

梁胜男,赵玲,董元华,等. 生物质灰渣对红壤中 Cd 含量及其生物有效性的影响[J]. 江苏农业科学,2016,44(5):451-453.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.05.129

生物质灰渣对红壤中 Cd 含量及其生物有效性的影响

梁胜男^{1,2}, 赵玲², 董元华², 陶秀成¹

(1. 安徽师范大学环境科学与工程学院,安徽芜湖 241000; 2. 中国科学院南京土壤研究所环境与污染修复重点实验室,江苏南京 210008)

摘要:以常见的蔬菜白菜作为供试植物,通过盆栽试验研究施用不同比例的生物质灰渣对污染红壤 pH 值、Cd 生物有效性的影响。结果表明:模拟 Cd 污染红壤中,添加灰渣量越多,土壤 pH 值增加越明显,当灰渣添加比例为 10% 时,土壤 pH 值达到最大,土壤趋于中性。土壤非根际土有效态 Cd 含量随着灰渣添加量增加而降低,当灰渣添加量达 10% 时,有效态 Cd 含量低于仪器检出限,且与对照相比,各处理均显著差异。随着灰渣添加量的增加,白菜地上部与地下部吸收的 Cd 含量明显降低。由此可见,在酸性污染红壤中添加一定量的灰渣,能达到较好地抑制白菜对 Cd 的吸收,并能显著提高土壤的 pH 值,降低土壤中 Cd 的生物有效性。

关键词:Cd; 生物质灰渣; 白菜; 土壤; 生物有效性

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)05-0451-03

近年来,土壤重金属污染已成为我国环境问题之一^[1],其中重金属 Cd 为土壤中的“五毒元素”之一^[2]。Cd 具有毒性强、化学活性高等特点,容易被植物吸收累积,可通过食物链的富集作用危害人类健康。植物体内 Cd 的进入方式是叶片直接吸收,主要来源是土壤^[3]。袁祖丽等研究表明,烟草的叶绿素含量随着 Cd 浓度的增加而降低,烟草吸收 Cd 后其叶绿体膜系统遭受损害^[4]。除此之外,Cd 还对常见的农作物如西葫芦幼苗、玉米^[5]、番茄^[6]、小麦^[7]等具有很强的毒害作用。因此,研究 Cd 污染土壤,减少其对农作物的危害具有重要意义^[8]。生物质灰渣是植物燃烧后的固体废弃物。灰渣具有排放量大、开发潜力大等特点^[9]。生物质灰渣含有大量植物所需要的营养成分,它的多孔结构和表面丰富的含氧官能团使其具有较强的吸附有毒物质的能力,可以用来修复污染土壤^[10]。陈晨通过在土壤中添加秸秆来增加土壤溶解性有机碳含量,增加重金属 Cd 与 Cu 在污染土壤中的溶出

量^[11]。生物质灰渣对植物生长发育以及对酸性土壤改良都有积极作用,对降低重金属的生物有效性有重要作用^[12-14]。本研究通过添加不同比例的生物质灰渣于模拟 Cd 污染红壤中,研究生物质灰渣对白菜吸收红壤中 Cd 的影响以及土壤中 Cd 含量的变化趋势,以期将生物质灰渣应用于降低污染土壤重金属生物有效性提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试白菜品种为一代交配华美青梗菜,供试土壤采自江西省鹰潭市的耕作土壤,所有土壤均采自表层(0~20 cm),剔除土壤中的杂物,磨碎过 2 mm 筛用作盆栽用土。供试肥料为过磷酸钙(P_2O_5 12.0%)、氯化钾(含 K_2O 60.0%)、尿素(含 N 46.4%),试验前土壤、有机肥基本理化性质见表 1。试验所用生物质灰渣由江苏省泰州市某发电厂提供,pH 值为

表 1 土壤、有机肥理化性质

样品	pH 值	全 N 含量 (%)	全 K 含量 (%)	全 P 含量 (%)	有效态 Cd 含量 (mg/kg)	全 Cd 含量 (mg/kg)	电导率 (mS/cm)
干净土	4.75	0.05	0.11	0.32	0.02	0.32	0.07
有机肥	7.03	0.11	19.4	1.67	0.01	0.11	

9.63,呈碱性,灰渣的基本性质见表 2。浇灌用水为蒸馏水。

1.2 方法

1.2.1 老化试验 每盆装有 750 g 过 2 mm 筛的红壤,添加 $CdCl_2$ 溶液使全 Cd 含量达 2.95 mg/kg,室温下(20℃)老化 1 个月,每隔 2 d 拌匀 1 次,并保持含水率为 30%。

