

ICS 65.080:13.080
CCS B 10



中华人民共和国国家标准

GB/T 42819—2023

农产品产地重金属污染土壤钝化 通用技术规程

General technical code of practice for immobilization of heavy metal
contaminated soil in agriculture production area

2023-08-06 发布

2024-03-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 工作程序 2

5 钝化修复技术应用可行性评估 3

6 钝化剂筛选 5

7 修复方案编制与实施 7

8 修复效果评估 7

9 环境监测计划 7

10 采样与分析方法 8

附录 A（资料性）农产品产地土壤重金属污染情况调查访谈表 9

附录 B（资料性）常用的农产品产地土壤重金属钝化剂 10

附录 C（资料性）土壤有效态砷、有效态铬常用的浸提方法和测定方法 13

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。

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。

本文件由中国石油和化学工业联合会提出。

本文件由全国肥料和土壤调理剂标准化技术委员会(SAC/TC 105)归口。

本文件起草单位：山东师范大学、山东大学、上海化工院环境工程有限公司、浙江省农业科学院、山东省标准化研究院、山东研创环境工程技术有限公司、山东天城检测认证有限公司、上海艾库环境工程有限公司。

本文件主要起草人：成杰民、冯翰林、王晓凤、史祥利、李洁、宗万松、陈庆锋、崔兆杰、倪寿清、张志恒、刘玉学、商悦、马振、王自通、张长波、安洁、孟露露、杜金辉、王秀芳、杨桂兰、高明。

农产品产地重金属污染土壤钝化 通用技术规程

1 范围

本文件确立了农产品产地重金属污染土壤钝化修复的工作程序,规定了钝化修复技术应用可行性评估、钝化剂筛选、修复方案编制与实施,描述了修复效果评估、环境监测计划和采样与分析方法。

本文件适用于农产品产地受到镉、砷、铅、铬、铜、镍和锌污染,对农作物生长或土壤生态环境产生不利影响的土壤修复。

本文件不适用于汞污染的农产品产地土壤的修复。

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 4284 农用污泥污染物控制标准

GB/T 14848 地下水质量标准

GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准(试行)

HJ 164 地下水环境监测技术规范

HJ 804 土壤 8 种有效态元素的测定 二乙烯三胺五乙酸浸提-电感耦合等离子体发射光谱法

NY/T 395 农田土壤环境质量管理技术规范

NY/T 525 有机肥料

NY/T 3041 生物炭基肥料

NY/T 3241 肥料登记田间试验通则

NY/T 3343 耕地污染治理效果评价准则

NY/T 3499 受污染耕地治理与修复导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

农产品产地 agricultural production area

植物、动物、微生物及其产品生产的相关区域。

注:主要包括种植谷物、豆类、水果、蔬菜、坚果和油料作物等植物的农用地,为培养食用菌提供覆土的农用地,以及用作畜禽饲料或食用菌栽培基质的作物种植农用地。

3.2

重金属污染农产品产地 agricultural production area of heavy metal contaminated

由于人类活动产生的一种或多种重金属进入土壤,对农作物生长或土壤生态环境产生不利影响的农产品产地。

3.3

土壤重金属钝化剂 materials of immobilization for heavy metal contaminate soil remediation

