



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105347907 A

(43) 申请公布日 2016. 02. 24

(21) 申请号 201510675306. 1

(22) 申请日 2015. 10. 19

(71) 申请人 福建金土地生物科技有限公司

地址 350003 福建省福州市鼓楼区温泉街道
温泉公园路 28 号四层 D-11

(72) 发明人 林文兴 熊荣昌 李晓忠 郑磊
周瀚 邓威

(74) 专利代理机构 天津盛理知识产权代理有限
公司 12209

代理人 赵瑶瑶

(51) Int. Cl.

C05G 3/00(2006. 01)

C05G 3/04(2006. 01)

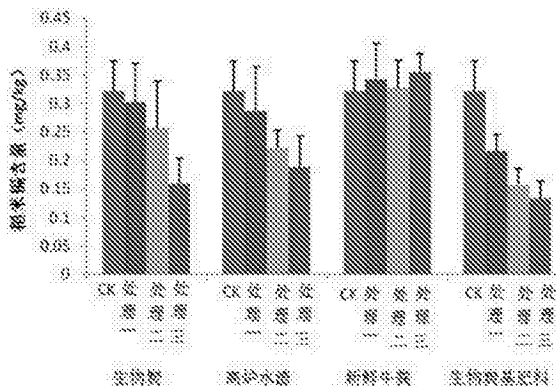
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料

(57) 摘要

本发明涉及一种用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,所述材料由生物炭、高炉水渣微粉、新鲜牛粪和复合生物菌剂组成,所述各组分质量分数分别为 50%、15%、30%和 5%。本发明中的生物炭与高炉水渣经过严格筛选和有效成分活化,一方面可以提高土壤 pH,改善土壤团粒结构,有效增强对土壤重金属元素的吸附作用,提高土壤重金属修复效果,生物炭、高炉水渣微粉、新鲜牛粪和复合生物菌剂按一定比例组合形成的复合材料,生物炭增加吸附土壤溶液重金属,高炉水渣中硅在活化剂作用下提高硅的作物利用率,作物吸收硅的同时阻控重金属向作物植株体运移,降低作物体内重金属含量,两者对控制作物吸收土壤重金属元素具有协同增效作用。



1. 一种用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:所述材料由生物炭、高炉水渣微粉、新鲜牛粪和复合生物菌剂组成,所述各组分质量分数分别为50%、15%、30%和5%。

2. 根据权利要求1所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:制备方法为:将质量分数为30%的牛粪、5%的复合生物菌剂分别加入100份蒸馏水中,在搅拌器中充分搅拌均匀,常温常压下静置7天后,再加入质量分数为50%的生物炭和15%的高炉水渣微粉混合物,边加边搅拌,搅拌30min使其充分混匀,常温常压下静置平衡24小时后,取出,自然风干或于40℃恒温鼓风干燥箱中干燥,即得生物炭基肥料粉剂。

3. 根据权利要求1所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:所述生物炭采用棉花秸秆为原材料在氮气条件下缺氧500-650℃热解4-6小时制得生物炭,再经研磨过筛取粒径50-60目样品,用蒸馏水冲洗干净后放入105℃烘箱中烘干。

4. 根据权利要求1或3所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:所述生物炭材料其比表面积为 $82.3\text{m}^2/\text{g}$ - $89.7\text{m}^2/\text{g}$,灰分含量为13.21%-14.65%,pH值为9.89-10.17,比重为 $1.08\text{g}/\text{cm}^3$ - $1.14\text{g}/\text{cm}^3$,主要元素成分是C 48.96%-56.37%、H 1.48%-1.76%、N 1.27%-1.38%。

5. 根据权利要求1所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:所述高炉水渣微粉为高炉水渣经研磨后过80-100目尼龙网筛得到高炉水渣粉末,再经5-8mol/L的KOH溶液进行碱浸8小时,用蒸馏水冲洗后,600-750℃条件下焙烧10min制备所需高炉水渣微粉。

6. 根据权利要求1所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:所述复合生物菌剂为将枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、光合菌、酵母菌和纤维素酶制剂按一定比例复合而成,接种重量比例范围为枯草芽孢杆菌:地衣芽孢杆菌:光合菌:酵母菌=0.5-1:0.5-1:0.8-1:1-2,纤维素酶制剂添加量为复合菌剂的重量的0.5-0.8%。

7. 根据权利要求1或7所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:所述生物菌剂为将上述复合生物菌剂加入红糖水中,按蒸馏水与红糖的比例为15:1-20:1配制,在密封容器中发酵7-10天,发酵初期为厌氧状态并维持3-5天,随后揭开容器盖,使发酵液处于好氧环境,直至发酵期完毕,即得生物菌剂。

