

耕地镉污染土壤修复效果评价规程

Specification for effectiveness evaluation of remediation of cadmium contaminated
cultivated soil

2021 - 11 - 04 发布

2021 - 12 - 04 实施

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 评价原则	2
5 评价方法与范围	2
6 评价指标	3
7 评价程序	3
8 技术要求	5
附录 A（资料性附录） 修复效果评价样品采样记录表格式	8
附录 B（规范性附录） 修复效果评价示例	13
附录 C（规范性附录） 修复效果评价报告编写提纲	14

前 言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由江苏省自然资源厅提出并归口。

本文件起草单位：江苏省地质调查研究院。

本文件主要起草人：葛礼强、任静华、郝社锋、廖启林、范健、许伟伟、徐宏婷、刘玮晶、李文博、梅芹芹、刘玲、李明、常青、陈晨。

本标准为首次发布。

耕地镉污染土壤修复效果评价规程

1 范围

本文件规定了耕地镉污染土壤修复效果评价的术语和定义、原则、方法与范围、指标、程序及相关技术要求。

本文件适用于耕地镉污染土壤修复效果评价，包括农艺调控、土壤调理、植物修复等以农产品可食部位镉达标或土壤中镉减量为目标的修复措施。

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（包括所有的修改版）适用于本文件。

- GB 2762 食品安全国家标准 食品中污染物限量
- GB 5009.268 食品安全国家标准 食品中多元素的测定
- GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准（试行）
- GB/T 17141 土壤质量 铅、镉的测定 石墨炉原子吸收分光光度法
- GB/T 23739 土壤质量 有效态铅和镉的测定 原子吸收法
- GB 18877 有机-无机复混肥料
- GB/T 21010 土地利用现状分类
- NY/T 395 农田土壤环境质量监测技术规范
- NY/T 398 农、畜、水产品污染监测技术规范
- NY/T 3343 耕地污染治理效果评价准则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

耕地 cultivated land

种植农作物的土地，包括GB/T 21010中的0101水田、0102水浇地、0103旱地。

[来源：GB/T 21010-2017]

3.2

农产品 agricultural products

农业耕作过程中生产的食用农产品，如小麦、水稻、玉米、花生、高粱、蔬菜、水果等植物及其产品。

[来源：NY/T 3343-2018]

3.3

耕层土壤 plow layer soil

位于农田土壤的最上部，从地面至地下一定深度的土壤层，主要是农作物根部生长密集、人为扰动强烈、营养元素和污染物易于迁移扩散的土层，根据农业耕作类型深度有所差异，通常在0~0.2m。

3.4

镉污染耕地 Cadmium contaminated cultivated land

耕层土壤中镉含量超过GB 15618中农用地土壤污染风险筛选值，且所产可食用农产品中镉含量超过GB 2762中镉限量的耕地。

3.5

污染土壤修复 remediation of contaminated soil

通过农艺调控、土壤调理、植物修复等措施，改善受污染土壤环境质量，使原先土壤或农产品可食部位中的污染物含量达到修复目标。

3.6

土壤修复效果 effects of soil remediation

土壤修复措施对农产品可食部位或土壤中污染物降低所起的作用程度。分为单季效果和综合效果两类，单季效果指修复措施实施后对每季度种植的农产品可食部位或土壤中污染物含量所产生的减少程度；综合效果指根据项目实施过程中每季度修复效果，综合评价后所得出的目标区域内综合修复效果。

3.7

修复指标 target of remediation

修复后目标区域内农产品可食部位中污染物最高限值或土壤中污染物含量最小降低幅度。分为约束性修复指标和引导性修复指标。其中约束性修复指标为修复措施达到的最低要求；引导性修复指标为引导修复措施在达标的前提下达到的更高要求。

3.8

采样评价单元 evaluation sample unit

按照修复措施种类将目标耕地划分成的若干采样田块的组合体，用以布设农产品和土壤评价点位。

4 评价原则

耕地镉污染土壤修复效果评价全过程应遵循科学性、独立性、公正性原则，具体按照NY/T 3343。

5 评价方法与范围

通过修复区域内农产品可食部位和/或土壤中镉含量变化情况，对比评价指标来反映修复措施对镉污染耕地土壤的修复效果；根据修复措施种类分单元进行评价，综合各单元评价结果得出修复区域内耕地镉污染土壤修复的总体评价结论。评价范围应与修复措施实施范围相一致；当修复范围发生变更时，应根据实际情况对评价范围进行调整。