用于降低土壤中重金属的迁移性、生物有效性及生物毒性的天然或合成材料。

注：在不引起混淆的情况下，本文件中的“土壤重金属钝化剂”简称为“钝化剂”。

3.4

土壤重金属钝化技术 immobilization technology of heavy metal in soil

通过向重金属污染土壤中添加一种或多种钝化剂，以实现有效降低重金属在土壤中的迁移性、生物有效性及生物毒性，减少对农作物生长或土壤生态环境的土壤修复技术。

3.5

耕作层 plough layer

经长期耕作形成的土壤表层。

3.6

土壤有效态重金属 available heavy metal in soil

在植物生长期能够被植物根系吸收的土壤中重金属元素，即在本文件规定条件下，能够被化学溶液浸提出的土壤中重金属元素。

3.7

目标重金属 target heavy metal

根据农产品产地土壤污染调查和风险评估所确定的需要进行钝化修复的重金属。

4 工作程序

4.1 原则上在农产品产地土壤污染调查和风险评估工作结束后，启动农产品产地土壤重金属钝化修复工作程序。

4.2 农产品产地重金属钝化修复工作包括钝化修复技术应用可行性评估、钝化剂筛选、修复方案编制与实施、修复效果评估及环境监测计划五个阶段。工作流程见图 1。

4.3 若在钝化修复技术应用可行性评估阶段确认钝化修复技术不适用于该农产品产地重金属污染土壤修复时，工作终止。

4.4 若在钝化剂筛选阶段中实验室小试或田间试验中试确认未达到修复目标时，则应重新回到钝化剂的初筛工作环节。

4.5 若在修复效果评估阶段确认未达到修复目标时，则应重新回到钝化修复技术应用可行性评估工作阶段。

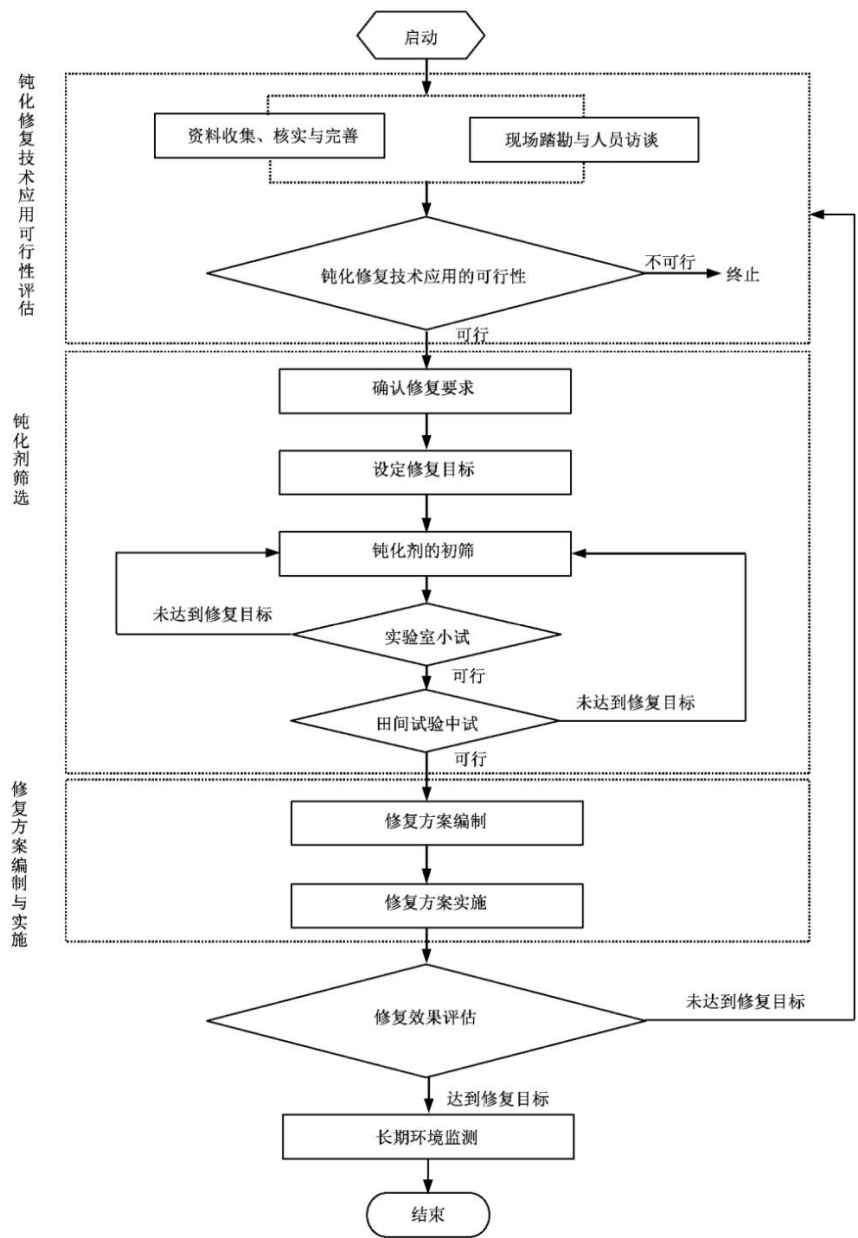


图 1 农产品产地重金属污染土壤钝化修复技术工作流程

5 钝化修复技术应用可行性评估

5.1 资料收集、核实与完善

5.1.1 资料收集、核实

5.1.1.1 收集的资料主要包括但不限于：土壤污染调查与风险评估资料；农田灌溉水质监测资料；历史

污染源资料;土壤类型、成土母质、土壤基本理化性质、种植农作物类型、种植模式、施用农药化肥种类和施用量等基本信息;周边污染源分布情况;气候资料、水文资料、遥感与土地利用情况等资料;土壤图、地质图和大比例尺地形图等文件。

