

# 农用地土壤重金属污染修复技术及效果 评价技术规程

Code of practices for assesment on remediation effects of heavy metal poluted  
agriculture land

(点击此处添加与国际标准一致性程度的标识)

(送审稿)

(本草案完成时间：2023-11-20)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

## 前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》

GB/T20001.6-2017《标准编写规则第 6 部分：规程标准》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由海南省现代农业检验检测预警防控中心提出。

本文件由海南省农业农村厅归口。

本文件起草单位：海南省现代农业检验检测预警防控中心、海南大学。

本文件主要起草人：李晓慧、黄青、蔡汇丰、朱治强、李栋、杜磊、蔡苗、宋小毛、戴梦等。

# 农用地土壤重金属污染修复技术及效果技术评价技术规程

## 1 范围

本文件适用于农用地土壤重金属污染修复技术的方法和技术要求。

本文件适用于农用地土壤重金属污染程度评价分级、修复治理效果的评价。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T1.1-2020《标准化工作导则第一部分：标准文件的结构和起草规则》

《中华人民共和国土壤污染防治法》

《受污染耕地治理与修复导则》（NY/T3499）

《建设用地土壤修复技术导则》（HJ25.4）

《食品安全国家标准食品中污染物限量》（GB2762）

《食用农产品产地环境质量评价标准》（HJ/T332）

《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》（GB15618）

《土地利用现状分类》（GB/T21010）

《耕地质量等级》（GB/T33469）

《肥料中有毒有害物质的限量要求》（GB38400）

《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166）

《农、畜、水产品污染监测技术规范》（NY/T398）

《耕地地力调查与质量评价技术规程》（NY/T1634）

《耕地污染治理效果评价准则》（NY/T3343）

《农用地土壤环境质量监测技术规范》（NY/T395）GB/T8311

《农用地土壤重金属污染修复治理效果评价技术规范》（DB43/T2191）

《耕地土壤重金属污染风险管控与修复—严格管控技术》（DB44/T2263.4）

《农用地土壤重金属污染修复技术规程》（DB13/T2206）

## 3 术语和定义

GB/T21010界定的以及以下下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1 重金属

镉、汞、砷、铬、铅、锌、铜、镍等 8 个重（类）金属元素，以及镭、钍和铀等造成土壤与农产品污染的其它重(类)金属元素。

### 3.2 土壤重金属污染

人为因素使土壤汇总重金属的含量和（或）有效性升高，导致土壤物理、化学、生物等方面性质的改变，影响土壤功能和利用，危害公众健康或者破坏生态安全。

## 4 总体要求

### 4.1 评价时段和范围

#### 4.1.1 评估时段

评估时段应覆盖一个完整的作物生长周期，以确保数据的代表性和准确性。

#### 4.1.2 评价范围

评价范围应覆盖污染区域内的所有主要种植区域和受影响的土地类型，包括不同土壤类型和不同深度的土层。

### 4.2 评价对象及标准

#### 4.2.1 评价对象

评价对象包括受污染的农用地土壤和生长在该土壤中的农作物。重点监测目标重金属污染物在土壤和农作物中的含量变化。

#### 4.2.2 评价标准

评价标准应依据国家和地方相关法规和标准，如GB15618《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准（试行）》和GB2762《食品安全国家标准食品中污染物限量》，确保修复后的土壤和农产品达到安全利用的要求。

### 4.3 评价方法和流程

#### 4.3.1 评价方法

评价方法包括现场踏勘、布点监测、样品采集、实验室检测、数据分析和综合评价等。结合不同污染程度和修复技术的特性，选择合适的评价方法。

#### 4.3.2 评价流程

评价流程应包括以下步骤：

1. **制定评价方案：**明确评价目标、范围、方法和技术路线。
2. **采集和检测样品：**按照标准规范进行土壤和农产品样品的采集和实验室检测。
3. **数据分析与评价：**对采集到的数据进行分析，评价修复效果。
4. **撰写评价报告：**根据分析结果，编写详细的修复效果评价报告。

## 5 土壤重金属污染程度等级划分

### 5.1 土壤重金属污染程度评价方法

#### 5.1.1 单因子污染指数法

$$P_i = \frac{c_i}{s_i}$$

式中：

$P_i$ ——土壤中污染物的环境质量指数；

$C_i$ ——污染物的实测浓度值；

$S_i$ ——污染物评价标准， $S_i = x + 2s$ ，其中 $x$ 为某污染物在当地的背景值， $s$ 为标准差。

#### 5.1.2 多因子综合污染指数法

$$P_{\text{综}} = \max(P_i) + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$$