8. 根据权利要求1或2所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:所述生物炭基肥料粉剂采用圆盘式造粒机进行造粒,选用木质素磺酸钠作为粘合剂,木质素磺酸钠添加量为总重量的1-1.8%,蒸馏水添加量为总重量的2%,所得生物炭基肥料粒径为3-5mm。

9. 根据权利要求1所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:所述生物炭基肥料用量为每亩500-1200kg。

10. 根据权利要求1所述的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,其特征在于:在农田使用时,先将土壤翻耕,然后将生物炭基肥料均匀撒施在土壤表层,通过人工或者旋耕机对0-20cm的表层土壤耙匀,使生物炭基肥料与表层土壤混匀,保持田间正常水分平衡一周后即可种植农作物,其他田间管理与正常的农业生产相一致。

用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料

技术领域

[0001] 本发明属于环境科学领域,涉及土壤重金属污染修复材料,具体公开了一种用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料。

背景技术

[0002] 据环保部 2005 年对我国国土面积约 630 万平方公里的调查,耕地污染超标率为 19.4%,超标面积约 3.5 亿亩。污染呈加重发展趋势,在最近 20 多年的时间里,表层土壤中重金属 Cd 在西南地区增加了 82.4%,沿海地区增加了 69.0%,华北、东北、西北地区增加了 10%—40%。另据 2002-2012 年以来,农业部对 21 个省(区市)水稻、小麦、玉米、大豆、蔬菜等产地部分土壤的调查,在总调查 4382.44 万亩中,超标面积为 446.79 万亩,超标率为 10.2%。可见,我国农产品产地土壤重金属污染严重。

[0003] 原位修复作为土壤重金属污染治理技术是一种非常行之有效的方法,而受到人们的普遍重视,尤其适用于修复大面积中、轻度重金属超标的农田土壤,实现重金属污染耕地的边生产边修复。向土壤中施加重金属吸附剂是修复重金属污染土壤的一种较经济的原位处理方法。土壤施用重金属修复材料,通过改变土壤 pH 值和重金属元素在土壤中的化学形态和赋存状态,增加吸附点位和促进重金属离子与土壤其它组分(包括修复材料)的共沉淀等过程,使土壤重金属生物有效态转化为生物不可利用的形态,从而抑制重金属在土壤中的迁移性和生物有效性、降低重金属污染物对环境生物的毒性,达到修复重金属污染土壤的目的。

[0004] 近年来,研究人员筛选或研发出了一大批用于重金属污染吸附的修复材料,一方面,为耕地重金属污染修复治理提供了技术支持和产品保障;另一方面,施用重金属修复材料以及修复材料人工或机械作业均增加了农业生产成本的投入,由于农业生产本身比较效益低,施用单一作用的重金属修复材料很难发动农民积极投身到耕地重金属污染修复治理中来,昂贵的成本也无法进行大规模的推广应用,耕地重金属污染造成的农产品质量安全并没有得到有效控制,且有进一步恶化的趋势。从农业生产实践的角度考虑,最佳的土壤修复技术是既能够保持土壤的生态功能,不破坏甚至提供土壤的肥力,又能够有效阻控重金属等污染物进入食物链。因此,研发一种集吸附重金属与农业生产于一体的修复材料,同时提供重金属吸附剂和作物营养元素,将重金属修复材料融合于农业生产的施肥中,真正意义上实现重金属污染耕地边生产边修复。

[0005] 生物炭是指以自然界广泛存在的生物质资源(作物秸秆、林果木枝条、动物粪便等)为基础,在缺氧条件下通过热裂解产生的炭质材料。生物炭的含碳量为 40%—75%,而且还有少量的矿物质和挥发性有机化合物,生物炭呈碱性,且不易被环境微生物分解。另外,生物炭为多孔物质,具有极为丰富的空隙结构和巨大的比表面积,这些特性赋予了生物炭具有强大的吸附性能,故生物炭具有较强的阳离子交换性能(大的阳离子交换量),因此,生物炭能够吸附土壤中的重金属元素,可有效减缓土壤重金属污染。