5.1.1.2 核实收集资料的完整性和有效性。结合当地农业农村、生态环境和自然资源部门的相关调查和/或监测结果,确定土壤和农产品重金属污染来源、重金属污染类型、污染程度、污染范围和空间分布特征。

5.1.2 资料完善

5.1.2.1 资料中若缺失土壤基本理化性质,应对重金属污染土壤取样、分析,明确土壤理化性质。

5.1.2.2 资料中若缺失土壤污染调查和风险评估资料,应对重金属污染土壤调查与评价。

5.2 现场踏勘与人员访谈

5.2.1 现场踏勘

5.2.1.1 根据收集的资料,确定重金属污染地区的现场踏勘方案。

5.2.1.2 现场重点考察重金属污染农产品产地的现状,包括周边环境状况(周边企业情况、灌溉水、大气、固体废物污染情况等)、种植农作物种类、耕作制度和土壤修复工程施工条件(电、水、施工道路和临时仓库等)。

5.2.2 人员访谈

5.2.2.1 重点访谈重金属污染农产品产地污染历史和现状的知情人。如生态环境管理部门、农业农村管理部门和乡镇国土资源管理部门人员;重金属污染农产品产地历史和现阶段使用者,以及熟悉重金属污染农产品产地情况的村干部和农民。

5.2.2.2 人员访谈可采用当面交流、书面交流、电话或网络调查等方式,主要对已有资料可疑处和不完善处进行核实和补充。农产品产地土壤重金属污染情况调查访谈表见附录 A。

5.3 确定钝化技术应用可行性

5.3.1 土壤重金属污染程度

经 5.1、5.2 工作后,当土壤重金属含量高于 GB 15618 中土壤污染风险筛选值,土壤镉、砷、铅、铬低于土壤污染风险管制值时,且对农作物生长或土壤生态环境存在风险时,可采用钝化修复技术。

5.3.2 土壤重金属污染类型

根据农产品产地土壤污染调查和风险评估资料,确认农产品产地土壤重金属污染类型。若为单一重金属污染土壤,可采用钝化修复技术。若为重金属复合污染土壤,需要进一步确认重金属复合污染类型。一般镉、铅、铜、镍和锌中两种及以上重金属复合污染土壤,可采用钝化修复技术。

若镉、铅、铜、镍和锌中一种及以上重金属与铬和砷中的一种或两种复合污染土壤,应根据实验室和田间试验结果、他人在本区域前期研究结果和国内外文献资料,评估确定采用钝化修复技术的可行性。

5.3.3 土壤有效态重金属含量

土壤有效态重金属含量占土壤重金属全量的比例越高,钝化技术修复效果越好。当需要修复的土壤有效态重金属含量占土壤重金属全量的质量分数小于 20%时,对钝化剂性能要求较高,应根据实验室和田间试验结果或他人在本区域前期研究结果,评估确定采用钝化修复技术的可行性。