6 评价指标

6.1 约束性修复指标

6.1.1 在耕地镉污染土壤修复结束后，凡种植可食农产品的修复区域，确保农产品可食部位中镉含量降低到 GB 2762 规定的限量标准以下（含）。

6.1.2 耕地镉污染土壤修复措施不得对农产品、耕地、地表水等造成污染；修复所使用的有机肥、土壤调理剂等农用投入品中镉、汞、铅、铬、砷 5 种重金属含量、六六六总量、滴滴涕总量和苯并[a]芘，不得超过 GB 15618 规定的筛选值。

6.1.3 修复措施不得对修复目标区域主栽农产品产量或产值造成负面影响，修复区域农产品单位产量或产值（折算后）与修复前同等条件对照相比减产幅度应小于或等于 10%。

注：目标区域农产品单位产量或产值测算方式要求修复前后保持一致，且以修复前测得的农产品单位产量或产值为初始对照。

6.2 引导性修复指标

在耕地镉污染土壤修复达标后，为进一步判定修复效果的优良等级，本文件给出引导性修复指标作为判定依据。不同污染程度情形下见表1。

表1 耕地镉污染土壤引导性修复指标

土壤镉污染程度	有效态镉降幅下限（含）	总镉降幅下限（含）
轻度	20%	10%
中度		15%
重度		20%
注：土壤镉轻度、中度和重度污染指土壤中镉含量分别为GB 15618中土壤镉风险筛选值的1~3倍、3~5倍和5倍以上，土壤中总镉和有效态镉含量测定按照GB/T 17141和GB/T 23739方法进行，且确保修复前、中、后使用检测方法一致。		

6.3 效果等级划分

修复效果分为三个等级，优良、达标和不达标。修复达到约束性修复指标则判定为达标；修复在达标基础上达到引导性修复指标则判定为优良；修复未到达约束性修复指标则判定为不达标。

7 评价程序

耕地镉污染土壤修复效果评价总体流程如图1所示，包括评价方案制定、采样与检测分析、效果等级评价、评价报告编制4个阶段。

7.1 评价方案制定

在审阅修复方案等相关资料的基础上，确定评价采样对象；结合现场踏勘结果，明确评价单元和点位布设方案，确定样品采集与检测方法、修复效果评价内容，在修复措施实施前制定评价方案。