收稿日期:2015-03-20

基金项目:国家科技支撑计划(编号:2012BAD05B04,2015BAD05B04);公益性行业(农业)科研专项经费(编号:201203013);江苏省泰州市科技支撑计划(编号:TN201318)。

作者简介:梁胜男(1991—),女,安徽六安人,硕士研究生,从事重金属污染土壤修复技术研究。E-mail:liangshn1991@163.com。

通信作者:赵玲,博士,硕士生导师,主要从事污染土壤修复研究。E-mail:zhaoling@issas.ac.cn。

1.2.2 盆栽试验 每盆装 750 g 已老化的红壤,根据生物质灰渣添加量设置 4 个处理:灰渣添加量分别为 0、3%、5%、10%,每处理重复 3 次,每盆施 7 g 有机肥,根据灰渣中 P、K 含量,采用尿素、过磷酸钙、氯化钾化肥向土壤中补加肥料,使加入的 N、P、K 各元素总量均相同。将灰渣、有机肥与土壤充分拌匀。盆栽试验于 2014 年 9 月 30 日在温室中播种,定期浇蒸馏水,保持其含水量为田间持水量的 70%,每盆浇水量一致。间苗使每盆留白菜 4 棵,40 d 后采收。

1.2.3 测定项目 植株收获后测定地上部和地下部的鲜质量。杀青(105℃ 30 min)后于 70℃ 烘至恒质量后称质量。测定土壤根际土全 Cd 含量、非根际土有效态 Cd 含量、白菜地上部与地下部的 Cd 含量。采用 $HF-HClO_4-HNO_3$ 消化土壤根际土中全 Cd 含量,采用 HNO_3-HClO_4 消化白菜中 Cd

表 2 生物质灰渣基本性质

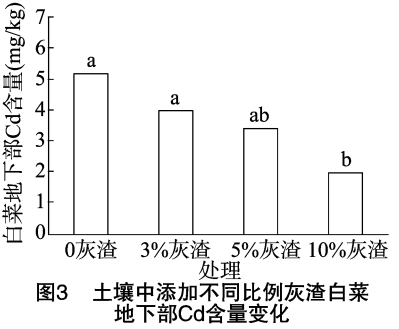
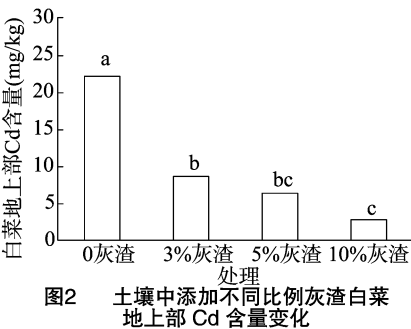
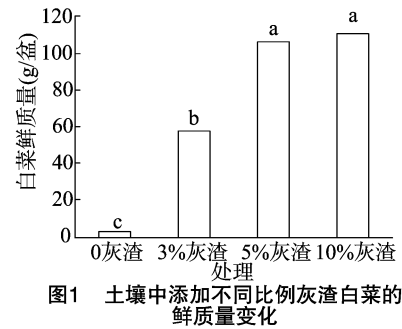
指标	含量 (%)	指标	含量 (mg/kg)	指标	含量 (mg/kg)
全 N	0.17	KCl	3.88	Cu	27.25
全 K	4.70	方解石	1.38	Zn	355.25
全 P	0.55	长石	2.50	Cr	29.45
全 C	13.29	无定型	87.65	Ni	16.30
全 S	0.28	全 Cd	1.72	Pb	46.95
滑石	1.00	有效态 Cd	0.50	Ca	28 807.50
石英	3.15	Mg	6 928	Hg	0.13
方石英	1.00	Mn	1 665.25	As	9.28

含量,消化后均用 ICP 测定。采用 0.1 mol/L CaCl₂ 在 25 ℃ 下浸提 4 h 非根际土中的有效态 Cd,土液比为 1 g : 5 mL,浸提速度 180 r/min。采用 Excel 2003、Origin 9.0、SPSS 软件进行数据统计与分析。