5.3.4 土壤重金属污染深度

当农产品产地土壤重金属污染深度超过耕作层厚度,不宜采用钝化修复技术。

6 钝化剂筛选

6.1 确认修复要求

6.1.1 目标重金属

根据农产品产地重金属污染土壤调查和风险评估,确认目标重金属。

6.1.2 修复范围

根据对农产品产地重金属污染土壤调查和风险评估,确认农产品产地重金属污染土壤修复范围(包括四周边界和污染土层深度)。

6.1.3 其他要求

与重金属污染农产品产地利益相关方沟通、协商,确认土壤修复时间、预期经费投入等。

6.2 设定修复目标

6.2.1 基本目标

土壤有效态重金属含量显著降低,且对农作物生长或土壤生态环境的风险可以忽略,土壤重金属钝化技术应用区与对照区相比,农作物减产幅度应不大于 10%。

6.2.2 参考目标

若重金属污染农产品产地所在区域已有农用地土壤有效态重金属含量限值标准,则应按照所在区域标准制定参考目标。

6.3 钝化剂的初筛

6.3.1 基本要求

6.3.1.1 根据对农产品产地重金属污染土壤调查和风险评估,结合污染农产品产地目标重金属种类和含量,以及土壤理化性质(主要包括土壤类型、土壤机械组成、土壤 pH、土壤有机质含量和土壤阳离子交换量等),针对性地选择一种或多种钝化材料。

6.3.1.2 常用的农产品产地土壤重金属钝化剂见附录 B,也可选用重金属污染所在区域已经过研究确定或成熟应用的重金属钝化剂。

6.3.2 钝化剂的要求

6.3.2.1 钝化剂中污染物含量

6.3.2.1.1 根据钝化剂基质材料,满足相关标准对污染物含量限值要求。其中,农用污泥基应符合 GB 4284 规定限值要求,有机肥基应符合 NY/T 525 规定限值要求,生物炭基应符合 NY/T 3041 规定限值要求。

6.3.2.1.2 其他没有国家标准或行业标准的钝化剂中镉、汞、砷、铅、铬、铜、镍和锌等元素和有机污染物含量,不应超过 GB 15618 规定的土壤污染风险筛选值。

6.3.2.2 钝化剂粒径

6.3.2.2.1 无机类钝化剂、无机-有机复合类钝化剂粒径应小于 0.425 mm,有机类钝化剂粒径应小于 10 mm,且符合上述要求的钝化剂质量占全部钝化剂质量的比重应不低于 95%。

6.3.2.2.2 在未经长期试验证明纳米钝化剂对重金属污染所在区域生态环境无明显不利影响前,不应使用粒径小于 100 nm 的钝化剂。

6.3.2.3 钝化剂对土壤性质影响

所使用的钝化剂不应対土壤质地、团聚体结构、营养元素有效性、酶活性、微生物群落结构与功能多样性等有明显的不良影响。

6.3.3 钝化剂的施加要求

6.3.3.1 施加方式

一般采用人工或机械撒施的方式,将钝化剂撒施在土壤表层,翻耕/旋耕均匀。若有特殊要求,则应按照钝化剂产品使用说明书施用。

6.3.3.2 施加深度

根据农产品产地重金属污染土壤深度和空间分布特征,结合农产品产地土壤污染调查结果,向耕作层土壤施加钝化剂。

6.3.3.3 施加用量

通常情况下,钝化剂年用量累计不应超过 7 500 kg/hm²,连续使用时间不应超过 5 年。

6.3.3.4 其他要求

施加钝化剂的其他要求如下:

- 钝化剂不能与无机钾肥和氨态氮肥同时施加,一般在钝化剂施入 15 d 后施加肥料;
- 施加钝化剂 7 d 内,土壤含水量保持在田间饱和持水量的 70%以上;
- 根据钝化剂类型和种植作物种类不同,在施加钝化剂与种植农作物之间间隔 7 d~10 d;
- 施加钝化剂时,工作人员配备必要的防护装备并避免在雨雪天作业。

6.4 钝化剂的确定

6.4.1 实验室小试

6.4.1.1 采用土培试验法,初步确定钝化剂种类、配比和用量。

6.4.1.2 试验用土应采自所需修复的重金属污染农产品产地;栽培的植物应为需修复区域受重金属污染的农作物品种。

6.4.1.3 每种钝化剂用量试验至少设置对照、A、B、C、D 五个用量处理,每个处理重复三次。在温室控制水分、养分、温度、光照等条件下培养。

6.4.1.4 试验结束后,若达到/超过预期目标,则进入田间试验中试阶段。反之,则应按照 6.3 重新筛选钝化剂。

6.4.2 田间试验中试

6.4.2.1 采用实验室小试已确定的钝化剂种类、配比和用量,进行田间试验。

6.4.2.2 在重金属污染的农产品产地中选择环境条件、土壤性质、污染类型及污染程度等相近的区域按照 NY/T 3241 的规定设置试验小区,进行田间试验。当农产品产地土壤性质及污染程度空间分布不均时,应设置多个代表性试验小区。

