

重金属污染耕地轮作休耕治理效果综合评价方法与案例研究

邓志英¹, 黄毅¹, 黄玉屏²

1. 长沙民政职业技术学院商学院, 湖南长沙 410004

2. 湘潭大学, 湖南湘潭 411105

摘要: 实施耕地重金属污染治理是我国保障耕地永续利用的一项重大战略决策。从生态效益、社会效益、经济效益3个维度出发, 构建了涵盖19个二级指标的综合评价体系, 运用熵权法确定指标权重并进行综合评价。基于湖南省2009—2022年统计数据, 运用综合评价方法研究湖南省重金属污染耕地治理效果。研究发现, 2016年(含)之后的湖南省耕地污染治理效果提升速度是2016年之前的1.64倍。2022年综合评价值为0.8554, 是2009年的3.84倍, 2016年的1.79倍, 研究区域整体治理效果呈持续向好的发展趋势。2010年综合评价值最小, 为0.2099, 耕地生态环境水平处于较低状态。2022年生态效益评价值为0.3268, 社会效益评价值为0.2376, 经济效益评价值为0.2910, 表明湖南省重金属污染耕地治理不仅在生态领域, 而且在社会和经济领域都取得了显著成效。湖南省耕地重金属污染治理成效显著, 但仍需认识到治理任务的艰巨性, 持续提升治理体系的系统性。

关键词: 重金属污染; 轮作休耕治理; 综合评价; 熵权法

中图分类号: X82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-6002(2026)01-0284-11

DOI: 10.19316/j.issn.1002-6002.2026.01.25

Comprehensive Evaluation Method and Case Study on the Remediation Effectiveness of Crop Rotation and Fallow for Heavy Metal-Contaminated Farmland

DENG Zhiying¹, HUANG Yi¹, HUANG Yuping²

1. School of Business, Changsha Social Work College, Changsha 410004, China

2. Xiangtan University, Xiangtan 411105, China

Abstract: The implementation of remediation for heavy metal-contaminated rural farmland is an important strategic decision in China to ensure the sustainable utilization of arable land. A comprehensive evaluation system comprising 19 secondary indicators was constructed from three dimensions: ecological benefit, social benefit and economic benefit. The entropy weight method was applied to determine index weights and conducts a comprehensive evaluation. Based on the statistical data of Hunan Province from 2009 to 2022, the comprehensive evaluation method was used to examine the effectiveness of heavy metal-contaminated farmland remediation in the region. The study found that the improvement rate of remediation effectiveness after 2016 (inclusive) was 1.64 times than before. The comprehensive assessment value for 2022 was 0.8554, which is 3.84 times that of 2009 and 1.79 times that of 2016, indicating a consistently positive development trend in the overall remediation effectiveness across the study area. The value of comprehensive evaluation in 2010 was the lowest at 0.2099, reflecting a relatively low level of farmland ecological environment quality. In 2022, the ecological benefit evaluation value was 0.3268, the social benefit evaluation value was 0.2376, and the economic benefit evaluation value was 0.2910, indicating that the remediation of heavy metal-contaminated farmland in Hunan Province has achieved significant results not only in the ecological domain but also in social and economic aspects. While the remediation of heavy metal-contaminated farmland in Hunan Province has yielded remarkable outcomes, it remains essential to recognize the complexity of the remediation task and to continuously enhance the systematic nature of the governance framework.

Keywords: heavy metal-contamination; rotation and fallow management; comprehensive evaluation; entropy weight method

在农业现代化发展的前期, 工业向农村转移、农用耕地过度使用等曾对我国耕地质量造成较大影响。进入21世纪以来, 我国部分地区耕地受重

金属污染情况呈上升趋势, 稻谷、蔬菜等农产品重金属元素超标情况时有发生。为保护耕地, 对受重金属污染的耕地进行科学有效治理, 国家自

收稿日期: 2024-08-30; 修订日期: 2025-04-11

基金项目: 2024年度湖南省自然科学基金科教联合项目(2024JJ8035)

第一作者简介: 邓志英(1978—), 女, 硕士, 副教授, 964009873@qq.com。

通讯作者: 黄毅, huangyihello@163.com。

2016年开始在重金属污染严重的区域开展轮作休耕治理试点,主要采取3种方式:长期休耕治理(污染严重的耕地)、轮作式休耕治理(污染程度一般的耕地)和边耕种边治理(污染较轻的耕地)。

统计数据显示,2011年全国废水污染物中,主要重金属污染物(铅、汞、镉、砷、总铬)的排放量为633 752.5 kg,其中湖南省排放147 575.6 kg,占比23.29%,是全国废水重金属排放量最大的地区。“十二五”时期,湖南省就开始对湘江流域开展重金属污染防治工作,关停涉重企业700多家,开工治理项目200多个,对矿产加工、工业制造、畜牧养殖等行业污染排放实施控制和治理。2015年,湖南省废水污染物中主要重金属的排放量有所下降,为61 956.6 kg(全国313 717.8 kg),占比19.75%,仍然是全国占比最高的地区。湖南省耕地重金属污染呈现面积广、程度深、种类多的严峻态势。2016年,国家将湖南省长株潭重金属污染区列为第一批重金属污染耕地轮作休耕治理试点地区,从10万亩(1亩 \approx 666.67 m²)开始,逐步扩大至全省,开展渐进式治理。至今,该项工作已持续开展9年,成效明显。2022年,湖南省废水污染物中主要重金属的排放量只有5 424 kg,占全国排放量的11.27%,相比2011年占比下降了12.02个百分点。湖南省对耕地重金属污染治理极为重视,颁布了一系列政策文件,采取了科学有效的具体措施,如污水排放控制、农田轮作休耕、农药化肥减量增效等。这些措施有效缓解了耕地重金属污染情况,提高了耕地质量,在生态、经济、社会影响方面取得了重大成效。

1 文献回顾

从现有文献资料来看,国内研究人员对耕地重金属污染治理效果的研究主要集中于技术层面的探索。例如,王娟等^[1]对重金属污染耕地的修复治理技术及效果进行了归类梳理和总结分析。常道琴等^[2]对干旱半干旱区铜尾矿污染治理效果进行了研究,结果表明,微生物诱导碳酸钙沉淀技术(MICP)能有效降低矿渣中重金属元素的含量,减轻矿渣对附近土壤的污染程度。周振等^[3]研究了生物炭和海泡石复配对镉锌复合污染土壤的钝化修复效果,发现适宜的复配比例有利于提升镉和锌的钝化修复效果。从非技术层面来看,

