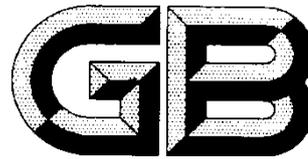


ICS 65.080

点击此处添加中国标准文献分类号



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术 规程 (征求意见稿)

General technical specification for immobilization of heavy metal contaminated soil
in agricultural production area

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

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 基本原则和工作程序	2
5 技术应用可行性评估	5
6 筛选钝化剂	6
7 制定与实施修复方案	8
8 修复效果评价	9
9 环境管理要求	9
10 采样与分析方法	10
11 标准实施与监督	10
附录 A（资料性附录）常见的重金属低累积农作物一览表	11
附录 B（资料性附录）常用农产品产地土壤重金属钝化材料一览表	12

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国土壤污染防治法》、《土壤污染防治行动计划》等法律法规，防治环境污染，规范农产品产地重金属污染土壤钝化修复工程的建设和实施，防止农产品产地土壤重金属钝化修复过程中引起的二次污染和潜在的环境风险，保障我国农业生态环境安全和农产品质量安全，制定本文件。

本文件规定了农产品产地重金属污染土壤钝化过程所遵循的基本原则、程序、内容和技术要求。

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。

本文件的附录A和附录B是资料性附录。

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/TC105）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等。

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、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。

农产品产地重金属污染土壤钝化通用技术规程

1 范围

本文件规定了农产品产地重金属污染土壤钝化技术实施过程中所遵循的基本原则、程序、内容和技术要求。

本文件适用于安全利用类农产品产地农作物可食部分镉、砷、铅、铬、铜、镍、锌含量超标的中性或弱碱性土壤的钝化修复。

本文件不适用于农作物可食部分汞含量超标的农产品产地土壤的修复。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是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。

下列引用文件其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订的最新版均适用于本文件。

GB 2762	食品安全国家标准 食品中污染物限量
GB 4284	农用污泥污染物控制标准
GB 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）
GB 5009.11	食品安全国家标准 食品中总砷及无机砷的测定
GB 5009.12	食品安全国家标准 食品中铅的测定
GB 5009.15	食品安全国家标准 食品中镉的测定
GB 5009.123	食品安全国家标准 食品中铬的测定
GB 5009.138	食品安全国家标准 食品中镍的测定
GB/T 23739	土壤质量 有效态铅和镉的测定 原子吸收法
HJ 164	地下水环境监测技术规范
NY/T 525	有机肥料
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 890	土壤有效态锌、锰、铁、铜含量的测定 二乙三胺五乙酸(DTPA)浸提法
NY/T 3041	生物炭基肥料
NY/T 3499	受污染耕地治理与修复导则
NY/T 2911	测土配方施肥技术规程
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
TD/T 1048	耕作层土壤剥离利用技术规范

3 术语和定义

3.1

农产品产地 agricultural production area

指植物、动物、微生物及其产品生产的相关区域。本文件所规定的农产品产地是指种植可食类农作物的农用地，包括种植谷物、豆类、水果、蔬菜、坚果、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

重金属污染产地 agricultural production area of heavy metal contaminated

指由于人类活动产生的一种或多种重金属进入土壤，导致农作物可食用部分重金属含量超过食品安全限值的农产品产地。

3.3

中性或弱碱性土壤 neutral or weakly alkaline soil

指土壤pH介于6.5到8.5之间。其中中性土壤指土壤pH介于6.5到7.5之间，弱碱性土壤指土壤pH介于7.5到8.5之间。

3.4

钝化剂 materials for immobilization of heavy metal

指以降低土壤中重金属生物有效性为目的的天然或加工合成材料。

3.5

钝化技术 immobilization technology

指通过向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-植物系统中迁移性、生物有效性及生物毒性的目的。

3.6

表土层 topsoil

指位于土壤剖面的上层土壤，厚度一般为20 cm~ 40 cm。对于长期耕作土壤的表土层，可分为上表土层和下表土层。上表土层是指经长期耕作熟化形成的表土层，又称耕作层，厚度一般为15 cm~ 20 cm。下表土层由犁底层和心土层的最上部分构成。犁底层指耕作层以下较为紧实的土层，厚度一般为5 cm~ 10 cm，最厚可达到20 cm。

