

## 农用地土壤环境损害鉴定评估中的基线水平研究

凌赛, 管宏友, 黄磊, 肖广全, 陈玉成, 杨志敏

### 引用本文:

凌赛, 管宏友, 黄磊, 肖广全, 陈玉成, 杨志敏. 农用地土壤环境损害鉴定评估中的基线水平研究[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(12): 2667-2673.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11654/jaes.2023-0765>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 三峡库区库尾典型农用地土壤重金属污染特征及潜在风险

王金霞, 罗乐, 陈玉成, 何清明, 詹玲玲

农业环境科学学报. 2018, 37(12): 2711-2717 <https://doi.org/10.11654/jaes.2018-0844>

#### 地质高背景区马铃薯安全生产的土壤镉风险阈值

王旭莲, 刘鸿雁, 周显勇, 罗凯, 于恩江, 冉晓追

农业环境科学学报. 2021, 40(2): 355-363 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-0988>

#### 安徽省典型区农用地土壤重金属污染成因及特征分析

尹国庆, 江宏, 王强, 聂静茹, 马友华, 胡宏祥

农业环境科学学报. 2018, 37(1): 96-104 <https://doi.org/10.11654/jaes.2017-0911>

#### 面向土壤环境质量等级划分的统计推断与加密采样优化方法研究综述

高秉博, 郝朝展, 李发东, 胡茂桂, 李晓岚, 郇允兵, 潘瑜春

农业环境科学学报. 2021, 40(4): 712-722 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1202>

#### 决策单元-多点增量采样法在重金属污染农田土壤-作物协同监测中的应用

毛娟, 黄永杰, 宋静, 赵晓峰, 唐伟

农业环境科学学报. 2021, 40(3): 535-543 <https://doi.org/10.11654/jaes.2020-1140>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

凌赛, 管宏友, 黄磊, 等. 农用地土壤环境损害鉴定评估中的基线水平研究[J]. 农业环境科学学报, 2023, 42(12): 2667–2673.

LING S, GUAN H Y, HUANG L, et al. Soil baseline level for the identification and assessment of soil environmental damage in agricultural land[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2023, 42(12): 2667–2673.



开放科学 OSID

# 农用地土壤环境损害鉴定评估中的基线水平研究

凌赛<sup>1,2,3</sup>, 管宏友<sup>1,2,3</sup>, 黄磊<sup>1,2,3</sup>, 肖广全<sup>1,2,3</sup>, 陈玉成<sup>1,2,3</sup>, 杨志敏<sup>1,2,3\*</sup>

(1. 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2. 重庆市农用地土壤污染风险管控重点实验室, 重庆 400716; 3. 西南大学司法鉴定所, 重庆 400716)

**摘要:** 针对农用地土壤环境损害鉴定评估缺乏统一规范、科学合理、操作性强的技术标准等问题, 从外部因素、时间属性、内在状态等方面诠释了土壤基线水平的内涵特征; 从来源、构成等方面构建了农用地土壤基线水平指标体系; 从资料收集、现场调查、监测采样、专家咨询等途径分析了农用地土壤基线水平信息的获取方法; 从基于时间参比的背景值或本底值、基于空间参比的对照值、基于统一尺度的标准值或基准值、基于生态风险的剂量/强度-效应值和基于头脑风暴的专家判定值等方面比较了5种农用地土壤基线水平值的特点和适用情形, 并提出了农用地基线水平优先顺序的确定程序与方法, 最后对未来土壤基线水平研究提出了展望。

**关键词:** 环境损害; 鉴定评估; 农用地土壤; 基线水平

中图分类号: X53; X71 文献标志码: A 文章编号: 1672-2043(2023)12-2667-07 doi:10.11654/jaes.2023-0765

## Soil baseline level for the identification and assessment of soil environmental damage in agricultural land

LING Sai<sup>1,2,3</sup>, GUAN Hongyou<sup>1,2,3</sup>, HUANG Lei<sup>1,2,3</sup>, XIAO Guangquan<sup>1,2,3</sup>, CHEN Yucheng<sup>1,2,3</sup>, YANG Zhimin<sup>1,2,3\*</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, Southwest University, Chongqing 400716, China; 2. Key Laboratory of Agricultural Soil Pollution Risk Management and Control for Ecological Environment in Chongqing, Chongqing 400716, China; 3. Judicial Appraisal Institute of Southwest University, Chongqing 400716, China)