对耕地重金属污染治理效果的研究主要集中于农户(农民)满意度调查和分析。例如,谭永忠等^[4]以顾客满意度指数(CSI)理论和结构方程模型(SEM)为基础,分析了农户对重金属污染耕地治理的满意度。结果显示,农户对当前耕地污染治理效果满意的比例超过75%,其中影响农户满意度的两个比较重要的因素是农户期望和感知价值。黄圣男等^[5]探讨了农户对耕地重金属污染治理的认知与满意度,发现污染治理认知水平与满意度呈正向关系,认知水平越高满意度越高。黄毅等^[6]的研究结果显示,农户对重金属污染耕地轮作休耕治理效果的满意度为96%,对休耕后收入的满意度为91%;农户受教育程度、家庭收入、农户特征、农户自有耕地污染程度等对耕地污染治理满意度有一定的影响。然而,从宏观视角对耕地重金属污染治理效果进行综合评价的文献比较稀少。从人文社会科学的宏观视角来看,综合评价应考察治理的生态效应、社会效应、经济效应。然而,现有文献主要关注治理的生态效应,比如农业耕种过程中农药化肥使用量变化^[7]、工业污水重金属含量控制技术及其效果^[8-9]、水质和生物多样性保护情况^[10-11]等。范翔宇等^[12]对重金属污染耕地治理的绿色发展效益进行了分析,研究结果显示,可以通过政策供给、技术创新、资金支持等举措,推动耕地重金属污染治理的实施,提高土地生态环境质量。

截至2025年,我国实施重金属污染耕地轮作休耕治理试点已经9年,不仅在土壤质量改善上取得了成效,保障了粮食和重要农产品质量,参与治理试点的农户的满意度也有了较大提升。同时,污染治理的社会效应(如农户环境保护认知水平提高)和经济效应(如农业可持续发展能力增强)正逐渐显现。在此情况下,对重金属污染耕地治理效果的评价应从技术评估扩展到综合性评价,从单纯的生态效应研究扩展到社会效应和经济效应研究。例如,粮食保障能力、农民生活质量、农村人口数量、农民收入水平、农业发展能力等,均应是综合评价考虑的方向。目前,从社会效应和经济效应视角分析评价污染治理效果的文献仍很难查到,其原因一方面是指标体系选取难度大,另一方面是指标数据获取难度大。基于以上分析和考虑,本文试图构建一种综合评价指标体系,对耕地重金属污染治理效果进行综合评价。研究结果不仅可以为现有文献资料提供补充,还

可以从另一个视角为耕地污染治理效果综合性评估提供新方法和新思路。

2 理论模型与评价指标体系构建

2.1 理论模型构建

对项目执行效果进行评价的主要理论基础和方法包括目标导向理论^[13]和结果导向理论^[14]。这两种理论方法并不是完全隔离的,而都是基于投入与产出比较的评价理论和方法。如果不能完全测度一个项目的投入情况(或者很难获得数据),用可测量的(或者相对可衡量的)项目结果衡量项目的目标达成度也是一种有效方法。因此,从某种意义上可以说,目标导向理论和结果导向理论的边界是模糊的。我国耕地重金属污染治理是一项惠及民生的重大战略决策,其目标明确,旨在实现耕地生态可持续发展、保障粮食和重要农产品市场稳定、维护农户利益。因此,以政策目标为依据,将生态效益、社会效益、经济效益作为核心考察对象,衡量耕地重金属污染治理实施效果,是一种有效方法。现阶段,我国耕地重金属污染治理(湖南省为主要试点区域)采取的方式主要包括长期休耕治理、轮作式休耕治理、边耕作边治理。具体治理措施主要包括:一是控制土壤污染源,如管控工业“三废”排放、加强土壤污灌

区监测与管理、合理施用化肥与农药、强化农业养殖污染监控与管理、建立监测网络等;二是修复污染土壤,如施加土壤改良剂、改变耕作制度、实施土壤深翻、采用农业生态工程措施、开展土壤工程治理等。这些方法和具体措施科学有效,完全符合政策目标和实施过程的要求。

依据《探索实行耕地轮作休耕制度试点方案》^[15],我国耕地轮作休耕制度的基本原则是:巩固提升产能,保障粮食安全;加强政策引导,稳定农民收益;突出问题导向,分区分类施策;尊重农民意愿,稳妥有序实施。基于耕地的产权属性,以及轮作休耕制度自上而下的推动作用及其产生的社会影响,我国重金属污染耕地轮作休耕治理不仅具有经济属性,还具有一定的政治属性^[16]。因此,轮作休耕治理行为产生的效应具有全面性、整体性和不断发展的潜在价值性。政策执行过程中的宣传、贯彻、推动工作,在全社会特别是广大农村地区产生了积极反响,获得了良好效果,改变了人们对传统农业生产方式的认识,使民众在思想上和行动上逐渐统一,促进了耕地保护意识和科学耕种理念的逐步形成,使得一系列积极变化在生态效益、社会效益和经济效益层面逐步显现。基于这一指导思想,本研究构建了生态效益、社会效益、经济效益三维评价模型,模型设计如图1所示。

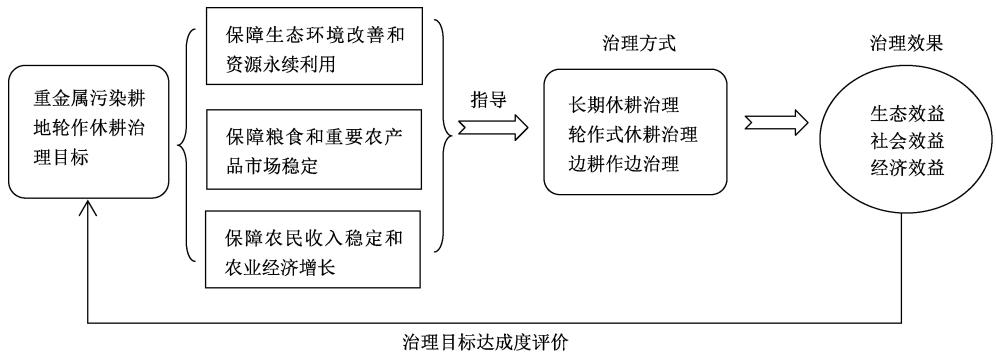


图1 耕地重金属污染治理效果综合评价模型设计
Fig. 1 Model design on comprehensive evaluation of heavy metal pollution control in farmland