3.7

土壤重金属有效态含量 available content of heavy metals in soil

指采用化学试剂提浸等方法测得的土壤中某些化学结合形态的重金属含量，并能够用于表征可被植物吸收的土壤中重金属的含量。

4 基本原则和工作程序

4.1 基本原则

4.1.1 针对性原则

针对以轻微、轻度重金属污染为主要特征的农产品产地土壤，利用重金属污染土壤钝化技术，开展污染土壤修复。

4.1.2 规范性原则

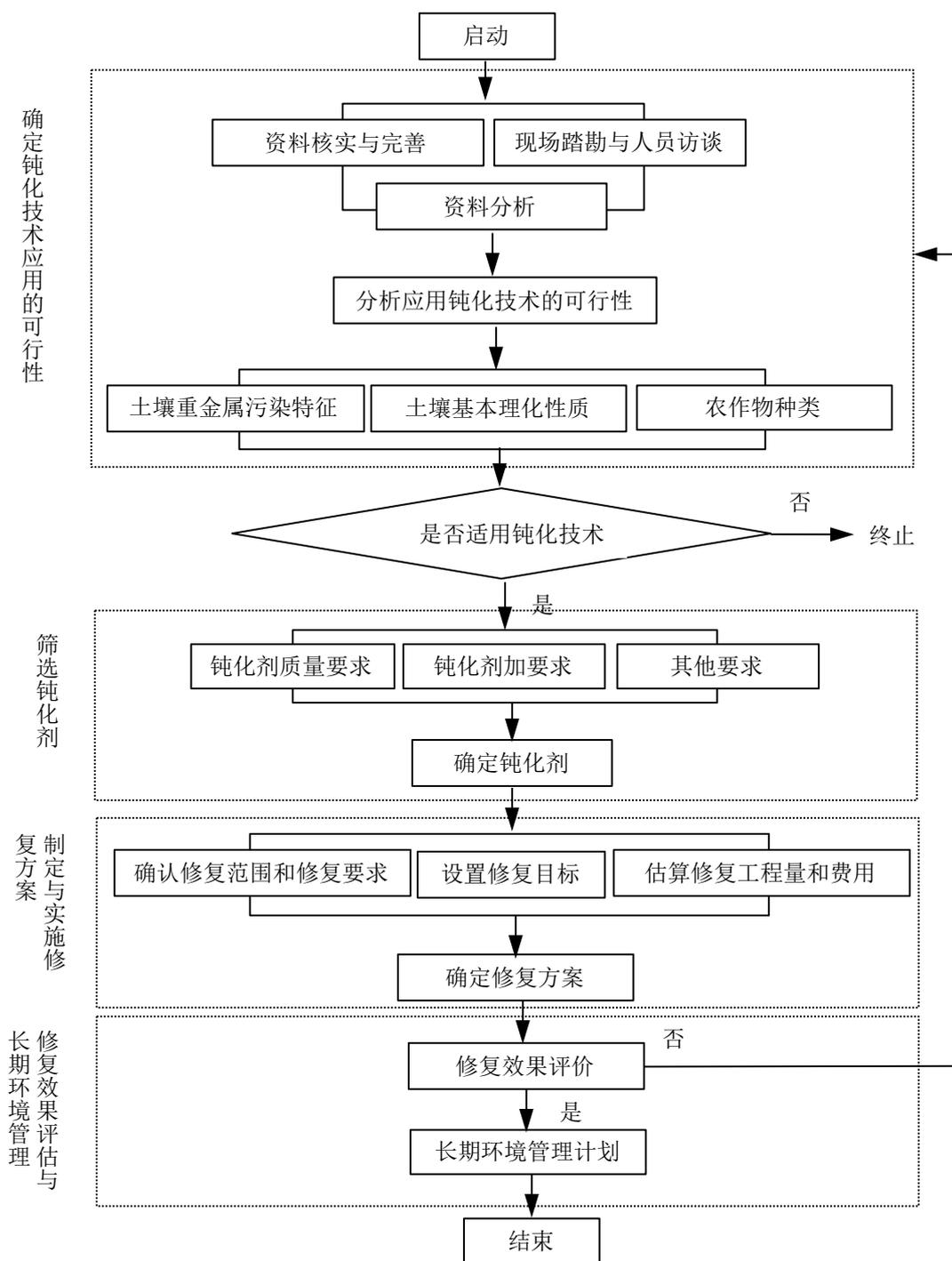
采用程序化、系统化的方式规范农产品产地重金属污染土壤钝化技术实施全过程，保证技术实施的科学性和实施效果的高效性。

