



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105414167 B

(45)授权公告日 2017.05.24

(21)申请号 201610017793.7

审查员 田雨

(22)申请日 2016.01.12

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105414167 A

(43)申请公布日 2016.03.23

(73)专利权人 江苏省地质调查研究院

地址 210018 江苏省南京市珠江路700号测试楼303室

(72)发明人 廖启林 朱伯万 任静华 金洋  
华明 常青

(74)专利代理机构 南京知识律师事务所 32207

代理人 蒋海军

(51)Int.Cl.

B09C 1/08(2006.01)

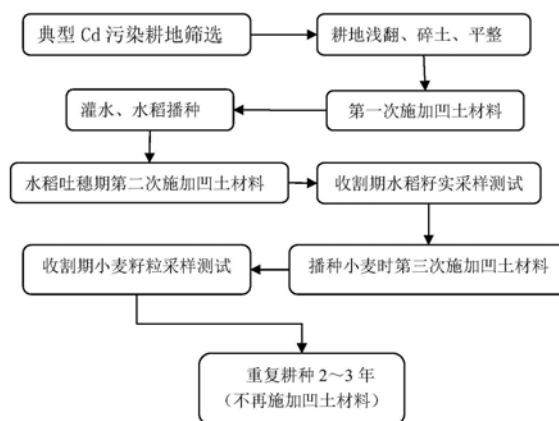
权利要求书1页 说明书6页 附图5页

### (54)发明名称

一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法

### (57)摘要

本发明公开了一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,属于耕地镉污染治理技术领域。其步骤为:(1)筛选出镉污染耕地;(2)测定所选镉污染耕地的土壤污染深度、酸碱度、阳离子交换量等,计算待修复耕地的土方量及准备施加凹土材料的用量;(3)对所选用于修复试验的镉污染耕地进行耕种,分别依照时序播种水稻、小麦,在水稻播种前、水稻出穗前、小麦播种前施加凹土材料,每次都均匀播撒,并留出空白耕地进行试验效果对比;其凹土材料,其pH值大于7.5、粒径80目以下,自身Cd含量小于0.15mg/kg及凹土CEC大于250mmol/kg。本发明具有成本低廉、操作简单、见效快、实用性强等优点;特别是能够解决在实际农田中的Cd污染土壤的修复问题。



1. 一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,其步骤为:

(1) 筛选出一块镉污染耕地:筛选出一块镉污染耕地、用于大田修复,所选耕地的土壤Cd含量全部大于1.0mg/kg、稻米Cd含量全部大于0.2 mg/kg、小麦Cd含量全部大于0.5 mg/kg,并选择近期持续耕种且一年稻麦两熟的污染耕地;

(2) 测定所选镉污染耕地的土壤污染深度、酸碱度、阳离子交换量,计算待修复耕地的土方量及准备施加凹土材料的用量;

(3) 按照正常耕种程序与方式,对所选用于修复试验的镉污染耕地进行耕种,分别依照时序播种水稻、小麦,在水稻播种前、水稻出穗前、小麦播种前施加凹土材料,每次都均匀播撒,并留出空白耕地进行试验效果对比;所述步骤(3)中凹土材料,其pH值大于7.5、粒径80目以下,自身Cd含量小于0.15mg/kg及凹土CEC大于250mmol/kg;所述步骤(3)中,施加凹土材料量为1.0kg/m<sup>2</sup>—2.5 kg/m<sup>2</sup>。

2. 根据权利要求1所述的施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,其特征在于,所述步骤(3)中,施加凹土材料,一年施加2次。

3. 根据权利要求1所述的施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,其特征在于,所述步骤(3)中,小麦播种前施加凹土材料量为1.0 kg/m<sup>2</sup>。

4. 根据权利要求1所述的施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,其特征在于,所述步骤(3)中,在水稻播种前、水稻出穗前,分别施加凹土材料量为1.25 kg/m<sup>2</sup>。

5. 根据权利要求1所述的施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,其特征在于,还包括步骤(4)待水稻或小麦成熟,收割前1周,系统采集水稻籽实及其根际土、小麦籽实及其根际土进行分析测试,测试稻米、小麦、土壤样品Cd等重金属含量,依据试验结果评判修复成效。

6. 根据权利要求1所述的施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,其特征在于,所述步骤(3)中凹土材料,其pH大于9.0、Cd含量小于0.1 mg/kg和CEC大于260 mmol/kg。

## 一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及耕地镉污染治理技术,特别涉及到一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,通过施加凹土材料材料调控水稻、小麦籽粒吸收耕地土壤镉的实用钝化技术,尤其对于大田修复镉污染,包括具体试验工艺与大田试验结果,对于当前我国防治耕地镉等重金属污染有重大帮助。

### 背景技术

[0002] 我国耕地土壤重金属污染形势严峻,以Cd污染危害最为明显,目前急缺实用的Cd等重金属污染耕地防治技术。2014年4月,环境保护部和国土资源部联合发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示,目前全国耕地土壤中重金属污染超标率(点位)占19.4%,其中又以Cd的超标率最高,为7.0%,意味着我国现有耕地资源中存在大量的Cd污染土壤急需修复与治理。治理土壤污染,必须依赖成熟的技术,而研发相对低成本的Cd污染耕地修复技术尤其有必要。由于重金属污染具有隐蔽性、滞后性、累积性和不可逆转性等特点,因此,研发治理土壤重金属污染的实用技术周期较长、且难以短期寻找到治理土壤重金属的林丹妙药,对耕地污染修复技术的研发又因为涉及到农时、气候、二次污染、成本、可操作性等因素限制,其难度相对更高、需求也愈切。任何一项修复技术的研发,都需要一定的应用前景,成熟的Cd污染耕地修复技术与方法是目前国内耕地污染治理最有需求或最具有应用前景的技术之一。

