



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107583942 A
(43)申请公布日 2018.01.16

(21)申请号 201710748070.9

(22)申请日 2017.08.28

(71)申请人 中国科学院地球化学研究所
地址 550002 贵州省贵阳市南明区观水路
46号

(72)发明人 程建中 唐源 陈懿 高维常
潘文杰 李心清

(74)专利代理机构 贵阳中新专利商标事务所
52100
代理人 李余江 程新敏

(51)Int. Cl.
B09C 1/00(2006.01)
B09C 1/08(2006.01)

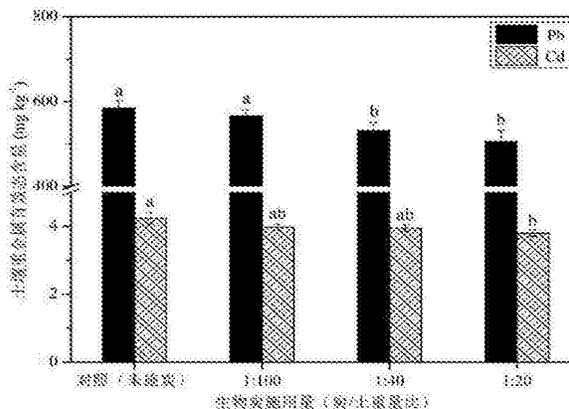
权利要求书1页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法

(57)摘要

本发明公开了一种降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法,包括如下步骤:将重金属复合污染的土壤风干后,过筛保存;以农林废弃物为原料,制备生物炭颗粒,并粉碎、筛选后风干或烘干保存;将筛选后的干燥生物炭颗粒与复合污染土壤按1:20~1:100重量比搅拌混合,并添加蒸馏水使其含水量达到田间持水量的50~70%,放置5~7天让其充分腐熟,制成重金属复合污染的炭土混合物;采用井窖式小苗移栽方法将烟苗移栽至上述炭土混合物中,同时用该混合物均匀填充井窖,保持烟苗生长点外露。本发明显著降低重金属复合污染土壤Cd和Pb有效态含量,同时也显著降低作物根、茎、叶对重金属Cd和Pb吸收和富集;本发明成本低,效率高,操作简单,易于推广应用。



1. 一种降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法,其特征在于该方法包括如下步骤:

S1,将重金属复合污染的土壤风干后,过筛保存得到复合污染土壤;

S2,以农林废弃物为原料,经初加工后得到颗粒状生物质,经炭化炉进行炭化,制备生物炭颗粒;

S3,将S2中制得的生物炭颗粒粉碎、筛选后风干或烘干保存;

S4,将S3筛选后的干燥生物炭颗粒与S1中得到的复合污染土壤按1:20~1:100重量比搅拌混合,并添加蒸馏水使其含水量达到田间持水量的50~70%,然后放置5~7天,让其充分腐熟,制成重金属复合污染的炭土混合物并封装保存;

S5,采用井窖式小苗移栽方法将烟苗移栽至S4得到的炭土混合物中,同时用该炭土混合物均匀填充井窖,并填至井口,保持烟苗生长点外露。

2. 根据权利要求1所述的降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法,其特征在於:所述的重金属复合污染土壤的污染物包括以下重金属中的两种或多种:镉(Cd)、汞(Hg)、银(Ag)、铜(Cu)、钡(Ba)、铅(Pb)、铬(Cr)和砷(As)。

3. 根据权利要求1所述的降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法,其特征在於:S1所述土壤类型包括黄壤、红壤、棕壤、褐土、黑土、栗钙土、漠土、潮土、灌淤土、水稻土、紫色土和石灰土的一种或多种。

4. 根据权利要求3所述的降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法,其特征在於:S1所述土壤类型是石灰土,采用的石灰土颗粒粒径 $\leq 2\text{mm}$ 。

5. 根据权利要求1所述的降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法,其特征在於:S2中所述农林废弃物为烟杆、玉米秸秆、油菜秸秆、水稻秸秆、水稻壳、木屑、中药渣、花生壳中的一种或多种。