**Abstract:** This study aimed to solve the problems, such as the absence of uniform norms as well as scientific operational technical standards, for the identification and assessment of soil environmental damage on agricultural land. The connotative characteristics of soil baseline level were interpreted based on external factors, temporal attributes, and internal state. The indicator system of the soil baseline level of agricultural land was constructed using the source and composition. We analyzed data collection, field investigation, monitoring and sampling, and expert consultation to determine the best method for obtaining information on the soil baseline level in agricultural land. The characteristics and applicability of the five types of agricultural land soil baseline levels were compared in terms of background or backdrop value based on temporal reference, control value based on spatial reference, standard or baseline value based on uniform scale, dose/intensity-effect value based on ecological risk, and expert judgement value based on brainstorming. Then, the procedure and method for determining the priority of the baseline levels for agricultural land were proposed. Finally, a prospect for future research on soil baseline levels was suggested.

**Keywords:** environmental damage; identification; assessment; agricultural land; baseline level

收稿日期: 2023-09-17 录用日期: 2023-11-30

作者简介: 凌赛(1997—), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事土壤污染与修复研究。E-mail: 1309121551@qq.com

\*通信作者: 杨志敏 E-mail: bear@swu.edu.cn

基金项目: 重庆市生态环境局科技项目(2019-131)

Project supported: Science and Technology Project of Chongqing Bureau of Ecological Environment(2019-131)

近年来,随着我国城镇化、工业化进程的加快,农用地土壤环境污染和土壤生态破坏事故时有发生。与此同时,普通民众的环境意识、健康意识、维权意识也越来越高,人们开始广泛关注土壤污染与土壤生态破坏对农产品安全和人体健康带来的影响,进而引发诸多土壤质量纠纷乃至土壤环境诉讼案件。土壤环境损害鉴定评估意见是诉讼证据链中的关键环节,是依法处置农用地土壤环境污染损害和惩治农用地土壤生态破坏行为的根本保障<sup>[1-2]</sup>。

我国农用地土壤环境损害鉴定评估还处于起步阶段,由于没有完备的技术标准,很多由于土壤环境污染和土壤生态破坏造成的损失无法科学合理地进行鉴定评估,直接影响了环境损害纠纷的司法处理,最终导致生态环境损害赔偿工作难以开展<sup>[3-6]</sup>。同时,由于缺乏统一规范、科学合理、操作性强的技术标准,其损害鉴定评估工作质量及其评估意见的合法性常受到质疑。因此,确定土壤损害的基线水平是土壤环境损害确认、土壤环境损害实物量化和价值量化以及土壤环境恢复的必要前提和重要基础<sup>[7-8]</sup>,是编制土壤环境损害鉴定评估报告的重要节点,对惩戒农用地土壤污染与破坏、保护耕地土壤数量与质量具有重要的现实指导意义。

目前,土壤基线在国内的生态环境损害评估鉴定研究中已得到开展和应用<sup>[9-14]</sup>。生态环境部、农业农村部相继出台了土壤损害评估的相关技术规范<sup>[15-24]</sup>,有些地方还颁布了地方标准<sup>[25-27]</sup>,这些文件中虽涉及了基线水平的确定等技术评估方法,但在实际操作中仍然存在一些争议或有待改进的方面<sup>[8,28]</sup>。

本文结合团队多年的环境损害鉴定评估实际工作<sup>[29]</sup>,阐述了我国在农用地环境损害鉴定评估中土壤基线的内涵特征、土壤基线水平的构建、土壤基线水平信息的获取、土壤基线水平的确定程序与方法,并对未来基线研究工作提出了展望。

## 1 土壤基线水平的内涵特征

土壤基线水平是指土壤环境污染或土壤生态破坏未发生时评估区土壤环境及其服务功能的状态。如何理解土壤基线水平的内涵,应该把握以下三点:

### 1.1 外部因素特征

外部因素特征即土壤环境污染或土壤生态破坏。所谓土壤环境污染,是外部某些元素或化合物在土壤中的过度集聚,导致化学成分发生改变,强调的是土壤环境的化学性。所谓土壤生态破坏,是某

些外力(压占、硬化、内障、挖损和塌陷等)作用于土壤,导致土壤物理结构发生改变,强调的是土壤环境的物理性。

### 1.2 时间属性特征

时间属性特征即土壤环境污染或土壤生态破坏并没有发生的时刻,也就是通常所说的人类活动起始时刻。由于人类并没有先知先觉意识,这种起始时刻在现实情况中是极难掌控的,也正是基线水平确定的出发点与归宿点。

