

农业源新污染物在土壤环境中的污染现状及治理措施

努尔沙吾列·哈斯木汗 王涛* 海拉提·阿力地阿尔汗 靳静 吴瑞琪

新疆生态环境科学研究院

DOI:10.12238/eep.v8i6.2725

[摘要] 农业产业结构升级和农业化学投入品施用的日益增加,使得农业源新污染物逐步成为威胁土壤生态环境安全的重要污染源。其中农药代谢残留物、抗生素、重金属螯合剂、塑料粒子、激素等均为农业源新污染物,不易被传统土壤污染修复方法所根除且多具有隐含性、高迁移性及累积性等特征,是对现行土壤污染修复理论的挑战。为此,本文围绕农业源新污染物这一概念,从农业源新污染物的污染特征、污染形成规律以及污染物的生态危害角度,分析了目前农业源新污染物的治理模式存在的适应性,提出了从源头控制、绿色替代、修复技术和体系管理中加强农业源新污染物治理的多角度防控体系,以期为进一步推动农业绿色生产发展和实现土壤安全提供参考和启示。

[关键词] 农业源新污染物; 土壤环境; 污染现状; 治理措施; 生态安全

中图分类号: S15 **文献标识码:** A

The pollution status and control measures of new agricultural pollutants in soil environment

Nu er sha wu lie·Ha si mu han Tao Wang* Hai la ti·A li di a er han Jing Jin Ruiqi Wu

Xinjiang Institute of Ecological and Environmental Sciences

[Abstract] The upgrading of agricultural industrial structure and the increasing use of agricultural chemical inputs have gradually made agricultural new pollutants an important source of pollution threatening soil ecological environment safety. Pesticide metabolic residues, antibiotics, heavy metal chelating agents, plastic particles, hormones, etc. are all agricultural new pollutants that are not easily eradicated by traditional soil pollution remediation methods and often have characteristics such as hidden, high mobility, and accumulation, which challenge the current soil pollution remediation theory. Therefore, this article focuses on the concept of agricultural source new pollutants, analyzes the unsuitability of the current governance mode of agricultural source new pollutants from the perspectives of pollution characteristics, pollution formation laws, and ecological hazards of pollutants, and proposes a multi angle prevention and control system to strengthen the governance of agricultural source new pollutants from source control, green substitution, remediation technology, and system management, in order to provide reference and inspiration for further promoting the development of agricultural green production and achieving soil safety.

[Key words] New pollutants from agricultural sources; Soil environment; Current pollution situation; Governance measures; ecological security

引言

进入21世纪以来,伴随着我国农业现代化集约化进程,农药、兽药、饲料添加剂和各农业辅料的广泛使用给农业生产带来的环境新问题不断涌现。不同于传统污染(如氮磷养分、常用重金属)的一类新兴环境污染物质即农业源新污染物越来越受到生态学、环境科学、农业工程等研究领域的关注,并作为新兴环境风险因子存在于农业土壤中和通过径流、淋溶等方式进入水体和大气,潜藏着农业生态系统稳定和人类健康的威胁。

1 农业源新污染物治理的意义

1.1 保障土壤生态功能,支撑农业可持续发展

土壤是农业生产最为基础的物质基础,土壤的物理结构稳定性、肥力以及土著微生物的多样性对农业生产作物生长质量与农业生态系统稳定性起到决定作用。但现代农业所必须的农药、化肥及塑料制品使用会导致农业源新污染物在耕地中累积,致使耕地土壤出现理化性质的变劣,由于微塑料、抗生素以及农药残留会对耕地土壤的颗粒结构产生影响,导致耕地土壤孔隙减小,进而影响水分及养分的运行。同时,会影响土壤微生物的生长与繁殖,致使耕地土壤微生物多样性与功能被破坏,进而造

成有机质分解以及养分转化效率的降低[1]。日积月累导致土壤生态功能退化将直接约束农业生产、增加农业投入成本,甚至还会导致粮食安全问题的发生。因此,做好农业源新污染物治理工作不仅可使土壤生态功能进行修复与维持,还可让农业生产的可持续性以及农业资源利用高效性得到进一步发挥,为农业绿色产业化发展提供基础。

1.2 降低面源污染风险,维护区域生态安全

农业源新污染物易随农业面源扩散至水环境中,对土壤及地表水、地下水的的历史质量也有很大影响;同时其可随农田降水的径流或通过毛细作用迁移到地表水中,造成水体的污染现象,对人体健康也有潜在的威胁。此外,近年来的研究表明,耐药细菌及其耐药基因可通过养殖业向农业土壤中扩散,而滥用的抗生素在农业土壤中积累后会通过食物链进入人体,破坏人体抵抗力,导致对抗生素的依赖性越来越严重,给人们健康及社会的发展带来一定的风险。因而,对农业源新污染物进行控制和修复,降低其跨介质迁移和富集的风险,防止污染扩散,是流域治理及维护区域生态安全必不可少的措施。