6. 根据权利要求1所述的降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法,其特征在於:S2中生物炭颗粒的制备包括如下步骤:将农林废弃物依次经过除杂、集中晾晒风干和粉碎,得到干燥的颗粒状生物质原材料;然后采用组合式生物质颗粒炭化炉进行炭化,炭化过程中通过每次补料厚度为10-20cm的方式补充物料来控制氧气供应量,从而保持炉内炭化温度在250-450℃左右,最终实现炭化炉内生物质完全炭化。

7. 根据权利要求1所述的降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法,其特征在於:S3中生物炭颗粒筛选时,选出粒径 $\leq 1\text{mm}$ 生物炭颗粒与复合污染土壤颗粒混合均匀。

一种降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法

技术领域

[0001] 本发明属于土壤污染治理技术领域,具体涉及一种利用烟杆生物炭降低重金属复合污染土壤生物有效性的方法。

背景技术

[0002] 近年来,随着工业、城市污染的加剧、农用化学物质种类和数量的增加、汽车尾气及生活垃圾的不断排放,土壤重金属污染日益严重,已成为制约可持续发展的关键问题。土壤中重金属可以通过各种途径进入作物,并通过食物链传递,进而在人体内富集,使人产生贫血、精神错乱、代谢紊乱,甚至致癌等等,对人类的健康产生极大威胁。目前,我国一些蔬菜、粮食和烤烟种植区正遭受着重金属污染的巨大威胁,烤烟重金属超标事件屡见不鲜。研究如何净化烟田土壤,降低土壤重金属有效态含量及其在烤烟中累积愈来愈成为国内外的科研热点。目前,对重金属污染土壤的治理方法主要有:物理工程法、生物法和化学法等。尽管这些方法具有一定的改良效果,但都存在一定局限性。比如费用高、效率低、土壤结构破坏、养分流失严重以及地下水污染等等。

[0003] 生物炭(Biochar)是以生物质(农林废弃物、动物骨骼和排泄物)为原料,在高温缺氧条件下热解而制备的一种含碳丰富、孔隙度高的固态物质。由于生物炭具有多孔结构,表面官能团丰富,这使得其具有较强的吸附能力,具有较好的农用效益和土壤污染的修复潜力。研究表明,生物炭施用能显著增加土壤重金属的固持作用以及减少其进入人类食物链的风险,这主要归因于生物炭拥有比较大的比表面积、微孔结构、活性有机官能团以及高CEC和pH。其中,pH是控制土壤物理化学反应和表面电荷的一个重要因子。高pH的土壤被认为具有较强的碱性,可以通过沉淀和吸附(静电和专性吸附)过程增强其对重金属的吸附与固持。截止目前,虽有研究已证实生物炭在酸性土壤中可降低重金属移动性和有效性,但生物炭对石灰土重金属生物有效性的影响还鲜有报道。一般认为,生物炭对酸性土pH、交换性酸度、零净电荷点、比表面积以及CEC的影响显著强于石灰土,而上述性质又直接决定了重金属在土壤中的形态分布与迁移转化过程。因此,生物炭对重金属复合污染土壤(特别是石灰土)生物有效性的影响还存在较大的不确定性。

[0004] 我国是世界上农业废弃物产出最大的国家,每年农作物秸秆的产出量大约是60000万t,其中烟杆的年均产量高达150~170万t。目前,农户对于烟杆废弃物处理一般都直接采取田间焚烧的方式,该过程不仅会造成空气污染,而且也会对人体健康造成影响。因此,烟杆的综合利用受到越来越广泛的关注。如能将上述废弃的烟杆在高温缺氧条件下加工制备成生物炭,然后以一定的方式还田,不仅充分利用了农业废弃物资源,而且还能修复土壤污染,提高土壤和作物安全性,在农业领域具有广阔的应用前景,是一种变废为宝的新途径。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种利用烟杆生物炭降低重金属复合污染土壤生物有效

性的方法,不仅具有原位固持土壤重金属的功能,而且还能改善土壤结构、增加土壤营养元素,兼具修复降低作物重金属累积的功能。

[0006] 为解决以上技术问题,本发明的技术方案包括如下具体步骤:

[0007] 1) 将重金属复合污染的土壤风干后,过筛保存;

[0008] 2) 以农林废弃物为原料,经初加工后得到颗粒状生物质,经炭化炉进行炭化,制备生物炭;

[0009] 3) 将生物炭颗粒粉碎、筛选后风干或烘干保存;