2 结果与分析

2.1 添加灰渣对白菜生长的影响

由图 1 可知,在土壤中添加 0、3% 灰渣、5% 灰渣、10% 灰渣后得到的白菜鲜质量分别为 3.34、58.43、107.2、111.6 g/盆。添加 3% 灰渣、5% 灰渣、10% 灰渣处理白菜鲜质量与对照相比差异显著。除了添加 5% 灰渣与添加 10% 灰渣处理之间白菜鲜质量差异不显著,其他处理间白菜鲜质量差异显著。与不加灰渣处理相比,添加 3% 灰渣、5% 灰渣、10% 灰渣处理白菜鲜质量分别增加了 16.5、31.1、32.4 倍,增产效果显著。不断增加灰渣添加量,白菜鲜质量明显增加,当灰渣添加量为 10% 时,白菜生物量达到最高,表明在土壤中添加灰渣有利于白菜生长发育。陈龙等研究表明,肥料用量低时,增加灰



2.3 土壤 pH 值的变化

由图 4 可知,当土壤中添加灰渣量为 0、3%、5%、10% 时,土壤 pH 值分别为 4.80、4.82、5.40、6.40,各处理间差异显著。当灰渣量由 3% 增加到 10% 时,土壤 pH 值增加了 1.6,表明随着灰渣添加量的增加,土壤 pH 值也随之增加。当灰渣添加比例为 3% 时,与灰渣添加量为 0 处理相比,土壤 pH 值变化不明显。当灰渣添加量逐渐增加到 10% 时,土壤 pH 值最高,达 6.4,土壤趋于中性。由此可知,施用灰渣能够增加土壤 pH 值。pH 值是影响土壤重金属的可移动性及其生物有效性的重要因子。熊礼明研究石灰对土壤吸附 Cd 行为时得出结论,施加一定量的石灰将土壤 pH 值提高到一定值,才可以明显降低植物 Cd 吸收量^[17]。随着灰渣添加量的增加,白菜地上部与地下部对土壤中 Cd 的吸收量明显降低。土壤 pH 值越低,Cd 的溶解性越好,土壤吸附的 Cd 越少,Cd

渣量能提高土壤中的速效磷含量;当肥料用量中等时,添加灰渣能增强油菜吸收钾元素的能力;当肥料用量高时,随着灰渣用量的增加,植株对 Ca 元素、Mg 元素吸收量先增大后减小^[12]。

2.2 添加灰渣对白菜吸收 Cd 的影响

由图 2、图 3 可以看出,在土壤中添加 0、3%、5%、10% 灰渣,白菜地上部 Cd 含量分别为 22.07、8.59、6.32、2.76 mg/kg;地下部 Cd 含量分别为 5.23、4.03、3.45、2.00 mg/kg。与对照相比,添加不同量灰渣处理,白菜地上部 Cd 含量差异均显著;添加 3% 灰渣与添加 10% 灰渣处理,白菜地上部 Cd 含量差异明显。随着灰渣添加量的增加,白菜地上部 Cd 含量减少。当灰渣添加量从 3% 增加到 10%,白菜地上部 Cd 含量从 8.59 mg/kg 降到 2.76 mg/kg,当灰渣添加量达到 10% 时,白菜地上部 Cd 含量达到最低。说明在土壤中添加灰渣能够有效减少白菜对土壤中 Cd 的吸收,特别是有利于降低白菜可食部位的 Cd 含量,但本研究中白菜地上部的 Cd 含量仍超过国家蔬菜食品卫生标准(Cd 含量 ≤ 0.05 mg/kg)^[15]。

从图 3 可以看出,不添加灰渣与添加 10% 灰渣、添加 3% 灰渣与添加 10% 灰渣处理白菜地下部 Cd 含量差异显著。随着灰渣添加量的增加,各处理白菜地下部 Cd 含量降低。与对照相比,添加 3% 灰渣、5% 灰渣、10% 灰渣处理白菜地下部 Cd 含量分别降低了 23%、34%、62%。当灰渣添加量从 3% 增加到 10% 时,白菜地下部 Cd 含量降低了 50%。当灰渣添加量为 10% 时,白菜地下部 Cd 含量达最低。由此可知,施用灰渣能显著地降低白菜对土壤中 Cd 的吸收。李福燕等研究了剑麻与石灰对 Cd 污染土的修复效果,结果表明,当 Cd 添加比例相同时,添加石灰能降低剑麻对 Cd 的迁移量^[16]。

在土壤中容易迁移,毒性也增强。当土壤 pH 值高时,Cd 在土壤中活性低,不易迁移^[18]。高彬等研究表明,随着土壤 pH 值增加,芹菜与莴苣各部位的 Cd 含量随之降低^[19]。因此,在红壤中添加灰渣能有效提高土壤 pH 值,对降低土壤中 Cd 有效性具有重要意义。