[0006] 高炉水冲渣,是钢铁企业在炼铁过程中采用水淬急冷处理高炉渣形成的废渣,

其化学组成主要为硅酸盐,主要化学成分为 CaO 45.3% -48.1%、 SiO_2 39.4% -41.8%、 Al_2O_3 11.1% -15.7%、 MgO 6.4% -8.1%、 MnO_2 1.9% -2.6%、 Fe_2O_3 0.9% -1.2%、 S 0.33% -0.41%重量百分比。将高炉水渣粉碎磨细到一定粒度可直接作为肥料施用,或高炉水渣研磨后,添加改性剂混合后直接施用。由于高炉水渣主要化学组成为 CaO 和 SiO_2 ,因此,添加 K_2CO_3 或 KOH 等含钾改性剂可制备硅钾肥,形成 $\text{CaO-SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$ 三元渣系的硅钾肥。研究发现,施用高炉水渣硅肥可调控水稻吸收积累重金属。一方面硅与水稻植株体内蛋白诱导硅在水稻根纤维层附件沉淀,将水稻根细胞壁的空隙堵住,抑制重金属向水稻地上部转运;另一方面,硅对水稻植株的生理生化过程起到调节作用,增强抗氧化系统保护作用,清除植株体内自由基的危害。同时,高炉水渣中的硅酸根离子可与土壤重金属发生化学反应,形成不易被作物根系吸收的硅酸盐化合物沉淀,从而减少重金属等污染物进入食物链。

发明内容

[0007] 本发明的目的在于弥补现有技术的缺陷,提供了一种经济、高效、稳定、安全的用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料。土壤施用生物炭基肥料,可显著降低土壤重金属生物可利用性,农作物可食部分重金属含量明显降低且达到食品卫生标准,减少重金属污染对农作物的危害,促进作物生长,增加作物产量。

[0008] 本发明实现目的的技术方案是:

[0009] 一种用于耕地土壤重金属污染修复生物炭基肥料,所述材料由生物炭、高炉水渣微粉、新鲜牛粪和复合生物菌剂组成,所述各组分质量分数分别为 50%、15%、30% 和 5%。

[0010] 而且,制备方法为:将质量分数为 30% 的牛粪、5% 的复合生物菌剂分别加入 100 份蒸馏水中,在搅拌器中充分搅拌均匀,常温常压下静置 7 天后,再加入质量分数为 50% 的生物炭和 15% 的高炉水渣微粉混合物,边加边搅拌,搅拌 30min 使其充分混匀,常温常压下静置平衡 24 小时后,取出,自然风干或于 40°C 恒温鼓风干燥箱中干燥,即得生物炭基肥料粉剂。

[0011] 而且,所述生物炭采用棉花秸秆为原材料在氮气条件下缺氧 $500\text{-}650^\circ\text{C}$ 热解 4-6 小时制得生物炭,再经研磨过筛取粒径 50-60 目样品,用蒸馏水冲洗干净后放入 105°C 烘箱中烘干。

[0012] 而且,所述生物炭材料其比表面积为 $82.3\text{m}^2/\text{g}\text{-}89.7\text{m}^2/\text{g}$,灰分含量为 13.21% -14.65%, pH 值为 9.89-10.17,比重为 $1.08\text{g}/\text{cm}^3\text{-}1.14\text{g}/\text{cm}^3$,主要元素成分是 C 48.96% -56.37%、H 1.48% -1.76%、N 1.27% -1.38%。

[0013] 而且,所述高炉水渣微粉为高炉水渣经研磨后过 80-100 目尼龙网筛得到高炉水渣粉末,再经 5-8mol/L 的 KOH 溶液进行碱浸 8 小时,用蒸馏水冲洗后, $600\text{-}750^\circ\text{C}$ 条件下焙烧 10min 制备所需高炉水渣微粉。

[0014] 而且,所述复合生物菌剂为将枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、光合菌、酵母菌和纤维素酶制剂按一定比例复合而成,接种重量比例范围为枯草芽孢杆菌:地衣芽孢杆菌:光合菌:酵母菌 = 0.5-1:0.5-1:0.8-1:1-2,纤维素酶制剂添加量为复合菌剂的重量的 0.5-0.8%。

[0015] 而且,所述生物菌剂为将上述复合生物菌剂加入红糖水中,按蒸馏水与红糖的比例为 15:1-20:1 配制,在密封容器中发酵 7-10 天,发酵初期为厌氧状态并维持 3-5 天,随后

揭开容器盖,使发酵液处于好氧环境,直至发酵期完毕,即得生物菌剂。

[0016] 而且,所述生物炭基肥料粉剂采用圆盘式造粒机进行造粒,选用木质素磺酸钠作为粘合剂,木质素磺酸钠添加量为总重量的 1-1.8%,蒸馏水添加量为总重量的 2%,所得生物炭基肥料粒径为 3-5mm。

[0017] 而且,所述生物炭基肥料用量为每亩 500-1200kg。

[0018] 而且,在农田使用时,先将土壤翻耕,然后将生物炭基肥料均匀撒施在土壤表层,通过人工或者旋耕机对 0-20cm 的表层土壤耙匀,使生物炭基肥料与表层土壤混匀,保持田间正常水分平衡一周后即可种植农作物,其他田间管理与正常的农业生产相一致。