式中：

$RI$ ——某一点土壤多种重金属综合潜在生态危害指数；

$T_i$ ——各重金属的毒性系数；

$C_i$ ——表层土壤重金属元素的实测含量；

$S_i$ ——该元素的评价标准值。

#### 5.1.3 Hakanson 潜在生态危害指数法

$$RI = \sum_{i=1}^n T_i \cdot \frac{C_i}{S_i}$$

式中：

$RI$ ——某一点土壤多种重金属综合潜在生态危害指数；

$T_i$ ——各重金属的毒性系数；

$C_i$ ——表层土壤重金属元素的实测含量；

$S_i$ ——该元素的评价标准值。

### 5.2 土壤重金属污染评价分级标准

根据计算结果，按表1确定土壤重金属污染程度及等级。

等级	污染程度	单因子指数法	多因子综合指数法	潜在生态危害指数法
1级	清洁	$P_i \leq 0.7$	$P_{综} \leq 0.7$	$RI \leq 100$
2级	尚清洁	$0.7 < P_i \leq 1$	$0.7 < P_{综} \leq 1$	$100 < RI \leq 150$
3级	轻度污染	$1 < P_i \leq 2$	$1 < P_{综} \leq 2$	$150 < RI \leq 300$
4级	中度污染	$2 < P_i \leq 3$	$2 < P_{综} \leq 3$	$300 < RI \leq 600$
5级	重度污染	$P_i > 3$	$P_{综} > 3$	$RI > 600$