[0003] 针对农田土壤重金属污染修复的技术方法研究,其基本思路或基础原理包括降低土壤中重金属的总量或者改变重金属在土壤中的存在形态,降低在土壤中的移动性和生物有效性,进而降低农产品中重金属的含量等两个方面。前者以物理工程措施和植物修复为代表,后者以原位钝化修复技术与微生物修复为代表。工程措施虽然效果彻底、稳定,但是工程量大、成本高、表层易耕作土壤剥离引起肥力下降,从而造成耕地部分功能的极大丧失。植物修复成本低廉、可以净化美化环境,是一种环保的修复方法,但是植物对重金属的耐性有效,只适用于中等污染程度土壤,一种植物一般只能修复某一种重金属污染的土壤。超积累植物虽然对重金属耐性强,但是通常比较矮小,生长缓慢,生物量小,其修复周期长、效率低和植物后续处置困难等,目前污染农田的植物修复还处于田间试验与示范阶段,尚未做到大规模推广。微生物对生长环境要求严格,实验室筛选成功的菌种往往在野外大田中无法生存,修复效率降低。原位钝化修复技术成本较低、操作简单、修复快速,对大面积中低度污染土壤具有较好的优越性,能更好地满足当前污染农田土壤修复以及保障农产品安全产出的迫切要求。

[0004] 重金属污染土壤修复中,利用黏土矿物钝化土壤中重金属活性,降低重金属生物有效性,从而减少农作物吸收,是一种比较有效的修复技术,前人也做过大量研究。凹凸棒粘土作为黏土矿物中的一种,是一种富含水的链层状镁铝硅酸盐矿物,其结构式为 $(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{HO})_2(\text{OH}_2)_{44}\text{H}_2\text{O}$ 。其晶体呈棒状、纤维状,层内贯穿孔道,外表面凹凸相间,内外比表面积较大,同时表面带有多余的正负电荷和特殊的表面电荷分布,因此表现出良好的吸

附性、离子交换性、流变性、催化性和可塑性等。可利用凹凸棒石的吸附能力,与土壤中的Cd发生离子交换作用,将其固定在土壤中,防止其在土壤中迁移进入植物体内。同时施加凹凸棒石后可改善土壤结构,提高土壤养分,从而促进农作物生长,发展可持续性的生态农业。

[0005] 凹凸棒石材料或凹土的加入,使得PAA-atta复合保水剂比单纯PAA保水剂能更有效地促进0.25-0.50mm团粒结构的形成,保持土壤通透性,吸水保水性能,土壤pH值稳定时间更长。凹凸棒石改良剂能有效地减少重金属离子对烤烟的毒害,促进烤烟的生长。范迪富等在芦蒿地中添加低量凹凸棒石后根际土的pH值提高一个单位,芦蒿中Cd含量降低46%。凹凸棒石在减弱农作物吸收Cd方面具有突出效果,前人也有相关报道。除此之外,凹凸棒石已经应用于石油、化工、建材、造纸、医药、农业、印刷和生活用品等领域。我省盱眙县拥有丰富的凹凸棒石矿产资源,据保守测算,盱眙的凹凸棒石粘土资源储量在1亿吨以上,具有储量大,种类丰富、价格低廉、环境友好(不含Cd、Hg等重金属)等优势,利用凹凸棒石原位修复Cd污染土壤,尤其是工业、农业生产活动所造成的面源污染具有天然的资源优势。

[0006] 通过我国最近10多年防治土壤重金属污染的研究与实践经历来看,有两个趋向十分明显。一是防治土壤重金属污染的市场潜力很大,但成熟技术不多,对农用地重金属防治而言急缺有影响的工程示范;二是防治土壤重金属污染的实用材料很缺,国外生产修复材料的商家不少、尽管利用了国内的廉价非金属等矿产资源,但销售价格偏离国内市场需求实情,也不足以作为国内今后一个时期农用地重金属污染防治的优质材料支撑。盱眙出产的凹土(或凹凸棒石)作为一种地域优势明显的粘土矿物资源,可为获取适宜的修复材料提供物质基础。

[0007] 为了克服植物修复周期长、效率低等技术不足,基于减弱重金属生物有效性的钝化修复技术专利凸显其优势。中国发明专利申请号:200510002116.X,发明专利名称“重金属污染土壤原位修复剂”,由钠基膨润土、海泡石、凹凸棒石、粉煤灰及微生物菌根按照一定比例混合而成的修复剂,成本低廉,可使植株中Cd降低50%左右。中国发明专利申请号:201110370756.1,发明专利名称“蔬菜地土壤重金属Cd钝化剂及其应用”中,由石英、碱性长石、磷灰石、凹凸棒石等组成的天然矿物粉与玉米、小麦、水稻秸秆组成的钝化剂,按照0.02%wt比例施加于Cd污染菜园土壤中,可以显著降低土壤中交换态Cd含量。上述两个专利所用原材料比较多,配比复杂,同时发现凹凸棒石普遍用于钝化材料的制备中,因此,单独使用凹凸棒石修复Cd污染土壤成为研究的热点。中国发明专利申请号:200910232564.7,专利名称“重金属污染土壤的凹凸棒原位修复技术”,采用盆栽试验,温室条件下,将凹凸棒土直接添加到重金属污染土壤中,充分混匀,比例 $\leq 8\%$ wt,种植黑麦草,植株中Cd降低效率为20.9%-38.5%。上述专利试验是在室温条件下完成,采用的受试作物非农作物,因此不能很好地反映凹土材料在实际农田中的修复效果。总体而言,目前有关Cd污染土壤的修复技术专利及前人研究多局限在室内模拟试验层次,用于实地调控试验与观测的成熟技术案例甚少。

