

农田污染生态环境损害鉴定评估方法及案例研究

林健聪, 刘跃丹, 刘蕴芳, 文静, 曾子龙, 易皓

引用本文:

林健聪, 刘跃丹, 刘蕴芳, 文静, 曾子龙, 易皓. 农田污染生态环境损害鉴定评估方法及案例研究[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(12): 2828-2838.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0909>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

环境DNA技术在水生态领域应用研究进展

赵彦伟, 陈家琪, 董丽, 麻晓梅, 白洁, 田凯

农业环境科学学报. 2021, 40(10): 2057-2065 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0666>

粤北大宝山矿区污染成因与源头控制技术应用进展

党志, 姚谦, 陈锴, 郑雄开, 付浩健, 廖正家, 卢桂宁

农业环境科学学报. 2021, 40(7): 1377-1386 <https://doi.org/10.11654/jaes.2021-0610>

"农业面源和重金属污染农田综合防治与修复技术研发"专项组织实施进展分析

徐长春, 熊炜, 郑戈, 林友华

农业环境科学学报. 2017, 36(7): 1242-1246 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0337>

基于文献计量的小麦玉米重金属污染农田修复治理技术及效果分析

王娟, 苏德纯

农业环境科学学报. 2021, 40(3): 493-500 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0669>

微塑料的环境行为及其生态毒性研究进展

刘沙沙, 付建平, 郭楚玲, 党志

农业环境科学学报. 2019, 38(5): 957-969 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-1016>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

林健聪, 刘跃丹, 刘蕴芳, 等. 农田污染生态环境损害鉴定评估方法及案例研究[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(12): 2828-2838.

LIN J C, LIU Y D, LIU Y F, et al. Method for identification and assessment of farmland pollution environmental damage through case analysis[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2023, 42(12): 2828-2838.



开放科学 OSID

农田污染生态环境损害鉴定评估方法及案例研究

林健聪^{1,2}, 刘跃丹^{1*}, 刘蕴芳¹, 文静¹, 曾子龙¹, 易皓¹

(1. 生态环境部华南环境科学研究所 华南环境损害司法鉴定中心, 广州 510655; 2. 湖南农业大学环境与生态学院, 长沙 410128)

摘要:生态环境损害赔偿制度改革是贯彻落实习近平生态文明思想和习近平法治思想的重要举措,生态环境损害鉴定评估则是推进该项改革工作的重要支撑。本文针对当前我国农田污染案件频发,缺少科学统一、系统规范鉴定评估技术体系的现状,提出了一种基于污染环境行为确认、损害调查确认、因果关系分析、损害实物量化、损害价值量化等关键环节的农田污染生态环境损害鉴定评估技术方法,并利用典型农田污染案例对其进行验证分析,结果显示该鉴定评估方法合理可行,具备一定的科学性和可行性,这对于完善我国生态环境损害鉴定评估技术体系具有借鉴和参考作用。

关键词:农田污染;环境损害鉴定评估;案例分析;因果关系;价值量化

中图分类号:X53,X507 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2023)12-2828-11 doi:10.11654/jaes.2023-0909

Method for identification and assessment of farmland pollution environmental damage through case analysis

LIN Jiancong^{1,2}, LIU Yuedan^{1*}, LIU Yunfang¹, WEN Jing¹, ZENG Zilong¹, YI Hao¹

(1. South China Environmental Forensic Center, South China Institute of Environmental Science, Ministry of Ecology and Environment, Guangzhou 510655, China; 2. College of Environment and Ecology, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The reform of the ecological and environmental damage compensation system is an important step towards implementing Xi Jinping Thought on Eco-Civilization and on the Xi Jinping Thought on the Rule of Law into action, and it is supported by the identification and assessment of eco-environmental damage. Recently, we have seen a rise in the number of farmland pollution incidents, as well as a lack of scientific and normative technical systems of identifying and assessing farmland pollution environmental damage in China. The present study proposed an integrative technical method for identifying and assessing farmland pollution environmental damage through five key links: environmental pollution behavior determination, damage survey determination, environmental damage causality determination, environmental damage scale determination, and environmental damage value determination. Subsequently, a typical case of farmland pollution environmental damage was used to demonstrate its identification process based on the presented methods. Analyzed results showed that the technical method was scientific and applicable to the identification and assessment of farmland pollution environmental damage, and it would provide references for improving the identification and assessment technical system of eco-environmental damage in China.

Keywords: farmland pollution; identification and assessment of environmental damage; case analysis; causality; value quantification

农田又称为耕地,是粮食生产和人类赖以生存的基础,保护农田对维护国家稳定、促进经济社会可持续发展具有重要意义。近年来,随着我国的城市化和工业化进展,土壤环境污染事件时有发生,耕地土壤

收稿日期:2023-10-31 录用日期:2023-11-13

作者简介:林健聪(1990—),男,广东佛山人,从事生态环境损害鉴定评估研究。E-mail:linjiancong@scies.org

*通信作者:刘跃丹 E-mail:liuyuedan@scies.org

基金项目:中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(PM-zx703-202204-070, PM-zx703-202305-270, PM-zx703-202305-189)

Project supported: Special Funding for Basic Research Operations of Central-level Public Welfare Research Institutes (PM-zx703-202204-070, PM-zx703-202305-270, PM-zx703-202305-189)

环境质量问题严重^[1]。调查显示,我国农田土壤点位污染物超标率为19.4%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为13.7%、2.8%、1.8%和1.1%,主要污染物为镉、镍、铜、砷、汞、铅、滴滴涕和多环芳烃^[2]。为了加强耕地保护,坚守18亿亩耕地红线,我国实施了最严格的耕地保护制度。《土地管理法》规定了各级政府应当采取措施,因地制宜轮作休耕,改良土壤,提高地力,维护排灌工程设施,防止土地荒漠化、盐渍化、水土流失和土壤污染。《土壤污染防治法》也明确禁止向农用地排放重金属或者其他有毒有害物质含量超标的污水、污泥,以及可能造成土壤污染的清淤底泥、尾矿、矿渣等。

当前,我国农田污染案件多发频发,致使农田土壤和地下水环境质量下降、农作物受损、农田生态服务功能降低甚至丧失,对人体健康以及农产品生长造成严重的威胁。标准化是解决环境损害鉴定难问题的关键措施,也是环境损害鉴定评估走向独立化的标志^[3]。然而,由于缺少专门性和系统性的鉴定评估方法,涉及农田污染的鉴定评估实践中往往存在损害调查不系统、因果关系难确定、价值量化不准确等问题,导致损害赔偿难以推进,农田修复工作滞后,农田环境持续受损。因此,针对农田污染建立一套科学系统的生态环境损害鉴定评估技术体系,就显得尤为迫切^[4-6]。本文在系统梳理现行农田相关生态环境损害鉴定评估技术标准体系的基础上,归纳总结其中的关键性技术要点,提出一种适用于农田污染生态环境损害鉴定评估方法,并通过典型案例对其科学性和可行性进行验证,为完善我国生态环境损害鉴定评估技术体系提供补充参考。