## 6 修复技术要点

### 6.1 农艺调控类修复技术

#### 6.1.1 适用对象

适用于轻度污染农用地土壤，主要包括优化施肥、石灰调节、品种调整、水分调控、叶面调控和深耕等技术。

#### 6.1.2 技术要点

**1.优化施肥：**根据土壤环境状况与种植作物特征，优化有机肥、化肥的种类与施用量，推荐使用黄腐酸类肥料、硅肥等。氮肥施用，优化铵态氮和硝态氮的施用比例；磷肥施用，推荐钙镁磷肥；钾肥施用，推荐硫酸钾。

**2.石灰调节：**适用于土壤pH值在6.5以下的农用地，采用人工或机械化方式均匀撒施石灰，同时补施硅、锌等元素。施用频率为1次/年，其土壤pH值达到7.0后，需停施1年。

**3.品种调整：**种植可食部位重金属富集能力较弱的作物品种，如镉低累积水稻、玉米、菜心等，推荐已筛选出的单一污染源下的重金属低累积作物品种。

**4.水分调控：**明确修复植物的需水量，通过淹水提高土壤pH值，降低重金属活性。对于酸性镉污染稻田，通过淹水来提高土壤pH值，但需确保灌溉水中重金属含量达到农田灌溉水质标准要求。

**5.叶面调控：**叶面喷施氮、磷、硅、硒、锌等元素，提高作物抗逆性，降低可食部位重金属含量，选用可溶性硅、可溶性锌、可溶性硒等原料。

**6.深耕翻土：**将底土与表土更新或混匀，实施时间一般为冬闲或春耕翻地时，实施的周期和深度等需根据当地种植习惯、作物类型、土壤类型和耕作层厚度等来确定。

### 6.2 土壤改良类修复技术

#### 6.2.1 适用对象

适用于轻度、中度和重度污染农用地土壤，主要包括原位钝化技术、定向调控技术、客土法和换土法。

## 6.2.2 技术要点

**1.原位钝化技术：**通过添加蒙脱土、黏土矿物粉、泥炭等钝化材料，将重金属离子由有效态转化为无效形态，降低其植物有效性和生物毒性。钝化过程需充分考虑土壤类型、土壤理化性质、重金属种类及污染程度、植物种类以及当地降雨量。

**2.定向调控技术：**通过调节污染土壤中的pH值、Eh值或施加铁锰材料等，降低重金属污染物的有效性和毒性，定向控制土壤中重金属元素的迁移以及农作物的富集。

**3.客土法：**在污染的土壤上覆盖非污染土壤，根据种植植物的根系情况确定运入非污染土壤的厚度，建议种植浅根系植物，运入的非污染土壤性质宜与原污染土壤相一致，以免引起污染土壤中重金属活性的增大。

**4.换土法：**挖除部分或全部污染土壤而换上非污染土壤，通过监测确定土壤剖面由上至下每10cm~20cm土层重金属污染程度后，再根据重金属污染土壤深度及种植情况，确定换土的厚度。

## 6.3 生物类修复技术

### 6.3.1 适用对象

适用于轻度和中度重金属污染的农用地土壤，主要包括微生物修复技术和植物提取技术。

### 6.3.2 技术要点

**1.微生物修复技术：**利用微生物（藻类、细菌、真菌等），固定或转化重金属，降低土壤中重金属的毒性。推荐施用微生物菌剂、微生物接种剂、复合微生物肥料和生物有机肥等微生物修复材料。

**2.植物提取技术：**利用重金属超富集植物（如砷超富集植物蜈蚣草），或在种植植物的同时添加某些可以活化土壤重金属的物质，络合诱导植物高效吸收污染土壤中的重金属，通过收割累积了重金属的地上部分，并妥善处理，去除土壤中的重金属。

**3.植物-微生物联合修复技术：**将植物与微生物结合，融合二者优势。

## 6.4 综合治理技术

### 6.4.1 适用对象

适用于中度和重度重金属污染的农用地土壤。

### 6.4.2 技术要点

综合使用农艺调控类、土壤改良类和生物类修复技术，遵循大面积施用、衔接农时、经济高效、科学规范等基本原则，进行各项技术的组合和排序，并根据土壤污染程度，适当调整综合技术中集成技术的数量和单项技术的实施强度。

## 7 效果评价内容

## 7.1 评价目标

**1.安全利用型修复治理：**以实现可食用部位中目标重金属污染物含量降低到GB2762规定的限量标准值及其以下为目标。

**2.移除减量型修复治理：**以土壤中目标重金属污染物含量降低到GB15618规定的风险管制值或筛选值以下为目标。

## 7.2 评价指标

- 1.农产品中目标重金属污染物单因子超标率应小于或等于10%。
- 2.农产品中目标重金属污染物单因子污染指数算术平均值应小于或等于1。
- 3.修复治理投入品质量应符合GB38400规定的有毒有害物质的限量要求。
- 4.修复治理区域主栽农产品产量减产幅度应小于或等于10%。

## 8 评价程序

### 8.1 总体流程

- 1.制定评价方案
- 2.采集和检测样品
- 3.数据分析与评价
- 4.撰写评价报告

### 8.2 评价方案制定

在审阅分析相关资料的基础上，结合现场踏勘结果，明确样点布设、样品采集和检测方案，确定评价目标、范围和指标。

### 8.3 样品采集检测

根据评价方案，结合修复治理措施的实施情况，开展现场样点布设、样品采集、实验室检测和结果分析。采样方法应符合HJ/T 166、NY/T 395规定的要求，确保样品的代表性和准确性。

### 8.4 效果判定

根据评价目标和内容，评价并判定修复治理效果，作出评价结论。效果判定应包括土壤和农产品中目标重金属污染物含量的变化，以及修复治理对土壤环境和农产品产量的影响。

## 9 采样与分析方法

### 9.1 采样

农用地土壤重金属的采样频次、布点、采样时间和方法按HJ/T166、NY/T395规定执行。采样时应注意以下几点：

**1.采样频次：**根据污染程度和修复措施的实施情况，合理确定采样频次，确保数据的连续性和代表性。

**2.布点：**采样点应均匀分布在修复区域内，覆盖不同的土壤类型和种植区域。每个采样点应至少采集3个重复样。

**3.采样时间：**采样应在作物生长的关键时期进行，确保样品能够反映修复措施的实际效果。

**4.采样方法：**采用规范的采样工具和方法，避免样品受到污染或损失。采样后及时进行样品的保存和运输，确保样品质量。

## 9.2 分析方法

农用地土壤重金属分析方法按GB15618规定执行。分析时应注意以下几点：

**1.分析仪器和设备：**使用高精度的分析仪器和设备，确保测定结果的准确性和可靠性。

**2.分析方法：**采用标准的分析方法，如原子吸收光谱法、电感耦合等离子体质谱法等，确保测定结果的准确性。

**3.质量控制：**在分析过程中，应进行严格的质量控制，包括空白样、标准样和重复样的测定，确保测定结果的准确性和可靠性。

## 10 评价报告编制

### 10.1 评价报告内容

**1.前言：**简要介绍评价的背景、目的和意义。

**2.污染地块概况：**包括地块的基本情况、污染来源、污染程度和范围等。

**3.筛选和评价修复技术：**详细描述修复技术的筛选过程和评价结果。

**4.修复技术实施方案：**包括修复技术的具体实施步骤、技术参数、修复材料和设备等。

**5.监测与分析方法：**详细描述样品的采集、保存、运输、分析和质量控制方法。

**6.结论和建议：**根据评价结果，提出修复效果的结论和改进建议。

### 10.2 报告编写要求

报告应详细记录修复治理的全过程，提供充足的数据和信息，确保报告的科学性、完整性和可操作性。具体要求包括：

**1.数据和图表：**报告中应包括详细的数据和图表，直观展示修复效果。

**2.文字描述：**文字描述应简洁明了，准确反映修复过程和结果。

**3.附录：**报告中应附上相关的原始数据、检测报告和技术资料。