## 发明内容

[0008] 1.发明要解决的技术问题

[0009] 本发明针对耕地Cd污染防治问题,具体就是针对农田土壤Cd含量达到污染程度(土壤Cd达到中等以上污染)、稻米Cd含量超过国家限定标准,但又不能放弃稻米生产而研

发的保障水稻生产安全(确保米中Cd绝大部分符合国家食品标准)的技术问题,本发明提供一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,属于土壤重金属污染原位钝化修复技术之一,具有成本低廉、操作简单、见效快、实用性强等优点;特别是能够解决在实际农田中的Cd污染土壤的修复问题。

[0010] 2.技术方案

[0011] 本发明的基本原理:

[0012] 农作物吸收土壤Cd受耕地土壤Cd含量、酸碱度(pH)等物理化学条件控制,尤其受土壤的Cd等生物有效态含量控制。在不改变土壤Cd总量的前提下,通过施加粘土矿物等钝化剂或固定材料,调节耕地土壤的根际化学反应条件(改变其酸碱度、氧化还原状态等),降低土壤重金属活性,增强土壤吸附或固定重金属的能力,从而降低粮食籽粒(水稻或小麦)Cd含量、保障粮食品质安全。凹凸棒石粘土矿物(简称凹土,余同)具有弱碱性、强吸附性、高粘性等特点,向耕地土壤施加适量的凹土,能够调控耕地Cd污染、控制稻米与小麦吸收土壤中Cd,达到修复耕地Cd污染的目的。

[0013] 技术方案:

[0014] 一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,其步骤为:

[0015] (1)筛选出一块镉污染耕地:从多年生态地球化学调查成果资料中筛选出一块镉污染耕地、用于大田修复试验,所选耕地的土壤Cd含量全部大于1.0mg/kg、稻米Cd含量全部大于0.2mg/kg、小麦Cd含量全部大于0.5mg/kg,并选择近期持续耕种且一年稻麦两熟的污染耕地;

[0016] (2)测定所选镉污染耕地的土壤污染深度,测定土壤容重、酸碱度(pH)、阳离子交换量(CEC)等,计算待修复耕地的土方量及准备施加凹土材料的用量;

[0017] (3)按照正常耕种程序与方式,对所选用于修复试验的耕地进行耕种,分别依照时序播种水稻、小麦等,在水稻播种前、水稻出穗前、小麦播种前施加凹土材料,每次都是均匀播撒,并留出空白耕地进行试验效果对比;

[0018] (4)待水稻、小麦成熟(收割前1周左右),系统采集水稻籽实及其根际土、小麦籽实及其根际土进行分析测试,测试稻米、小麦、土壤等样品Cd等重金属含量,依据试验结果评判修复成效。

[0019] 步骤(3)中凹土材料要求凹土材料易于同土壤混匀、其pH值必须大于7.5、自身Cd含量小于0.15mg/kg、凹土CEC(阳离子交换量)大于250mmol/kg、所用凹土在当地吸附材料销售价格中处于下游水平,按照上述要求对不同的凹土材料(以吸附用为主)进行取样分析化验,确定最终用于试验的凹土修复材料,并设定凹土材料最大施用量不超过4kg/m<sup>2</sup>(按照污染土壤面积计)。

[0020] 优选的,所述步骤(3)中,施加凹土材料量为1.0kg/m<sup>2</sup>—3.25kg/m<sup>2</sup>。

[0021] 优选的,所述步骤(3)中,施加凹土材料量为1.0kg/m<sup>2</sup>—2.5kg/m<sup>2</sup>。

[0022] 优选的,所述步骤(3)中,施加凹土材料,一年施加2次。

[0023] 优选的,所述步骤(3)中,小麦播种前施加凹土材料量为1.0kg/m<sup>2</sup>。

[0024] 优选的,所述步骤(3)中,在水稻播种前、水稻出穗前,分别施加凹土材料量为1.25kg/m<sup>2</sup>。

[0025] 3.有益效果:

[0026] (1) 通过不同凹土材料的测试分析及其大田修复试验,通过有实效的凹土材料,该凹土材料主要由天然凹土组成,以凹土粉末形式(粒径80目以下)施加到污染耕地中效果最佳,该凹土粉的Cd含量小于0.1mg/kg、pH值大于8.3、CEC大于260mmol/kg,施加此类凹土粉既能缓解粮食Cd污染、又能改良污染耕地的环境质量。

[0027] (2) 通过向污染耕地施加上述凹土材料,不同地块施加不同剂量的凹土粉,证实施加凹土材料后稻米、小麦Cd含量有明显下降,最适宜的凹土粉施加量为1.0kg/m<sup>2</sup>—2.5kg/m<sup>2</sup>,一年施加2次修复效果最好。

[0028] (3) 通过多年的实地修复效果对比,证实施加1.5kg/m<sup>2</sup>的上述凹土材料,可以使污染耕地的稻米Cd含量全部小于0.2mg/kg,修复成功率达到100%。通过向污染耕地中施加1.0kg/m<sup>2</sup>的上述凹土材料,可以使小麦籽粒的Cd含量从1.8mg/kg下降到0.3mg/kg,平均降幅达到83%;远远超出单纯加入凹土粉所达到镉污染修复的效果。

[0029] (4) 通过连续2年向污染耕地中施加约1.0kg/m<sup>2</sup>的上述凹土材料,可使耕地土壤的pH从6.3以下提升到7.0以上,还能明显提升耕地土壤的CEC及其细颗粒矿物的含量,抑制土壤溶液中Cd离子活性,从而抑制稻米、小麦从土壤中吸收Cd。

[0030] (5) 通过对施加了上述凹土粉的试验田块进行跟踪检测,证实在施加凹土2年后仍有一定修复效果,其耕地土壤Cd总量没改变,但稻米的Cd含量仍比空白田块明显偏低,空白中稻米Cd大于1.0mg/kg,而前一年施加凹土粉田块的稻米Cd含量低于0.5mg/kg,说明凹土用于镉污染耕地修复的效力至少可持续2年。