2.2 评价指标体系构建

基于综合评价理论模型及项目本身的指导思想和目标,本研究遵循科学性、数据可获得性、客观性的原则,构建耕地重金属污染治理效果综合评价指标体系,共设3个一级指标、19个二级指标,具体如表1所示。所有数据来源于统计年鉴,时间跨度为2009—2022年。

2.3 指标选取的解释和说明

关于指标体系构建过程中的指标选取,需作如下说明:

一是关于数据范畴和来源的解释。由于本研究以湖南省为研究对象,所用数据均为反映湖南省情况的统计数据,其大部分来源于《湖南统计年鉴》,小部分来源于《中国统计年鉴》。

二是关于部分指标设置的解释。二级指标森林覆盖率(B15)和农业造林面积(B17)的选取主要是基于在重金属污染治理过程中,人们对环境保护重要性认知的改变。从重金属污染治理政策的整体效果考虑,政策宣传和执行促进了人们环境保护意识的提高,特别是绿色种植意识。农村人口占总人口比例(B25)指标的选取主要是考虑到农业农村环境改善可能吸引人口回流(包括从事农业经营),从而有望减缓该比例的下降速度或使其趋于稳定。农业科学技术使用情况以农村宽带接入户数(B35)表征,主要是考虑在重金属污染治理过程中,农业从业人员素质和知识水平将进一步提高,而宽带接入是农业从业人员提升素质、获取知识并实践现代经营方式的基础条件;另外也是考虑到该项数据的可获得性更高。粮食生产积极性(粮食作物播种面积/年末实有耕地

面积)(B26)用来衡量重金属污染治理过程中及治理完成后,粮食种植积极性的变化。耕地利用多样化情况(农作物播种面积/年末实有耕地面积)(B36)用来反映经济作物轮作带来的农业生产结构优化及农业资源利用效率提升程度。

三是关于部分指标数据统计范围的解释。废水中主要重金属污染物排放量(B16)主要统计了铅、汞、镉、砷、总铬的排放量,主要是因为相关统计数据可直接获取,以及湖南省耕地重金属污染以上述重金属污染为主。粮食保障情况(产量)(B21)主要统计的是稻谷产量(湖南以种植水稻为主),包括早稻、中稻、晚稻。

另外,将对综合评价影响为正的指标定义为正向指标;将影响为负的指标定义为负向指标;粮食价格波动较小为好(粮食市场稳定),将其定义为中性指标。

表 1 耕地重金属污染治理效果综合评价指标体系

Table 1 Comprehensive evaluation index system of heavy metal pollution control in farmland

评价目标	一级指标	二级指标	单位	指标性质
生态效益(B1)		农用化肥施用量(B11)	t	负向
		农用薄膜使用量(B12)	t	负向
		农药使用量(B13)	t	负向
		能源消耗增速(B14)	%	负向
		森林覆盖率(B15)	%	正向
		废水中主要重金属污染物(铅、汞、镉、砷、总铬)排放量(B16)	kg	负向
		农业造林面积(B17)	10 ³ hm ²	正向
		粮食保障情况(产量)(B21)	万 t	正向
		粮食作物播种面积(B22)	10 ³ hm ²	正向
		耕地重金属污染治理效果综合评价(B)	社会效益(B2)	粮食价格指数(谷物)(B23)
农村居民消费总额(B24)	亿元			正向
农村人口占总人口比例(B25)	%			正向
粮食生产积极性(粮食作物播种面积/年末实有耕地面积)(B26)	%			正向
农业总产值(B31)	亿元			正向
经济效益(B3)		单位耕地面积粮食产量(B32)	kg/hm ²	正向
		农村居民人均可支配收入(B33)	元	正向
		环保产业收入(B34)	亿元	正向
		农业科学技术使用情况(农村宽带接入户数)(B35)	万户	正向
		耕地利用多样化情况(农作物播种面积/年末实有耕地面积)(B36)	%	正向

3 实证研究

综合评价主要是通过定量方法对数据进行处理和计算,进而对评价对象进行综合评估。其主要过程包括构建评价指标体系、处理指标数据、确定指标权重、计算综合评价值。鉴于前文已基于理论模型完成了指标体系构建及指标选取解释说明,下文主要介绍指标数据的标准化处理、指标权重的确定(熵权法)以及对案例对象的综合评价

测算等内容。

3.1 指标数据的标准化处理

由于 19 个二级指标的类型与特点不同,指标间存在着量纲差异,为保证实证方法的科学性和评价结果的有效性,需对数据进行无量纲化处理。一般采用数据标准化处理方法来消除指标间的量纲差异,计算公式如下。

正向指标:

$$X_{ij}^{\kappa} = \frac{X_{ij} - \min X_j^{\kappa}}{\max X_j^{\kappa} - \min X_j^{\kappa}} \quad (1)$$

负向指标:

$$X_{ij}^{\kappa} = \frac{\max X_j^{\kappa} - X_{ij}}{\max X_j^{\kappa} - \min X_j^{\kappa}} \quad (2)$$

中性指标:

$$X_{ij}^{\kappa} = 1 - \frac{|X_{ij} - a|}{\max\{|X_{ij} - a|\}} \quad (3)$$

式中: i 表示年份; j 表示指标项; X_{ij} 表示第*i*年第*j*项指标的原始数值; X_{ij}^{κ} 表示第*i*年第*j*项指

标的经标准化处理后的数值; $\min X_j^{\kappa}$ 与 $\max X_j^{\kappa}$ 分别是为了避免数据标准化处理存在零值,将第*j*项指标的最小值与最大值分别缩小与放大1%的结果,即 $\min X_j^{\kappa} = \min X_j \times 99\%$ 和 $\max X_j^{\kappa} = \max X_j \times 101\%$; a 是计算中性指标时设置的基准点,为100,只在计算粮食价格指数(谷物)(B23)时使用。经过标准化处理后的重金属污染治理效果综合评价指标数据如表2所示。

表2 各指标数值经标准化处理后的结果
Table 2 Results of the values of each index after standardization