4.1.3 可操作性原则

综合考虑农产品产地耕作制度、土壤和植被类型、重金属种类、钝化剂特性等因素，结合当前国内外钝化材料的研发与应用效果、修复时间、修复费用等，确保钝化技术实施过程切实可行。

4.2 工作流程

工作流程包括确定钝化技术应用的可行性、筛选钝化剂、制定与实施修复方案、修复效果评估与长期环境管理4个阶段。



4.2.1 技术应用可行性评估

通过资料核实、现场踏勘、人员访谈、土壤污染和农作物地上可食部位重金属含量评估等，掌握污染土壤性质、周边环境条件、污染土壤和农作物重金属种类、重金属污染类型、污染程度和污染范围，判别所采用钝化技术应用的可行性。当确认钝化技术不适用于该农产品产地重金属污染土壤修复时，钝化技术修复工作的程序结束。

4.2.2 钝化剂筛选

根据土壤性质、重金属污染类型、污染程度、种植农作物种类和耕作制度等，以前期研究成果、同类污染土壤的钝化修复工程实施情况或田间试验结果等为主要依据，借鉴国内外文献资料，确定钝化剂的种类、用量、施用方式等。

4.2.3 制定与实施修复方案

根据选定钝化剂的技术特点，修复范围和修复时间等要求，制定土壤修复技术路线、设置修复目标、估算工程量和工程费用等，提出初步修复方案。综合考虑钝化技术实施防止二次污染、预防潜在环境风险等，制定经济、实用、可行的钝化技术方案并实施方案。

4.2.4 修复效果评估与制定长期环境管理计划

对重金属污染产地实施土壤钝化修复工程后是否达到修复目标进行科学的评估。

根据钝化修复工程实施情况和修复效果评估结论，提出长期钝化修复安全应用评估与管控措施管理计划。

5 技术应用可行性评估

5.1 资料核实与完善

5.1.1 资料的收集与核实

核实相关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监测结果，确定土壤和农产品重金属污染物来源、重金属类型、污染程度、污染范围和空间分布特征，初步判断土壤和农产品重金属污染情况。

收集核实的资料包括：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、大比例尺地形图等图件等。

5.1.2 资料完善

资料中若缺失土壤基本理化性质，需要对重金属污染农产品产地土壤取样分析，明确土壤理化性质，参照NY/T 395执行。

资料中若缺失土壤重金属环境调查和风险评估资料，需要对农产品产地重金属污染土壤调查与评价，参照 NY/T 395执行。

资料中若缺失农作物可食部分重金属含量，需要对重金属污染产地农作物可食部分进行调查与评价。评估标准依据GB 2627，分析方法按照GB 5009.11、GB 5009.12、GB 5009.15、GB 5009.123、GB 5009.138执行。

5.2 现场踏勘和人员访谈

5.2.1 现场踏查

重点考察重金属污染产地现状，包括周边环境状况、种植农作物种类、耕作制度、土壤修复工程施工条件，特别是用电、用水、施工道路、临时仓库等情况。

5.2.2 人员访谈

重点访谈了解重金属污染产地污染历史和现状的知情人，包括地方政府官员、生态环境管理部门、农业农村管理部门、乡镇土地管理人员、污染产地历史和现阶段使用者，以及熟悉污染产地情况的村干部和农民。可采用当面交流、书面交流、电话、网络或书面调查表等方式，主要对已有资料可疑处和不完善处进行核实和补充。

5.3 技术应用可行性

5.3.1 农产品产地土壤重金属污染程度

根据本文件5.1和5.2，当农作物可食部分重金属含量超过GB 2762中含量限值且土壤重金属含量低于GB 15618中土壤污染风险管制值时，可采用钝化技术。

5.3.2 农产品产地土壤重金属污染类型

分析前期资料，确认污染产地是单一重金属污染还是重金属复合污染类型。若为单一重金属污染，可采用钝化技术。若为重金属复合污染，要进一步确认重金属复合污染类型。一般锌、铜、铅、镉、镍两种或两种以上重金属复合污染土壤，可采用钝化技术。锌、铜、铅、镉、镍中的一种及以上重金属与六价铬和砷中的一种及以上重金属复合污染土壤，应根据田间试验结果、他人在本区域前期研究结果和国内外文献资料，慎重采用钝化技术。