7.2 采样与检测分析

在评价方案的指导下，结合耕地镉污染土壤修复措施实施全过程，开展修复前后农产品产量测算、现场样品采集和实验室检测分析工作，以上工作由评价单位组织实施。

7.3 效果等级评价

通过对各项修复措施实施前后评价数据进行复核与统计分析，逐条对比评价指标条款，判定修复效果等级，并作出评价结论。

7.4 评价报告编制

综合修复实施过程资料与各项修复措施评价结论，编制评价报告，对修复区域内耕地镉污染土壤修复效果进行科学评价，并给出总体结论。

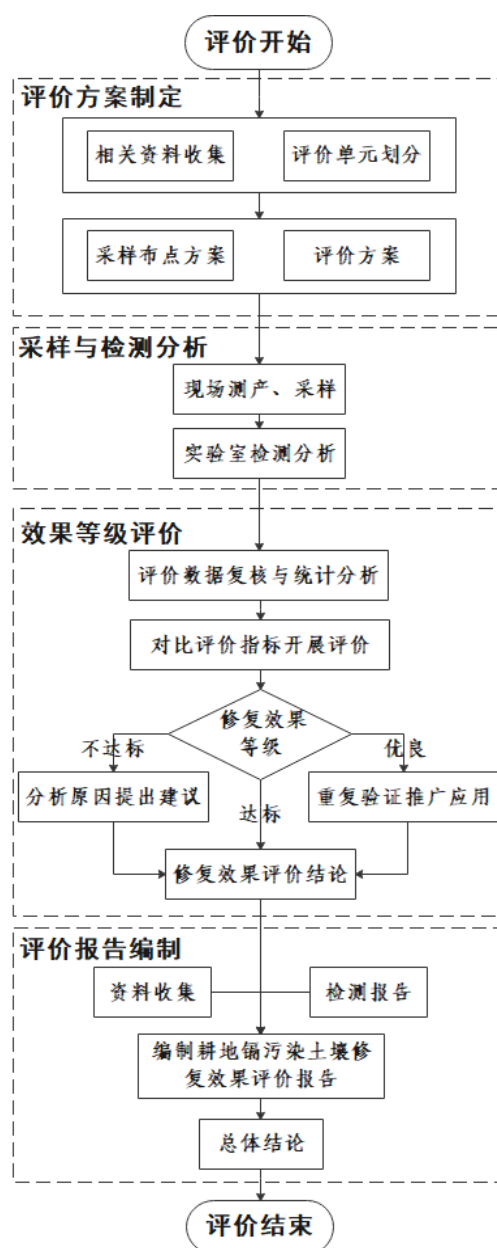


图1 耕地镉污染土壤修复效果评价总体流程图

8 技术要求

8.1 评价单元划分

根据修复方案内容,按照修复措施种类将修复目标耕地划分为若干采样评价单元,并统一进行编号;结合污染耕地位置示意图,开展现场踏勘,明确各评价单元内田块数量、单元面积、拐点坐标等信息,踏勘记录按照附录A填写。

8.2 评价点位布设

采用系统布点法在各采样评价单元内分别布设修复效果评价点位,布点位置示例见图2,推荐布点数量见表2。不规则评价单元边界网格面积低于正常一半时不需布点,每个网格代表一个评价点位。

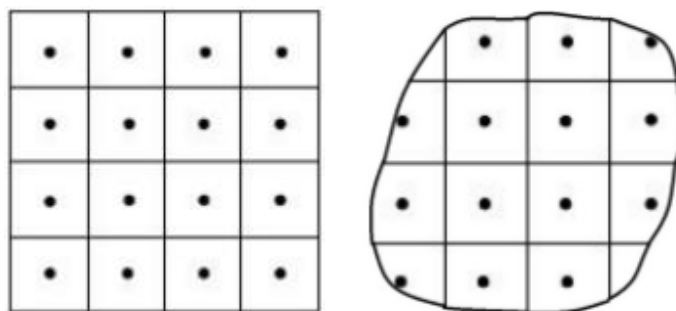


图2 布点位置图

表2 修复效果评价推荐布点数量

评价单元面积 X (亩)	评价点位数量 N (个)	每个评价点位控制面积 x (亩)
$X \leq 10$	$N = 10$	$x \leq 1.0;$
$10 < X \leq 20$	$N = [X]$	$x \approx 1.0;$
$20 < X \leq 100$	$N = 10[X/20]$	$1.0 < x \leq 2.0;$
$X > 100$	$N = 50[X/500]$	$2.0 < x \leq 10;$

注: [X]表示数值X向上取整数, [X/20]表示数值X除以20后向上取整数, [X/500]表示数值X除以500后向上取整数。

8.3 样品采集与检测

8.3.1 采用随机抽样法在修复措施实施过程中采集所使用的每一批次农用投入品,包括有机肥、化肥、修复药剂、灌溉水等,检测镉、汞、砷、铅、铬 5 种重金属,有机类投入品增测六六六总量、滴滴涕总量和苯并[a]芘。

8.3.2 在修复开始前采集评价点位耕层土壤样品,检测土壤有效态和总镉初始含量;在修复结束后(对于长期修复的,在修复周期后)连续 2 年内每季采集评价点位农产品和/或耕层土壤样品,检测农产品可食部位镉含量、土壤镉(有效态)含量;每个评价点位样品采用五点法混合采样,采样记录按照附录 A 填写,具体方法按照 NY/T 398 和 NY/T 395 的规定执行。

8.3.3 农用投入品相关指标检测方法按照 GB 15618 和 GB 18877 执行;农产品可食部位镉含量检测方法按照 GB 5009.268 执行;土壤总镉含量检测方法按照 GB/T 17141 执行;土壤有效态镉含量检测方法按照 GB/T 23739 执行。

8.3.4 样品实验室分析质量控制与保证，按照 NY/T 395 中的实验室内部质量控制和实验室间质量控制执行。

8.4 修复效果等级评价

8.4.1 根据评价点位样品中镉（有效态）含量与修复指标含量比值的算术平均值和样本达标率来判定修复目标区域的修复效果。

8.4.2 样品中镉（有效态）含量与修复指标含量比值的算术平均值按照公式（1）计算：

$$E_x = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{A_i}{T_i}}{n} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

E_x —评价样品中镉（有效态）含量与修复指标含量比值的算数平均值；

n —修复效果评价样品数量；

A_i —第*i*个评价样品中镉（有效态）含量；

T_i —第*i*个评价样品中镉（有效态）修复指标含量；

8.4.3 样本达标率按公式（2）计算：

$$K(\%) = \frac{N_{\text{达标}}}{N_{\text{总}}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