1 现有标准体系梳理

2014—2021年间,我国发布了多部与农田损害相关的生态环境损害鉴定评估技术标准,其中既有国家标准,也有农业和司法部门出台的行业标准,还有一项农田生态系统环境损害鉴定评估标准正在征求意见,相关汇总情况见表1。

国家标准方面,《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节第1部分:总纲》(GB/T 39791.1—2020,以下简称《总纲》)和《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节第2部分:损害调查》(GB/T 39791.2—2020)规定了生态环境损害鉴定评估和损害调查的一般性原则、程序、内容和方法,《生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素第1部分:土壤和

地下水》(GB/T 39792.1—2020,以下简称《土壤和地下水》)也对土壤和地下水的生态环境损害鉴定评估方法进行了一般性规定,可以在土壤和地下水等环境要素的鉴定评估过程中起到引领作用^[7]。然而,在实践中涉及到处理具体农田损害的环境要素,及涉及到生态服务功能的损害调查、因果关系分析、损害量化等方法时,以上国家标准就显示出其规定内容不够详细的一面,无法满足具体领域鉴定评估工作专业化和精细化的实际需求^[8-9]。

国内农业和司法部门出台的行业标准方面,主要针对农业或农用地环境损害鉴定评估中的调查、鉴定、评估等环节做出了规定,但与国家标准体系的衔接性不足,评估原则和方法也不统一,容易造成与实际结果差异较大的情况。差异主要体现在以下几方面:一是基线水平调查方面,《总纲》与《土壤和地下水》规定了历史数据、对照数据、标准基准、专项研究四种方法,且要求历史数据和对照数据样本数不少于5个;农业和司法鉴定标准则规定了监测采样按照NY/T 395执行,而NY/T 395仅对农田土壤背景值调查做了规定,对调查程序以及布点数量均未明确;二是评估区土壤环境质量现状调查方面,《土壤和地下水》规定了对于损害来源单一、损害时间较短、污染物排放量较小、疑似损害范围有限或污染物迁移扩散范围相对较小的情况,水平方向采样点位数量应满足HJ 25.5坑底采样点数量要求;对于损害时间较长、污染物排放量较大、疑似损害范围较大或污染物迁移扩散范围相对较大的情况,初步调查阶段具体布点方法参照HJ 25.1,详细调查阶段采样单元面积不大于1 600 m²(40 m×40 m网格);而NY/T 395则规定对于污染事故调查监测,每个点代表面积1~50 hm²;三是因果关系分析方面,对于判定条件,行业标准与国家标准的相关规定差异较大,且二者对于同源性、迁移路径等关键环节的分析,尤其是对于其中技术方法的应用,均未做系统详实介绍;四是价值量化方面,《土壤和地下水》虽然规定了受污染的农田土壤和地下水恢复方案的制定、无法恢复的损害量化方法等,但对于农田生态服务功能损失的计算,尤其是农产品供给方面,规定的不够详细;而NY/T 1263、SF/T JD0601001则仅列出了农产品损失计算方法,未考虑农产品供给、土壤保育、水源涵养、土壤固碳、休闲旅游等生态服务功能。另外,农田生态系统环境损害鉴定评估标准征求意见稿方面,其对因破坏生态或污染环境行为导致的农田生态系统损害鉴定评估做了规

表1 我国主要农田生态环境损害鉴定评估技术标准汇总

Table 1 Summary of technical standards for identification and assessment of farmland environmental damage in China

序号 No.	标准类型 Standard type	标准名称及标准号 Name and number	实施时间 Issue time	规定内容和适用范围 Contents and scope
1	国家标准	生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节第1部分:总纲 (GB/T 39791.1—2020)	2021-01-01	规定了生态环境损害鉴定评估的一般性原则、程序、内容和方法。
2	国家标准	生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节第2部分:损害调 查(GB/T 39791.2—2020)	2021-01-01	规定了生态环境损害鉴定评估中损害调查的一般性 原则、程序、内容和方法。
3	国家标准	生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素第1部分:土壤和地下水 (GB/T 39792.1—2020)	2021-01-01	规定了涉及土壤和地下水的生态环境损害鉴定评估的 内容、工作程序、方法和技术要求。
4	农业标准	农业环境污染事故损失评价技术 导则(NY/T 1263—2007)	2007-07-01	规定了农业环境污染事故损失的计算方法。适用于污染事故对种植业、畜 牧业造成的经济损失的计算。
5	农业标准	农业污染环境损害鉴定技术导则 (NY/T 3025—2016)	2017-04-01	针对农业污染环境事故或突发事件引起的因果关系鉴定和损失评估,规定 了鉴定原则、程序、资料收集、现场调查及损失评估方法。
6	农业标准	农业环境损害鉴定调查技术规范 (NY/T 3665—2020)	2020-11-01	针对污染环境、破坏生态引起的农业生物、农业环境要素及生态系统损害, 规定了调查原则、调查范围和调查方法、调查程序、排除性调查及环境损害 调查等技术内容。
7	农业标准	农用地土壤环境损害鉴定评估技 术规范(NY/T 4155—2022)	2022-10-01	规定了农用地土壤环境损害鉴定评估的术语和定义、鉴定原则、鉴定范围、 鉴定程序、鉴定方法、资料收集、损害调查、监测采样、破坏程度判定、污染因 果关系判定、损失评估及鉴定评估意见书编制的技术要求。适用于农用地 压占、硬化、挖损、塌陷、人工障碍层等破坏程度鉴定,农用地土壤污染因果 关系鉴定,以及破坏和污染导则的损失评估。
8	司法鉴定 标准	农业环境污染事故司法鉴定 经济损失估算实施规范 (SF/Z JD0601001)	2014-03-17	针对因果关系确定情形的经济损失进行评估,规定了农业污染环境事故引 起的农业生物、农业环境及其他财产损失的估算范围、估算程序、估算方法、 误差分析与控制。
9	司法鉴定 标准	农业污染环境损害司法鉴定操作 技术规范(SF/Z JD0606001)	2019-01-01	规定了农业污染环境损害司法鉴定的原则、程序、内容及技术要求,适用 于农业污染环境损害事件引起的因果关系鉴定和损失评估。
10	司法鉴定 标准	农作物污染司法鉴定调查技术规 范(SF/Z JD0606002)	2019-01-01	规定了农作物污染司法鉴定的调查原则、程序、方法、内容及技术要求,适用 于工农业生产中污染物排放引起的农作物污染因果关系鉴定和损失评估。
11	征求意见	生态环境损害鉴定评估技术指南 生态系统第1部分:农田生态系统		规定了农田生态系统损害鉴定评估的内容、工作程序、方法和技术要求,适 用于因破坏生态或污染环境行为导致的农田生态系统损害鉴定评估。