1.3 契合绿色发展理念,推动农业现代化转型

近期我国农业面临从增产导向到绿色发展、生态发展、集约发展的转型,而农业源新污染物的防治将是实现绿色农业和农业绿色转型升级的关键环节之一。国家层面的《“十四五”全国农业绿色发展规划》和“碳达峰、碳中和”目标提出农业生产过程要推行资源节约、污染削减和循环利用,而农业源新污染物的大量存在与防治不当已成为农业绿色发展的重大短板,亟待完善防治措施以降低化学投入对环境污染,并以此推动可降解材料、绿色农药、清洁养殖和畜禽粪便生态治理技术的推广使用,推动农业产业链从污染物削减的末端治理走向清洁生产,同时通过污染治理推进农业技术创新和农业绿色监管,提高农业生产绿色化水平,实现农业绿色发展和农业生产效益相协调。

2 农业源新型污染物在土壤环境中的污染现状

2.1 污染物种类繁多,呈现复杂化特征

新型农源污染物种类多、来源广、结构复杂,主要包括农药原药及降解产物、兽药及抗生素、饲料添加剂、激素类物质、塑料薄膜碎片以及微塑料颗粒等以及耐药性基因,进入土壤后以游离态(溶解在土壤溶液中的)和结合态(与有机质或矿物结合成的)两种形式存在,去除难度较大。农药残留及其衍生物由于化学结构稳定,不容易降解,大多数具有较长时间的残留;抗生素及其相关的耐药基因将会破坏微生物群体结构,造成土壤生态系统功能失衡,也会促进抗药性基因的传播^[2]。

2.2 污染累积趋势明显,空间分布差异突出

化学农药、饲料药物和塑料制品的长期高强度输入导致农业源新污染物在土壤中的负荷日益增加,大量研究发现,在集约化畜禽养殖区域,由于抗生素和药物饲料添加剂使用的量大面广,畜禽粪便的还田是导致耐药基因和相关残留的一大来源;在种植业高度发达的区域,特别是设施农业区域(以地膜覆盖为主要特征),在耕作层土壤中微塑料碎片、以及相应降解副产物的

检出率显著升高。此外,农药以及其代谢产物在南方高温高湿区域表现出更强的迁移性,在北方干旱区域则表现出更易残存的风险,不同区域由于农业模式、气候与土质等特性不同导致在农业源新污染物的空间分布上表现出明显差异,部分地区甚至出现了局部区域超标问题。

2.3 迁移与转化机理复杂,环境行为难以预测

随着农业源新污染物从进入土壤开始,其在土壤中的环境过程非常复杂且难以预测。一是土壤的理化因子(粒径、酸碱度、有机质)将直接对污染物的吸附和解吸起到决定作用;二是土壤的水热状况能够影响化学反应的分解、有机污染物的生物降解速度,进而影响污染物的半衰期;三是颗粒物(如微塑料)本身的难降解及可能吸附农药或重金属等对有机污染物和重金属污染物在土层中进一步的迁移过程施加影响;四是抗生素、耐药基因可以实现水平转移,耐药性能够在微生物种群中蔓延,从而造成耐药性的环境放大。

3 农业源新污染物治理措施

3.1 源头控制与投入品绿色替代

源头削减是减少农业源新污染物影响最直接、最有效的方式,其主要内容是从农业生产源头减少污染物产生和排放,防止污染物进入土壤环境,形成难以避免和清除的污染物累积负荷。一方面,在农业投入品中农药方面,推广低毒、低残留、高效绿色农药,包括生物农药、微生物农药、植物源农药等,其对非靶生物毒性较低,在土壤中的降解能力较高,不易残留、不增加土壤环境累积污染负荷。以提高农药利用效率和精准度,基于现代农业技术采用无人机、智能化施药、缓控释制剂的施药技术,根据作物种类、发生病虫害的种类、土壤环境及农业种植情况等科学确定和配比施药量,避免因过量使用农药导致的淋溶扩散入土壤环境的环境风险^[3]。另一方面,在畜禽养殖过程中应规范抗生素、兽药的使用,禁止在非医疗治疗作用下随意添加,推行疫苗注射、益生菌替代、替代药物使用,用免疫预防和生物调控方法减少抗生素的使用依赖。此外,在覆盖材料使用方面,农田覆盖材料,应推进可降解地膜、生物基材料的应用,替代聚乙烯地膜使用,减少塑料基覆盖材料,降低微塑料对土壤环境的污染威胁。