[0019] 本发明的优点和积极效果是:

[0020] 1、本发明中使用的生物炭为农业生产废弃物棉花秸秆为原料,所制备材料中的硅来源于钢铁行业产生的钢铁废渣,有机物质和营养元素来源于奶牛养殖场的废弃物牛粪,这些物料的选择是对废弃物综合资源化优化利用,一方面提高经济附加值,改善农业产地环境质量,促进农业增产增收;另一方面修复污染土壤,提高农产品质量。本发明的生物炭基肥料为环境友好型产品,完全遵循循环经济的思路、符合节能减排的发展方向,同时可望具有显著的经济和生态效益,具有重大的应用和推广前景。

[0021] 2、本发明中的生物炭与高炉水渣经过严格筛选和有效成分活化,一方面可以提高土壤 pH,改善土壤团粒结构,有效增强对土壤重金属元素的吸附作用,提高土壤重金属修复效果;另一方面,高炉水渣中硅在活化剂作用下提高硅的作物利用率,作物吸收硅的同时阻控重金属向作物植株体运移,降低作物体内重金属含量。

[0022] 3、本发明针对高炉水渣中硅含量高但其生物有效性低的不足,通过将高炉水渣研磨后过 80-100 目尼龙网筛,再经 5-8mol/L 的 KOH 溶液进行碱浸 8 小时,用蒸馏水冲洗后,600-750℃ 条件下焙烧 10min,增加高炉水渣中硅的生物有效性,同时,高炉水渣中的硅施入土壤后也可对作物吸收重金属起到阻控作用。

[0023] 4、本发明将土壤重金属污染修复与提高土壤肥力相结合,既控制了土壤修复成本,减少劳动力投入,又激发了农民的积极性,集污染修复与农业生产施肥于一体;生物菌剂的使用解决了牛粪生产有机肥过程中发酵周期长的问题(发酵周期缩短到 15 天之内),并且提高牛粪中对植物有益无害的肥料,为农作物提供安全、有效的肥源,使用简单方便。

[0024] 5、本发明的生物炭基肥料还对水稻、白菜进行了相关实验数据的测定,以验证本生物炭基肥料的有益效果,能够显著降低水稻和白菜可食部分中的重金属镉含量,同时,提高水稻产量和蔬菜鲜重。

附图说明

[0025] 图 1 为本发明实例中施用生物炭基肥料对稻米镉含量的影响;

[0026] 图 2 为本发明实例中施用生物炭基肥料对土壤 pH 值的影响;

[0027] 图 3 为本发明实例中施用生物炭基肥料对土壤镉有效态含量的影响;

[0028] 图 4 为本发明实例中施用生物炭基肥料对稻米产量的影响。

具体实施方式

[0029] 下面详细叙述本发明的实施例,需要说明的是,本实施例是叙述性的,不是限定性

的,不能以此限定本发明的保护范围。

[0030] 本发明以下的百分比均为重量百分比,特殊标明的除外。

[0031] 本发明所用的生物炭与高炉水渣微粉原料分别为农业生产废弃物棉花秸秆与钢铁行业产生的钢铁废渣作为原料制备而成,所用新鲜牛粪取自奶牛场,所用菌种为市售。其中,生物炭,是由棉花秸秆在氮气条件下缺氧 500-650℃热解 4-6 小时而成的一种多孔、高比表面积碳,具有高吸附性能,生物炭粉再经研磨过筛取粒径 50-60 目样品,用蒸馏水清洗干净后放入 105℃烘箱中烘干制备而成;高炉水渣微粉,是由高炉水渣经研磨后过 80-100 目尼龙筛得到高炉水渣粉末,再经 5-8mol/L 的 KOH 溶液进行碱浸 8 小时,用蒸馏水冲洗后,600-750℃条件下焙烧 10min 制备而成;生物菌剂,制备工艺为将菌种加入红糖水中,红糖水按蒸馏水与红糖比 15:1-20:1 配制,在密封容器中发酵 7-10 天,发酵初期为厌氧状态维持 3-5 天,随后揭开容器盖,使发酵液处于好氧环境,直至发酵期完毕,即得生物菌剂;新鲜牛粪,经 105℃烘干,研磨并过尼龙网筛,取粒径为 50-60 目牛粪备用。

[0032] 一种用于耕地土壤重金属污染修复材料及生物炭基肥料,具体制备方法分以下三部分详细论述:

[0033] 一、修复材料的组成

[0034] 用于耕地土壤重金属污染修复材料,由生物炭、高炉水渣微粉、新鲜牛粪和生物菌剂组成,各组分质量分数分别为 50%、15%、30%和 5%。其中,生物炭、高炉水渣微粉、新鲜牛粪为对废弃物资源化优化利用;加入生物菌剂由市售菌种制备而成,有效解决了牛粪生产有机肥过程中发酵周期长的问题。