定,但在农田污染中损害调查、因果关系分析、价值量化等关键环节的具体方法应用上,还不够细化,实践中的可操作性还不够强。

综上,当前我国农田相关生态环境损害鉴定评估技术标准众多,但相关规定不够细致且技术方法不统一,难以满足涉农田污染的生态环境损害鉴定评估工作的需求。

2 鉴定评估方法研究

本文在梳理现有环境损害鉴定评估标准体系的基础上,结合农田环境污染损害特征,总结农田污染损害鉴定评估方法的技术要点,量身定制一套工作程序,主要包括确认污染环境行为、损害调查确认、因果关系分析、损害实物量化与损害价值量化等步骤,见图1。

2.1 污染环境行为确认

污染环境行为确认主要围绕工业源、农业源、生

活源等污染源排放信息、污染源特征污染物信息及其合法性的分析开展工作。通过现场检测(勘察)笔录、调查询问笔录、行政处罚决定书、执法图片影像、危险废物鉴别结果、废水监测数据、土壤和地下水初步调查结果等信息的获取,明确污染环境行为。实践中农田污染主要包括固体废物非法倾倒、固体废物非法加工、企业废水偷排等三类情形。其中,对于固体废物非法倾倒,应明确固体废物的来源、类型和性质、排放量、浓度等;对于固体废物非法加工,应明确生产历史、生产工艺和污染物产生环节、污染物到农田的迁移转化路径等;对于企业废水偷排,除明确生产历史、生产工艺和污染物产生环节外,还应明确废水排放的总量以及排放方式。

2.2 损害调查确认

损害调查确认包括基线水平调查和环境质量现状调查两部分内容。

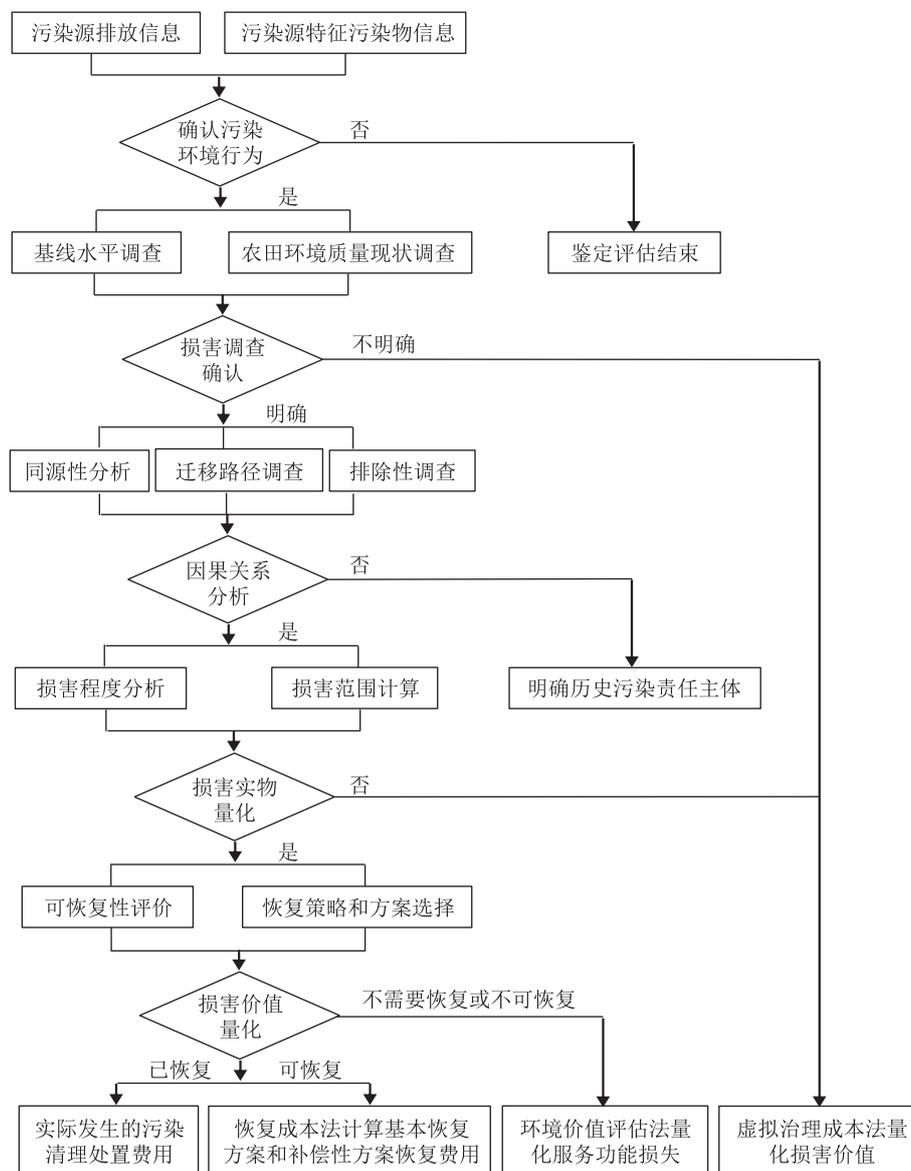


图1 农田污染生态环境损害鉴定评估工作程序图

Figure 1 Diagram of the procedure for identification and assessment of farmland pollution environmental damage

2.2.1 基线水平调查

根据《总纲》和《土壤和地下水》，基线水平调查方法按照基于历史数据、基于对照区调查数据、参考环境标准或基准、开展专项研究的优先顺序进行选取。其中，基于历史数据应选择能表征受污染农田土壤和地下水及生态服务功能历史状况的数据，样本数不少于5个。历史数据一般来源于土壤背景值调查、农用地土壤详查、建设项目环境影响评价等工作成果，但该类数据一般情况下难以获取，往往表征的是大尺度变化的调查结果，对于小尺度范围农田污染的参照性不足，故在鉴定评估应用中较为受限；其次，基于对照区调查数据应选择与受污染农田邻近的、未受当次污

染环境行为影响且生态服务功能类似的农田的调查数据，样本不少于5个；此外，参考环境标准或基准应选取国家或地方农田相关土壤和地下水环境标准或基准，具体包括GB 15618、GB 36600、GB/T 14848、GB 5749、GB 5084、GB 11607、DZ/T 0290、CJ/T 206等；最后，开展专项研究包括农田土壤和地下水中污染物对人体的健康风险评估和对农作物生长的影响评估，一般通过剂量-效应关系研究来确定基线水平。