5.3.3 土壤重金属有效态含量

土壤重金属有效态含量占土壤重金属全量的比重越高，采用钝化技术修复效果越好。当需要修复的重金属有效态含量占土壤重金属全量的质量分数小于20%时，对钝化剂特性要求较高，应根据实验室、田间试验结果或他人在本区域前期研究结果，慎重采用钝化技术。

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表土层（包括耕作层和犁底层以上部分）厚度或当地下水位较浅时，原则上禁止采用钝化技术。

5.3.5 种植的农作物

在钝化技术实施期间，避免种植超富集农作物，以免影响修复效果。根据污染农产品产地所在区域水文、气候条件和土壤性质，结合污染产地目标重金属种类和含量，种植适合当地生长且具有对目标重金属低累积特性的农作物。

禁止种植外来入侵物种。在未经长期试验证明污染产地所在区域种植杂交水稻对重金属具有低累积特性前，禁止种植该类作物。

常见的低累积农作物品种见附录A。

5.3.6 土壤性质影响

所使用的钝化剂对土壤质地、团聚体结构、微量元素有效性、酶活性、微生物群落种群和生物多样性等无明显影响。

6 筛选钝化剂

6.1 钝化剂的初筛

根据前期对农产品产地土壤重金属污染状况调查评估结果,在掌握污染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、土壤阳离子交换量等)的基础上,针对性的选择一种或多种钝化材料。

常用的钝化剂种类和使用范围见附录B。

6.2 钝化剂的要求

6.2.1 钝化剂中污染物含量

单一或复合钝化剂中镉、砷、铅、铬、铜、镍、锌等元素和有机污染物含量,不能超过GB 15618规定的筛选值。根据钝化剂基质材料,满足相关标准重金属含量限值要求。其中,污泥基应满足GB 4284规定限值要求,有机肥基应满足NY/T 525规定限值要求,生物炭基应满足NY 3041规定限值要求。在未经长期科学试验证明工业固体废物对土壤生态环境效应及风险前,禁止使用工业固体废物。

6.2.2 钝化剂粒径

无机类钝化剂粒径小于0.425 mm、无机-有机复合钝化剂粒径小于0.425 mm、有机类钝化剂粒径小于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不低于95%。在未经长期试验证明纳米钝化剂对农产品产地所在区域生态环境无明显影响前,禁止使用粒径小于100 nm的钝化剂。

6.2.3 钝化剂用量

原则上钝化剂年用量累计不应超过土壤质量的5.0%,连续使用时间不应超过5年。

6.2.4 钝化剂运输和储存

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,以及雨雪对钝化剂质量产生影响。

在对污染产地进行修复前,应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。若需要在污染产地周边租赁或搭建仓库,用于钝化剂的存放时,必需有防雨、防风、防渗措施和必要的消防设施。

6.3 钝化剂施加要求

6.3.1 施加深度

结合农产品产地土壤污染调查结果,根据污染产地重金属污染土壤深度和空间分布特征,向表土层土壤施加钝化剂。按照土壤的发生层次确定表土层厚度。

6.3.2 施加方式

土壤剥离、运输、储存、回覆等施工过程应参照TD/T 1048执行。当适量钝化剂施加到土壤后,立即翻耕使其与土壤充分混合,翻耕深度不得超过施加钝化剂土层厚度。

6.3.3 其他要求

- 施加钝化剂前应弃掉土壤中的大石块、树枝等杂物。
- 钝化剂不能与肥料同时施加,一般应在钝化剂施入15天后施加肥料。
- 施加钝化剂7天内,土壤含水量应保持在田间饱和持水量的70%以上。

- 施加化剂与种植农作物之间应根据钝化剂类型和种植作物种类不同，保留一定间隔时间。
- 施加钝化剂时工作人员应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