3.2 土壤修复与生态治理技术创新

目前,已存在农业源新污染物累积效应的土壤,科学合理的修复和生态治理等措施是解决土壤的毒性效应、恢复其生态功能的关键措施。常用的土壤修复技术包括物理修复、化学修复、生物修复3种类型,且往往需要多种技术的整合运用才能取得更好的修复治理效果。物理修复主要包括土壤置换、淋洗和固化隔离等措施,通过更换或者运用高压水冲淋土壤,可以在短时间内大幅降低土壤中的污染物含量,但该类修复成本较高、操作复杂和无法长久持续,往往不易被规模化应用。化学修复主要是利用化学稳定剂、吸附剂和改性化学试剂(如生物炭、膨润土、黏土矿物、功能化复合材料等)固定重金属、吸附农药残迹及降低污染物生物有效性,从而减小其生态毒性并抑制污染物向作物

和地下水转移。生物修复以低污染成本和环境友好性及持久性强等优点,在当前被广泛采用。植物修复主要利用一定植物对重金属、农药和有机物的富集及转化作用,使土壤污染物的负荷降低(通过植物吸收、转化和挥发),而微生物修复依靠土壤微生物将污染物降解,从而消除其对土壤的有机农药和抗生素毒害作用以及改良土壤微生物结构和土壤生态功能。随着新的技术手段不断应用于生物修复中,如酶配合复合微生物菌剂能更有效地促进有机物的降解,并增加土壤的肥力及自净化功能,而生物修复技术在具体应用中要根据土壤类型、污染物特性及当地气温等情况进行设计、实施科学、精确、长效的污染防治措施,为农业生产持续健康发展提供可靠的技术保障。

3.3 农业废弃物资源化与循环利用

农业废弃物的合理利用和资源化是我国减少农业源新污染物排放,促进土壤环境质量提升的路径选择。畜禽粪便、秸秆和地膜如果被直接还田或乱扔,便会成为兽药、农药、重金属和微塑料潜在重要的来源,增加土壤可持续性的压力负荷。利用厌氧发酵、堆肥和热解炭化等技术,可使农业废弃物资源化成为肥料,或生产可保育的生物炭,能养分资源和土壤中污染物的去除或保育的复合性功能作用。对于畜禽养殖来说,粪便发酵的过程可降解部分抗生素,减少其在养殖环节中的残留,减少抗生素的抗生素耐药基因释放,生产的沼气可用于能源化;秸秆以及地膜的回收处理可通过技术提高它们进入土壤中的微塑料颗粒含量,提升循环利用比例。实际应依据过程工艺设计优化、污染物削减过程的效果监测与土壤适应性检验,确保不会因此产生新的污染物,实现“源头收集—末端处理—安全利用”的再循环利用。

3.4 精准化监测与风险管控体系构建

农业源新污染物治理监测和风险防范的关键在于科学的监测与风险防控管理,是达到“防患于未然”的综合管理系统,体现为监测—评估—反馈治理的闭环管理。首先,应构建对农田土

壤、畜禽养殖场、设施农业、农产品加工过程中农药、抗生素、微塑料、耐药基因等污染物的实时监测和准确定量技术分析体系与现场监测网络,以及借助物联网、大数据、人工智能等技术对土壤污染物的高、低浓度空间分布、迁移趋势、环境过程及风险评估的模拟分析,进行污染趋势预警和风险划分,以指导科学施策,监测结果与农业行为指导、农业管理决策形成闭环,并由监测到结果评价,做到“怎么治理”由目标和监测数据来确定,做到能实施“精准预防”。其次,应健全法律法规,形成污染物排放指标、责任主体与责任追究的规范治理体系,建立可查的分级责任制度,实现源头减量和治理的主体责任化。

4 结语

总之,农业源新污染物对土壤生态服务功能、农业可持续发展和区域环境安全均构成严重威胁,通过从源头减污、绿色投入品替代、土壤修复、农业废弃物循环利用和科学监测及风险管制等方面进行综合防控,实现减轻污染负荷、恢复土壤生态服务功能和实现农业生产的绿色可持续发展。今后要加大技术保障和制度保障力度,探索构建科学化、体系化、循环化的综合防治模式,为实施绿色农业发展和建设生态文明提供支撑。

[参考文献]

- [1]李伟,唐成瑞,彭柏,等.农业源新污染物在土壤环境中的污染现状及治理措施[J].南方农业,2024,18(12):158-161.
- [2]曾晓岛.农业土壤污染现状及土壤环境保护治理策略研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)农业科学,2025(1):034-037.
- [3]官晓卫,褚晓玉,周娜.土壤中新兴污染物的检测技术及生态影响研究进展[J].化学工程师,2025,39(5):81-84.

作者简介:

努尔沙吾列·哈斯木汗(1980--),女,哈萨克族,新疆维吾尔自治区沙湾市人,本科,高级工程师,主要研究方向:生态环境保护。