2.2.2 农田环境质量现状调查

(1) 环境要素质量现状调查

首先应开展特征污染物识别与选取，通过气相色谱-高分辨率质谱、液相色谱-高分辨率质谱、红外光

谱分析等手段对污染源的监测分析,或采集受损农田土壤和地下水样品进行污染物定性和定量分析来筛选特征污染物。对于农田土壤污染,除常见的环境污染指标外,还应包括影响作物生长的相关理化指标,如pH值、全氮、容重、含盐量、孔隙度等;其次,确定调查对象以及监测点位和深度,调查对象一般包括农田土壤、地下水和农作物等生态环境要素。点位布设应当体现科学合理、经济可行的原则,对于影响范围较大且污染物迁移转化路径连续的情形,土壤和地下水监测点位可参照NT/T 395执行,每个点位代表面积1~5 hm²;对于影响范围较大且污染物迁移转化路径不连续的情形以及影响范围较小的情形,可参照GB/T 39792.1执行;对于农田土壤污染导致农作物受损的情形,依据SF/Z JD0606002、NY/T 398开展农作物损害调查;最后,将获取的监测结果与相应标准限值、基线水平进行对比,判断农田土壤、地下水和农作物的环境污染风险水平是否可控并确认损害情况。

(2) 生态服务功能调查

农田生态服务功能包括供给服务、支持服务、调节服务、文化服务等。相关调查方法可参照《生态环境损害鉴定评估技术指南 生态系统 第1部分:农田生态系统》(征求意见稿)附录A、B。

2.2.3 损害确认

根据GB/T 39792.1,通过对比评估区的监测数据与基线水平,当农田土壤和地下水调查点位中特征污染物的浓度或相关理化指标超过基线水平,或农田土壤和地下水不再具备基线状态下的生态服务功能,如土壤的农产品生产功能、地下水饮用功能等,可以确认造成了农田土壤和地下水环境或生态服务功能损害。

2.3 因果关系分析

因果关系分析主要包括农田土壤和地下水受损因果关系分析和农作物受损因果关系分析两部分内容。其中,其农田土壤和地下水受损因果关系分析主要的程序包括同源性分析、迁移路径调查和排除性调查。

2.3.1 农田土壤和地下水受损因果关系分析

(1) 同源性分析

污染源与农田土壤和地下水污染物之间的同源性分析可选择污染特征比对、相关性分析、同位素监测分析等方法。具体分析过程包括:一是对比污染源与农田土壤和地下水污染物的种类、浓度、比例等情况,初步判断同源性;二是运用相关性统计分析方法对污染源与农田土壤和地下水污染物进行相关性分

析来判断同源性;三是对于特征污染物为铅、镉、锌、汞等重金属或含有氯、碳、氢等元素的有机物时,可采用同位素技术开展监测分析,进一步印证同源性关系。

(2) 迁移路径调查

基于前期调查获取的信息,可参照HJ 25.2、《地下水污染模拟预测评估工作指南》等技术规范,对污染源到农田土壤和地下水之间迁移转化路径的连续性和合理性进行分析。

(3) 排除性调查

在明确污染环境行为与农田生态环境损害间的同源性以及迁移路径后,还应开展排除性调查,确认是否存在“多因一果”的情形。调查对象主要包括气候变化、自然灾害、高背景值、田间管理等,如存在“多因一果”,应明确各因素对农田污染的贡献率。

2.3.2 农作物受损因果关系分析

农田土壤污染可致农作物中污染物的含量升高,从而影响农产品质量安全,如镉、汞、砷、铅、铬等污染物;污染也可直接影响农作物的生长发育,导致作物枯死或减产,如铜、锌、镍等污染物以及土壤pH值、全氮、容重、含盐量、孔隙度等理化指标。对于农作物污染物含量升高的情形,可参照前述污染源与农田土壤和地下水污染物的因果关系分析方法开展。对于农作物枯死或减产的情形,可参照NY/T 3665、NY/T 3025开展调查,必要时可补充毒性模拟实验,获取农田土壤污染物或土壤理化指标的变化对作物的致害性状特征^[9]。

2.3.3 因果关系判定条件

污染环境行为与农田环境损害之间的因果关系判定应符合一般原则,即污染环境行为与损害间存在时间先后顺序,且两者的关联具有合理性、一致性、特异性^[11]。因此,因果关系判定应同时满足以下几点:(1)存在明确的污染环境行为;(2)存在生态环境损害事实,在损害对象中检测出特征污染物,且含量超出基线水平;(3)污染环境行为发生在前,生态环境损害发生在后;(4)受体端和污染源的污染物存在同源性;(5)污染源到受体端之间存在合理的迁移路径;(6)排除相似污染源或气候变化、自然灾害、高背景值、田间管理等其他因素的影响。

2.3.4 不确定性分析

生态环境系统结构与功能复杂,演变诱因较多,损害结果一般具有长期性、反复性和潜伏性等特点。与此同时,由于专业知识、技术水平存在局限,在因果

关系判定中往往具有许多不确定性因素,需要针对因果关系判定结果开展不确定性分析^[12]。一般而言,不确定分析内容包括:(1)时间因素,如监测不及时等原因造成受体环境污染状况存在不确定性;(2)空间因素,如土壤包气带的非均质性导致污染物分布发生变化;(3)技术因素,如在“多因一果”的情形下,农田污染致农产品产量或质量下降的贡献率难以准确计算;(4)其他因素,如无监测数据,无法掌握污染物浓度,导致因果关系分析存在不确定性等^[13]。

2.4 损害实物量化

损害实物量化主要包括损害程度和范围的量化两部分内容。

损害程度量化是基于损害调查确认阶段获取的监测数据,将评估区农田土壤、地下水以及农作物中的特征污染物浓度或相关理化指标与基线水平进行对比,计算超基线倍数情况:

$$K_i = \left| \frac{T_i - B_i}{B_i} \right|$$

式中: K_i 为某点位特征污染物或相关理化指标的超基线倍数; T_i 为某点位特征污染物浓度或相关理化指标; B_i 为特征污染物浓度或相关理化指标的基线水平。

损害范围量化主要根据各监测点位的监测结果以及因果关系分析结果,采用空间插值等方法,计算农田土壤、地下水以及农作物污染物含量升高的受损范围。对于农作物枯死或减产的情形,应结合现场调查结果或遥感、无人机航拍等影像分析结果,量化损害范围。

2.5 损害价值量化

当农田相应的生态环境要素受损且与污染环境行为存在因果关系时,应开展农田污染生态环境损害价值量化,主要包括可恢复策略选择、恢复性评价、恢复方案制定以及价值量化方法选择。损害价值量化一般考虑以下3种情形:

一是对于农田土壤和地下水污染,当生态环境风险不可接受时,应采用人工恢复或人工恢复与自然恢复相结合的方式;当生态环境风险可接受时,宜采用自然恢复方式。对于需要开展人工恢复的情形,恢复技术可参照GB/T 39792.1进行筛选,采用恢复费用法对制定的基本恢复方案和补偿性恢复方案进行价值量化。对于不需要开展人工恢复或不能恢复的情形,采用直接市场法、揭示偏好法、陈述偏好法、效益转移法等环境价值评估方法量化农田各项生态服务功能