[0010] 4) 将筛选后的干燥生物炭颗粒与步骤1)得到的复合污染土壤按1:20~1:100重量比搅拌混合,使生物炭在土壤中完全沉淀和均匀分布,并添加蒸馏水使其含水量达到田间持水量的50~70%,然后放置5~7天,让其充分腐熟,制成重金属复合污染的炭土混合物并封装保存;

[0011] 5) 采用井窖式小苗移栽方法将烟苗移栽至步骤4)得到的炭土混合物中,井窖深度为5~7cm,同时用上述炭土混合物均匀填充井窖,并填至井口,保持烟苗生长点外露。

[0012] 其中,步骤1)中重金属复合污染土壤的污染物为:镉(Cd)、汞(Hg)、银(Ag)、铜(Cu)、钡(Ba)、铅(Pb)、铬(Cr)和砷(As)的两种或多种。步骤1)中土壤类型是黄壤、红壤、棕壤、褐土、黑土、栗钙土、漠土、潮土、灌淤土、水稻土、紫色土和石灰土的一种或多种。优选土壤类型是石灰土。采用的石灰土颗粒粒径 $\leq 2\text{mm}$ 。

[0013] 步骤2)中农林废弃物为烟杆、玉米秸秆、油菜秸秆、水稻秸秆、水稻壳、木屑、中药渣、花生壳中的一种或多种。优选农林废弃物为烟杆。步骤2)中生物炭的制备时将农林废弃物依次经过除杂、集中晾晒风干和粉碎,得到干燥的颗粒状生物质原材料;然后采用组合式生物质颗粒炭化炉(如中国专利文献申请号为ZL201110073104.1的发明专利公开的一种炭化炉)进行炭化,炭化过程中通过每次补料厚度为10-20cm的方式补充物料来控制氧气供应量,从而保持炉内炭化温度在250-450℃左右,最终实现炭化炉内生物质完全炭化。优选补料厚度为20cm,炭化温度为450℃。

[0014] 步骤3)中生物炭颗粒筛选时,选出粒径 $\leq 1\text{mm}$ 生物炭颗粒与复合污染土壤颗粒混合均匀。

[0015] 步骤4)中,优选添加蒸馏水使炭土混合物含水量为田间持水量的50%,并充分腐熟7天。

[0016] 本发明优点在于利用生物质裂解技术处理农作物烟杆,然后按一定比例还田,不但可以降低复合污染土壤中重金属有效态含量,而且还能降低重金属在烟株体内的迁移与富集。烟杆生物炭既能作为重金属污染土壤改良剂,又能作为净化金属废水的环境友好型吸附材料。本发明利用烟杆生物炭显著降低了复合污染土壤重金属的生物有效性,同时还显著增加了土壤营养元素含量,实现了烟杆等农业废弃物的肥料化和资源化利用,全面提高了烟叶质量和安全性。

[0017] 本发明还有如下有益效果:

[0018] 本发明所用的生物炭,其制备工艺简单,易于工业化生产,利用烟杆、玉米秸秆、水稻秸秆、木屑、中药渣、花生壳等农林废弃生物质为原材料,成本低廉,原料充足易得,对于保护农村生态环境具有重要意义。

[0019] 本发明所用的生物炭,具有疏松多孔特征,比表面积大、表面能高,表面官能团丰

富,具有很强阳离子交换量(CEC)能力,这些特征构成了生物炭具有良好的吸附特性,提高了生物炭对复合污染土壤重金属的吸附能力,从而达到源头上降低重金属生物有效性的目的。与未添加生物炭的对照相比,烟杆生物炭对复合污染土壤中Cd的有效态含量(DTPA浸提)降低率为6.37-10.38%,烟杆生物炭对复合污染土壤中Pb的有效态含量降低率为:3.28-13.5%。同时,生物炭对于降低烟草作物中重金属残留也具有良好的效果。比如,烟杆生物炭对烤烟根、茎和叶中Cd含量的降低率分别为:2.48-14.59%、6.52-23.12%和23.71-38.83%;烟杆生物炭对烤烟根、茎和叶中Pb的含量降低率分别为:3.47-31.81%、13.98-33.19%和4.47-60.28%;效果非常明显。此外,生物炭还能降低烤烟对重金属的富集系数,有利于保证烟叶的安全性生产。例如:与对照相比,烟杆生物炭对烤烟根、茎和叶Cd的富集系数降低率分别为:3.36-12.61%,5.88-21.18%,24.35-37.01%,烟杆生物炭对烤烟根、茎和叶Pb的富集系数降低率分别为:5.70-27.68%,14.29-28.57%和4.84-58.06%。