[0035] 二、修复材料的制备方法

[0036] 1. 以棉花秸秆为原料在氮气条件下缺氧 500-650℃热解 4-6 小时制得生物炭,再经研磨过筛取粒径 50-60 目样品,用蒸馏水清洗干净后放入 105℃烘箱中烘干;所述生物炭材料的比表面积为 82.3m²/g-89.7m²/g,灰分含量为 13.21%-14.65%,pH 值为 9.89-10.17,比重为 1.08g/cm³-1.14g/cm³,主要元素成分是 C 48.96%-56.37%、H 1.48%-1.76%、N 1.27%-1.38%。

[0037] 2. 将高炉水渣经研磨后过 80-100 目尼龙网筛得到高炉水渣粉末,再经 5-8mol/L 的 KOH 溶液进行碱浸 8 小时,用蒸馏水冲洗后,600-750℃条件下焙烧 10min 制备所需高炉水渣微粉;所述高炉水渣微粉化学成分主要是 CaO 45.3%-48.1%、SiO₂ 39.4%-41.8%、Al₂O₃ 11.1%-15.7%、MgO 6.4%-8.1%、MnO₂ 1.9%-2.6%、Fe₂O₃ 0.9%-1.2%、S 0.33%-0.41%重量百分比。

[0038] 3. 将上述 50%生物炭与 15%高炉水渣微粉在搅拌器中充分搅拌均匀,形成 50%生物炭-15%高炉水渣微粉混合物;

[0039] 4. 将新鲜牛粪 105℃烘干,研磨并过尼龙网筛,取粒径为 50-60 目牛粪;所述牛粪含有机质 18-23%、含氮 0.32%-0.45%、磷 0.21%-0.28%、钾 0.10%-0.17%重量百分比,pH 值为 6.9-7.4。

[0040] 5. 生物菌剂制备工艺为:将枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、光合菌、酵母菌和纤维素酶制剂组成的复合生物菌种加入红糖水中,红糖水按蒸馏水与红糖的比例为 15:1-20:1 配制,在密封容器中发酵 7-10 天,发酵初期为厌氧状态维持 3-5 天,随后揭开容器盖,使发酵液处于好氧环境,直至发酵期完毕,即得生物菌剂;

[0041] 6. 将上述 30%牛粪中加入 5%生物菌剂,搅拌均匀,形成 30%牛粪-5%生物菌剂混合物;

[0042] 7. 将上述 30%牛粪-5%生物菌剂混合物加入 100 份蒸馏水,搅拌均匀,再加入上述 50%生物炭-15%高炉水渣微粉混合物,搅拌 30min 使其充分混匀,平衡 24h 后,自然风干或于 40℃恒温鼓风干燥箱中干燥,即得修复材料粉剂。

[0043] 其中酵母菌、枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、光合菌均采用农业种植类常用菌种即可,本发明不做特殊规定,其来源可由沧州旺发生物技术研究有限公司、沧州兴业生物技术有限公司提供。酵母菌或者是常用的活性干酵母即可。

[0044] 三、生物炭基肥料造粒

[0045] 将上述修复材料粉剂及生物炭基肥料粉剂采用圆盘式造粒机进行造粒,选用木质素磺酸钠作为粘合剂,添加量为总重量的 1-2.4%,造粒过程中水分添加量为总重量的 1.8-3%。

[0046] 生物炭基肥料适用范围:

[0047] 受重金属污染耕地,酸性土壤条件 ($\text{pH} \leq 6.5$) 下使用效果更佳。

[0048] 生物炭基肥料亩均用量及施用方法:

[0049] 在受重金属污染的土壤中,根据土壤重金属污染程度,每亩施用生物炭基肥料为 500-1200kg;在土壤翻耕后,将生物炭基肥料均匀撒施在土壤表面,然后通过人工或旋耕机的方式将生物炭基肥料与耕作层土壤混匀,田间条件下平衡一周后即可种植农作物,田间耕作措施与正常的农业生产相一致。