[0031] (6) 施加一定量的有较强吸附能力的碱性凹土粉,以防治耕地土壤酸化及相关耕地环境质量退化,在治理粮食Cd污染的同时,也改善耕地环境质量状况

#### 附图说明:

[0032] 图1为一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法流程图;

[0033] 图2为不同产地凹土材料镉(Cd)含量及其pH检测结果对比图,(图中A1—A7代表7个不同的凹土产品);

[0034] 图3为试验区耕地不同深度土壤镉(Cd)等含量对比图;

[0035] 图4为污染耕地修复试验小麦镉(Cd)含量及其BCF对比图;

[0036] 图5为污染耕地修复试验稻米镉(Cd)含量对比图(图中10个样来自同一块耕地、每个样控制长度6.5米,1、2为空白,3—10施加同剂量凹土);

[0037] 图6为施加不同剂量凹土修复试验的稻米镉(Cd)含量及其BCF值对比图(图中4种施加量分别试验于4个不同田块,土壤Cd稍有差异但同属重度污染);

[0038] 图7为施加凹土修复后第二年检测的稻米镉(Cd)含量及其BCF值图(P3—P10为同一块耕地施加同剂量的8个样品、与空白同属一块耕地,全部施加凹土后第2年取样)。

#### 具体实施方式

[0039] 下面结合有关试验过程、主要图表和实施例证对本发明做进一步说明:

[0040] 实施例1:

[0041] 江苏宜兴市丁蜀镇双桥村尹家小麦Cd污染地修复试验

[0042] 在江苏宜兴市丁蜀镇双桥村尹家租用一块长64米、均宽约5米的耕地进行施加凹

土的修复试验,试验中不改变耕地用途及正常粮食生产。

[0043] 一种施加凹土材料修复耕地镉污染的方法,步骤为:通过前期评价,测定上述田块土壤Cd含量介于1.8—5.5mg/kg、pH介于5.5—6.3,修复前所产小麦籽粒Cd含量全部大于0.6mg/kg,达到重度污染水平;土壤沉积剖面调查确定其耕地土壤受污染厚度局限在表层20厘米以上深度(如图3所示),基本与目前耕作层土壤厚度吻合。在大田试验前,已经完成了凹土修复试验材料的优选,在对多种盱眙产的凹土吸附材料进行必选后,确定使用凹土粉pH大于9.0、Cd含量小于0.1mg/kg、CEC大于260mmol/kg,粒径80目以下的材料(如图2中的A6号产品)进行试验。

[0044] 如图1所示,将选定的凹土材料制好(将天然凹土加工磨细到80目以下、装袋、运送到试验场地),同时将上述污染田块进行翻耕,翻耕后分成两段,靠近灌溉水进水口那段14米留作空白(对照用)、另一段50米用作施加凹土修复试验用,两段中间用田埂隔开,四周留排水沟。在翻耕后的试验田块撒上备制用的凹土粉,按照 $1.0\text{kg}/\text{m}^2$ 的剂量均匀播撒,实际需要播撒的耕地面积约 $250\text{m}^2$ 、共播撒了250kg凹土粉。对田块碎土后,播种小麦,按照正常小麦生产程序与要求对麦田进行管护。待小麦成熟时,对小麦籽粒与对应的耕层土(约20厘米以上深度土壤)进行系统取样与分析测试。在上述64米长的试验田块上取样10套(每套样品包含1个粮食籽粒样和1个土壤样,余同),14米空白区(未施加凹土)取样2套(平均1个样品控制耕地长度7米)、剩余50米施加了凹土的耕地取样8套(1个样品控制耕地长度6—7米),在周围取样5套(全部未施加凹土)。上述小麦样品的测试分析结果统计如图4所示,在土壤Cd含量不改变的前提下,施加凹土后的污染耕地中所产小麦的Cd含量降低了约71.0%,BCF值( $\text{BCF}=\text{小麦Cd含量}/\text{土壤Cd含量}$ ,余同)下降了约54.0%。施加凹土后,不仅大大降低了污染耕地所产小麦的Cd含量(相对于未施加凹土的同类污染耕地而言、小麦Cd含量普遍从0.8mg/kg以上降低到0.4mg/kg以下),还抑制了小麦对Zn的吸收,刺激了小麦对Se的吸收。施加了凹土的污染耕地所产小麦的Zn含量下降了45%,Se含量增长了50%。

[0045] 实施例2:

[0046] 江苏宜兴市丁蜀镇双桥村尹家水稻Cd污染地修复试验

[0047] 在上述同一块Cd污染耕地中,待收获小麦后,向土壤中继续施加凹土,开展了播种水稻的大田修复试验。试验所用的凹土修复材料同上述实施例1,按照水稻播种程序也进行了耕地田间整理、耕种、施肥、灌水等流程,施加凹土修复材料采用设定空白对照组与处理组的办法进行,处理组设定8个平行。空白组不施加凹土,处理组按照 $1.5\text{kg}/\text{m}^2$ 的剂量施加凹土,分2次施加,分别在播种时每平方米施加750克、出穗时每平方米再施加750克,合计约 $250\text{m}^2$ 耕地上共施加了375千克上述凹土粉。平时,按照水稻生产要求对试验田进行日常管护,确保水稻正常收成,待稻谷生长成熟,系统采集稻谷及其对应的耕层土样品进行系统分析测试。本次修复试验,共分析测试稻谷-土壤样品10套,相关稻谷样品(稻米,余同)的测试分析结果统计对比如图5所示。