6.4.2.3 田间试验中试至少进行 1 个生长季,轮作、连作的试验要达到一个周期生产要求。

6.4.2.4 中试试验结束后,采集土壤样品,若达到/超过预期目标,则进入修复方案编制与实施阶段。反之,应按照 6.3 重新筛选钝化剂。

6.4.3 钝化剂用量的确定

6.4.3.1 理论施加量:以修复目标值为基准,根据钝化剂施加量和修复效果之间的定量关系,计算能够满足修复目标值的钝化剂配伍及理论施加量。

6.4.3.2 实际施加量:对理论施加量乘以安全系数 1.2,作为钝化剂的实际施加量。

7 修复方案编制与实施

7.1 修复方案编制

按照 NY/T 3499 的规定编制农产品产地重金属污染土壤钝化修复方案。

7.2 修复方案实施

7.2.1 修复工程实施前

按照修复方案,修复工程实施单位在施工前应准备好修复工程所需的钝化剂、机械设备、基础设施等。合理测算钝化剂用量并提前购买或制备不低于总施加量的钝化剂。在重金属污染农产品产地周边租赁或搭建仓库,用于钝化剂的存放,采取防雨、防风、防渗措施,并设置必要的消防设施。在钝化剂的运输过程中应进行苫盖,避免钝化剂撒漏、扬尘污染,防止雨雪对钝化剂质量产生影响。

7.2.2 修复工程实施中

修复工程实施单位应按照修复方案确定的步骤、内容和要求实施修复工程,并应采取防范二次污染的措施,避免修复工程实施过程中可能对周边环境和人体健康产生不利影响。监理单位应对修复工程实施全过程的环境监理。

7.2.3 修复工程结束后

委托第三方对修复工程实施效果评估,并进行修复工程验收。

8 修复效果评估

按照 NY/T 3343 对农产品产地重金属污染土壤钝化修复工程修复效果进行评价。

9 环境监测计划

9.1 修复工程实施前环境监测

修复工程实施前重点是补充监测,核实目标重金属种类、污染程度、污染类型等。

9.2 修复工程实施中环境监测

修复工程实施中重点监测修复工程对周边大气、水环境的影响,防止二次污染。

9.3 修复工程实施后环境监测

修复工程结束后,重点监测修复工程达标情况。

9.4 长期环境监测

9.4.1 土壤有效态重金属监测

采用钝化技术修复的重金属污染农产品产地,应对土壤中目标重金属有效态含量进行长期监测。第一年和第二年每季作物监测一次,第三年及以后每年监测一次。当土壤中重金属有效态含量显著增高,或超过设置的参考目标值时,应立即查明原因,及时采取风险控制措施。

9.4.2 地下水监测

对采用钝化技术修复的农产品产地上游、中心、两侧和下游地下水中目标重金属含量进行长期监测。第一年和第二年每季监测一次,第三年及以后每年监测一次。当地下水中目标重金属浓度超过 GB/T 14848 规定的所处区域地下水类别相应限值时,应及时采取风险控制措施。

10 采样与分析方法

10.1 采样方法

农产品产地土壤采样按照 NT/T 395 规定执行,地下水采样按照 HJ 164 规定执行。

10.2 分析方法

10.2.1 土壤有效态重金属含量

土壤有效态镉、有效态铅、有效态铜、有效态镍和有效态锌的测定按照 HJ 804 执行。土壤有效态砷、有效态铬的测定可按照国内外相关领域的研究方法或本区域地方标准执行,也可参照附录 C 给出的方法。

10.2.2 地下水中重金属含量

地下水中砷、铅、铜、锌、镉、铬、镍含量测定按照 GB/T 14848 测定。

附 录 A
(资料性)