[0050] 本发明的生物炭基肥料修复重金属污染土壤的原理在于:生物炭基肥料中的生物炭具有多孔性和高比表面积、较强表面吸附,对有机和无机污染物高度亲和等特性,能强烈吸附并影响土壤中重金属的迁移性和降低重金属生物可利用性。生物炭基肥料中的高炉水渣微粉一方面其提供的硅与水稻植株体内蛋白诱导硅在水稻根纤维层附件沉淀,将水稻根细胞壁的空隙堵住,抑制重金属向水稻地上部转运;另一方面,硅对水稻植株的生理生化过程起到调节作用,增强抗氧化系统保护作用,清除植株体内自由基的危害。同时,高炉水渣中的硅酸根离子可与土壤重金属发生化学反应,形成不易被作物根系吸收的硅酸盐化合物沉淀,从而减少重金属等污染物进入食物链。生物炭基肥料中的有机肥也具有固定重金属离子限制其迁移的作用。同时,所制备的生物炭基肥料为碱性,施入土壤后,可提高土壤 pH 值,改善土壤酸性条件,从而降低土壤重金属有效性及迁移性,达到修复土壤重金属之目的。

[0051] 生物炭基肥料也提供了作物生长所需养分,为农作物正常生长发育提供有效的肥源,从而提高农作物产量。

[0052] 相关数据检测

[0053] 本专利在湖南省湘阴县某重金属污染水田地进行田间试验,试验区土壤理化性质见表 1。

[0054] 表 1 试验区土壤基本性质

[0055]

土壤重金属含量 (mg/kg)					土壤养分含量 (mg/kg)				pH	有机质 (mg/kg)	CEC (cmol/kg)
Cd	Pb	As	Hg	Cr	N	P	K				
0.971	68.2	18.9	0.155	66.1	157.9	21.5	77.4	5.4	50.7	14.88	

[0056] 生物炭基肥料水稻田小区试验设置 3 个处理,分别为处理一 500kg/ 亩、处理二 800kg/ 亩、处理三 1200kg/ 亩,另设不施用任何材料的为空白对照组 CK,同时,设置单独施用与生物炭基肥料复合材料中相同比重的生物炭(处理一 250kg/ 亩、处理二 400kg/ 亩和处理三 600kg/ 亩)、高炉水渣(处理一 75kg/ 亩、处理二 120kg/ 亩和处理三 180kg/ 亩)、新鲜牛粪(处理一 150kg/ 亩、处理二 240kg/ 亩和处理三 360kg/ 亩)。每个处理重复 3 次,共 39 个试验小区,每个小区面积为 20m²。各小区均采用随机区组分布,每个小区之间分隔埂用塑料薄膜覆盖,小区外设保护行。

[0057] 水稻田试验工作开始于 2014 年 4 月中旬,小区划分后,采用人工撒施方法,按试验设计用量将生物炭基肥料均匀施入个小区,并进行耕作层人工翻耕耙匀,保持各小区田间最大持水量,平衡一周后,开始插秧,水稻为当地常规品种,属当地广泛种植品种之一,其他田间管理和当地正常生产一致。7 月中旬水稻成熟期收割,采样分析并测产。

[0058] 如图 1 所示,镉污染水稻田施用生物炭基肥料后,随着生物炭基肥料用量的增加,稻米镉含量呈下降趋势,且均低于对照组,生物炭基肥料用量为 800kg/ 亩和 1200kg/ 亩处理组中,稻米镉含量(分别为 0.157mg/kg 和 0.133mg/kg)均低于现行国家标准《GB2762-2012 食品中污染物限量》规定的谷物 0.2mg/kg 的限量值,分别比对照降低 51.1% 和 58.6%;而单独施用生物炭和高炉水渣,只有在处理三中,稻米镉含量低于国家标准值,分别为 0.159mg/kg 和 0.189mg/kg。由图 3 和图 4 所示,施用生物炭基肥料可提高土壤 pH 值,改良酸性土壤,同时,也降低土壤镉的有效态含量,从而减少镉在稻米中的积累。施用生物炭基肥料后增加水稻产量,与对照相比,施用 1200kg/ 亩,水稻产量增加 44.4%,而其他处理中,单独施用新鲜牛粪可提高水稻产量,单独施用生物炭及高炉水渣对水稻产量影响不显著。这与生物炭基肥料改善土壤质量,提供有效硅和水稻生长所需营养元素有关。因此,综合土壤 pH 值、土壤镉的有效态含量、稻米镉含量及稻米产量等因子,由生物炭、高炉水渣微粉、新鲜牛粪和复合生物菌剂按一定比例组合而成的复合材料对水稻田土壤镉污染修复具有联合协同增效作用。