[0020] 本发明的方法成本低,效率高,环境风险低,不会产生二次污染,有利于土壤中重金属的固定。同时,本发明实际应用性高,操作过程简单且易培训,农民即可掌握,可在农村地区大量推广应用,具有较好的市场前景。

附图说明

[0021] 图1是实施例2的不同比例生物炭添加量对石灰土重金属有效态含量的降低效果(a、b不同字母表示不同处理之间差异显著($P < 0.05$);相同字母表示不同处理之间差异不显著($P > 0.05$));

[0022] 图2是实施例3的不同比例生物炭添加量对烤烟各器官Cd含量的降低效果(a、b、c不同字母表示不同处理之间差异显著($P < 0.05$);相同字母表示不同处理之间差异不显著($P > 0.05$));

[0023] 图3是实施例4的不同比例生物炭添加量对烤烟各器官Pb含量的降低效果(a、b不同字母表示不同处理之间差异显著($P < 0.05$);相同字母表示不同处理之间差异不显著($P > 0.05$))。

具体实施方式

[0024] 下面将结合本发明实施例,对本发明的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0025] 实施例1:

[0026] 烟草是我国的重要经济作物之一,种植面积和产量均居世界第一,每年种植面积约140万 hm^2 ,烟叶产量高达150~170万t,同时也将相应地产出约150~170万t烟杆。烟杆既不宜作燃料,也不宜直接还田作肥料,大量烟杆被丢弃或焚烧,不仅会使烟田滋生大量病菌,而且还会严重污染大气环境。因此,加强对烟杆等农业废弃物的资源综合利用不仅可以有效地处理上述废弃物,变废为宝,而且还能提高烟农的经济收入,从而实现烟草业的可持续发展。

[0027] 针对烟区存在大量烟杆被丢弃的现象,本发明在贵州省烟草科学研究院龙岗科研

试验基地实施。基地烟杆收集后,集中晾晒风干。采用铡草机将烟杆粉碎至1cm左右,当烟粉含水量 $\leq 15\%$ 时,利用组合式生物质颗粒炭化炉(专利号ZL201110073104.1)进行炭化。具体操作流程为:将颗粒状烟杆装入炉体中,起始加料量以覆盖燃烧器上20-30cm为宜,用柴油等易燃物引燃燃烧器点火盘内的引燃物。当物料被点燃后,持续自燃,无需外加热源。采用XMT-121型数字式温控仪进行炉体温度监测,控制烟杆生物质在450℃亚高温条件下缺氧炭化,并及时补充物料控制氧气供应量。每次追加物料厚度约为10-20cm,加料时间间隔1h,当最上层生物质完全炭化后,及时喷冷水熄灭炉火后冷却出炉。

[0028] 将上述烟杆生物炭颗粒自然风干后,进行粉碎加工,按 $\leq 1\text{mm}$ 的粒径进行筛选。

[0029] 将Cd和Pb复合污染的石灰土经风干、按 $\leq 2\text{mm}$ 的粒径进行筛选。

[0030] 将筛选后的生物炭颗粒与复合污染石灰土颗粒按1:100,1:40和1:20重量比混合,充分搅拌,制备成Cd和Pb复合污染的炭土混合物。最后按照15kg/盆装盆后,采用井窖式小苗移栽方法进行烟苗移栽,供试烟草品种为烤烟K326。本实验共设置三个生物炭施用水平,并设置一对照(未加生物炭),每处理均为三次重复。

[0031] 本发明利用烟杆生物炭降低石灰土中重金属有效态含量的方法中涉及的重金属(Cd和Pb)定性定量分析采用原子吸收光谱法(Atomic Absorption Spectroscopy,AAS)测定。其中,土壤总Cd和Pb含量采用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 消解,土壤Cd和Pb有效态含量采用DTPA浸提(pH 7.3)(0.005M DTPA,0.01M CaCl_2 and 0.1M TEA),植物各器官Cd和Pb含量采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 消解,最后浸提液或消解液均采用AAS测定。