### 1.3 内在状态特征

内在状态特征即土壤环境功能与服务功能的状态。作为农用地,土壤的这种功能主要表现在农产品生产功能,也就是通常所说的土壤肥力功能,而土壤肥力是指土壤为植物根系持续提供正常生长发育所需要的水分、氧气、营养元素、热量等的基本能力,是土壤养分因素、物理因素、化学因素、生物因素的综合体现。

土壤基线水平确定包括4个步骤:遴选土壤基线水平指标、获取土壤基线水平信息、比选土壤基线水平方法、确定土壤损害基线水平。

## 2 土壤基线水平指标的构建

### 2.1 土壤基线水平指标的来源

围绕土壤环境功能与服务功能状态,农用地土壤基线水平指标就是指肥力指标,主要来自影响土壤肥力的养分因素、物理因素、化学因素、生物因素等4个方面。

养分因素。农用地土壤营养指的是能够提供给根系有效吸收的养分能力。因为植物生长过程中会不停地吸收各种营养元素,包括氮、磷、钾三种大量元素,也包括锌、硼、镁等各种微量元素,不同植物和不同的生育期对于各种营养吸收的比例和数量不同。土壤养分被利用以后,土壤释放新的养分的能力尤为重要。

物理因素。包括土壤质地、结构状况、孔隙度、温度和湿度状况等。

化学因素。指土壤酸碱度、阳离子吸附及交换性能、土壤还原性物质、土壤含盐量,以及其他有毒物质的含量等。不同的pH值,对于各种营养元素影响很大。土壤酸碱度太低或太高,重金属、盐分、还原性物质等含量高的土壤很难生长出高质量且高产的农产品。

生物因素。指土壤微生物作用,包括生物固氮

作用、分解有机质成为矿物质营养和形成有机质三个方面。

## 2.2 土壤基线水平指标的构成

根据土壤损害的外部原因(人类活动)和内在状态(土壤肥力),可以构建农用地土壤基线水平指标,见表1。各指标测试分析方法应按国家或行业的标准分析方法、统一方法、等效方法的顺序选用。

## 3 土壤基线水平信息的获取方法

### 3.1 资料收集法

资料收集要具有全面性、真实性、有效性。本方法需收集、分析与评估地块相关的历史卷宗、文献、标准、法律政策文件以及委托方协助提供的数据材料等,获取案件中农用地土壤历史背景和现状成因等相关资料<sup>[20]</sup>。

农用地土壤环境基线水平信息调查收集主要包括:(1)针对评估区域的专项调查、学术研究以及其他自然地理、生态环境状况等与土壤环境质量有关的历史数据,如土壤类型、土壤肥力、土地利用类型及演变、农业生产方式及农作物类型、农业投入品使用水平等;(2)针对与评估区域地理位置、气候条件、地形地貌、土地利用类型等类似的未受影响的对照区域,收集区域的土壤环境质量状况等数据;(3)污染物和土壤环境质量相关的环境标准和环境基准。

### 3.2 现场调查法

土壤基线现场调查是通过对比评估区域及对照区域环境质量历史数据的变化,判断评估区域土壤环境变化整体趋势,从而择优选取生境类似、可用于比较的未受到损害事件影响的区域作为参考,利用该区域的历史数据或现场监测数据作为基线值。参考区域数据资料即为确定评估区域环境基线水平的重要数据来源。

### 3.3 采样监测法

采样监测是获取土壤基线准确数据的重要方法,因此需按照《农田土壤环境质量监测技术规范》《土壤

环境监测技术规范》中的样品采集、点位布设、保存运输及质量控制等方法,开展农用地土壤环境损害有关的样品采集与现场监测<sup>[20]</sup>。开展现场监测采样工作时应注意以下两方面<sup>[30]</sup>:

(1)监测应在土壤类型、成土母质及耕作历史等一致的区域布点,样点布设采用网格法,尽量将点位布设于所选监测区域的中间位置;

(2)样品采集包括表层和深层土壤,布置在农用地、菜地、果园、林地等,避开人为污染和搬运的堆积土。

### 3.4 专家咨询法

对于分析效果不确定或结果不可预测的场景,可通过专家分级调查、信息反馈和重复统计等方式来提高专家的判断准确性,以提高基线判定的合理性<sup>[4,31]</sup>。它是一种比较科学和可靠的评估信息获取方法,是对上述三种获取途径的补充。

