

陈 森, 张子谦, 李 婧, 等. 土壤镉污染下生物炭对白菜生长及植株镉浓度的影响[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(5): 129–131.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.05.034

土壤镉污染下生物炭对白菜生长及植株镉浓度的影响

陈 森, 张子谦, 李 婧, 周艳文, 高小杰, 张 权

(南京市环境保护科学研究院, 江苏南京 210013)

摘要:以白菜为试验材料, 研究土壤镉污染下分别向土壤中添加 0%、0.5%、1.0%、2.0%、5.0% 生物炭对白菜植株生长及镉富集情况的影响。结果表明, 添加 0.5% 的生物炭可显著提高白菜的株高和鲜质量 ($P < 0.05$), 但随生物炭添加量的增加, 白菜株高并没有继续显著增加, 白菜鲜质量却出现下降趋势, 添加过量的生物炭对白菜生长产生抑制作用; 随生物炭添加量的增加, 白菜植株镉含量有显著下降 ($P < 0.05$), 生物炭的添加可有效降低白菜地上部的镉含量; 白菜植株中, 叶片镉含量显著高于叶柄, 在土壤镉污染下白菜叶片可能是镉的主要储存器官。

关键词:白菜; 镉; 生物炭; 株高; 鲜质量; pH 值; 土壤

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)05-0129-03

镉作为一种活泼的重金属元素, 可经食物链在人体中富集, 对人体有很高的毒性和致病性, 且难以通过新陈代谢排出^[1]。近年来, 我国工业化进程加快, 不合理排放的工业固体废物、废水、废气成为土壤中镉元素的重要来源, 其中, 农田镉污染则大多由污水灌溉导致。据统计, 20 世纪 90 年代初, 我国污水灌溉的农田达 $1.4 \times 10^6 \text{ hm}^2$, 镉污染耕地达 $1.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$, 受污染土壤镉含量高达 $2.5 \sim 23.0 \text{ mg/kg}$ ^[2], 沈阳张土灌区等典型区域土壤受污染面积达 13%, 上海蚂蚁浜地区受污染的土壤镉含量最高值达 130 mg/kg ^[3]。农田土壤镉污染必然会导致农作物受到污染, 进而导致镉在人体中的富集, 引发人群健康风险, 如江西省某县因镉污染形成的“镉米”区、日本神通川流域的“痛痛病”事件等。

目前, 国内外普遍采用的土壤镉污染治理方法主要有物理、化学和生物 3 种方法, 其中, 化学方法主要采用土壤改良剂对土壤中的重金属进行固化稳定化, 而采用的土壤改良剂有无机物、有机物、无机和有机混合物等 3 种, 有机物土壤改良剂由于会逐渐被土壤微生物分解, 并可能会将富集或固定的重金属再次释放而存在一定风险。近年来, 无机物生物炭在农田土壤镉污染修复中成为一种新兴的土壤添加剂, 并取得不错的效果^[4-8]。生物炭比表面积大, 吸附能力强, 可以由农业废弃物加工制成, 不仅可为重金属污染土壤治理提供充足的原材料, 而且更是一种处理秸秆等农业废弃物的方法, 一举两得, 互利双赢。

有研究显示, 不同原料、不同工艺制成的生物炭对重金属污染土壤的修复效果不尽相同^[9], 针对土壤不同重金属污染情况而开发不同的生物炭, 将为重金属污染土壤的治理提供

一个更加有效的思路。本试验研究一种秸秆生物炭对土壤镉污染下白菜生长及植株镉富集情况的影响, 以期受镉污染的土壤治理提供技术理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

鉴于小叶青白菜在夏、冬季对镉元素有较高的富集能力^[10], 故本试验采用小叶青白菜作为供试材料。试验土壤采集于某地农田中, 采样深度为 0~20 cm, 土壤有机质含量为 14.54 g/kg , 速效钾、缓效钾含量分别为 0.269 、 0.707 g/kg , 铵态氮、硝态氮含量分别为 17.68 、 $78.50 \text{ }\mu\text{g/g}$, 有效磷含量为 0.141 g/kg , 有效铁含量为 $98.63 \text{ }\mu\text{g/g}$, 生物有效态镉、总镉含量分别为 0.169 、 $0.465 \text{ }\mu\text{g/g}$, pH 值为 6.96; 将采集的土壤经风干粉碎, 过筛, 备用。秸秆生物炭, 由中国科学院南京土壤研究所提供, 研磨过 1 mm 筛, 备用。