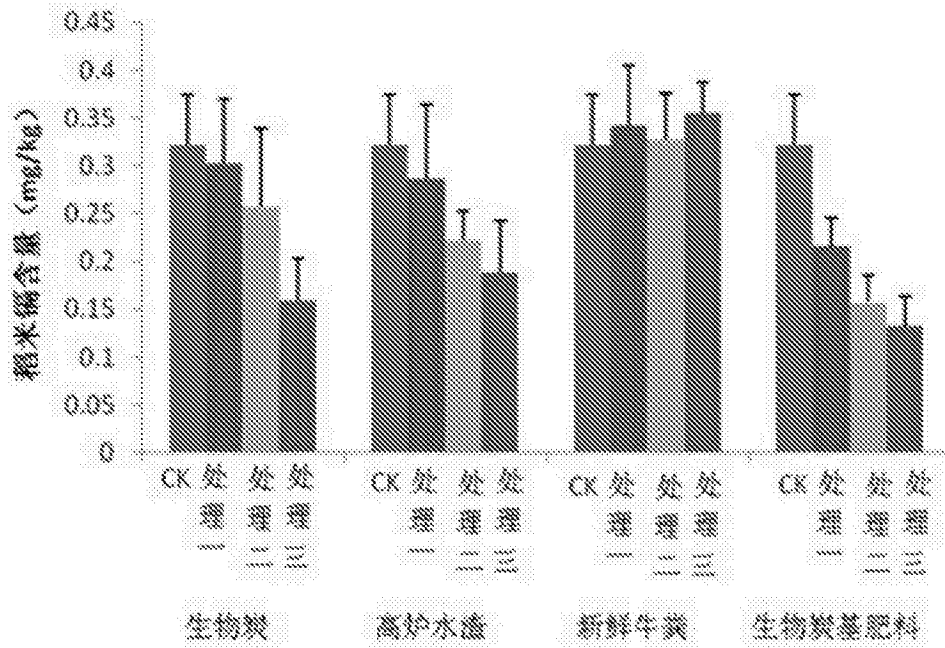


图 1

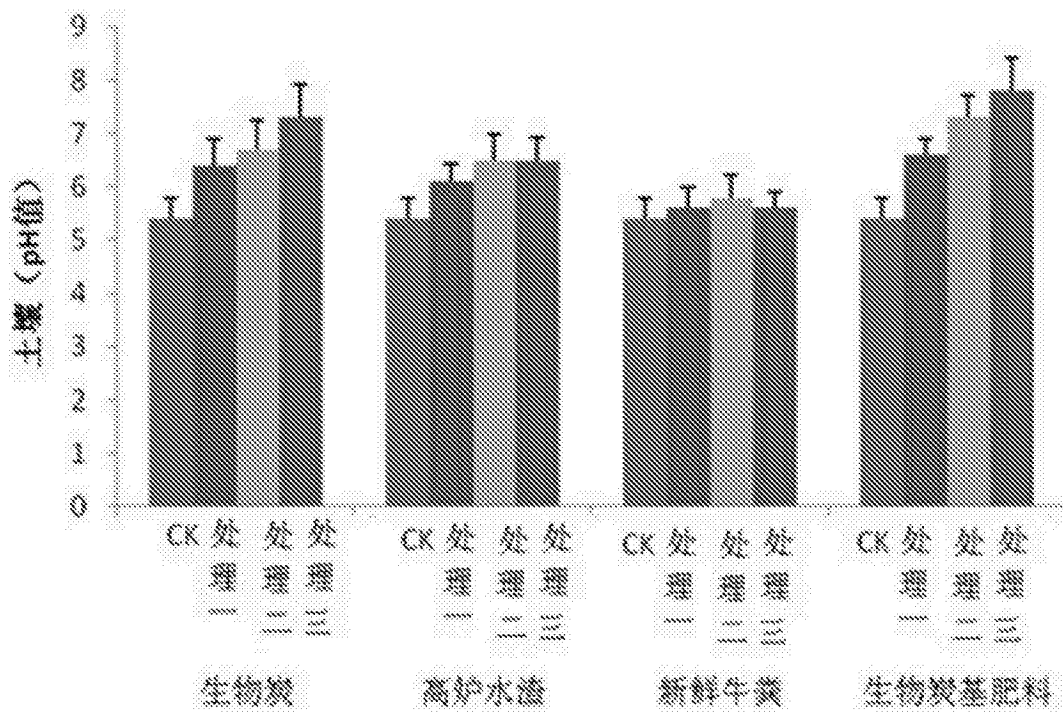


图 2