年份	农用化肥施用量 (B11)	农用薄膜使用量 (B12)	农药使用量 (B13)	能源消耗增速 (B14)	森林覆盖率 (B15)	废水中主要重金属污染物(铅、汞、镉、砷、总铬)排放量 (B16)	农业造林面积 (B17)	粮食保障情况(产量) (B21)	粮食作物播种面积 (B22)	粮食价格指数(谷物)(B23)
2009	0.527 9	0.954 3	0.231 6	0.010 8	0.476 9	0.010 2	0.000 2	0.279 3	0.470 6	0.791 7
2010	0.396 8	0.837 7	0.154 1	0.010 8	0.553 4	0.109 5	0.038 6	0.105 8	0.508 4	0.583 3
2011	0.240 6	0.661 1	0.116 1	0.010 8	0.568 5	0.199 2	0.111 1	0.480 5	0.662 9	0.233 3
2012	0.065 7	0.430 1	0.058 2	0.635 1	0.594 8	0.331 7	0.183 8	0.767 7	0.741 8	0.000 1
2013	0.090 1	0.246 3	0.028 3	0.476 2	0.617 4	0.550 2	0.246 8	0.502 2	0.805 3	0.879 5
2014	0.100 3	0.211 7	0.028 7	0.752 7	0.874 6	0.636 0	0.317 4	0.830 4	0.907 2	0.969 6
2015	0.133 8	0.144 9	0.072 5	0.962 8	0.874 6	0.681 3	0.385 0	0.886 4	0.885 3	0.844 5
2016	0.136 2	0.100 7	0.156 4	0.815 2	0.924 8	0.885 2	0.445 6	0.732 6	0.806 5	0.955 2
2017	0.167 5	0.066 8	0.216 4	0.796 4	0.888 4	0.961 1	0.545 4	0.810 8	0.748 5	0.922 9
2018	0.237 3	0.054 7	0.258 9	0.804 0	0.905 9	0.969 7	0.650 6	0.624 6	0.325 4	0.979 8
2019	0.596 4	0.157 5	0.454 5	0.718 9	0.916 0	0.978 3	0.754 4	0.448 2	0.084 5	0.917 1
2020	0.735 6	0.208 0	0.547 7	0.872 8	0.923 5	0.986 3	0.858 2	0.596 0	0.337 9	0.773 5
2021	0.858 9	0.458 5	0.782 7	0.598 8	0.924 8	0.994 4	0.935 8	0.813 6	0.344 5	0.844 5
2022	0.943 0	0.795 2	0.981 3	0.999 1	0.066 7	0.999 7	0.989 9	0.606 7	0.357 6	0.899 8

年份	农村居民消费总额 (B24)	农村人口占总人口比例 (B25)	粮食生产积极性(粮食作物播种面积/年末实有耕地面积) (B26)	农业总产值 (B31)	单位耕地面积粮食产量 (B32)	农村居民人均可支配收入 (B33)	环保产业收入 (B34)	农业科学技术使用情况(农村宽带接入户数) (B35)	耕地利用多样化情况(农作物播种面积/年末实有耕地面积) (B36)
2009	0.002 2	0.283 8	0.199 5	0.005 8	0.285 2	0.003 3	0.001 7	0.000 7	0.038 3
2010	0.037 4	0.279 4	0.221 5	0.153 1	0.092 7	0.051 1	0.001 7	0.018 4	0.136 6
2011	0.086 9	0.198 4	0.326 1	0.247 4	0.256 9	0.114 7	0.066 9	0.040 5	0.195 1
2012	0.125 0	0.128 7	0.366 9	0.312 2	0.420 6	0.212 5	0.128 7	0.076 5	0.246 2
2013	0.181 4	0.069 7	0.404 7	0.313 0	0.128 9	0.280 1	0.214 1	0.111 4	0.268 6
2014	0.228 0	0.010 3	0.468 4	0.339 3	0.301 9	0.349 4	0.313 0	0.124 3	0.287 5
2015	0.280 9	0.961 7	0.453 1	0.339 8	0.371 5	0.412 0	0.406 2	0.157 8	0.266 1
2016	0.343 3	0.882 5	0.406 9	0.402 2	0.323 0	0.475 1	0.523 8	0.248 5	0.239 9
2017	0.408 6	0.718 6	0.364 3	0.446 1	0.450 3	0.542 6	0.643 0	0.414 1	0.227 1
2018	0.720 5	0.680 1	0.071 9	0.472 2	0.752 6	0.620 4	0.755 4	0.603 4	0.144 6
2019	0.824 7	0.655 5	0.737 8	0.623 9	0.872 7	0.707 9	0.898 3	0.765 6	0.724 6
2020	0.815 7	0.605 0	0.948 3	0.746 3	0.712 0	0.787 8	0.826 9	0.838 2	0.889 1
2021	0.955 5	0.541 5	0.944 5	0.812 1	0.899 2	0.902 8	0.900 7	0.935 4	0.941 1
2022	0.988 0	0.533 8	0.902 4	0.984 4	0.699 5	0.986 9	0.988 5	0.989 4	0.952 7

3.2 指标权重的确定

针对项目效果综合评价,很多学者采用熵权法确定指标权重^[17-19],本文也采用这一方法,计算步骤及公式如下。

指标在不同年份的权重:

$$P_{ij} = X_{ij}^{\kappa} / \sum_{i=1}^m X_{ij}^{\kappa} \quad (4)$$

指标熵值:

$$E_j = -\beta \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij} \quad (5)$$

指标权重:

$$D_j = (1 - E_j) / (n - \sum_{j=1}^n E_j) \quad (6)$$

式中: P_{ij} 表示第*j*项指标的第*i*个数值再次出现的概率,某项指标的所有年份*P*值之和为1; β 为调节系数,与各类评价指标的数量有关,即 $\beta =$

$1/\ln(n)$; E_j 为第*j*项指标的信息熵值,取值范围为 $[0,1]$; D_j 为第*j*项指标的权重值,指标体系中所有指标项的权重值之和为1;*m*为年份;*n*为指标数。

根据公式(4)计算得到表3,根据公式(5)、公式(6)及表3计算得到表4。

表3 指标体系中指标权重计算结果
Table 3 Calculation results of the indicator weights in the indicator system