[0032] 本发明利用生物炭提高石灰土营养元素含量的方法中涉及的增加率计算公式如下:

$$[0033] \quad \text{增加率}(\%) = \frac{C_2 - C_1}{C_1} \times 100\%$$

[0034] 其中, C_1 代表不同比例生物炭施用前石灰土中营养元素含量(g kg^{-1}), C_2 代表生物炭施用后石灰土中营养元素含量(g kg^{-1})。

[0035] 本发明利用生物炭降低石灰土重金属Cd和Pb有效态含量的方法中涉及的降低率计算公式如下:

$$[0036] \quad \text{降低率}(\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

[0037] 其中, C_1 代表生物炭施用前土壤DTPA浸提的Cd和Pb含量(mg kg^{-1}), C_2 代表不同比例生物炭施用后土壤DTPA浸提的Cd和Pb含量(mg kg^{-1})。

[0038] 本发明利用生物炭降低烤烟重金属Cd和Pb残留量的方法中涉及的降低率计算公式如下:

$$[0039] \quad \text{降低率}(\%) = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \times 100\%$$

[0040] 其中, C_1 代表生物炭施用前烤烟根、茎和叶中Cd和Pb含量(mg kg^{-1}), C_2 代表不同比例生物炭施用后烤烟根、茎和叶中Cd和Pb含量(mg kg^{-1})。

[0041] 重金属Cd和Pb的富集系数(BAF)是植物从土壤中吸收累积重金属Cd和Pb的能力。

$$[0042] \quad \text{BAF} = C_{\text{植物}}/C_{\text{土壤}}$$

[0043] 其中, $C_{\text{植物}}$:植物各器官重金属Cd和Pb含量(mg kg^{-1}), $C_{\text{土壤}}$:土壤重金属Cd和Pb含量

(mg kg⁻¹)。

[0044] 生物炭施用对重金属复合污染石灰土营养元素的提升效果:

[0045] 原石灰土中有机质、总氮、总磷和有效钾含量分别为:46.47g kg⁻¹,1.89g kg⁻¹,0.94g kg⁻¹,350.82mg kg⁻¹。由表1可知,烟杆经过高温热解处理后可大幅度提升土壤有机质、总氮、总磷和有效钾等营养元素含量,效果显著。当生物炭与复合污染(Cd和Pb)土壤重量比分别为:1:100、1:40和1:20时,石灰土中有机质含量增加率分别为:2.34%、16.72%和102.73%;总氮含量增加率分别为:4.23%,12.70%和27.51%;总磷含量增加率分别为:1.06%,5.32%和20.21%;有效钾含量增加率分别为:78.12%,183.73%和458.55%。因此,与对照(未施生物炭)相比,添加不同比例烟杆生物炭显著提高了石灰土中营养元素含量。

[0046] 表1烟杆生物炭不同施用比例对重金属复合污染石灰土营养元素的影响

[0047]

处理	有机质(g kg ⁻¹)	总碳(g kg ⁻¹)	总氮(g kg ⁻¹)	总磷(g kg ⁻¹)	总钾(g kg ⁻¹)	有效钾(mg kg ⁻¹)
对照(不施炭)	46.47±	35.88±	1.89±	0.94±	5.35±	350.82±
	0.78 ^b	0.74 ^d	0.06 ^c	0.01 ^c	0.03 ^a	58.13 ^c
炭土比(1:100)	47.56±	40.13±	1.97±	0.95±	5.33±	624.89±
	10.36 ^b	0.35 ^c	0.06 ^{bc}	0.01 ^c	0.55 ^a	216.56 ^{bc}
炭土比(1:40)	54.24±	47.89±	2.13±	0.99±	5.48±	995.37±
	0.63 ^b	0.20 ^b	0.10 ^b	0.02 ^b	0.37 ^a	149.26 ^b
炭土比(1:20)	94.21±	56.75±	2.41±	1.13±	5.83±	1959.50±
	10.22 ^a	1.21 ^a	0.04 ^a	0.01 ^a	0.35 ^a	7.79 ^a

[0048] 同列a、b、c不同字母表示不同处理之间差异显著(P<0.05),相同字母表示不同处理之间差异不显著(P>0.05)(单因素方差分析,LSD多重比较法,α=0.05)。