## 4 土壤基线水平确定方法特点比较

### 4.1 基于时间参比的背景值或本底值

土壤背景值是指一定时间条件下,仅受地球化学过程和非点源输入影响的土壤中元素或化合物的含量(HJ 1185—2021)。它强调在没受或少受人类活动的前提下,土壤本身的环境功能与服务功能状态。土壤背景值完全反映了土壤的自然属性,没有体现人类价值取向,因此目前确定难度较大,很少适用于损害评估<sup>[32-34]</sup>。

为了弥补土壤背景值带来的缺陷,人们趋向于使用土壤本底值。本底值是指土壤污染或土壤生态破坏发生前,土壤中的化学组成和元素含量水平。它是建立在已有部分人类活动的基础上,更适合于土壤环境损害的鉴定评估。

因为土壤基线的养分指标与物理指标无法用背景值来度量,因此土壤背景值仅适用于土壤环境污染状况,而土壤本底值可以适用于土壤环境污染和土壤生态破坏两种情形。

表1 农用地土壤基线指标体系

Table 1 Baseline index system for agricultural land soil

| 指标类型<br>Index type | 外部原因表征<br>External cause representation | 核心指标<br>Core index             | 参考指标<br>Reference index |
|--------------------|-----------------------------------------|--------------------------------|-------------------------|
| 养分指标               | 土壤生态破坏                                  | 全氮、全磷、全钾、有效氮、有效磷、有效钾、有机质       | 微量元素养分                  |
| 物理指标               | 土壤生态破坏                                  | 机械组成、土壤容重、土壤孔隙度                | 土壤温度、湿度                 |
| 化学指标               | 土壤环境污染                                  | pH、阳离子交换量、疑似特征污染物(如重金属等)       | 电导率、盐度                  |
| 生物指标               | 土壤环境污染                                  | 土壤微生物生物量、土壤微生物多样性指数、土壤动物组成和多样性 | 土壤呼吸强度、功能微生物            |



土壤本底值一般由历史数据通过数理统计予以确定。对于服从正态分布的历史数据,当土壤污染或破坏导致评估指标升高时,采用历史数据的90%参考值上限(算术平均数+1.65标准差)作为基线;当土壤污染或破坏导致评价指标降低时,采用历史数据的90%参考值下限(算术平均数-1.65标准差)作为基线。对于不服从正态分布的历史数据,当土壤污染或破坏导致评价指标升高时,采用历史数据的第90百分位数作为基线;当土壤污染或破坏导致评价指标降低时,采用历史数据的第10百分位数作为基线<sup>[16]</sup>。

4.2 基于空间参比的对照值

当缺乏土壤背景值或本底值时,可采用“以空间换时间”的方法,即利用未受污染环境或破坏生态行为影响的相邻区域土壤对照值作为基线水平。根据相关要求,对照区所在区域在地理位置、气候条件、地形地貌、生态环境特征、土地利用类型、水文地质条件、社会经济条件、生态服务功能等方面应与受影响区域类似,其土壤的养分、物理、化学、生物学性质应与受影响区域高度类似<sup>[11-13,35]</sup>。

一般情况下,土壤对照点数量≥5个。如评估区域面积较大,土壤污染物分布情况或土壤扰动情况较复杂,应适当增加对照点数量。如因地形地貌、土地利用方式、污染物扩散迁移特征等因素致使土壤特征有明显差别或采样条件受到限制时,可根据实际情况进行调整,采样深度应尽可能与受影响区域内采样深度相同<sup>[36]</sup>。

土壤对照值作为土壤基线水平时,可以适用于土壤环境污染和土壤生态破坏两种情形。

4.3 基于统一尺度的标准值或基准值

当缺乏背景值、本底值、对照值时,则根据评估区

域土地利用方式,参考适用的国家或地方土壤环境质量标准或基线确定基线,如GB 15618、GB/T 33469;当标准和基准同时存在时,优先适用环境质量标准;当缺乏适用的标准或基准时,可参考国外政府部门或国际组织发布的相关标准或基准。

标准值或基准值作为土壤基线水平时,可以适用于土壤环境污染和土壤生态破坏两种情形。

4.4 基于生态风险的剂量/强度-效应值

当缺乏背景值、本底值、对照值、标准值、基准值时,则宜开展土壤基线专项研究,如土壤中污染物的健康风险评估、农产品质量安全风险评估、土壤中污染物的迁移转化规律研究和模拟、污染物浓度(或生态破坏强度)与种群密度和物种丰度等指标之间剂量/强度-效应关系研究、生态服务功能专项调查等工作,以确定土壤环境及其生态服务功能的基线水平。