年份	农用化肥 施用量 (B11)	农用薄膜 使用量 (B12)	农药 使用量 (B13)	能源消耗 增速 (B14)	森林覆盖率 (B15)	废水中主要重金 属污染物(铅、 汞、镉、砷、总铬) 排放量(B16)	农业造林 面积(B17)	粮食保障 情况 (产量) (B21)	粮食作物 播种面积 (B22)	粮食价格 指数(谷物) (B23)
2009	0.100 9	0.179 1	0.056 7	0.001 3	0.047 2	0.001 1	0.000 1	0.032 9	0.058 9	0.074 7
2010	0.075 9	0.157 2	0.037 7	0.001 3	0.054 7	0.011 8	0.006 0	0.012 5	0.063 7	0.055 1
2011	0.046 0	0.124 1	0.028 4	0.001 3	0.056 2	0.021 4	0.017 2	0.056 6	0.083 0	0.022 0
2012	0.012 6	0.080 7	0.014 2	0.075 0	0.058 8	0.035 7	0.028 4	0.090 5	0.092 9	0.000 1
2013	0.017 2	0.046 2	0.006 9	0.056 3	0.061 1	0.059 2	0.038 2	0.059 2	0.100 9	0.083 0
2014	0.019 2	0.039 7	0.007 0	0.088 9	0.086 5	0.068 4	0.049 1	0.097 9	0.113 6	0.091 5
2015	0.025 6	0.027 2	0.017 7	0.113 8	0.086 5	0.073 3	0.059 6	0.104 5	0.110 9	0.079 7
2016	0.026 1	0.018 9	0.038 3	0.096 3	0.091 5	0.095 3	0.069 0	0.086 3	0.101 0	0.090 2
2017	0.032 0	0.012 5	0.052 9	0.094 1	0.087 9	0.103 4	0.084 4	0.095 6	0.093 7	0.087 1
2018	0.045 4	0.010 3	0.063 3	0.095 0	0.089 6	0.104 3	0.100 7	0.073 6	0.040 7	0.092 5
2019	0.114 0	0.029 6	0.111 2	0.084 9	0.090 6	0.105 3	0.116 7	0.052 8	0.010 6	0.086 6
2020	0.140 6	0.039 0	0.134 0	0.103 1	0.091 3	0.106 1	0.132 8	0.070 2	0.042 3	0.073 0
2021	0.164 2	0.086 1	0.191 5	0.070 7	0.091 5	0.107 0	0.144 8	0.095 9	0.043 2	0.079 7
2022	0.180 3	0.149 3	0.240 1	0.118 0	0.006 6	0.107 6	0.153 2	0.071 5	0.044 8	0.084 9

年份	农村居民 消费总额 (B24)	农村人口 占总人口 比例(B25)	粮食生产积极性 (粮食作物播种面 积/年末实有耕地 面积)(B26)	农业 总产值 (B31)	单位耕地 面积粮食 产量(B32)	农村居民 人均可支配 收入 (B33)	环保产业 收入 (B34)	农业科学技术 使用情况(农村 宽带接入 户数)(B35)	耕地利用多样化 情况(农作物播 种面积/年末实有 耕地面积)(B36)
2009	0.000 4	0.043 3	0.029 3	0.000 9	0.043 4	0.000 5	0.000 3	0.000 1	0.006 9
2010	0.006 2	0.042 7	0.032 5	0.024 7	0.014 1	0.007 9	0.000 3	0.003 5	0.024 6
2011	0.014 5	0.030 3	0.047 8	0.039 9	0.039 1	0.017 8	0.010 0	0.007 6	0.035 1
2012	0.020 8	0.019 6	0.053 8	0.050 4	0.064 0	0.033 0	0.019 3	0.014 4	0.044 3
2013	0.030 2	0.010 6	0.059 4	0.050 5	0.019 6	0.043 4	0.032 1	0.020 9	0.048 3
2014	0.038 0	0.001 6	0.068 7	0.054 7	0.046 0	0.054 2	0.046 9	0.023 3	0.051 7
2015	0.046 8	0.146 8	0.066 5	0.054 8	0.056 6	0.063 0	0.060 9	0.029 6	0.047 9
2016	0.057 2	0.134 7	0.059 7	0.064 9	0.049 2	0.073 7	0.078 5	0.046 7	0.043 2
2017	0.068 1	0.109 7	0.053 4	0.072 0	0.068 6	0.084 2	0.096 4	0.077 8	0.040 9
2018	0.120 1	0.103 8	0.010 5	0.076 2	0.114 6	0.096 2	0.113 3	0.113 3	0.026 0
2019	0.137 5	0.100 1	0.108 2	0.100 7	0.132 9	0.109 8	0.134 7	0.143 8	0.130 4
2020	0.136 0	0.092 4	0.139 1	0.120 4	0.108 4	0.122 2	0.124 0	0.157 4	0.160 0
2021	0.159 3	0.082 7	0.138 6	0.131 0	0.136 9	0.140 0	0.135 1	0.175 7	0.169 3
2022	0.164 7	0.081 5	0.132 4	0.158 8	0.106 5	0.153 1	0.148 2	0.185 8	0.171 4

表3是19个二级指标在不同年份的权重,表4是19个二级指标的熵值、总权重以及3个一级指标的总权重。需要说明的是,极个别指标在部分年份因统计年鉴进行了统计指标调整而出现数据缺失,但数据完整且可查的比例达99%。对于缺失的数据,本研究利用该指标

近3年数据进行了预测,不影响权重和熵值计算。指标熵值与指标变异程度相关,熵值越大则变异程度越小,指标在综合评价中的影响越小,相应的权重也越小,具体结果见表4。从一级指标权重计算结果来看,生态效益一级指标占综合评价值的38.20%,社会效益一级指标

占综合评价值的 27.78%，经济效益一级指标占综合评价值的 34.02%。整体来看，本研究设计的重金属污染耕地轮作休耕治理效果综

合评价体系符合预期，既突出了生态效益评价，又结合了经济发展评价，还考虑了治理效果的社会影响。

表 4 指标体系中各指标总的熵值和权重

Table 4 Total entropy value and weight of each indicator in the indicator system

生态效益 (B1)							
指标	农用化肥施用量 (B11)	农用薄膜使用量 (B12)	农药使用量 (B13)	能源消耗增速 (B14)	森林覆盖率 (B15)	废水中主要重金属污染物(铅、汞、镉、砷、总铬)排放量 (B16)	农业造林面积 (B17)
熵值	0.794 0	0.792 0	0.752 8	0.814 7	0.870 3	0.832 8	0.799 1
二级指标权重	0.058 5	0.059 1	0.070 2	0.052 7	0.036 9	0.047 5	0.057 1
一级指标权重	0.382 0						
社会效益 (B2)							
指标	粮食保障情况(产量) (B21)	粮食作物播种面积 (B22)	粮食价格指数(谷物) (B23)	农村居民消费总额 (B24)	农村人口占总人口比例 (B25)	粮食生产积极性(粮食作物播种面积/年末实有耕地面积) (B26)	
熵值	0.869 8	0.860 1	0.858 7	0.776 1	0.816 0	0.841 8	
二级指标权重	0.037 0	0.039 8	0.040 2	0.063 6	0.052 3	0.044 9	
一级指标权重	0.277 8						
经济效益 (B3)							
指标	农业总产值 (B31)	单位耕地面积粮食产量 (B32)	农村居民人均可支配收入 (B33)	环保产业收入 (B34)	农业科学技术使用情况(农村宽带接入户数) (B35)	耕地利用多样化情况(农作物播种面积/年末实有耕地面积) (B36)	
熵值	0.833 3	0.842 4	0.809 8	0.782 9	0.736 4	0.797 9	
二级指标权重	0.047 4	0.044 8	0.054 1	0.061 7	0.074 9	0.057 4	
一级指标权重	0.340 2						