农产品产地土壤重金属污染情况调查访谈表

农产品产地土壤重金属污染情况调查访谈内容见表 A.1。

表 A.1 农产品产地土壤重金属污染情况调查访谈

农产品产地名称						
农产品产地地址						
农产品产地基本信息	产地中心坐标	经度：	面积/m ²			
		纬度：				
受访人姓名			联系电话			
受访人与农产品产地关联信息	☐ 地方政府官员 ☐ 管理部门人员 ☐ 农产品产地历史使用者 ☐ 农产品产地现阶段使用者 ☐ 熟悉污染情况的附近村干部或村民 ☐ 其他					
	所在单位		职务		工作时间	
访谈内容		访谈记录				
(1)农产品产地周边工矿企业生产经营状况						
(2)农产品产地灌溉水来源及水质状况						
(3)农产品产地受周边工矿企业大气沉降污染情况						
(4)农产品产地及周边是否有堆放过有毒有害危险化学品、危险废物或其他一般固体废物等情况						
(5)农产品产地主要种植农作物类型						
(6)农产品产地种植农作物的耕作制度情况						
(7)农产品产地电、水、施工道路和临时仓库供应条件						
(8)其他内容						
受访人签字： 		访谈人签字： 访谈时间：				

附 录 B
(资料性)

常用的农产品产地土壤重金属钝化剂

常用的农产品产地土壤重金属钝化剂见表 B.1。

表 B.1 常用的农产品产地土壤重金属钝化剂

钝化材料类别	钝化剂	主要成分和来源	目标重金属	主要修复机理
含硅材料	硅肥	以炼铁炉渣、黄磷炉渣、钾长石、海泡石、赤泥、粉煤灰等为主要原料,以有效硅 SiO ₂ 为主要表明量的各种肥料	Cd、Fe、Zn、Pb、Cu、Ni、Cd/Cr/Cu、Zn/Cd/Pb	硅酸根提高土壤 pH、与重金属形成沉淀,降低土壤中重金属的生物有效性;形成 Si-Me 络合物、促进植物根表贴膜形成,减少植物对重金属的吸收
	黏土矿物	一类含水硅酸盐或铝硅酸盐矿物,一般含有 SiO ₂ 和 Al ₂ O ₃ ,有些还含有一定量的 Fe ₂ O ₃ 、MgO 及少量的 K ₂ O、Na ₂ O、CaO 等		
	(偏)硅酸钠	H ₁₀ Na ₂ O ₈ Si		
含钙材料	石灰	CaO	Cu、Cd、Pb、Cd/Cu、Cd/Pb、Cu/Zn/Cd/Pb	提高土壤 pH,生成碳酸盐或氢氧化物沉淀,降低土壤中重金属的生物有效性
	熟石灰	Ca(OH) ₂		
	石灰石	CaCO ₃		
	石膏	CaSO ₄ ·2H ₂ O		
	碳酸盐类	CaCO ₃ 、MgCO ₃		
	贝壳类	CaCO ₃		
含磷材料	羟基磷灰石	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ (OH) ₂	Pb、Cd、Cu、Zn、Cd/Pb、Pb/Cu	Pb 主要与含磷材料形成吸附沉淀;Cu、Zn、Cd 主要与含磷材料形成络合吸附
	钙镁磷肥	Ca ₃ (PO ₄) ₂ 、CaSiO ₃ 、MgSiO ₃		
	磷矿粉(氟磷灰石)	Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ F ₂		
	骨炭	Ca ₃ (PO ₄) ₂		
	磷酸氢铵	(NH ₄) ₂ HPO ₄		
	磷酸钙	Ca ₃ (PO ₄) ₂		
	磷铁矿	FePO ₄ ·2H ₂ O		
	过磷酸钙(普钙)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O+CaSO ₄		
	磷酸盐	Ca ₃ (PO ₄) ₂ 、Mg ₃ (PO ₄) ₂ 、Na ₃ PO ₄		

表 B.1 常用的农产品产地土壤重金属钝化剂 (续)