除已通过主管部门验证的外，在钝化剂施加前宜通过田间试验的方式确定单一或复合钝化剂各成分比例，以及钝化剂的用量。参照NY/T 2911、NY/T 3241，在农产品产地选择环境条件、土壤性质、污染种类及污染程度相近的区域设置试验小区，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。通过试验确定钝化剂施用量、施用时间、施用方式、土壤环境条件等。

田间试验至少进行1个生长季，轮作、连作的试验要达到一个周期生产要求。参照NY/T 3343，在农作物成熟季节，采集土壤样品和农作物样品，测定样品中目标污染物含量。以修复目标值为标准，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，并对理论施加量乘以安全系数1.2，作为污染农产品产地修复钝化剂的实际施加量。钝化剂施加量应满足本文件6.2.3的要求。

7 制定与实施修复方案

根据钝化技术特点制定土壤修复技术路线，确定钝化技术的工艺流程、修复范围和修复要求，设置修复目标、估算工程量和工程费用等，提出初步修复方案。综合考虑钝化技术实施防止二次污染、预防潜在环境风险等，制定经济、实用、可行的钝化技术方案并实施方案。

7.1 确定修复范围与修复要求

7.1.1 修复范围

根据前期农产品产地重金属污染土壤调查和风险评估资料，确认土壤修复范围，包括修复的面积、各界址点、污染土层深度、修复范围内的种植模式、农田耕作制度等。

7.1.2 修复要求

与重金属污染产地利益相关方进行沟通协商，确认对土壤修复的要求，包括修复时间、预期经费投入等。

7.2 设置修复目标

7.2.1 基本目标

连续两年每季的农作物可食部分目标重金属含量应低于GB 2762规定限值，且当种植结构未发生改变时，修复的污染产地中农产品单位产量（折算后）与修复前同等条件相比减产幅度应小于或者等于10%。污染产地所在区域农产品单位产量及其测算方法由前期农产品产地土壤污染风险评估确定。

7.2.2 参考目标

在基本目标基础上，若污染产地所在区域已制定农用地土壤重金属有效态含量限值地方标准，参照该标准制定参考目标；或根据田间试验获得的土壤修复目标重金属有效态含量与农作物可食部分重金属含量的关系，建立模型测算农产品产地污染土壤重金属有效态含量应降低比例，并设置为修复目标值。

7.3 估算工程量和工程费用

7.3.1 工程量

根据技术路线，按照修复方案，结合工艺流程、钝化剂特性、土壤性质、种植模式等估算工程量。农产品产地重金属污染土壤钝化技术工程量应包括施工的工程量、农田种植模式改变的工程量、田间试验的工程量、修复过程中防范二次污染工程量，以及方案涉及的其他工程量。

7.3.2 工程费用

根据修复方案和修复工程量估算修复费用，包括直接费用和间接费用。直接费用包括钝化修复工程实施、机械设备（购买或租赁费用）、钝化材料（购买、改性、复配）、基础设施（作业道路、临时仓库）等费用，间接费用包括工程监测、工程监理、健康安全防护、二次污染和潜在生态风险防范措施等费用。

7.4 二次污染和潜在生态环境风险的防范

7.4.1 二次污染的防范

根据施工方案，分析污染产地修复工程实施对周边环境和人体健康的影响，包括钝化剂的运输、储存、配伍、施加等过程造成的二次污染，工程作业基础设施建设造成的二次污染，提出二次污染防范措施，分析二次污染防范措施的有效性和可操作性。

7.4.2 潜在生态环境风险的防范

对照污染产地所在区域前期研究的结果、田间实验长期监测结果、国内外相关研究文献资料，根据筛选的钝化剂特点、钝化机理、工艺参数，分析修复工程实施后，可能存在的潜在生态环境风险。若修复工程实施后无法确定或可能存在潜在生态环境风险，禁止修复工程实施，并重新筛选钝化剂和制定修复方案。

7.5 修复方案的编制

修复方案的编制，参照NY/T 3499执行。

8 修复效果评价

对重金属污染产地实施钝化修复工程的效果评价，参照NY/T 3343执行。

9 环境管理要求

9.1 修复工程实施环境监测要求

修复工程的环境监测包括工程实施前监测、实施过程监测和工程结束后监测。修复工程实施前的补充监测，重点核实污染物种类、污染程度、污染类型等；修复工程实施中的监测，重点监控修复工程对周边环境的影响，防止二次污染；修复工程结束后，重点监测是否达到修复目标值。