1.2 试验设计

试验于 2015 年 8 月 1 日至 9 月 14 日在南京农业大学进行, 分别向含镉土壤中添加 0% (对照, CK)、0.5%、1.0%、2.0%、5.0% 的生物炭, 混合均匀, 填装于口径 30 cm、高 30 cm 的花盆中, 每盆装土 2 kg; 在土壤生物有效态镉含量的基础上, 添加硝酸镉溶液调节土壤总镉含量至 1.5 mg/kg ; 每花盆播种小叶青白菜种子 10~20 粒, 待生长至 4 叶 1 心时间苗, 以保证每盆有 3 株发育正常的幼苗; 白菜生长周期为 46 d, 期间每日早晚以清水浇透土壤, 每周星期一以 1/4 Hogland 营养液代替清水进行浇灌。为模拟大田环境下植物的生长情况, 试验花盆都露天摆放, 手工除虫, 未进行避雨、遮阴等处理。

1.3 测定内容与方法

量取花盆土壤表面到白菜植株最高点的高度, 即为株高。采集白菜地上部, 称取鲜质量; 用去离子水洗净, 分离白菜的叶片、叶柄, 分别擦干; 装入干燥纸袋中置于烘箱内 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 烘干至恒质量, 称取白菜地上部干质量; 经体积比为 4:1 的 HNO_3 、 HClO_4 消解, 石墨炉原子吸收法测定小白菜的镉含量^[11]。

收稿日期: 2017-06-27

基金项目: 南京市环保局 2013 年度环保科研项目 (编号: 201305)。

作者简介: 陈 森 (1981—), 男, 江苏如皋人, 硕士, 高级工程师, 主要从事固废、土壤、废水污染防治技术研究。E-mail: njchensen@163.com。

通信作者: 李 婧 (1984—), 女, 江苏涟水人, 硕士, 工程师, 主要从事农田、工业土壤污染修复及固体废物处置技术的研发。Tel: (025) 83704184; E-mail: 18951651679@163.com。

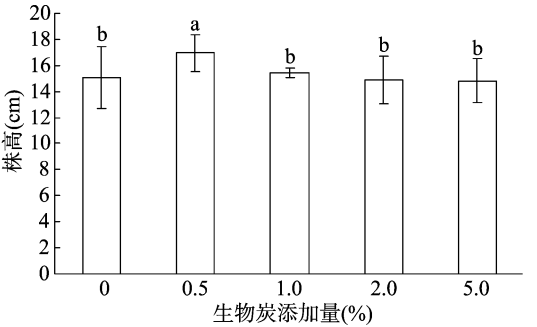
1.4 数据统计

采用 SPSS 13.0、Excel 2016 软件对试验数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 添加生物炭对白菜生长的影响

2.1.1 株高 由图 1 可见,不添加生物炭的土壤(CK)种出的白菜株高为 15.09 cm;生物炭添加量为 0.5% 的土壤种出的白菜株高为 16.94 cm,较对照增幅达到 12.3%,显著高于其他处理($P < 0.05$);生物炭添加量分别为 1.0%、2.0%、5.0% 的土壤种出的白菜株高分别为 15.44、14.92、14.83 cm,较对照增幅分别为 2.3%、-1.1%、-1.7%,相互间差异不显著($P > 0.05$),生物炭添加量过高,白菜生长受到一定的抑制作用。



柱形图上的不同小写字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。
图2、图3同

图1 添加生物炭对白菜株高的影响

2.1.2 鲜质量 由图 2 可见,不添加生物炭的土壤(CK)种出的白菜地上部鲜质量为 17.19 g;生物炭添加量为 0.5% 的土壤种出的白菜地上部鲜质量为 23.34 g,较对照增幅达到 35.8%,显著高于其他处理($P < 0.05$);随生物炭添加量的增加,白菜地上部鲜质量显著下降($P < 0.05$);生物炭添加量分别为 1.0%、2.0%、5.0% 的土壤种出的白菜地上部鲜质量分别为 19.91、15.75、15.30 g,较对照增幅分别为 15.8%、-8.4%、-11.0%,生物炭添加量过高,白菜生长受到一定的抑制作用,与株高性状相吻合。

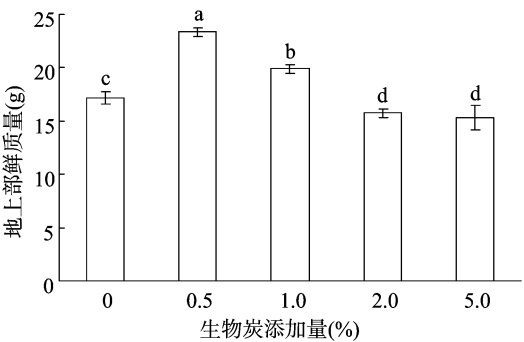


图2 添加生物炭对白菜地上部鲜质量的影响

2.2 添加生物炭对白菜中镉含量的影响

2.2.1 全镉含量 由图 3 可见,不添加生物炭的土壤(CK)种出的白菜植株地上部镉含量相对最高,为 0.281 mg/kg;随生物炭添加量的增加,白菜植株地上部的镉含量呈显著下降趋势($P < 0.05$);生物炭添加量分别为 0.5%、1.0%、2.0%、