剂量/强度-效应值作为土壤基线水平时,仅适用于土壤环境污染情形。

4.5 基于头脑风暴的专家判定值

如果评估时间有限,无法通过以上方法获取鉴定资料信息时,则可采用专家咨询、同行评议的方法,遴选3~7名业内专家组成专家组,由专家根据历史文献资料、已有研究成果等进行综合分析,形成土壤基线水平。

专家判定需要通过收敛性检验,并且仅限于某些特殊场合。

上述土壤环境损害鉴定评估基线确定的5种常用方法特点比较见表2。

5 土壤基线水平优先顺位的确定

基于对国外相关环境损害评估基线确定方法的

表2 土壤环境损害鉴定评估基线确定方法比较

Table 2 Comparison of baseline determination methods for soil environmental damage identification and assessment

| 方法<br>Method | 基线水平<br>Baseline level | 操作步骤<br>Operation procedure                     | 优点<br>Advantage              | 缺点<br>Disadvantage | 适用情形<br>Applicable situation  |
|--------------|------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------------------|
| 时间参<br>比法    | 土壤背景值<br>土壤本底值         | 基础调研→历史数据收集→数据筛选、分析和评估→确定背景值或本底值→确定基线水平         | 损害评估结果准确                     | 受历史数据资料限制,较难直接应用   | 背景值适用于土壤污染;本底值适用于土壤污染和土壤生态破坏  |
| 空间参<br>比法    | 土壤对照值                  | 基础调研→选定参考点位或区域→深入调查分析→确定对照值→确定基线水平              | 直接、客观                        | 需对参考区域开展大量和长期的调查分析 | 适用于土壤污染和土壤生态破坏                |
| 统一尺<br>度法    | 土壤标准值<br>土壤基准值         | 基础调研→相关环境标准比较分析→确定标准值或基准值→确定基线水平                | 简单、方便                        | 部分现行标准难以满足实际应用需要   | 适用于土壤污染和土壤生态破坏                |
| 模型推<br>算法    | 剂量/强度-效<br>应值          | 基础调研→数据收集→模型构建和优化→深入调查、分析和评估→确定剂量/强度-效应值→确定基线水平 | 易于控制,可将现象简化、定性程度难以确定,且可放大或缩小 | 需要大量数据,模型不准确,用模型较少 | 剂量-效应值适用于土壤污染;强度-效应值适用于土壤生态破坏 |
| 头脑风<br>暴法    | 专家判定值                  | 基础调研→遴选专家→专家咨询→收敛性检验→确定专家判定值→确定基线水平             | 简单、快速                        | 精度较低               | 适用于土壤污染和土壤生态破坏                |

深入调研和分析,综合考虑不同基线确定方法的优缺点,结合对目前土壤环境研究总现状的认识,提出农用地土壤环境损害鉴定评估基线确定程序,见图1。

## 6 结语与展望

土壤基线水平是判定农用地土壤环境损害是否发生的依据,是生态环境损害鉴定评估的工作基础。根据农用地土壤环境损害的特点,对比分析了农用地土壤环境损害鉴定评估的5种基线水平确认方法。为了体现农用地土壤环境损害的客观性,在环境损害鉴定评估实际应用中,可采取以下优先顺位确定土壤基线水平:时间背景值(或本底值)>空间对照值>环境标准值(或基准值)>剂量/强度-效应值>专家判定值。