9.2 长期监测要求

原则上采用钝化技术修复的重金属污染产地,应对修复区域土壤和农作物可食部分重金属含量情况进行长期监测。第一年和第二年每季作物监测一次,第三年及以后每年抽测一次,可根据实际情况进行调整。当农作物可食部分重金属浓度超过GB 2762规定限值时,应查明原因,及时采取措施阻隔污染。

对修复的农产品产地土壤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,第三年及以后每年抽测一次,可根据实际情况进行调整。当土壤中重金属有效态含量超过设置的修复目标值时,需及时采取风险控制措施。

对修复的农产品产地上游、中心、两侧和下游地下水中重金属含量进行长期监测。第一年和第二年每季监测一次,第三年及以后每年抽测一次,可根据实际情况进行调整。当地下水中修复的目标重金属超过GB14848规定限制,需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布点数量与位置、采样时间和方法参照NY/T 395、NY/T 3343执行,农作物可食部分采样布点数量与位置、采样时间和方法参照NY/T 398、NY/T 3343执行,地下水采样布点数量与位置、采样时间和方法参照HJ/T 166执行。

10.2 分析方法

农产品产地土壤重金属全量分析方法按照GB 15618执行,土壤理化性质分析方法参照NY/T 395执行,土壤中有效态锌铜的测定参照NY/T 890执行,土壤中有效态铅和镉测定按照GB/T 23739执行,土壤中有效态镍的测定按照GB/T 23739执行,土壤中有效态砷和铬测定目前还没有制定行业标准和国家标准,参考国际相关标准和本区域相关研究成果。农作物可食部分重金属分析方法按照GB/T 5009.11、GB 5009.12、GB 5009.15、GB 5009.123、GB/ 5009.138执行。地下水重金属分析方法参照HJ 166执行。

11 标准实施与监督

本文件由各级生态环境主管部门会同农业农村等相关主管部门监督实施。

附 录 A
(资料性附录)

表 A.1 常见的重金属低累积农作物一览表

农作物种类	低累积农作物品种
水稻	金优 402、汕优 63、两优 527、武育粳 7 号、名恢 86、名恢 73、名恢 78、R9308 选、辅恢 838、蜀恢 527
小麦	尧麦 16、洛优 9909、良星 66、济麦 22、鲁元 502、云麦 34、托克逊 1 号、他诺瑞白条鱼、半截芒、大粒半芒、花培 8 号
玉米	西玉 3 号、中农大 451 号、高优 1 号、川单 428、东单 60、雅玉 10、洛玉 803、先玉 335、红单 6 号
大豆	沈农 10 号、铁丰 31 号、铁豆 36 号、铁丰 37 号、铁豆 37 号、辽豆 21 号
油菜	华油杂 62、中双 10 号、中油 821
花生	鲁花 8 号、鲁花 9 号、奇山 208
大白菜	丰源新 3 号、金丰 100 (D3)、乐园翠峰 (D4)
小白菜	越秀四号、越秀三号、热优二号、华冠青梗、绿星青菜、美都 510 青梗菜、优选黑油白菜
萝卜	特级三红七寸胡萝卜、东京极品
茄子	秀美长、渝早茄一号
西红柿	黄金一点红、新 402、元明黄娇子、红柿王 F1、红大宝、红宝石六号、中杂 105
菜心	酒店 50 天油青甜菜心、尖叶早绿菜心、珍芯油青尖叶甜菜心、绿油粗苔菜心

附 录 B
(资料性附录)

表 B.1 常用农产品产地土壤重金属钝化材料一览表

钝化材料	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		
	粉煤灰	煤燃烧后烟气中收集的粉末，主要成分为：SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、FeO、Fe ₂ O ₃ 、CaO、TiO ₂ 等。 不包括：和煤一起煅烧的城市垃圾或其他废弃物时；在焚烧炉中煅烧工业或城市垃圾时；流化床锅炉燃烧收集的粉末。		
含钙材料	石灰	CaO	Cu、Cd、Pb、Cd/Cu、Cd/Pb、Hg/Cr、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		
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	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O + CaSO ₄		

