术的落地应用与长效运行,必须依托于健全的政策法规框架、有效的经济激励机制以及多元共治的长效管理机制作为坚实保障,从而形成技术与非技术措施相互支撑的综合治理格局。

6.2 展望。我国农业面源污染防控工作应在以下几个方面持续加强:一是加强科技创新,研发更加高效、低成本、易操作的防控技术与装备,特别是在智能监测、新型功能性材料、高效降解微生物菌剂等方面寻求突破。二是强化技术模式的区域化与标准化,针对不同主导产业、地形气候条件,形成一批可复制、可推广的最佳管理模式。三是深化政策融合,将面源污染防控要求更全面地融入国土空间规划、乡村振兴战略、农业绿色发展政策中,实现统筹推进。四是推动全民共治,构建政府、企业、农户、社会公众多元主体参与的治理格局。通过多管齐下,协同推进,方能有效遏制农业面源污染,实现农业生产与生态环境保护的协调发展。

[参考文献]

- [1]王飞达.中国农业面源污染的形成机制及防治措施[J].农业产业化,2025,(07):96-98+114.
- [2]齐凤芹.农业面源污染治理问题及对策建议[J].农机市场,2025,(06):80-82.
- [3]范进根.农业面源污染治理的现状及常用技术措施探讨[J].农村实用技术,2025,(05):111-112.
- [4]郭婧.我国农业面源污染防治的困境与破解[J].农业经济,2025,(03):24-26.
- [5]刘兵.农业面源污染治理问题及对策建议[J].园艺与种苗,2024,44(06):108-110.

作者简介:

赵春燕(1982--),女,汉族,云南禄丰人,大学本科,农艺师,研究方向:农业环境保护。

*通讯作者:

邓奇睿(1995--),男,汉族,云南楚雄人,大学本科,农艺师,研究方向:植物保护。