不同参数叠加的科学性对综合评价结果十分重要。本文采用熵权法对综合评价体系中的不同指标进行赋值，可以提高指标权重计算的客观性和科学性。在计算每年的综合评价值时，将经标准化处理后的指标数据按熵权法确定的权重进行叠加，得出每年的重金属污染治理效果综合评价值。至 2023 年底，湖南已对全省重金属污染情况进行了全面排查，并开展了针对性治理，覆盖全省 14 个市州。除了长株潭重点区域外，衡阳、岳阳、娄底、益阳、郴州、湘西、张家界等地均开展了重金属污染整治工作。因此，下文的统计数据收集、处理和权重叠加不再区分是否属于轮作休耕试点区域。

3.3 综合评价测算

湖南省耕地重金属污染治理效果综合评价测算公式如下：

$$B_i = \sum_{j=1}^n X_{ij}^k \times D_j \quad (7)$$

式中： B_i 为评价对象第 i 年的综合评价值，取值范围为 $[0, 1]$ ； X_{ij}^k 为第 i 年第 j 项指标的经标准化处理后的数值； D_j 为第 j 项指标的权重。

表 5 为湖南省耕地重金属污染治理效果综合

评价结果。从表 5 可以看出，湖南省重金属污染治理成效显著。实际上，自“镉大米”事件以来，湖南省高度重视区域内重金属污染排放与治理工作，自 2013 年起陆续出台了一系列相关政策和措施。2016 年，国家层面土壤污染防治政策——《土壤污染防治行动计划》^[20] 的出台，加快了湖南省内重金属污染治理的步伐。此后，湖南省先后印发实施《湖南省湘江保护和治理第三个“三年行动计划”（2019—2021 年）实施方案》^[21] 及《湖南省“十四五”重金属污染防治规划》^[22]。从数据来看，2016 年（含）之后的污染治理效果提升速度是 2016 年之前的 1.64 倍（通过表 5 计算得出）。2022 年综合评价值为 0.855 4，是 2009 年的 3.84 倍，2016 年的 1.79 倍。2016 年之前的综合评价值有小幅波动，其中 2010 年综合评价值最小，为 0.209 9，相较于 2009 年略有下降；2011 年之后保持稳定向好趋势。从一级指标评价结果来看，2022 年生态效益评价值为 0.326 8，社会效益评价值为 0.237 6，经济效益评价值为 0.291 0，均达到研究时段内的最大值。这进一步表明湖南省土壤重金属污染治理不仅在生态领域成效显著，在社会影响和经济发展领域也都取得了显著成效。

表 5 耕地重金属污染治理效果综合评价结果
Table 5 Comprehensive evaluation results of heavy metal pollution control in farmland

年份	综合评价价值	生态效益评价价值	社会效益评价价值	经济效益评价价值
2009	0.222 5	0.085 0	0.061 8	0.075 7
2010	0.209 9	0.080 2	0.058 3	0.071 4
2011	0.230 4	0.088 0	0.064 0	0.078 4
2012	0.276 9	0.105 8	0.076 9	0.094 2
2013	0.301 9	0.115 3	0.083 9	0.102 7
2014	0.376 1	0.143 7	0.104 5	0.127 9
2015	0.456 4	0.174 3	0.126 8	0.155 3
2016	0.477 1	0.182 3	0.132 5	0.162 3
2017	0.511 5	0.195 4	0.142 1	0.174 0
2018	0.544 0	0.207 8	0.151 1	0.185 1
2019	0.675 3	0.258 0	0.187 6	0.229 7
2020	0.737 1	0.281 6	0.204 8	0.250 7
2021	0.815 1	0.311 4	0.226 4	0.277 3
2022	0.855 4	0.326 8	0.237 6	0.291 0

3.4 评价方法适用性及不确定性分析

评价方法适用性分析主要是判断基于熵权法的综合评价方法与环境项目管理目标的匹配性,以及对特定环境要素及基体的适用性,考察该评价方法在实际应用过程中的科学性和可行性^[23]。不同评价方法的适用条件、对象、目标不同,导致其适用性往往存在一定差异。一般从可行性、有效性和可靠性 3 个方面分析方法适用性。基于熵权法的综合评价方法的主要内容是筛选和构建与待评估目标具有逻辑相关性的统计指标体系,并完成指标数据获取和加工处理。因此,在指标体系构建上,既要考虑指标的逻辑相关性,又要考虑数据的可获得性和可靠性,这可能导致指标筛选工作存在一定的局限性。本研究中的综合评价方法所用数据来源于政府统计部门,具有有效性和可靠性。同时,相关数据可能存在的统计误差在大样本量下处于可控制范围内,对评价结果的影响较小。

基于熵权法的综合评价方法属于客观评价方法,在一定程度上规避了主观评价的不确定性。该方法的不确定性主要体现在对样本容量的依赖上,即样本量的大小会影响权重分配结果。样本量较大可以规避小样本导致的权重失真,因此在研究过程中,应尽量选择容量较大的样本来规避权重失真现象的发生。

3.5 实证结果讨论

从实证结果来看,湖南省重金属污染耕地轮作休耕治理成效明显,尤其是 2016 年(含)之后,综合评价价值呈稳步向好的发展态势,2022 年达到了 0.855 4。经过系统性、层次性、渐进式的污染

治理,湖南省耕地重金属污染情况出现明显好转,在生态效益、社会效益、经济效益方面均取得显性效果。尽管本研究构建的综合评价体系在指标选取上可能存在一定不足,可能有所遗漏,但这并不妨碍对治理效果整体发展趋势的判断。综合评价结果的可靠性在很大程度上取决于指标体系构建及指标权重确定。本研究采用熵权法确定指标权重,规避了主观赋权法的缺陷,有效保证了实证结果的真实性。