实际应用中,需要根据评估区域农用地土壤的具体情况,选择最适合的方法,或采用多种方法组合互相验证来确定土壤基线水平。

### 参考文献:

- [1] 宋建. 农田生态环境损害价值核算[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2020:6-7. SONG J. Accounting for value of ecological environment damage in farmland[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2020:6-7.
- [2] 吴钢, 曹飞飞, 张元勋, 等. 生态环境损害鉴定评估业务化技术研究[J]. 生态学报, 2016, 36(22):7146-7151. WU G, CAO F F, ZHANG Y X, et al. Research on technology of identification and assessment on eco-environmental damage[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(22):7146-7151.
- [3] 王浩扬. 司法实践中生态环境服务功能损失认定的困境及对策探讨[J]. 四川环境, 2022, 41(2):220-227. WANG H Y. Discussion on the dilemma and countermeasures of eco-environmental service function loss identification in judicial practice[J]. *Sichuan Environment*, 2022, 41(2):220-227.
- [4] 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 construction of agricultural environmental damage appraisal in China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(1):161-168.
- [5] 许杰龙. 福建省土壤环境损害鉴定评估关键技术研究[J]. 厦门科技, 2019(6):19-25. XU J L. Research on key techniques of soil environmental damage identification and assessment in Fujian Province[J]. *Xiamen Science & Technology*, 2019(6):19-25.
- [6] 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.
- [7] 龚雪刚, 廖晓勇, 阎秀兰, 等. 环境损害鉴定评估的土壤基线确定方法[J]. 地理研究, 2016, 35(11):2025-2040. GONG X G, LIAO X Y, YAN X L, et al. Measures on soil baseline determination for environmental damage identification and assessment[J]. *Geographical Research*, 2016, 35(11):2025-2040.
- [8] 刘蕴芳, 文静, 熊晶晶, 等. 基于对照区域法确定土壤环境损害基线的新旧指南对比及案例分析[J]. 环境污染与防治, 2023, 45(7):1036-1039, 1046. LIU Y F, WEN J, XIONG J J, et al. Comparison

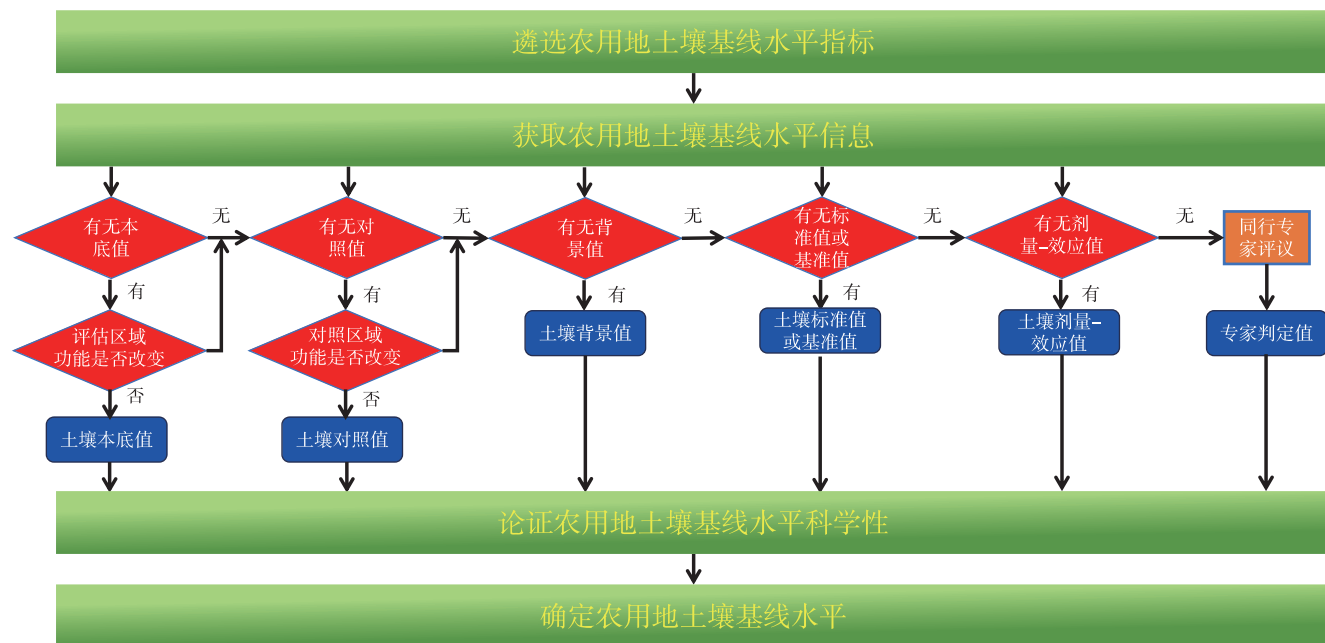


图1 农用地土壤环境损害鉴定评估基线确定程序

Figure 1 Baseline determination procedure for identification and assessment of soil environmental damage in agricultural land