K ——样本达标率；

$N_{\text{达标}}$ ——样品达标样本总数，即评价样品中镉（有效态）含量达到修复指标的样本数；

$N_{\text{总}}$ ——监测样品总数。

8.4.4 修复后，单季评价样品中镉（有效态）含量与约束性修复指标含量比值的算数平均值（ $E_{\text{约束}}$ ）大于 1（单尾 t 检验，显著性水平一般小于或等于 0.05），或者样本达标率（ K ）小于 90%，或不符约束性修复指标其他要求，则单季效果为不达标；同时不满足以上三个条件则判定单季效果为达标；达标且单季评价样品中镉（有效态）含量与引导性修复指标含量比值的算数平均值（ $E_{\text{引导}}$ ）小于等于 1，则单季效果为优良（表 3）。

表3 单季修复效果等级划分对照表

$E_{\text{约束}}$	K	$E_{\text{引导}}$	修复效果等级
$> 1^a$	或	$< 90\%$	不达标
不符约束性修复指标其他条款			
< 1 或与 1 差异不显著 且	$\geq 90\%$	$> 1^a$	达标
		< 1 或与 1 差异不显著	优良
^a 要求单尾 t 检验达显著性水平（显著性水平一般小于或等于 0.05），按照 NY/T 3343 给出的 t 检验方法，详细案例见附录 B。			

8.4.5 修复后连续2年内每季的修复效果等级均为达标，则综合修复效果等级判定为达标，任一季的修复效果等级优良，则综合修复效果等级判定为优良；2年中任一季的修复效果等级不达标，则综合修复效果等级判定为不达标（表4）。

表4 综合修复效果等级划分对照表

修复后连续2年内每季效果等级	综合修复效果等级
任一季的修复效果等级不达标	不达标
连续2年内每季修复效果等级均为达标	达标
达标且任一季修复效果等级优良	优良

8.5 资料收集

按照NY/T 3343的相关规定执行。

8.6 评价报告编制

按照NY/T 3343的相关规定执行。评价报告提纲见附录C。

附 录 A
(资料性附录)
现场踏勘与样品采样记录表格式

A.1 评价单元现场踏勘记录卡见表A.1。

A.2 土壤、农作物/修复植物、灌溉水样、投入品采样记录卡分别见表A.2~表A.5。

表A.1 修复效果评价单元现场踏勘记录卡

单元编号		踏勘时间	年 月 日 时	天气		
所属	县(市、区) 乡(镇、街道) 村(组)					
拐点坐标						
修复措施				实际面积(亩)		
单元空间 位置示意图					备注	
田块编号	拍摄照片编号	田块面积(亩)	中心点坐标			

踏勘人：

记录人：

表A.2 修复效果评价土壤样品采集记录卡

单元编号		采样时间	年 月 日 时	天气	
所属	县（市、区） 乡（镇、街道） 村（组）				
具体位置					
耕作层厚度	cm	采样土壤深度	cm	耕地熟制	是否基本农田
土壤描述	土壤类型：				
	土壤颜色（ ） 1 紫色 2 红色 3 黄色 4 褐色 5 灰色 6 其它				
	土壤粒度（ ） 1 粗 2 中 3 细				
	土壤粘度（ ） 1 强 2 中等 3 弱				
	土壤质地（ ） 1 砂土 2 砂壤土 3 轻壤土 4 中壤土 5 重壤土 6 粘土 7 其它				
评价点位编号	样品编号	拍摄照片编号	中心点坐标	4 个分点坐标	
灌溉情况			采样点位置及结构示意图		
周边生态环境状况描述					
备注					

采样人：

记录人：

检查人：

表A.3 农作物/修复植物样品采样记录表

单元编号	采样时间		年 月 日 时			天气
所属	县（市、区）		乡（镇、街道）		村（组）	
具体位置						
植物名称			植物品种			
样品类型	（ ）：1 籽实 2 根 3 茎 4 叶 5 果实 6 蔬菜					
用肥类型			年施肥量（kg/亩）			
评价点位编号	样品编号	拍摄照片编号	样品鲜重（g）	年产量（kg/亩）	中心点坐标	
周边生态环境 状况描述			采样点位置及结构示意图			
备注						

采样人：

记录人：

检查人

表A.4 灌溉水采集记录表

_____县(市、区) _____乡(镇、街道) _____村(大队) _____组(社) 天气 _____

样点编号		坐标		
水渠或水系名称		灌溉水量(m ³ /亩/年)		
pH		水温		
水样编号				
原水		酸化水样 每 1 000 ml 加入 10 ml HCl(1:1)或 HNO ₃ (1:1)		
测 Hg 水样 加入 50 ml 浓 HNO ₃ 和 10 ml 5 % K ₂ Cr ₂ O ₇ 溶液, 再 注入 1 000 ml 水样				
其他水样	编号与添加试剂:			
照片	编号		拍摄时间	
采样水域特征描述				