[0049] 实施例2:生物炭施用对石灰土重金属(Cd和Pb)有效态含量的降低效果:

[0050] 在石灰土中,土壤重金属有效态含量一般通过DTPA浸提出来的土壤重金属浓度来表示。随着生物炭施用量的增加,石灰土中Cd和Pb重金属有效态含量逐渐降低。当生物炭与复合污染(Cd和Pb)土壤重量比分别为:1:100、1:40和1:20时,石灰土中的Cd有效态降低率分别为:6.37%、6.84%和10.38%;石灰土中Pb有效态降低率分别为:3.28%、9.20%和13.55%。与对照(不施炭)相比,当生物炭施用量达到1:20(炭/土重量比)时,土壤Cd有效态含量显著降低(P<0.05)。同时,当生物炭施用量达到1:40和1:20时,土壤Pb有效态含量与对照(不施炭)之间差异均显著(P<0.05)。因此,施用烟杆生物炭到Cd和Pb复合污染土壤中,显著降低了石灰土中Cd和Pb的有效态含量(如图1所示)。

[0051] 实施例3:生物炭施用对烤烟各器官Cd残留量的降低效果:

[0052] 随着生物炭施用量的增加,烤烟(K326)各器官Cd的残留量逐渐降低。当生物炭与复合污染(Cd和Pb)土壤重量比分别为:1:100、1:40和1:20时,烤烟根系中Cd残留量降低率分别为:2.48%、4.04%和14.59%;烤烟茎中Cd残留量降低率分别为:15.51%、6.52%和23.12%;烤烟叶中Cd残留量降低率分别为:23.71%、29.84%和38.83%。与对照(不施炭)相比,当生物炭施用量达到1:20(炭/土重量比)时,烤烟叶中Cd残留量显著降低(P<0.05)。同时,烤烟茎中Cd残留量在施炭与不施炭处理之间也存在显著差异(P<0.05)。因此,施用烟

杆生物炭到Cd和Pb复合污染石灰土中,显著降低了植物对重金属Cd的吸收(如图2所示)。

[0053] 实施例4、生物炭施用对烤烟各器官Pb残留量的降低效果:

[0054] 随着生物炭施用量的增加,烤烟(K326)各器官Pb的残留量逐渐降低。当生物炭与复合污染(Cd和Pb)土壤重量比分别为:1:100、1:40和1:20时,烤烟根系中Pb残留量降低率分别为:3.47%、7.26%和31.81%;烤烟茎中Pb残留量降低率分别为:13.98%、16.13%和33.19%;烤烟叶中Pb残留量降低率分别为:4.47%、37.80%和60.28%。与对照(不施炭)相比,当生物炭施用量达到1:20(炭/土重量比)时,烤烟叶和根中Pb的残留量均显著降低($P < 0.05$)。因此,施用烟杆生物炭到Cd和Pb复合污染石灰土中,显著降低了植物对重金属Pb的吸收(如图3所示)。

[0055] 实施例5、生物炭施用对烤烟各器官Cd富集系数的降低效果:

[0056] 随着生物炭施用量的增加,烤烟(K326)各器官Cd的富集系数(BAF_{Cd})逐渐降低。当生物炭与复合污染(Cd和Pb)土壤重量比分别为:1:100、1:40和1:20时,烤烟根系中 BAF_{Cd} 降低率分别为:3.36%、3.36%和12.61%;烤烟茎中 BAF_{Cd} 降低率分别为:16.47%、5.88%和21.18%;烤烟叶中 BAF_{Cd} 降低率分别为:24.35%、29.22%和37.01%。与对照(不施炭)相比,当生物炭施用量达到1:20(炭/土重量比)时,烤烟叶和茎中 BAF_{Cd} 均显著降低($P < 0.05$)。因此,施用烟杆生物炭到Cd和Pb复合污染石灰土中,显著降低了植物对重金属Cd的富集和迁移(表2)。

[0057] 表2烟杆生物炭不同施用比例对烤烟Cd富集系数(BAF_{Cd})的影响

[0058]

生物炭处理	叶	茎	根
对照(未施炭)	3.08±0.66 ^a	0.85±0.06 ^a	1.19±0.05 ^a
炭土比(1:100)	2.33±0.28 ^{ab}	0.71±0.05 ^{ab}	1.15±0.20 ^a
炭土比(1:40)	2.18±0.06 ^{ab}	0.80±0.05 ^{ab}	1.15±0.06 ^a
炭土比(1:20)	1.94±0.25 ^b	0.67±0.03 ^b	1.04±0.11 ^a