[0048] 从图5可以看出,处理组稻米的Cd含量为0.12—0.2mg/kg,全部达到我国稻米Cd含量限定标准;而同一污染耕地中未施加凹土的空白组稻米Cd含量为0.52—0.84mg/kg,全部超标,最大超标倍数达到3.2。施加凹土后,污染田块的稻米Cd达标率为100%(也指示本次试验的修复成功率为100%),而同一块污染耕地中未施加凹土时所产的稻米Cd超标率也为100%。

[0049] 本次试验结果还表明,在污染耕地中施加凹土后也提高了耕地土壤的pH值、粘土矿物含量(细颗粒级土壤)及阳离子交换量(CEC),其耕地土壤的pH从6.0上升到7.2,土壤CEC从140增长到150mmol/kg,土壤中细颗粒级(粒径<0.01毫米)组分占比增长8%,土壤整体吸附能力显著增强,耕地环境质量得到明显改善。

[0050] 实施例3:

[0051] 针对水稻Cd污染地的不同凹土施加量的多田块对比修复试验

[0052] 2014年,在江苏宜兴市丁蜀镇双桥村尹家同时租用5块Cd污染耕地进行施加不同剂量凹土的修复试验,修复方法同实施例2,针对施加不同剂量凹土的水稻修复效果进行对比。

[0053] 所租用耕地土壤的Cd含量全部在1.5mg/kg以上,其土壤pH值全部小于6.3,与上述实施例1、2所租用的试验地属于同一污染来源,且与上述试验地相隔不超过100米。5块污染耕地施加的凹土剂量分别是:1.25kg/m<sup>2</sup>,试验田块面积1000m<sup>2</sup>、累计施加凹土1250kg、水稻播种前1次性施加;1.75kg/m<sup>2</sup>,试验田块面积800m<sup>2</sup>、累计施加凹土1400kg,水稻播种前施加900kg、抽穗时施加500kg;2.50kg/m<sup>2</sup>,试验田块面积600m<sup>2</sup>、累计施加凹土1500kg,水稻播种前施加750kg、抽穗时施加750kg;3.25kg/m<sup>2</sup>,试验田块面积240m<sup>2</sup>、累计施加凹土780kg,水稻播种前施加390kg、抽穗时施加390kg;另有一块200m<sup>2</sup>的同类耕地不施加凹土(施加剂量为0)。每次均用人工将凹土粉均匀播撒到试验田块上。按照正常水稻耕种程序对上述5块试验田进行管护,在水稻成熟时分田块系统采集稻籽-根际土样品进行分析测试,每个田块至少采集3套以上样品,共分析测试了20套稻籽-根际土样品。

[0054] 上述5块试验地相关稻谷样品的Cd含量及其BCF值统计结果如图6所示。从该图可看出,施加凹土后大幅度降低了稻米的Cd含量、也降低稻米从土壤吸收Cd的BCF值,对于1.25、1.75、2.5、3.25kg/m<sup>2</sup>这4个不同的施加剂量而言,以2.5kg/m<sup>2</sup>的修复效果相对最好,其BCF值由0.329降低为0.038,下降了约88.4%,其稻米Cd含量全部小于0.2mg/kg,修复成功率达到100%。其次,1.25kg/m<sup>2</sup>的修复效果也很明显,修复成功率接近100%。

[0055] 实施例4:

[0056] 施加凹土修复水稻Cd污染地的持续观测试验

[0057] 在上述实施例2的基础上,修复方法同实施例2,对所施加凹土的试验田块进行持续采样分析。在2013年施加2次凹土粉基础上(施加剂量仍为1.5kg/m<sup>2</sup>),2014年停止施加凹土,但按照正常水稻耕种程序继续栽种水稻,水稻成熟时系统采集水稻籽粒及其根际土样品进行分析测试,共测试10套样品。这10个稻米样的Cd分布情况及其BCF值如图7所示。由该图可以看出,施加凹土一年后(即水稻生长第二年),第二年的稻米仍然有修复效果,与空白组(凹土施加量=0)相比,一次施加可显著降低第二年稻米的Cd含量,其BCF值由0.372下降至0.125,Cd含量由0.73降低为0.31mg/kg,但是仍然超过稻米Cd限值的样点,与第一年的稻米Cd含量全部达标相比,第二年的修复效果要差一些。相比周围未施加的凹土的其它污染田块而言,上述施加了凹土的试验田块上第二年所产出的稻米Cd含量及其BCF值也明显偏低,小麦也有类似趋势。说明施加适量的凹土,可以确保Cd污染耕地上所生产的粮食在2年内有一定修复效果。