2.4 根际土 Cd 含量变化

由图 5 可知,添加 0、3%、5%、10% 灰渣处理后测得土壤根际土全 Cd 含量分别为 0.36、0.39、0.40、0.67 mg/kg,添加 0 灰渣、3% 灰渣与 5% 灰渣处理间土壤根际土 Cd 含量差异不显著。当灰渣添加量从 0 增加到 5%,土壤根际土 Cd 含量几乎没变化;当灰渣添加量为 10% 时,根际土 Cd 含量才有明显增加,与对照相比,增加了 86%,说明灰渣在一定添加范围内,灰渣自身含有的 Cd 对根际土中 Cd 含量影响较小,当灰渣添加量高时,虽然增加了根际土 Cd 的含量,但仍然降低了

白菜对 Cd 的吸收量,表明生物质灰渣对钝化污染土中重金属和降低 Cd 生物有效性具有重要作用。

2.5 非根际土有效态 Cd 含量变化

由图 6 可知,当土壤中灰渣添加量分别为 0、3%、5%、10% 时,土壤非根际土有效态 Cd 含量分别为 0.14、0.04、0.02 mg/kg,低于 ICP 检出限(1 $\mu\text{g/kg}$),各处理之间差异显著,与对照相比,添加灰渣 3%、5%、10% 时,土壤非根际土有效态 Cd 含量分别降低了 71.4%、85.7%、99.2%。添加 3% 灰渣和 10% 灰渣处理下,土壤非根际土有效态 Cd 含量差异显著。当灰渣添加量由 3% 增加到 10% 时,土壤非根际土有效态 Cd 含量降低了 97.5%,当灰渣添加量为 10% 时,非根际土有效态 Cd 含量达到最低,低于 ICP 检出限,说明随着灰渣添加量的增加,土壤中有有效态 Cd 含量显著降低。灰渣添加

量为 10% 处理,土壤有效态 Cd 含量比不加灰渣处理降低了 99.2%,表明虽然灰渣自身含有一定量的 Cd,但添加 10% 灰渣还是可以降低土壤有效态 Cd 含量,并减少植物对土壤中 Cd 的直接吸收。因此,在土壤中加入生物质灰渣,土壤 pH 值升高,土壤非根际土有效态 Cd 含量明显减少,说明生物质灰渣对土壤重金属有钝化作用。宗良纲等研究表明,同一改良剂施用在 pH 值 < 5.2 的酸性红壤中,土壤有效态 Cd 的降低效果最明显,但仍然高于 pH 值 > 8.2 的潮黄土中的有效态 Cd 含量^[20]。Baker 等研究表明,随着土壤中有有效态 Cd 增加,植物体内 Cd 含量也随之增加,两者呈极显著相关。因此,白菜地上部、地下部吸收 Cd 的含量随着灰渣添加量的增加而减少,与生物质灰渣降低了土壤有效态 Cd 含量有关。