损失,包括农产品供给、土壤保育、水源涵养、土壤固碳、休闲旅游等,进而计算农田生态系统总体环境资源价值量:

$$Vf = \sum_i \sum_{t=0}^n V_s \times (1+r)^{-t}$$

式中: Vf 为农田生态系统损害价值; i 为受损服务功能类型; V_s 为受损农田的生态系统服务功能价值; r 为贴现(或复利)率; t 为评估期内的任意给定年(0~ n 之间); T 为评估基准年; $t=0$ 为损害起始年; $t=n$ 为损害终止年。当经修复后未达到基线水平或现状污染水平超过基线水平但不需要修复,优先采用理论治理成本计算基于风险的环境修复目标值或现状污染水平与基线水平之间的损害^[14]。

二是对于农产品产量减少和农产品质量受损的经济损失,按照《农业环境污染事故司法鉴定经济损失估算实施规范》(SF/Z JD0601001)和《农业环境污染事故损失评价技术导则》(NY/T 1263)计算。

三是对于农田损害事实不明确或无法以合理的成本确定生态环境损害范围、程度和损害数额的情形,根据GB/T 39793.1和GB/T 39793.2,运用虚拟治理成本法计算生态环境损害价值量。

3 案例分析

本节在提出以上农田污染生态环境损害鉴定评估方法的基础上,选取企业偷排废水致农田污染的典型案例,对该评估方法的科学性和可行性进行验证。

3.1 基本情况

广东某地执法人员在执法巡查过程中,发现某炼金厂建了一个土法炼金加工的非法生产项目,以此从事贵金属回收活动。该厂占地面积约500 m²,生产车间南侧设有废液处置反应池3个,车间东侧有疑似渗坑1个,渗坑及周边涉及的土地利用类型为耕地(水田)(图2)。该厂主要从首饰生产企业回收贵金属废料,经加热焚烧后,加入王水(盐酸:硝酸3:1)进行溶解,再加入无水亚硫酸钠置换得到贵金属,产生的废水通过软管排放到废液处置反应池暂存,而后采用潜水泵抽出并排放到车间东侧的渗坑(图3)。

3.2 污染环境行为确认

第一,根据现场检查(勘察)笔录、当事人询问笔录等资料显示,该炼金厂责任人承认存在采用潜水泵将炼金废水从反应池中抽出并排放到车间东侧渗坑的行为,可以明确存在污染物排放行为。第二,根据反应池废水的监测结果,废水中总铬、锌和镍等污染

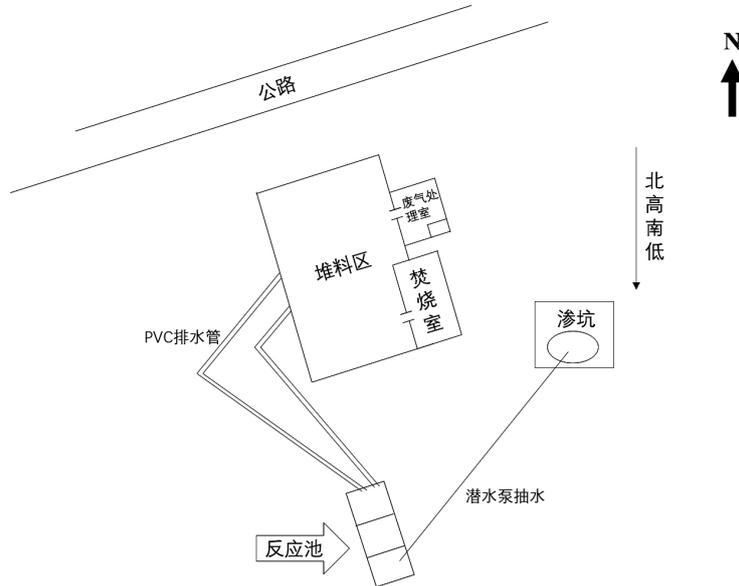


图2 某炼金厂污染情况位置示意图

Figure 2 Relative positions of the gold smelter and polluted soil area

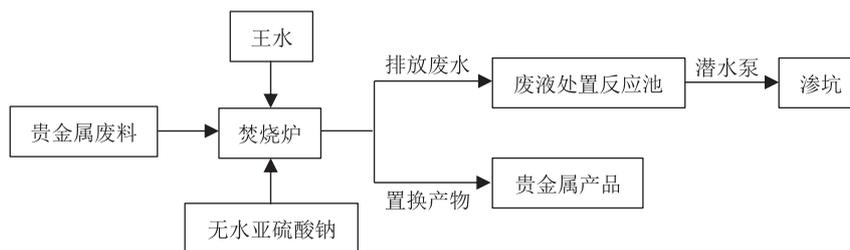


图3 土法炼金工艺流程图

Figure 3 Process flow diagram of gold smelting

物浓度超过了《广东省污染物排放标准》(DB 4426—2001)第二时段二级标准,最高超标倍数分别为7.4、57.7、8.2倍;废水pH<2,呈强酸性,超过了《广东省水污染物排放限值》(DB 4426—2001)第二时段二级标准,违法排放超标污染物的事实确定。综上,确认本案中存在污染环境行为。

3.3 损害调查确认

3.3.1 基线水平调查

如前文所述,按照4种基线水平调查方法的优先选取顺序开展调查。由于缺乏能够表征评估区域农田土壤环境及其生态服务功能历史状况的数据,采用对照区调查数据作为基线水平,确定土壤特征污染物pH基线为6.5,总铬、锌和镍的基线分别为75.1、84.5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和14.1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

3.3.2 农田环境质量现状调查

按照前文提到的布点方法,本案属于污染影响范围较小的情形,参照GB/T 39792.1在渗坑四周布设监

测点位(图4)。基于农田土壤环境监测数据,评估区土壤中pH值为3.12~7.07,锌、总铬、镍等重金属指标浓度分别为26~466、44~196 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和9~164 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,部分点位超过了基线水平,确认土壤环境受到损害。此外,评估区S1、S4和S5等点位部分土壤样品中锌、总铬和镍等污染物超过《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)其他农用地土壤污染风险筛选值,农田土壤可能存在食用农产品不符合质量安全标准或导致食用农产品生长发育受限等污染风险。农产品财产损失方面,本案未造成农产品产量减少和农产品质量受损的情况。农田生态服务功能方面,本案中的农田具有农产品供给、土壤保育等功能,但由于损害持续时间小于一年,无需计算生态服务功能损失。