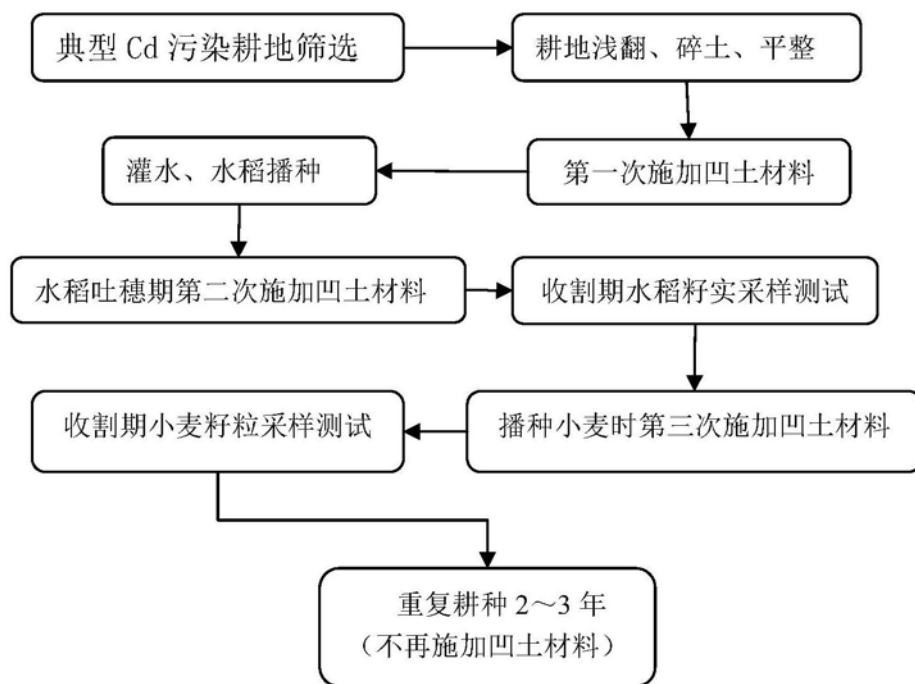


图1

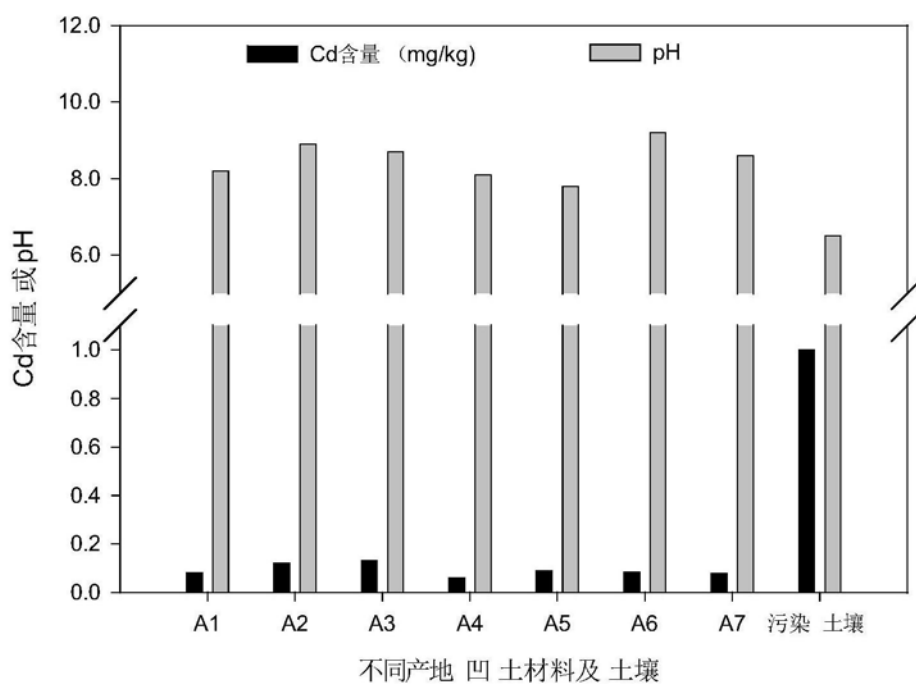


图2