- and case analysis of the new and old guideline for determining baseline of soil environmental damage based on the control area method[J]. *Environmental Pollution & Control*, 2023, 45(7):1036–1039, 1046.
- [9] 赵丹, 吴畏达, 王宸, 等. 土壤环境基线相关概念辨析[J]. 环境保护, 2020, 48(24):51–55. ZHAO D, WU W D, WANG B, et al. Differentiation and analysis of the concepts related to soil environmental baseline[J]. *Environmental Protection*, 2020, 48(24):51–55.
- [10] 范凯, 韦朝阳, 杨晓松. 长沙市乔口镇土壤重金属地球化学基线值的厘定及应用[J]. 环境科学学报, 2014, 34(12):3076–3083. FAN K, WEI C Y, YANG X S. Geochemical baseline of heavy metals in the soils of Qiaokou town, Changsha city and its application[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2014, 34(12):3076–3083.
- [11] 韩林桅, 全元, 付晓, 等. 参考点位法在土壤基线判定中的改进与应用[J]. 生态学报, 2018, 38(21):7813–7818. HAN L W, QUAN Y, FU X, et al. Improvement and application of reference-site approach in soil baseline determination[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(21):7813–7818.
- [12] 李嘉珣, 曹飞飞, 吴钢. 三种判定落叶阔叶混交林土壤损害基线的方法研究:以吉林省抚松县为例[J]. 生态学报, 2019, 39(17):6218–6226. LI J X, CAO F F, WU G. Study on three methods to determine the soil damage baseline of deciduous broad-leaved mixed forests: a case of Fusong County in Jilin Province[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(17):6218–6226.
- [13] 张轶群, 吴迪, 李嘉珣, 等. 草原矿区土壤环境损害基线评估判定的应用研究:以内蒙古草原矿区为例[J]. 生态学报, 2021, 41(18):7417–7424. ZHANG Y Q, WU D, LI J X, et al. Baseline assessment of grassland soil in mining area: a case study in the Inner Mongolia grassland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(18):7417–7424.
- [14] 赵新儒, 特拉津·那斯尔, 程永毅, 等. 伊犁河流域土壤重金属环境地球化学基线研究及污染评价[J]. 环境科学, 2014, 35(6):2392–2400. ZHAO X R, NASIER T, CHENG Y Y, et al. Environmental geochemical baseline of heavy metals in soils of the Ili River Basin and pollution evaluation[J]. *Environmental Science*, 2014, 35(6):2392–2400.
- [15] 生态环境部. 区域性土壤环境背景含量统计技术导则(试行):HJ 1185—2021[S]. 北京:中国环境科学出版社, 2021. Ministry of Ecology and Environment. Technical guidelines on the statistics of regional environmental background concentration of soil: HJ 1185—2021[S]. Beijing: China Environmental Science Press, 2021.
- [16] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 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[S]. 北京:中国标准出版社, 2020. Ministry of Ecology and Environment, State Administration for Market Regulation. Technical guideline for identification and assessment of environmental damage: Environmental elements: Part 1: soil and groundwater: GB/T 39792.1—2020[S]. Beijing: China Standard Press, 2020.
- [17] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行):GB 15618—2018[S]. 北京:中国标准出版社, 2018. Ministry of Ecology and Environment, State Administration for Market Regulation. Soil environmental quality risk control standard for soil contamination of agricultural land: GB 15618—2018[S]. Beijing: China Standard Press, 2018.
- [18] 农业部. 农业环境污染损害鉴定技术导则:NY/T 3025—2016[S]. 北京:中国农业出版社, 2016. Ministry of Agriculture. Technical guidelines for identification of agricultural environmental pollution damage: NY/T 3025—2016[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2016.
- [19] 农业部. 农业环境污染事故损失评价技术准则:NY/T 1263—2007[S]. 北京:中国农业出版社, 2007. Ministry of Agriculture. Technical regulation of agricultural environmental pollution accident losses: NY/T 1263—2007[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2007.
- [20] 农业农村部. 农用地土壤环境损害鉴定评估技术规范:NY/T 4155—2022[S]. 北京:中国农业出版社, 2022. Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Technical specification for identification and assessment of soil environmental damage on agricultural land: NY/T 4155—2022[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2022.
- [21] 农业农村部. 农业环境损害鉴定调查技术规范:NY/T 3665—2020[S]. 北京:中国农业出版社, 2020. Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Technical specification for investigation of agricultural environmental damage identification: NY/T 3665—2020[S]. Beijing: China Agriculture Press, 2020.
- [22] 司法部. 耕地和林地破坏司法鉴定技术规范:SF/T 0074—2020[S]. 北京:中国法制出版社, 2020. Ministry of Justice. Technical specification for forensic identification of cultivated land and forestland destruction: SF/T 0074—2020[S]. Beijing: China Legal Publishing House, 2020.
- [23] 司法部. 农业污染事故鉴定技术导则:SF/Z JD0606001—2018[S]. 北京:中国法制出版社, 2018. Ministry of Justice. Technical specification of agricultural environmental pollution in judicial appraisal: SF/Z JD0606001—2018[S]. Beijing: China Legal Publishing House, 2018.
- [24] 司法部. 农业环境污染事故司法鉴定经济损失估算实施规范:SF/Z JD060100—2014[S]. 北京:中国法制出版社, 2014. Ministry of Justice. Code of practice for estimating economic losses in judicial appraisal of agricultural environmental pollution accidents: SF/Z JD060100—2014[S]. Beijing: China Legal Publishing House, 2014.
- [25] 福建省质量技术监督局. 土壤环境损害鉴定评估技术方法:DB35/T 1728—2017[S]. 北京:中国标准出版社, 2017. The Quality and Technical Supervision Bureau of Fujian Province. Technical method for identification and assessment of soil environmental damage: DB35/T 1728—2017[S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [26] 湖南省市场监督管理局. 生态环境损害鉴定评估监测技术规范:DB43/T 1545—2018[S]. 北京:中国标准出版社, 2018. Market Supervision and Administration of Hunan Province. Technical specifications for environmental damage assessment monitoring: DB43/T 1545—2018[S]. Beijing: China Standard Press, 2018.
- [27] 河南省生态环境厅, 河南省市场监督管理局. 农用地土壤污染状况调查技术规范:DB41/T 1948—2020[S]. 郑州:黄河水利出版社, 2020. Department of Ecology and Environment of Henan Province, Market Supervision Administration of Henan Province. Technical specification for investigation of soil pollution in agricultural land: DB41/T 1948—2020[S]. Zhengzhou: The Yellow River Water Conser-