3.4 因果关系分析

3.4.1 同源性分析

本案中损害调查确认结果显示,农田土壤污染呈

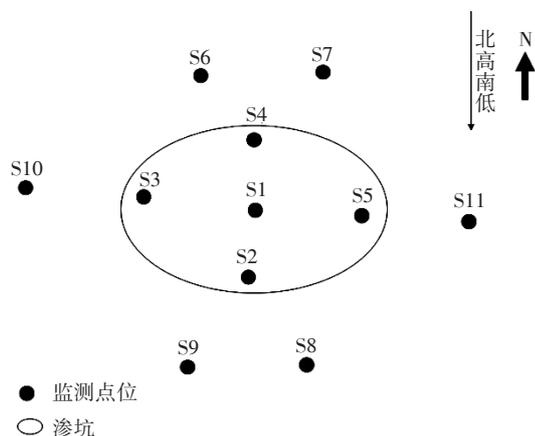


图4 土壤监测点位布设示意图

Figure 4 Schematic map of soil sampling sites

现出pH低以及锌、总铬、镍等重金属浓度高的特点,与疑似污染源的反应池废水特征基本一致,初步判断两者具有同源性。

据文献报道,相关性分析常用来验证监测点位重金属与污染源的同源性^[15-16],本案中采用相关性分析对其进行进一步印证。相关性分析结果显示(表2),农田土壤各监测点位与反应池废水中特征污染物浓度水平分布的皮尔森系数在0.28~0.83之间,说明农田土壤中各监测点位的特征污染物浓度水平分布与反应池废水中各污染物浓度水平存在显著相关性,进而推论本案涉及的农田土壤受体污染物与目标污染源存在同源性。另外,农田土壤各监测点位之间的特征污染物浓度皮尔森系数在0.77~0.99之间,呈现高度相关性,也说明各监测点位的污染物来源一致,可以排除土壤高背景值、历史遗留污染等因素的影响。

3.4.2 迁移路径调查与分析

评估区各土壤监测点位的监测数据显示,土壤中

特征污染物浓度分布总体呈渗坑中心高、四周低的特点,即污染物从渗坑中心向四周扩散,符合连续入渗型的特点,污染物到农田土壤受体的迁移路径可以明确。

3.4.3 因果关系判定

结合前文所述,本案存在明确的污染环境行为和生态环境损害事实。污染环境行为发生在前,农田生态环境损害发生在后,符合因果关系判定的时间顺序。同时,经同源性和迁移路径分析,本案涉及的污染源与农田土壤受体存在同源性并存在合理的迁移路径。此外,也可以排除土壤高背景值、历史遗留污染等污染因素的影响。因此,根据因果关系判定的原则和方法,可以确定本案违法排放废水的行为与农田土壤生态环境损害之间存在因果关系。

3.4.4 不确定性分析

(1)本案中,该炼金厂的废水偷排行为与损害调查样品采集的时间间隔已超过了一年,在调查时间上存在一定的滞后性。由于环境监测的不及时,通过调查确定的农田土壤损害程度和范围较废水偷排行为刚发生时可能会发生一定程度上的变化。

(2)该炼金厂的废水偷排行为结束后,其废液处置反应池始终为露天裸露状,在降雨、蒸发、沉淀等因素影响下,所监测的废水中的污染物浓度与偷排废水时的真实污染物浓度可能会有差异,也会对同源性分析结果造成一定的影响。

3.5 损害实物量化

基于评估区农田土壤监测数据与基线水平,计算得出评估区土壤中pH值、锌、总铬、镍等污染物含量超过了基线水平。其中,锌、总铬、镍分别超过基线水平0.3~7.4、0.3~1.7倍和0.3~9.6倍。

将农田土壤评估区9个采样点的特征污染物浓

表2 土壤点位污染物与污染源浓度水平相关性分析

Table 2 Correlation analysis of pollutants concentrations between sampling sites and the pollutant source

		污染源 Pollutant source	监测点位(Sampling sites)								
			S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	
污染源		1									
监测点位	S1	0.28	1								
	S2	0.63	0.92	1							
	S3	0.48	0.98	0.98	1						
	S4	0.83	0.77	0.95	0.89	1					
	S5	0.49	0.98	0.98	0.99	0.89	1				
	S6	0.71	0.88	0.99	0.96	0.98	0.96	1			
	S7	0.47	0.98	0.98	0.99	0.87	0.99	0.95	1		
	S8	0.48	0.98	0.98	0.99	0.89	0.99	0.96	0.99	1	
	S9	0.65	0.86	0.97	0.95	0.95	0.94	0.96	0.92	0.94	1

度数据进行克里金插值法模拟分析,建立空间与属性数据库,结合基线水平,确定受污染土壤的污染面积和污染程度^[17-18]。通过计算各项特征污染物的污染范围后得出本案的土壤污染范围,其中评估区内表层土壤(0~0.5 m)特征污染物水平分布如图5所示,计算得出该深度土壤损害面积为12.35 m²。依照上述方法,计算得出其他4个深度(0.5~1.0、1.5~2.0、2.5~3.0 m和3.5~4.0 m)土壤损害范围分别为12.32、15.68、11.85 m²和4.65 m²,继而计算得到受损土壤总量为56.85 m³。

3.6 损害价值量化

本案中农田土壤特征污染物浓度超过了《土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)中规定的农用地土壤污染风险筛选值,属于生态环境风险不可接受的情形,需要制定恢复方案,将受损土壤及其生态服务功能恢复到基线水平。