[0059] 同列a、b不同字母表示不同处理之间差异显著($P < 0.05$),相同字母表示不同处理之间差异不显著($P > 0.05$)(单因素方差分析,LSD多重比较法, $\alpha = 0.05$)。

[0060] 实施例6、生物炭施用对烤烟各器官重金属Pb富集系数的降低效果:

[0061] 随着生物炭施用量的增加,烤烟(K326)各器官Pb的富集系数(BAF_{Pb})逐渐降低。当生物炭与复合污染(Cd和Pb)土壤重量比分别为:1:100、1:40和1:20时,烤烟根系中 BAF_{Pb} 降低率分别为:5.70%、6.82%和27.68%;烤烟茎中 BAF_{Pb} 降低率分别为:14.29%、14.29%和28.57%;烤烟叶中 BAF_{Pb} 降低率分别为:4.84%、35.48%和58.06%。与对照(不施炭)相比,当生物炭施用量达到1:20(炭/土重量比)时,烤烟叶和根中 BAF_{Pb} 均显著降低($P < 0.05$)。因此,施用烟杆生物炭到Cd和Pb复合污染石灰土中,显著降低了植物对重金属Pb的富集与迁移(表3)。

[0062] 表3烟杆生物炭不同施用比例对烤烟Pb富集系数($BAF_{Cd} \times 10^{-2}$)的影响

[0063]

生物炭处理	叶	茎	根
对照（未施炭）	0.62±0.15 ^a	0.77±0.23 ^a	7.19±0.11 ^a
炭土比（1:100）	0.59±0.09 ^a	0.66±0.05 ^a	6.78±1.16 ^{ab}
炭土比（1:40）	0.40±0.13 ^{ab}	0.66±0.09 ^a	6.70±0.73 ^{ab}
炭土比（1:20）	0.26±0.01 ^b	0.55±0.00 ^a	5.20±0.28 ^b

[0064] 同列a、b不同字母表示不同处理之间差异显著 ($P < 0.05$), 相同字母表示不同处理之间差异不显著 ($P > 0.05$) (单因素方差分析, LSD多重比较法, $\alpha = 0.05$)。