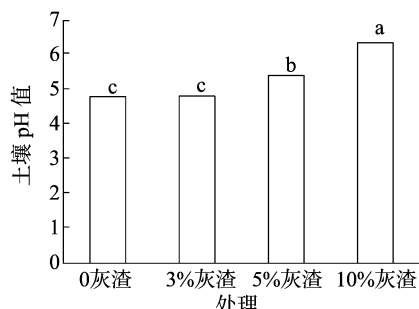


图4 土壤中添加不同比例灰渣对土壤 pH 值的影响

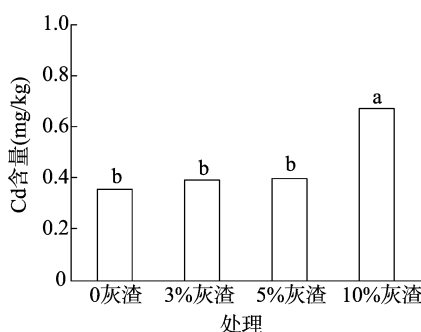


图5 土壤根际土 Cd 含量变化

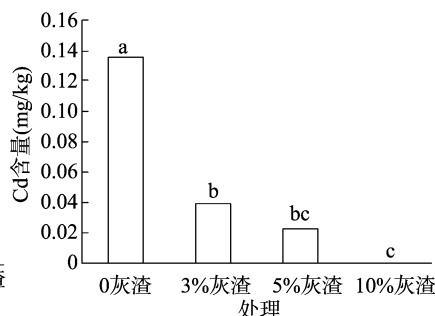


图6 土壤非根际土有效态 Cd 含量变化

3 结论

本研究结果表明,模拟 Cd 污染红壤中,添加灰渣量越多,土壤 pH 值增加越明显。当灰渣添加比例为 10% 时,土壤 pH 值达到最大,土壤趋于中性。土壤非根际土有效态 Cd 含量随着灰渣添加量增加而降低,当灰渣添加量达 10% 时,有效态 Cd 含量低于仪器检出限,且与对照相比,各处理均显著差异。添加的灰渣虽然自身含有一定量的 Cd,但是对根际土 Cd 含量影响较小,且对白菜吸收土壤中的 Cd 有明显的抑制作用,随着灰渣添加量的增加,植物地上部与地下部吸收的 Cd 含量明显降低。因此,在土壤中添加灰渣能促进白菜生长发育,有效降低土壤中 Cd 的活性,抑制土壤中 Cd 向植物体内迁移,对重金属污染土壤的修复具有重要意义。

参考文献:

- [1] 杨伯杰,林创发. 土壤重金属污染现状及其修复技术方法概述[J]. 能源与环境,2015(1):60-61.
- [2] 董萌,赵运林,周小梅,等. 土壤镉污染现状与重金属修复方法研究[J]. 绿色科技,2012(4):212-215.
- [3] 陈怀满. 土壤对镉的吸附与解吸——I. 土壤组份对镉的吸附和解吸的影响[J]. 土壤学报,1988,25(1):66-74.
- [4] 袁祖丽,马新明,韩锦峰,等. 镉污染对烟草叶片超微结构及部分元素含量的影响[J]. 生态学报,2005,25(11):2919-2927.
- [5] 刘海亮,崔世民,李强,等. 镉对作物种子萌发、幼苗生长及氧化酶同工酶的影响[J]. 环境科学,1991,12(6):29-31,7.
- [6] Moral R, Gomez I, Pedreno J N, et al. Effects of cadmium on nutrient distribution, yield, and growth of tomato grown in soilless culture[J]. Journal of Plant Nutrition, 1994, 17(6):953-962.

- [7] 洪仁远,杨广笑,刘东华,等. 镉对小麦幼苗的生长和生理生化反应的影响[J]. 华北农学报,1991,6(3):70-75.
- [8] 丁华毅. 生物炭的环境吸附行为及在土壤重金属镉污染治理中的应用[D]. 厦门:厦门大学,2014.
- [9] 李晶,杨海征,胡红青,等. 生物灰渣对小白菜生长的影响及对酸性土壤的改良[J]. 湖北农业科学,2010,49(4):822-825.
- [10] 袁金华,徐仁扣. 生物质炭的性质及其对土壤环境功能影响的研究进展[J]. 生态环境学报,2011,20(4):779-785.
- [11] 陈晨. 添加秸秆对污染土壤重金属活度的影响及对水体重金属的吸附效应[D]. 扬州:扬州大学,2008.
- [12] 陈龙,王敏,王硕,等. 生物质灰渣与化肥配施对土壤性质及油菜生长的影响[J]. 华中农业大学学报,2011,30(6):727-733.
- [13] 张小凯,何丽芝,陆扣萍,等. 生物炭修复重金属及有机污染物污染土壤的研究进展[J]. 土壤,2013,45(6):970-977.
- [14] 赵晓军,陆泗进,许人骥,等. 土壤重金属镉标准值差异比较研究与建议[J]. 环境科学,2014,35(4):1491-1497.
- [15] 段敏,马往校,李岚. 17 种蔬菜中铅镉元素含量分析研究[J]. 干旱区资源与环境,1999,13(4):74-80.
- [16] 李福燕,李士平,李许明,等. 剑麻与石灰对镉污染土壤修复研究[J]. 广东农业科学,2007(9):46-48.
- [17] 熊礼明. 石灰对土壤吸附镉行为及有效性的影响[J]. 环境科学研究,1994(1):35-38.
- [18] 张浩,王济,郝萌萌,等. 土壤-植物系统中镉的研究进展[J]. 安徽农业科学,2009,37(7):3210-3215.
- [19] 高彬,王海燕. 土壤 pH 值对植物吸收 Cd、Zn 的影响研究[J]. 广西林业科学,2003,32(2):66-69.
- [20] 宗良纲,张丽娜,孙静克,等. 3 种改良剂对不同土壤-水稻系统中 Cd 行为的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(4):834-840.