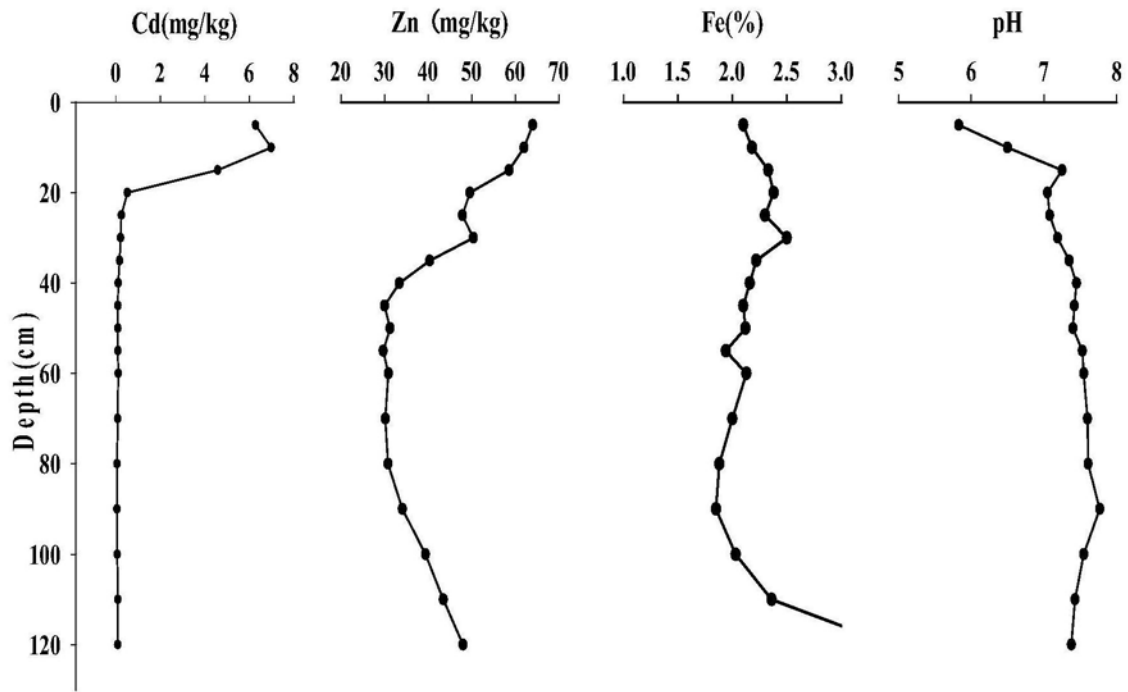


图3

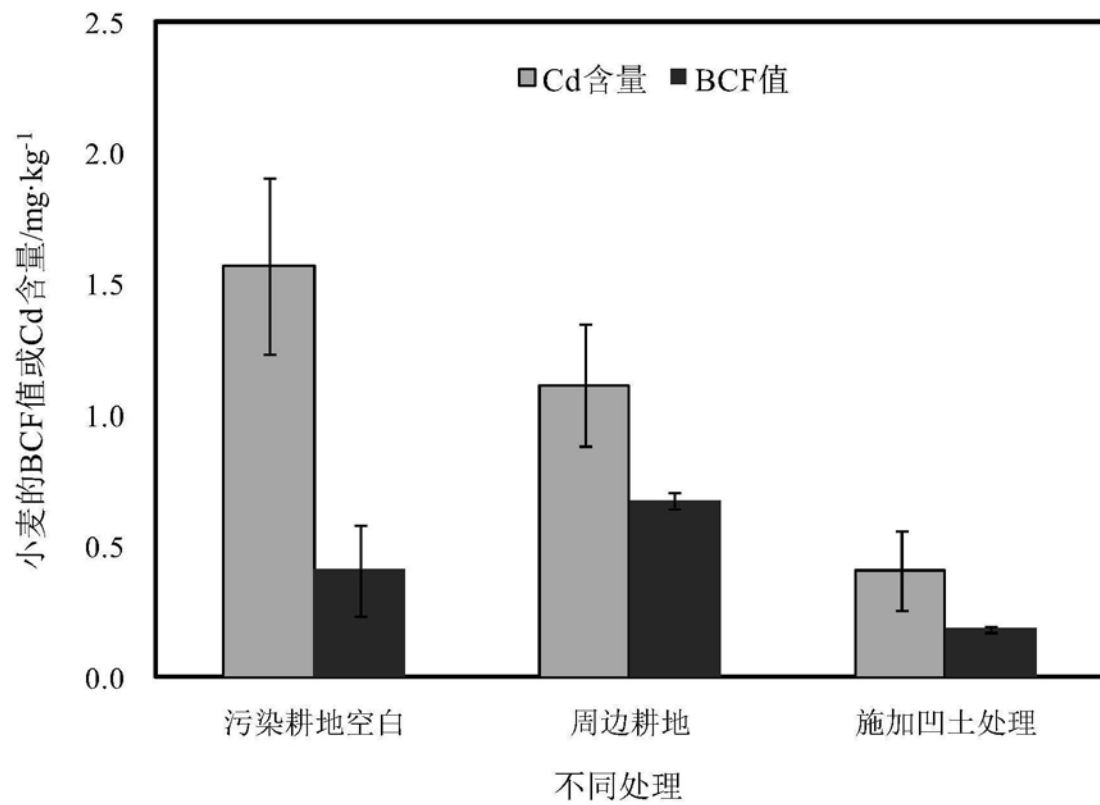


图4

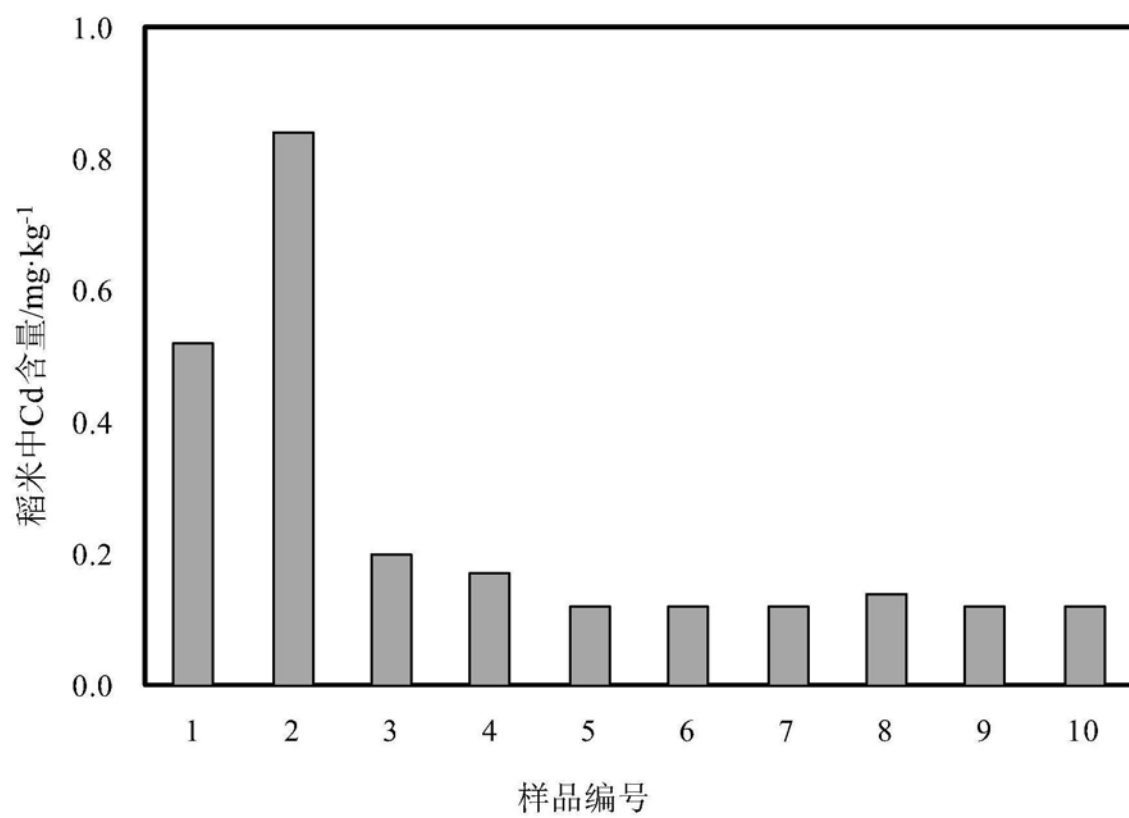