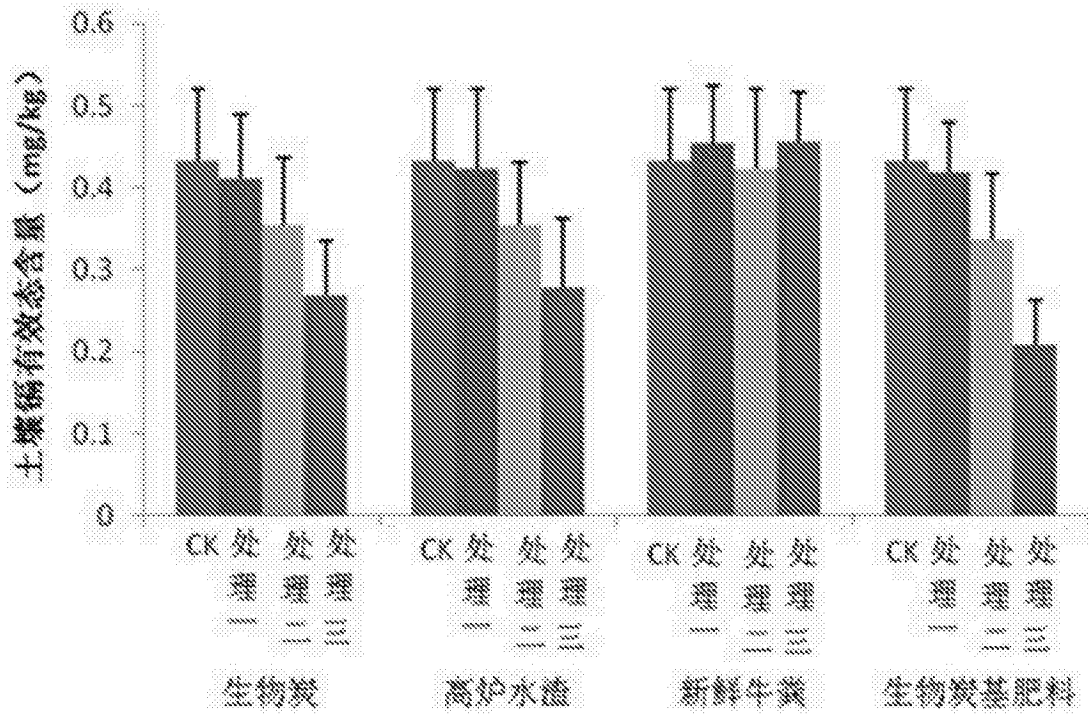


图 3

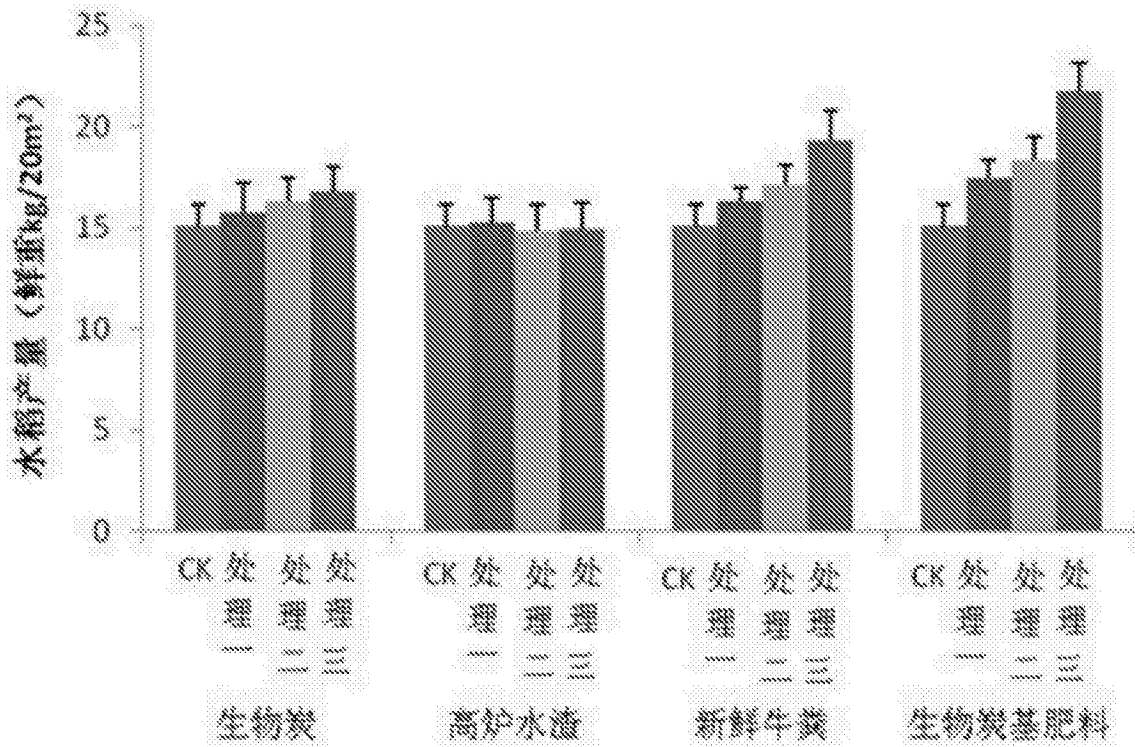


图 4