钝化材料类别	钝化剂	主要成分和来源	目标重金属	主要修复机理
黏土矿物	海泡石	$\text{Mg}_8(\text{H}_2\text{O})_4[\text{Si}_5\text{O}_{16}]_2(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Zn、Cd、Cu、Cr、Pb、Ni、Zn/Cd/Cu/Ni/As、Zn/Cd/Pb、Cd/Pb、Cu/Cd/Pb	黏土矿物对重金属的物理吸附、化学吸附和离子交换吸附作用;矿物表面的含氧官能团与重金属的配合作用;重金属在黏土矿物表面的沉淀作用
	沸石	一族含水架状结构铝硅酸盐矿物,化学式为 $\text{AmBpO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$,其中 A 为 Ca、Na、K、Ba、Sr 等阳离子,B 为 Al 和 Si, p 为阳离子化合价, m 为阳离子数, n 为水分子数		
	膨润土	含少量碱金属和碱土金属的水铝硅酸盐矿物,其主要矿物成分是蒙脱石。化学式为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4(\text{SiO}_2) \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。层间可交换性阳离子为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 H^+ 时,分别称为钠基膨润土、钙基膨润土、氢基膨润土(活性白土)		
	高岭石	$\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{OH})_8$,氧化物为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		
	蒙脱石	以 Al_2O_3 的含水硅酸盐为主体的黏土矿物。化学式为 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$,结构式为 $(\text{Ca}, \text{Na})_{0.66}(\text{Al}, \text{Mg})_4[\text{Si}_8\text{O}_{20}](\text{OH})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		
	硅藻土	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		
	凹凸棒石	具层链状结构的含水富镁硅酸盐黏土矿物,又称坡缕石。化学式为 $\text{Mg}_5(\text{H}_2\text{O})_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}]_2(\text{OH})_2$ 。自然界中的凹凸棒石常有 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 等类质同像置换,富 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 的变种称为铝凹凸棒石或铁凹凸棒石		
	坡缕石	以凹凸棒石为主要组分的一种黏土矿物。一般沉积成因呈土状的称为凹凸棒石,热液成因呈绒状、纤维状的称作坡缕石		
金属氧化物	针铁矿	$\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$	Ni、Cr、Cd、Pb、As、Zn/Cd/Pb、Cd/Pb、As/Cd/Pb、Zn/Cd/Ni/Pb	提高土壤 pH 形成氢氧化物沉淀,重金属离子在氧化物表面吸附等降低土壤中重金属的生物有效性;促进植物根系铁膜形成,减少植物对重金属的吸收
	褐铁矿	$\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$		
	水铁矿	$5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$		
	水钠锰矿	一类具有二维层状结构的锰的氧化物		
	铁氧化物	FeO 、 Fe_2O_3		
	硫酸铁盐	FeSO_4 、 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$		
	含氯铁盐	FeCl_3 、 FeCl_2		

表 B.1 常用的农产品产地土壤重金属钝化剂 (续)