[0065] 当然, 以上只是本发明的具体应用范例, 本发明还有其他的实施方式, 凡采用等同替换或等效变换形成的技术方案, 均落在本发明所要求的保护范围之内。

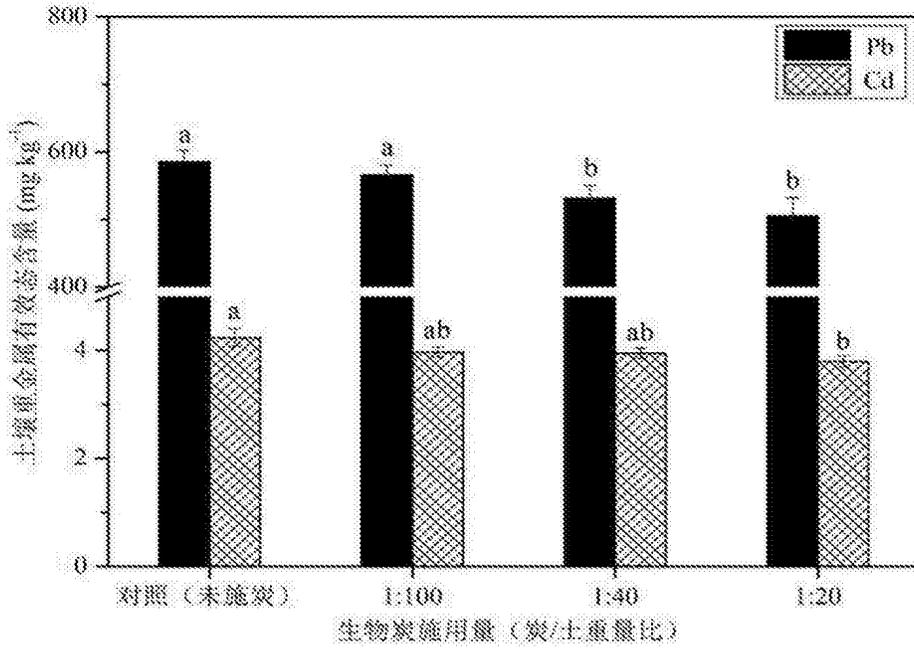


图1

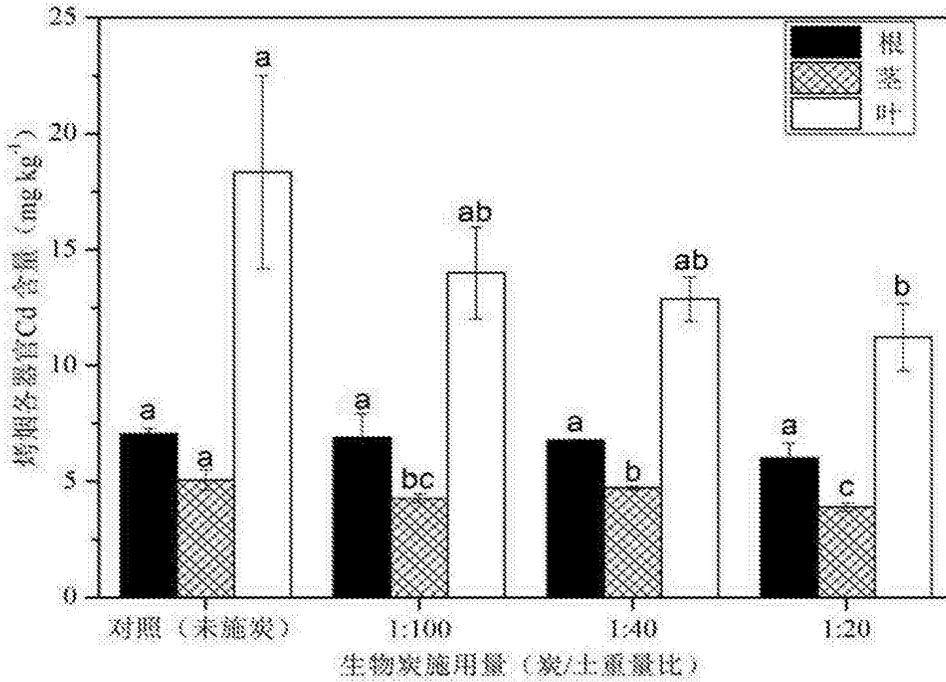


图2

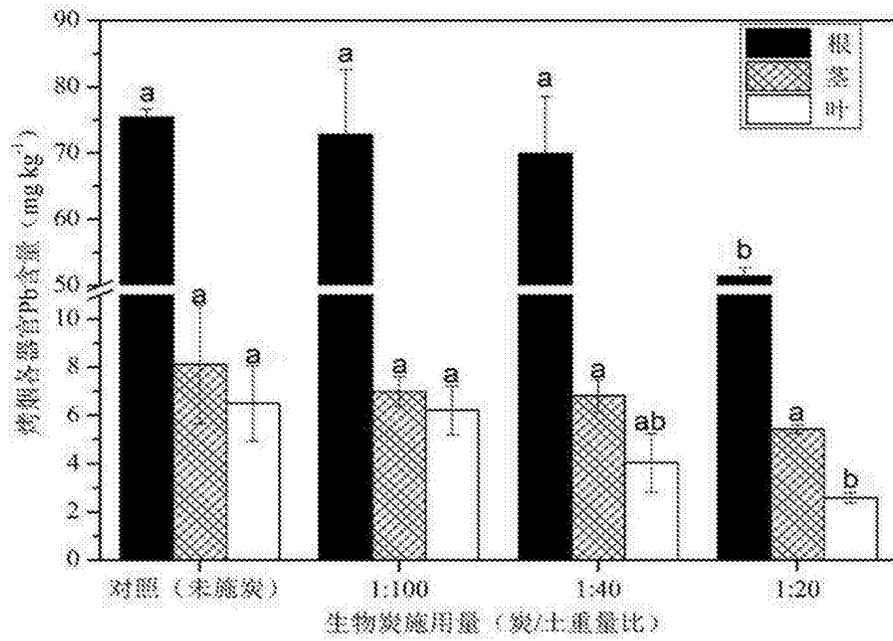


图3