图5

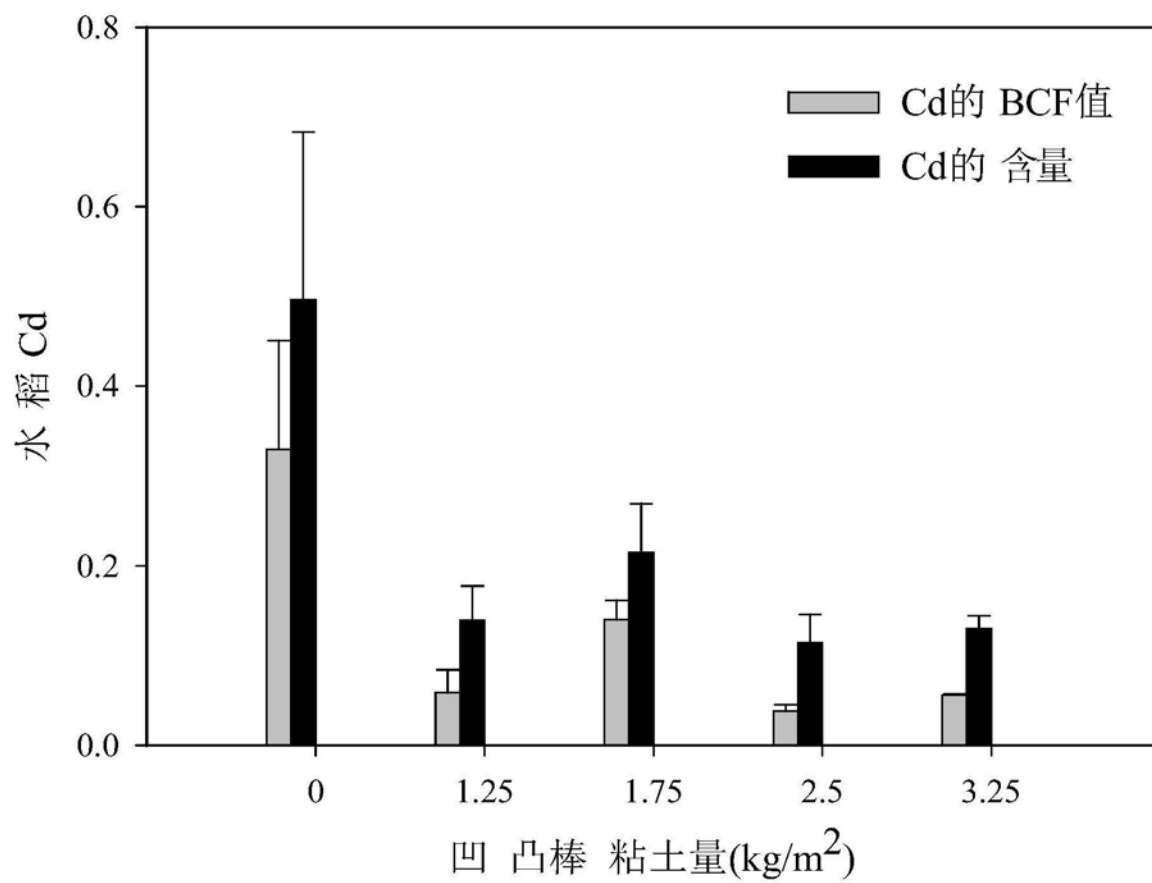


图6

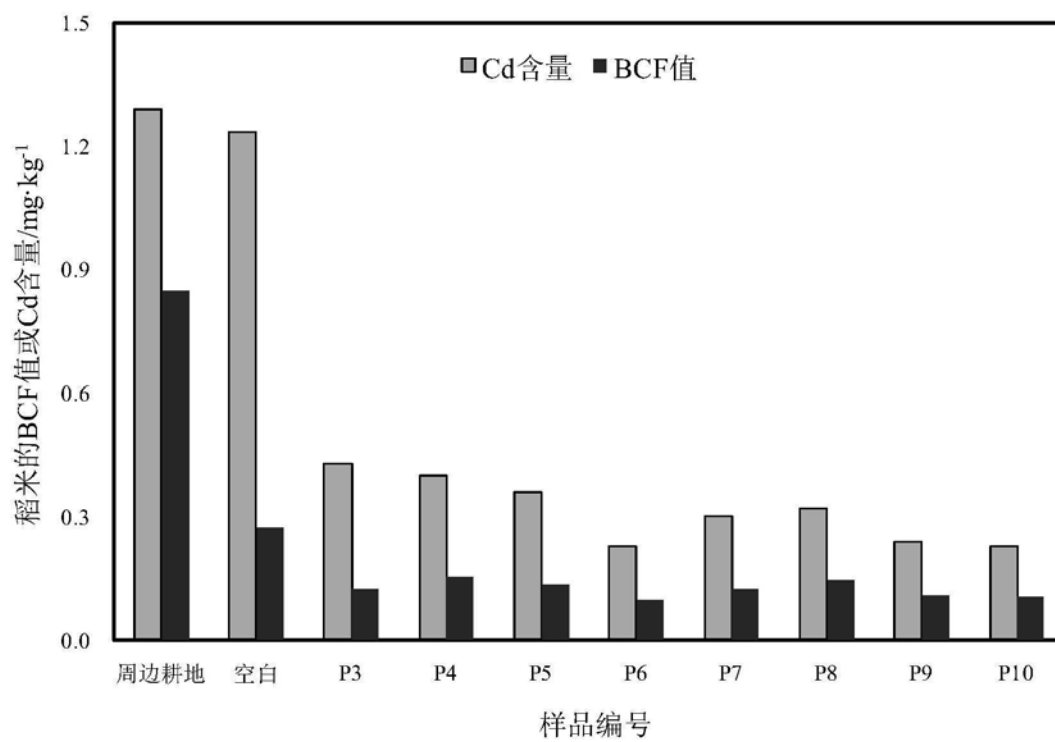


图7