钝化材料类别	钝化剂	主要成分和来源	目标重金属	主要修复机理
有机材料	有机肥	植物和/或动物经过发酵腐熟的含碳有机物料	As、Cd、Cu、Hg、Zn、Pb、Ni、Cu/ Zn、Cu/Cd、Zn/ Cd/Pb	通过对土壤 pH 和土壤氧化还原电位 (Eh) 的改变,影响重金属的吸附;腐殖质与重金属形成络合物或螯合物
	腐植酸	土壤和沉积物等物质中溶于稀碱、呈暗褐色、无定形和酸性的非均质天然有机高分子化合物。由在酸性溶液中沉淀的胡敏酸和仍为溶液的富啡酸两类物质组成。基本结构是芳环和脂环,环上连有羧基、羟基、羰基、醚基、甲氧基等官能团。常从风化煤、褐煤、泥炭、油母页岩等有机矿物中提取		
	污泥	生活污水处理过程所产生的固体沉淀物质		
	富里酸/黄腐酸	腐殖物质中一组相对分子质量较小的,既能溶于稀碱溶液,又能溶于酸和水,具有芳香族、脂肪族及多种官能团结构特征的,稀溶液呈黄色或棕黄色的无定形有机弱酸混合物。常从风化煤、褐煤、泥炭、油母页岩等有机矿物中提取		
	粪便	人或动物的大肠排遗物。固体物质大多是蛋白质、无机物、脂肪、未消化的食物纤维、脱了水的消化液残余,以及从肠道脱落的细胞和死掉的细菌		
	秸秆	主要是指水稻、小麦、玉米等农作物成熟后的茎叶部分		
生物质炭	秸秆炭、污泥炭、木材炭、稻壳炭等	由富含碳的生物质在无氧或缺氧条件下经过高温裂解生成的一种具有高度芳香化、富含碳素的多孔固体颗粒物质	Cd、Cu、Pb、As、Cd/Cu/Pb/Zn	提高土壤 pH,使重金属形成氢氧化物、碳酸盐沉淀;与生物质炭表面含氧官能团形成络合物或螯合物
其他	复合材料	由两种或两种以上不同性质的材料,通过物理或化学的方法,组成具有新性能的材料。各种材料在性能上互相取长补短,产生协同效应,使复合材料的综合性能优于原组成材料	Cd、Cr、Cu、Pb、As、Cd/Pb、Cd/Cr/Zn	独特的表面结构、组成成分使得钝化剂对重金属的吸附性能增强。材料中的巯基与重金属发生配合作用;碱性基团与重金属络合沉淀
	改性材料	在保持材料原性能的前提下,一般通过表面化学反应法、表面接枝法、表面复合化法等提高材料对重金属的吸附钝化能力		
注 1: 本表中所列举的钝化剂,是在我国大多数研究和实际应用中涉及的钝化剂。 注 2: Cd、Fe 等表示单一重金属污染;Cd/Cr/Cu 等表示复合重金属污染。 注 3: 本表中列举钝化剂类别中的含硅材料、含钙材料、含磷材料、黏土矿物、金属氧化物为无机类钝化剂,有机材料和生物质炭为有机类钝化剂,复合材料和改性材料一般为无机-有机复合类钝化剂。				

附 录 C

(资料性)

土壤有效态砷、有效态铬常用的浸提方法和测定方法

土壤有效态砷的常用浸提方法和测定方法见表 C.1,土壤有效态铬的常用浸提方法和测定方法见表 C.2。

表 C.1 土壤有效态砷常用的浸提方法和测定方法

土壤类型	浸提剂	土液比	浸提时间	测定方法
碱性土壤	$0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaHCO_3	1 : 10	2 h	电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS) 原子荧光法(AFS)
中性和碱性土壤	DTPA ^a	1 : 2	2 h	电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS) 原子荧光法(AFS)
酸性、中性和 碱性土壤	$0.05\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaH_2PO_4	1 : 10	1 h	氢化物发生-原子荧光光谱法(HG-AFS)
酸性土壤	$0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl	1 : 5	1.5 h	电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS) 原子荧光法(AFS)
^a DTPA 浸提剂: $0.005\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 二乙烯三胺五乙酸(DTPA)、 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 二水合氯化钙($\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)和 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 三乙醇胺(TEA), $\text{pH}=7.3\pm 0.1$ 。				

表 C.2 土壤有效态铬常用的浸提方法和测定方法

土壤类型	浸提剂	土液比	浸提时间	测定方法
酸性、中性和 碱性土壤	$0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ NaNO_3	2 : 5	2 h	原子吸收分光光度法 电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)
中性和碱性土壤	DTPA ^a	1 : 2	2 h	电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS) 电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-AES)
酸性、中性和 碱性土壤	Mehlich3 ^b	1 : 10	5 min	原子吸收分光光度法 电感耦合等离子体发射光谱法(ICP-OES)
^a DTPA 浸提剂: $0.005\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 二乙烯三胺五乙酸(DTPA)、 $0.01\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 二水合氯化钙($\text{CaCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$)和 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 三乙醇胺(TEA), $\text{pH}=7.3\pm 0.1$ 。 ^b Mehlich3 方法(简称 M3)浸提剂为: $0.2\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{CH}_3\text{COOH}$ 、 $0.25\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{NO}_3$ 、 $0.015\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{NH}_4\text{F}$ 、 $0.013\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{HNO}_3$ 和 $0.001\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 乙二胺四乙酸(EDTA), $\text{pH}=2.5\pm 0.1$ 。				