- vancy Press, 2020.
- [28] 王黎明. 土壤生态环境损害鉴定评估中基线确定方法讨论[J]. 绿色科技, 2021, 23(6):20-22. WANG L M. Discussion on determination of baseline in assessment of soil eco-environmental damage[J]. *Journal of Green Science and Technology*, 2021, 23(6):20-22.
- [29] 李希希, 杨志敏, 陈玉成. 土壤生态环境损害评估的技术原理与实践[C]. 重庆:2019年中国土壤学会土壤环境专业委员会、土壤化学专业委员会联合学术研讨会, 2019. LI X X, YANG Z M, CHEN Y C. Technical principle and practice of soil ecological environmental damage assessment[C]. Chongqing:2019 China Soil Society Soil Environment Committee, Soil Chemistry Committee Joint Symposium, 2019.
- [30] 农业部. 农田土壤环境质量管理技术规范:NY/T 395—2012[S]. 北京:中国农业出版社, 2012. Ministry of Agriculture. Technical rules for monitoring of environmental quality of farmland soil: NY/T 395—2012[S]. Beijing:China Agriculture Press, 2012.
- [31] LI J X, CAO F F, WU D, et al. Determining soil nutrients reference condition in alpine region grassland, China: a case study of Hulun Buir grassland[J]. *Sustainability*, 2018, 10(12):4666.
- [32] 西南师范学院环境科研组. 重庆地区土壤中11种元素背景值的数据处理与结果表示[J]. 重庆环境保护, 1982(4):18-38. Environmental Research Group, Southwest Normal University. Data processing and result representation of background values of 11 elements in soils in Chongqing area[J]. *Chongqing Environmental Science*, 1982(4):18-38.
- [33] 易廷辉, 王正奎, 杨志敏, 等. 重庆市农产品产地土壤重金属背景值与基线值研究[M]. 长春:吉林大学出版社, 2018. YI T H, WANG Z K, YANG Z M, et al. Study on background and baseline values of heavy metals in soils of agricultural producing areas in Chongqing[M]. Changchun:Jilin University Press, 2018.
- [34] 中国环境监测总站. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社, 1990. China Environmental Monitoring Station. Background values of soil elements in China[M]. Beijing:China Environmental Science Press, 1990.
- [35] 董浩, 宋文斌, 吴丽娟, 等. 生态环境损害鉴定评估基线确定方法研究[J]. 环境科技, 2022, 35(4):22-27, 34. DONG H, SONG W B, WU L J, et al. A study on the baseline determination method of ecological environmental damage assessment[J]. *Environmental Science and Technology*, 2022, 35(4):22-27, 34.
- [36] 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.