从人文社会科学研究的视角对重金属污染耕地轮作休耕治理效果进行评价,一般是从两个层面展开:一个是基于微观视角的农户满意度研究,另一个是基于宏观视角的综合评价结果研究。从微观视角来看,影响农户满意度的因素主要是个体认知、治理预期和感知价值,如环境治理效果、农户个体特征及其对政策与环境等的认知等^[24]。对农户满意度开展研究主要基于调查研究方法,通常使用二元 Logistic 模型^[4]或者累积 Logistic 模型^[6]。然而,仅从微观视角研究重金属污染治理效果,不能全面把握和了解重金属污染治理的整体效果及其社会影响,也不能完全反映政策目标和指导原则。因此,本研究采用基于熵权法的综合评价方法,从生态效益、社会效益、经济效益 3 个维度考察和衡量重金属污染耕地治理效果,不仅是对当前重金属污染治理成效开展综合性评价的一次有益尝试,同时也有助于明确重金属污染治理成效兼具生态属性、社会属性和经济属性。

从现有文献资料来看,以宏观视角对重金属污染耕地轮作休耕治理效果进行综合评价的研究比较稀少,一方面是由于综合评价体系构建困难,

另一方面是由于指标数据获取存在难度,还有就是综合评价体系的科学性、客观性较难把握。本研究构建的综合评价体系尚属于一次探索性尝试,尽管还存在很多难以把控的现实因素,但对于后续及其他相关学者的研究具有一定的参考价值。

4 结论与建议

对受重金属污染的耕地实施轮作休耕治理,是我国对耕地进行保护性利用的一项重大战略决策。湖南省自2016年首批实施该项试点政策以来,在生态效益、社会效益、经济效益领域均取得了显著成效,耕地重金属污染治理效果综合评价从2009年的0.2225提高到2022年的0.8554,生态效益评价价值、社会效益评价价值、经济效益评价价值分别从2009年的0.0850、0.0618、0.0757提高到2022年的0.3268、0.2376、0.2910。从治理效果的提升速度和变化趋势来看,2009—2022年,治理效果综合评价价值年均提高4.87%。其中,2016年(含)之后,治理效果提升明显,综合评价价值年均提高6.31%,高于全时段平均增速。2009—2012年综合评价价值有小幅波动,之后呈稳步向好趋势,这主要得益于国家和地方政府对耕地保护重视程度的提升,以及各项政策措施的出台。从3项一级指标来看,生态效益评价价值略高于社会效益和经济效益评价价值,体现出国家耕地保护政策的根本目标,即在保障农业经济发展与农民收入稳定的基础上,实现农业生态环境质量的持续改善。然而,在耕地重金属污染治理取得明显成效的同时,仍有需要引起重视和改进的地方。

第一,重金属污染治理成效显著,但仍需认识到治理任务的艰巨性。综合评价结果显示,试点政策实施之后,湖南省重金属污染耕地治理效果综合评价价值提高了0.79倍,2016年(含)之后的耕地生态环境质量向好态势明显,且未再出现反弹式波动,表明现行污染治理模式在一定程度上缓解了耕地受污染程度,降低了土壤中重金属元素的含量。尽管重金属污染耕地治理工作已取得阶段性效果,但要完全根除土壤重金属污染,仍需付出长期而艰巨的努力。因此,需明确耕地重金属污染治理工作的长期性和艰巨性,避免耕地重金属污染出现反弹。

第二,重金属污染治理成效全面,但仍需完善治理体系的系统性。综合评价结果显示,重金属污染耕地治理不仅取得较好的生态效应,也产生了显著的社会效应和经济效应。污染治理工作促进了农村居民环境认知水平的提高和对居住环境的重视,使之在思想上、行动上逐步达成统一。同时,污染治理工作推动了农业产业升级、农村经济发展和农民增收向高质量、高效能方向转变。这体现了重金属污染耕地治理作为一项惠及民生的重大战略决策的本质属性,反映了政策推进与落实的科学性和合理性。治理成效的全面性也反映了治理工作的复杂性,因此,需要进一步总结耕地轮作休耕制度试点以来的成功经验,并针对相关问题提出系统性解决方案,如健全耕地污染评估机制、规范污染治理流程和标准、完善污染治理资金来源渠道和补偿体系、推进耕地保护性立法建设等。

第三,综合评价指标体系仍需不断完善。基于熵权法的综合评价方法是一种客观评价方法,且指标数据来源于政府统计部门,避免了人为主观因素的影响。该方法的不足之处在于,筛选评价指标时,既要考虑指标的相关性,又要考虑指标数据的可获得性,而在现实中两者往往难以兼顾。针对上述问题,只能是在实践中不断完善指标体系,并充分拓展数据获取渠道,同时保证数据真实可靠。综上,渐进完善的指标体系和真实可靠的数据支撑,将逐步提高重金属污染治理效果综合评价结果的准确性。

参考文献(References):

- [1] 王娟,苏德纯.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[J].农业环境科学学报,2021,40(3):493-500.
WANG Juan, SU Dechun. Analysis of the Effects of Heavy Metal Pollution Remediation Technologies in Wheat and Maize Fields Based on Bibliometrics[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2021, 40(3): 493-500.
- [2] 常道琴,宋乃平,岳健敏,等.微生物诱导碳酸钙沉淀对干旱半干旱区铜尾矿污染治理效果[J].水土保持学报,2022,36(4):365-374.
CHANG Daoqin, SONG Naiping, YUE Jianmin, et al. Effect of Microbial Induced Calcium Carbonate Precipitation on the Pollution Control of Copper Tailings in Arid and Semi-arid Area[J]. Journal of