采集人:

记录人:

核对人:

时间:

年

月

日

表A.5 投入品采样记录表

材料名称				采样时间	年 月 日 时
厂家名称				生产地址	
主要成分				执行标准	
材料颜色		材料气味		材料粒度 (mm)	
批次编号	样品编号	拍摄照片编号	样品重量 (g)	施用量 (kg/亩)	备注

采样人：

记录人：

检查人：

附 录 B（规范性附录）
修复效果评价示例

某镉污染耕地修复项目，其中钝化修复措施实施田块面积14.5亩，根据表2，布设效果评价点位15个，评价工作采集水稻稻谷和对应耕层土壤。样本数和样本检测值质量满足t检验法要求，显著性水平取0.05，修复后当季相关数据如表B.1所示。

表 B.1 样本检测值及统计量

评价点位	稻谷镉含量 (mg/kg)	土壤有效态镉(mg/kg)		稻谷镉含量与 约束性修复指标比值	土壤有效态镉含量与 引导性修复指标比值
		修复前	修复后		
S1	0.18	0.15	0.103	0.90	0.857
S2	0.17	0.16	0.111	0.85	0.866
S3	0.15	0.09	0.055	0.75	0.762
S4	0.1	0.1	0.063	0.50	0.786
S5	0.12	0.11	0.071	0.60	0.805
S6	0.21	0.18	0.150	1.05	1.040
S7	0.16	0.11	0.071	0.80	0.805
S8	0.16	0.13	0.087	0.80	0.835
S9	0.18	0.15	0.103	0.90	0.857
S10	0.19	0.14	0.095	0.95	0.847
S11	0.18	0.12	0.079	0.90	0.821
S12	0.15	0.11	0.071	0.75	0.805
S13	0.19	0.1	0.063	0.95	0.786
S14	0.18	0.17	0.130	0.90	0.958
S15	0.14	0.1	0.063	0.70	0.786
<i>K</i>				93.3%	93.3%
<i>E_x</i>				0.82	0.84
<i>S</i>				0.14	0.07
<i>C</i>				1.761	1.761
$\bar{x} + C \cdot S \sqrt{n}$				0.885	0.874
$\bar{x} - C \cdot S \sqrt{n}$				0.755	0.808

从表B.1可以看出，根据评价点t检验的结果，约束性修复指标下 $\bar{x} + C \cdot S \sqrt{n} = 0.885 < 1$ ，可以判定评价点 $E_{约束}$ 显著小于1，且样本达标率 $93.3\% > 90\%$ ，且满足约束性修复指标其他要求。根据表3单季修复效果等级划分对照表，判定修复后单季修复效果等级为达标。此外，鼓励修复指标下 $\bar{x} + C \cdot S \sqrt{n} = 0.874 < 1$ ，可以判定评价点 $E_{引导}$ 显著小于1，可以判定单季修复效果等级为优良。

附录 C（规范性附录）
修复效果评价报告编写提纲

- C.1 耕地镉污染修复背景
- C.2 耕地镉污染修复依据
- C.3 耕地镉污染风险评估情况
- C.4 耕地镉污染修复方法（含相关审核审批文件清单，文件作为附件）
- C.5 耕地镉污染修复开展情况
 - C.5.1 修复措施实施情况（治理台账及过程记录文件清单，典型文件作为附件）
 - C.5.2 二次污染控制情况（含农用投入品污染物含量情况）
- C.6 耕地镉污染修复效果评价
 - C.6.1 评价内容与方法
 - C.6.1.1 评价内容和范围
 - C.6.1.2 评价程序与方法
 - C.6.2 采样布点方案
 - C.6.2.1 布点原则
 - C.6.2.2 单元划分
 - C.6.2.3 布点方案
 - C.6.2.4 监测对象
 - C.6.3 样品采集与实验室检测
 - C.6.3.1 样品采集与制备
 - C.6.3.2 实验检测与分析
 - C.6.3.3 质量控制与保证
 - C.6.4 修复效果评价
 - C.6.4.1 评价指标分析
 - C.6.4.2 负面影响分析
 - C.6.4.3 效果等级评价
- C.7 耕地镉污染修复效果评价总体结论（含建议）
- C.8 附件（相关审核审批文件、修复台账及过程记录典型性文件、检测报告等）