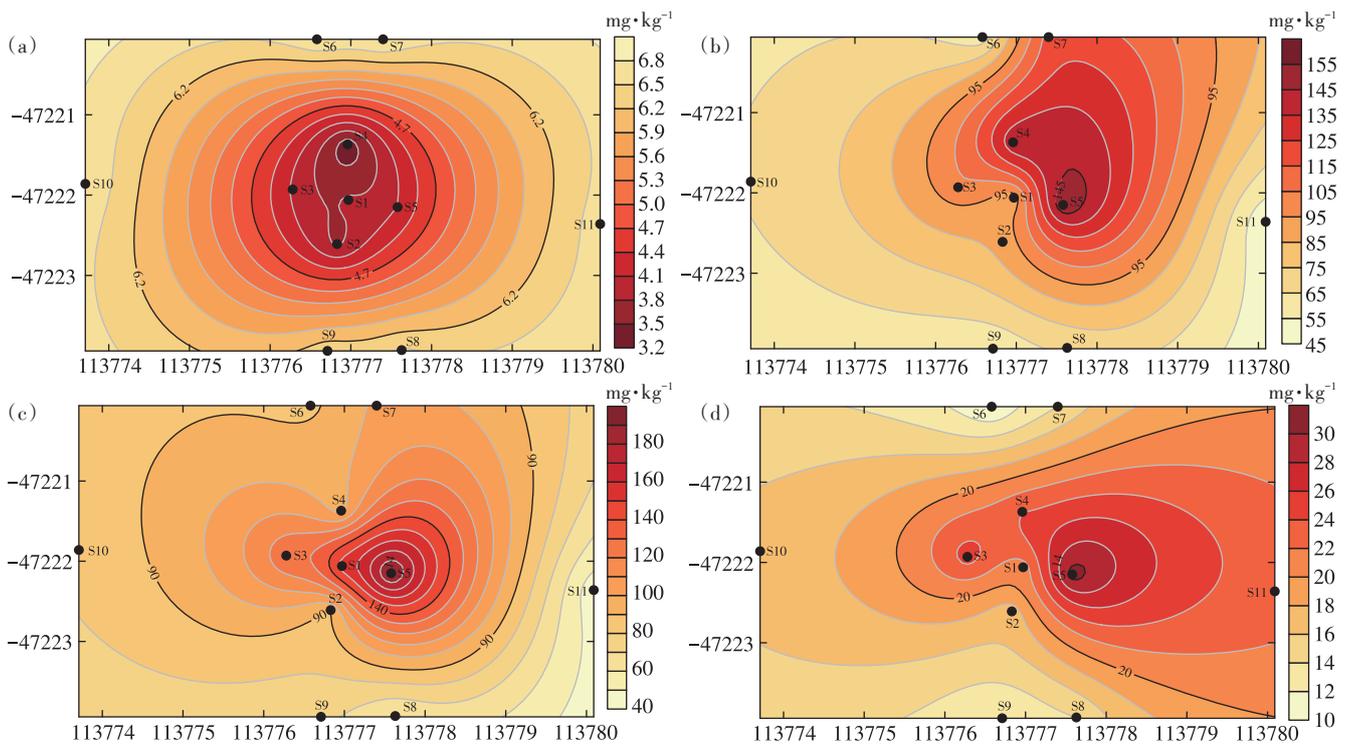
从目前应用案例上看,受损土壤通常采用土壤植物修复、土壤洗脱、水泥窑协同处置+土地复垦等技术进行修复。其中,土壤植物修复技术具有成本低、不改变土壤性质、无二次污染等优点,但同时也存在耗时长、污染程度不能超过修复植物的正常生长范围

等缺点。根据土壤污染状况调查结果,调查区域内土壤污染深度为0~4 m,污染深度较深,土壤植物修复技术不能满足土壤修复要求。另外,从技术功能上看,采用土壤洗脱技术进行土壤污染物洗脱,会导致K、Ca、Mg、Fe、Mn等营养元素流失和有效性改变,从而造成农田土壤肥力下降,不利于农作物生长,所以土壤修复也不宜采用土壤洗脱技术。由于涉案区域周边具备水泥窑协同处置条件,能同时满足修复技术和经济的可行性要求,本案采用水泥窑协同处置+土地复垦技术进行土壤修复。最后,结合市场价格进行计算,本案生态环境损害价值量化数额为58 050元。

4 结语与讨论

(1)涉农田污染的生态环境损害鉴定评估对象主要包括农田土壤、地下水、农作物或农产品的不利改变以及上述要素构成的农产品供给、土壤保育、水源涵养、土壤固碳、休闲旅游等生态系统服务功能的退化或减少。

(2)本研究以《生态环境损害赔偿制度改革方案》为指导,以GB/T 39791.1、GB/T 39792.1等标准为基础,总结了农田相关行业标准中的相关技术要点,提



(a)pH;(b)锌;(c)总铬;(d)镍
(a) pH;(b) zinc;(c) total chromium;(d) nickel
图5 评估区土壤特征污染物水平分布图(0~0.5 m)

Figure 5 Horizontal distribution of characteristic pollutants in the soil assessment area (0~0.5 m)

出了一套包括污染环境行为确认、损害调查确认、因果关系分析、损害实物量化、损害价值量化等关键技术环节的农田污染生态环境损害鉴定评估技术方法,并通过典型案例进行全环节验证分析,结果显示该技术方法合理可行。

(3)农田污染生态环境损害鉴定评估技术方法在实际应用中可能会存在如下问题,值得研究重视:

①由于该类技术方法涵盖农业、环境、自然资源、司法等多个交叉学科,服务的主体部门众多,各部门大多制定有各自标准,各标准间又各有侧重,关于损害范围的界定、鉴定评估方法及其使用等情况既有交叉更有差别,容易给应用部门和鉴定人造成困惑,继而在工作实践上造成混乱,亟需建立科学、统一、系统、规范的技术体系^[19-20]。

②针对农田污染对农田生态系统以及农作物损害的相关技术研究还较为缺乏,尤其是对于污染源-农田土壤和地下水-农作物这条环境损害链条各环节的机理研究。当前该部分研究大多为农田土壤与农作物之间重金属污染的效应关系^[21-24],但对于污染源导致的土壤有机质、微量元素、盐分等理化指标以及微生物指标变化的研究很少,给农产品质量损失以及农田供给服务功能等方面的鉴定带来较大困难。

参考文献:

- [1] 李志,符平杰,江泰,等.近十年我国耕地保护政策的回顾与启示[J/OL].中国国土资源经济,2023,doi:10.19676/j.cnki.1672-6995.000961. LI Z, FU P J, JIANG T, et al. Review and enlightenment of cultivated land protection policy in China in recent ten years[J/OL]. *Natural Resource Economics of China*, 2023, doi: 10.19676/j.cnki.1672-6995.000961.
- [2] 环境保护部,国土资源部.全国土壤污染状况调查公报[R].北京:环境保护部,国土资源部,2014:45-49. Ministry of Environmental Protection, Ministry of Land and Resources of PRC. Report on the national general survey of soil contamination in China[R]. Beijing: Ministry of Environmental Protection, Ministry of Land and Resources of PRC, 2014.
- [3] 王伟,张国良,赵晋宇,等.我国农业环境损害鉴定评估标准体系研究[J].生态学报,2022,42(1):161-168. WANG W, ZHANG G L, ZHAO J Y, et al. Research on the standardization on construction of agricultural environmental damage appraisal in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(1):161-168.
- [4] 毛金群,康俭成,黄婉玉,等.重金属废水污染农田土壤事件环境损害评估研究[J].环保科技,2020,26(2):46-51. MAO J Q, KANG J C, HUANG W Y, et al. Environmental damage assessment for farmland soil contaminated by heavy metal wastewater[J]. *Environmental Protection and Technology*, 2020, 26(2):46-51.
- [5] 赵婕.某农田非法倾倒污泥的环境损害鉴定评估研究[J].皮革制作与环保科技,2022,3(9):132-134. ZHAO J. Study on environmental damage and identification of assessment illegal dumping sludge in a farmland[J]. *Leather Manufacture and Environmental Technology*, 2022, 3(9):132-134.
- [6] 胡韬,唐彬,田玲星,等.某非法盗采稀土矿案生态环境损害鉴定评估研究[J].广东化工,2023,50(18):46-51. HU T, TANG B, TIAN L X, et al. A case study of the identification and assessment of environmental damage of rare earth mining[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2023, 50(18):46-51.
- [7] 生态环境部和国家市场监督管理总局联合发布六项生态环境损害鉴定评估技术标准[J].环境科学与管理,2021,46(1):4. Six technical guidelines for identification and assessment of environmental damage have been issued by Ministry of Ecology and Environment and State Administration for Market Regulation[J]. *Environmental Sciences and Management*, 2021, 46(1):4.
- [8] 於方,赵丹,王朕,等.《生态环境损害鉴定评估技术指南 土壤与地下水》解读[J].环境保护,2019,47(5):19-23. YU F, ZHAO D, WANG B, et al. Interpretations on *Technical Guidelines for Identification and Assessment of Eco-environmental Damage: Soil and Groundwater*[J]. *Environmental Protection*, 2019, 47(5):19-23.
- [9] 於方,张志宏,孙倩,等.生态环境损害鉴定评估技术方法体系的构建[J].环境保护,2020,48(24):16-21. YU F, ZHANG Z H, SUN Q, et al. Establishment of methodologies for environmental damage assessment[J]. *Environmental Protection*, 2020, 48(24):16-21.
- [10] 王伟,赵晋宇,强沥文,等.农业环境损害因果关系鉴定研究[J].农业环境科学学报,2022,41(9):1855-1863. WANG W, ZHAO J Y, QIANG L W, et al. Causality identification of agricultural environmental damages[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2022, 41(9):1855-1863.
- [11] 赵丹,徐伟攀,朱文英,等.土壤地下水环境损害因果关系判定方法及应用[J].环境科学研究,2016,29(7):1059-1066. ZHAO D, XU W P, ZHU W Y, et al. Determining causality of soil and groundwater damage[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2016, 29(7):1059-1066.
- [12] 于恩逸,崔宁,吴迪,等.草原生态环境损害因果关系判定路径[J].生态学报,2021,41(3):943-948. YU E Y, CUI N, WU D, et al. A path of causality judgement of grassland eco-environmental damage[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(3):943-948.
- [13] 洪慧,张强,刘哲,等.生态环境损害多因一果关系识别判定:以非法处置危废案为例[J].环境科学与技术,2023,46(增刊2):233-240. HONG H, ZHANG Q, LIU Z, et al. Identification and determination of the relationship between multiple causes and one effect of ecological environmental damage: taking the case of illegal disposal of hazardous waste as an example[J]. *Environmental Science & Technology*, 2023, 46(Suppl 2):233-240.
- [14] 白俊跃,许丽丽,陈理洁,等.理论治理成本法在农田环境损害鉴定中的应用[J/OL].农业环境科学学报:1-12. http://kns.cnki.net/kcms/detail/12.1347.S.20230804.1344.002.html. BAI Y J, XU L L, CHEN L J, et al. Application of the theoretical treatment cost method in identification of farmland environmental damage[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 1-12. http://kns.cnki.net/kcms/detail/

- 12.1347.S.20230804.1344.002.html.
- [15] 张婉军, 辛存林, 于爽, 等. 柳江流域河流溶解态重金属时空分布及污染评价[J]. 环境科学, 2021, 42(9):4234-4245. ZHANG W J, XIN C L, YU S, et al. Spatial and temporal distribution and pollution evaluation of soluble heavy metals in Liujiang River basin[J]. *Environmental Science*, 2021, 42(9):4234-4245.
- [16] 冯娟, 艾昊, 陈清敏, 等. 金属矿区土壤重金属污染的分布特征及因果关系解析: 以某金矿为例[J]. 农业环境科学学报, 2023. FENG J, AI H, CHEN Q M, et al. Distribution characteristics and causality analysis of soil heavy metal pollution in a metal mining area: a case study of a gold mine[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2023.
- [17] 余梓鹏, 王宝娥, 王柳玲, 等. 生态修复后某矿区下游农田土壤金属污染特征与风险评价[J]. 中国环境监测, 2023, 39(5):134-144. SHE Z P, WANG B E, WANG L L, et al. Characteristics and risk assessment of soil metal pollution in farmland downstream of mining area after ecological restoration[J]. *Environmental Monitoring in China*, 2023, 39(5):134-144.
- [18] 曹宏杰, 王立民, 罗春雨, 等. 三江平原地区农田土壤中几种重金属空间分布状况[J]. 生态与农村环境学报, 2014, 30(2):155-161. CAO H J, WANG L M, LUO C Y, et al. Spatial distribution of several heavy metals in farmland soil in Sanjiang Plain[J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2014, 30(2):155-161.
- [19] 李军幸, 王跃华, 师荣光, 等. 我国农产品产地环境标准体系现状及发展研究[J]. 农产品质量与安全, 2017(6):9-12. LI J X, WANG Y H, SHI R G, et al. Current situation and development of China's standard system on agricultural production environment[J]. *Quality and Safety of Agro-products*, 2017(6):9-12.
- [20] 於方, 张衍桑, 齐霁, 等. 环境损害鉴定评估关键技术问题探讨[J]. 中国司法鉴定, 2016(1):18-25. YU F, ZHANG Y S, QI J, et al. Key technical issues in environmental damage appraisal and assessment[J]. *Chinese Journal of Forensic Sciences*, 2016(1):18-25.
- [21] 范健, 黄顺生, 崔晓丹, 等. 江苏某材料厂周边农田土壤钼污染特征及农作物健康风险评价[J]. 地质学刊, 2023, 47(1):84-90. FAN J, HUANG S S, CUI X D, et al. Characteristics of soil molybdenum contamination and crop health risk assessment around a material factory in Jiangsu Province[J]. *Journal of Geology*, 2023, 47(1):84-90.
- [22] 张盼盼, 崔亦沐, 袁琴琴, 等. 重金属污染土壤对三种豆科作物光合生理和产量的影响[J]. 榆林学院学报, 2022, 32(6):37-42. ZHANG P P, CUI Y M, YUAN Q Q, et al. Effects of heavy metal polluted soil on photosynthetic physiology and yield of three legumes[J]. *Journal of Yulin University*, 2022, 32(6):37-42.
- [23] 葛程, 于洋, 郑浩, 等. 江苏省农田土壤与稻米重金属污染状况评价[J]. 环境卫生学杂志, 2022, 12(11):790-803. GE C, YU Y, ZHENG H, et al. Evaluation of heavy metal pollution in farmland soil and rice in Jiangsu Province, China[J]. *Journal of Environmental Hygiene*, 2022, 12(11):790-803.
- [24] 张好, 董春雨, 杨海婵, 等. 昭通市农田土壤和蔬菜重金属污染评价及相关性分析[J/OL]. 环境科学, 2023, <https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202303178>. ZHANG H, DONG C Y, YANG H C, et al. Analysis on heavy metal pollution evaluation and correlation of farmland soil and vegetables in Zhaotong city[J/OL]. *Environmental Science*, 2023, <https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202303178>.