- Soil and Water Conservation,2022,36(4):365-374.
- [3] 周振,黄丽,黄国棣,等.生物炭和海泡石复配对镉和锌复合污染土壤的钝化修复[J].华中农业大学学报,2023,42(2):158-166.
- ZHOU Zhen, HUANG Li, HUANG Guodi, et al. Deactivation and Remediation of Cadmium and Zinc Contaminated Soil by Combination of Biochar and Sepiolite [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2023, 42(2) : 158-166.
- [4] 谭永忠,练款,俞振宁.重金属污染耕地治理式休耕农户满意度及其影响因素研究[J].中国土地科学,2018,32(10):43-50.
- TAN Yongzhong, LIAN Kuan, YU Zhenning. Research on Farmers' Satisfaction Degree and Its Impact Factors of Heavy Metal Polluted Farmland Fallow [J]. China Land Science, 2018, 32(10) : 43-50.
- [5] 黄圣男,王瑞波,刁志凯,等.农户对耕地重金属污染治理的认知与满意度评价——基于长株潭地区的调查[J].中国农业资源与区划,2018,39(11):12-18.
- HUANG Shengnan, WANG Ruibo, DIAO Zhikai, et al. Farmers' Cognition and Satisfaction Evaluation on Treatment of Heavy-Metal Contamination in Cultivated Land—Based on the Survey in Changzhutan Area [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(11) : 12-18.
- [6] 黄毅,邓志英,熊曦,等.基于累积 logistic 回归模型的重金属污染耕地轮作休耕治理满意度影响因素实证研究[J].土壤通报,2021,52(4):947-953.
- HUANG Yi, DENG Zhiying, XIONG Xi, et al. An Empirical Study on the Influence Factors' Satisfaction of the Crop Rotation and Fallow Governance with the Heavy Metal Contaminated Farmland Based on the Cumulative Logistic Regression Model [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021, 52(4) : 947-953.
- [7] HANSEN L. Conservation Reserve Program; Environmental Benefits Update [J]. Agricultural and Resource Economics Review, 2007, 36(2) : 267-280.
- [8] MARGARIT D K. Exploring Land Conservation Using Economic and Geospatial Models [D]. Fargo: North Dakota State University, 2015.
- [9] 黄强,王秀丽,宋鹏程,等.涪江绵阳段表层沉积物重金属污染特征及风险评价[J].中国环境监测,2024,40(3):165-180.
- HUANG Qiang, WANG Xiuli, SONG Pengcheng, et al. Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediment from Mianyang Segment of the Fujiang River [J]. Environmental Monitoring in China, 2024, 40(3) : 165-180.
- [10] SZENTANDRASI S, POLASKY S, BERRENS R, et al. Conserving Biological Diversity and the Conservation Reserve Program [J]. Growth and Change, 1995, 26(3) : 383-404.
- [11] 张媛,昌维,熊晶,等.1998—2022年湖北省生态环境状况时空变化特征及影响因素分析[J].中国环境监测,2025,41(1):34-41.
- ZHANG Yuan, CHANG Wei, XIONG Jing, et al. Spatio-Temporal Changes Characteristics and Influencing Factors of Ecological Quality Status in Hubei Province from 1998 to 2022 [J]. Environmental Monitoring in China, 2025, 41(1) : 34-41.
- [12] 范翔宇,匡兵,卢新海.长株潭地区重金属污染耕地治理的绿色发展效应[J].长江流域资源与环境,2021,30(9):2 277-2 286.
- FAN Xiangyu, KUANG Bing, LU Xinhai. Green Development Effect of Treatment of Heavy Metal-Contaminated Cultivated Land in Chang-Zhu-Tan Region [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(9) : 2 277-2 286.
- [13] TYLER R W. Changing Concepts of Educational Evaluation [J]. International Journal of Educational Research, 1986, 10(1) : 13-18.
- [14] STUFFLEBEAM D L, MADAUS G F, KELLAGHAN T. Evaluation Models: Viewpoints on Educational and Human Services Evaluation [M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2000: 280-287, 313.
- [15] 农业部,中央农办,发展改革委,等.关于印发探索实行耕地轮作休耕制度试点方案的通知:农农发〔2016〕6号[Z/OL]. https://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201606/t20160629_5190955.htm.
- [16] 黄毅,邓志英.中国农地轮作休耕:制度与实践[J].农业经济,2018(1):12-14.
- HUANG Yi, DENG Zhiying. Farmland Rotation Fallow in China: System and Practice [J]. Agricultural Economy, 2018(1) : 12-14.
- [17] 姚琦,黎明杰,麻林,等.基于大型底栖动物完整性指数与综合生物指数的水生态评价[J].中国环境科学,2024,44(3):1 476-1 486.
- YAO Qi, LI Mingjie, MA Lin, et al. Ecological Health Assessment Based on Benthic Macroinvertebrates Index of Biotic Integrity and Comprehensive Biological Index [J]. China Environmental Science, 2024, 44(3) : 1 476-1 486.
- [18] 赵思劼,赵晨羽,姜妮,等.基于AHP-熵权法的滇

- 池环湖湿地效益评估研究[J]. 环境科学学报, 2024, 44(4): 411-420.
- ZHAO Sijie, ZHAO Chenyu, JIANG Ni, et al. Benefit Evaluation and Optimization Strategy of Wetland Around Dianchi Lake Based on AHP-Entropy Weight Method[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2024, 44(4): 411-420.
- [19] 陈长坤, 孙凤琳. 基于熵权-灰色关联度分析的暴雨洪涝灾情评估方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2022, 62(6): 1 067-1 073.
- CHEN Changkun, SUN Fenglin. Flood Damage Assessments Based on Entropy Weight-Grey Relational Analyses [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2022, 62(6): 1 067-1 073.
- [20] 国务院. 国务院关于印发土壤污染防治行动计划的通知: 国发[2016] 31号[Z/OL]. https://www.gov.cn/zhengce/content/2016-05/31/content_5078377.htm.
- [21] 湖南省人民政府办公厅. 湖南省人民政府办公厅关于印发《湖南省湘江保护和治理第三个“三年行动计划”(2019—2021年)实施方案》的通知: 湘政办发[2019] 62号[Z/OL]. https://www.hunan.gov.cn/xxgk/wjk/szfbgt/201912/t20191226_11018078.html.
- [22] 湖南省生态环境厅. 湖南省生态环境厅关于印发《湖南省“十四五”重金属污染防治规划》的通知: 湘环发[2022] 27号[Z/OL]. https://sthjt.hunan.gov.cn/sthjt/xxgk/zcfg/gfxwj/202207/t20220727_27568621.html.
- [23] 周羽化, 张虞, 雷晶, 等. 对我国环境监测分析方法标准适用性评估的思考与建议[J]. 中国环境监测, 2022, 38(2): 191-196.
- ZHOU Yuhua, ZHANG Yu, LEI Jing, et al. Thoughts and Suggestions on Applicability Assessment of Environmental Monitoring Analytical Method Standards in China[J]. Environmental Monitoring in China, 2022, 38(2): 191-196.
- [24] 俞振宁, 谭永忠, 练款, 等. 基于农户认知视角的重金属污染耕地治理式休耕制度可信度研究[J]. 中国农村经济, 2019(3): 96-110.
- YU Zhenning, TAN Yongzhong, LIAN Kuan, et al. The Credibility of Fallow System for Heavy Metal-Contaminated Farmland: A Study Based on Farmers' Perceptions[J]. Chinese Rural Economy, 2019(3): 96-110.