	(普钙)			
	磷酸盐	$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 Na_3PO_4		
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 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	是动植物经过长期的物理、化学、生物作用而形成的复杂有机物。按其在酸、碱中的溶解性差异可分为：腐殖酸、富里酸、腐黑物。基本结构是芳环和脂环，环上连有羧基、羟基、羰基、醌基、甲氧基等官能团。		
	污泥	生活污水处理过程所产生的固体沉淀物质。		
	富里酸	从腐殖质中提取的一种分子量较低，可溶于酸、碱、乙醇和水的复合物。		
	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。		
黏土矿物	海泡石	$\text{Mg}_8(\text{H}_2\text{O})_4[\text{Si}_6\text{O}_{16}]_2(\text{OH})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	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	$\text{R}_x\text{R}'_y[\text{Al}_x+2y\text{Si}_n-(x+2y)\text{O}_{2n}] \cdot m\text{H}_2\text{O}$ 的一族含水架状结构铝硅酸盐矿物。式中 R 代表碱金属离子，基本上为 K^+ 或 Na^+ ，个别为 Li^+ ；R' 代表碱土金属离子，主要为 Ca^{2+} 、 Ba^{2+} ，其次为 Sr^{2+} 、 Mg^{2+} 。		
	膨润土	$(\text{Al}_2,\text{Mg}_3)[\text{Si}_4\text{O}_{10}][\text{OH}]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，层间阳离子为 Na^+ 时为钠基膨润土；层间阳离子为 Ca^{2+} 时为钙基膨润土；层间阳离子为 H^+ 时为氢基膨润土(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	$(\text{Na},\text{Ca})_{0.33}(\text{Al},\text{Mg})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		
	坡缕石	$(\text{Mg},\text{Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		
	硅藻土	$\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$		
	凹凸棒石	$(\text{Mg},\text{Al},\text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{OH}_2)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$		
金属氧	赤泥	赤泥是从铝土矿中提炼氧化铝后排出的工业固体废弃物。拜耳法赤泥主要成分： $(\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot \gamma\text{H}_2\text{O})$ 和	Ni、Cr、Cd、Pb、 As、Zn/Cd/Pb、 Cd/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

化 物		(3CaO·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂ · γ H ₂ O); 煅烧法赤泥主要成分 : (Na ₂ OAl ₂ O ₃ 2SiO ₂ γ H ₂ O) 、 (CaO·Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂ · γ H ₂ O)、 (Na ₈ Al ₆ Si ₆ O ₂₄ (OH) ₂) 和 (3CaO·Al ₂ O ₃ ·3SiO ₂ · γ H ₂ O)	As/Cd/Pb、 Zn/Cd/Ni/Pb	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。
	炉渣	钢铁、铁合金及有色重金属冶炼和精炼等过程的重要产物之一。主要成分是 CaO、FeO、MgO、MnO(碱性氧化物)等, SiO ₂ 、P ₂ O ₅ 、Fe ₂ O ₃ (酸性氧化物)等及 Al ₂ O ₃ (两性氧化物)。此外, 经常含有硫化物, 如钢铁冶炼炉渣中含有少量 CaS, 有色重金属冶炼炉渣中有时含有较多 FeS、Cu ₂ S 或 Ni ₃ S ₂ 等; 炉渣中还夹带少量金属; 个别强还原性炉渣含有 CaC ₂ 。		
	针铁矿	α -FeO(OH)		
	褐铁矿	FeO(OH)·nH ₂ O		
	水铁矿	5Fe ₂ O ₃ ·9H ₂ O		
	水钠锰矿	是一类具有二维层状结构的锰的氧化物		
	铁氧化物	FeO、Fe ₂ O ₃		
	硫酸铁盐	FeSO ₄ 、Fe ₂ (SO ₄) ₃		
	含氯铁盐	FeCl ₃ 、FeCl ₂		
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。
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、 Hg、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) Cd、Fe 等表示单一污染; Cd/Cr/Cu 等表示复合污染。

(2) 附录 B 中所列举的钝化剂, 仅是在我国大多数研究和实际应用中涉及的钝化剂, 具体选择应用时必须满足本文件“6.筛选钝化剂”中所有要求。