5.0% 的土壤种出的白菜地上部镉含量分别为 0.266、0.216、0.167、0.145 mg/kg,较对照分别下降 5.3%、23.1%、40.6%、48.4%,说明添加生物炭可明显降低白菜地上部镉的含量。

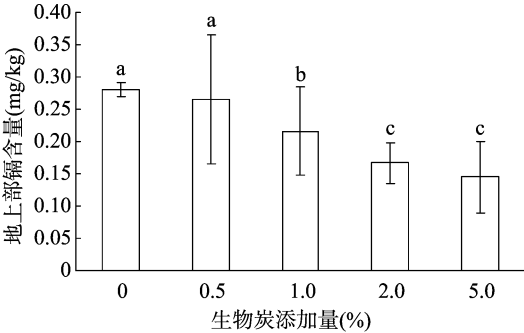


图3 添加生物炭对白菜地上部镉含量的影响

2.2.2 镉在白菜不同部位的分布情况 由图 4 可见,不添加生物炭时,白菜叶片、叶柄的平均镉含量分别为 0.437、0.241 mg/kg,叶片中的全镉含量明显高于叶柄,说明叶片对镉的富集能力强于叶柄。

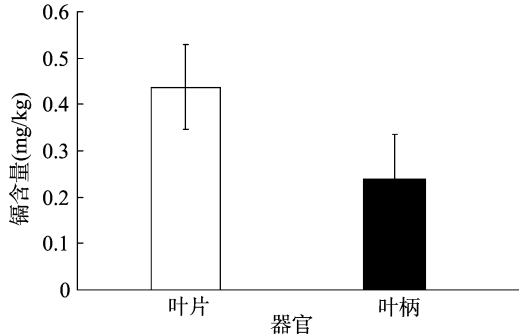


图4 不添加生物炭时白菜叶片、叶柄中的镉含量

2.3 添加生物炭对土壤的影响

2.3.1 pH 值 由图 5 可见,不添加生物炭时,土壤的 pH 值为 7.33,而当生物炭添加量分别为 0.5%、1.0%、2.0%、5.0% 时,土壤的 pH 值分别为 7.39、7.41、7.43、7.45,说明生物炭的添加可明显提高土壤的 pH 值。

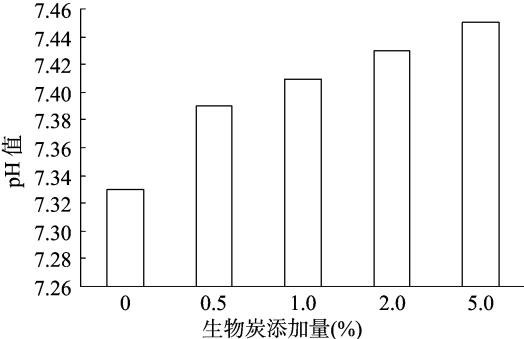


图5 添加生物炭对土壤 pH 值的影响

2.3.2 土壤中的有效镉含量 由图 6 可见,不添加生物炭(CK)时,土壤中的有效态镉含量为 0.99 mg/kg,当生物炭添加量分别为 0.5%、1.0%、2.0%、5.0% 时,土壤中的有效态镉含量分别为 0.78、0.70、0.59、0.43 mg/kg,与对照相比,降幅分别为 21.21%、29.29%、40.40%、56.57%,说明添加生物炭可有效降低土壤中镉的生物有效性,综合考虑土壤 pH 值,可能是

因为处于弱碱性的生物炭可增加土壤中氢氧根离子的含量,进而使镉离子沉淀,使镉离子易于转变成碳酸盐结合态等更不易被吸收的形态,从而使土壤中的有效态镉含量下降。

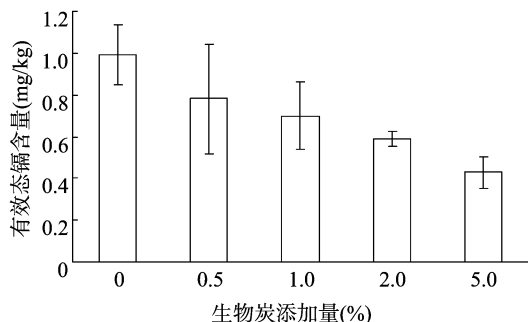


图6 添加生物炭对土壤有效镉含量的影响

3 结论与讨论

添加 0.5% 生物炭的含镉土壤种植的白菜,其株高和鲜质量有显著提高($P < 0.05$),且随生物炭添加量的增加,白菜株高略有下降,但相互间差异不显著($P > 0.05$),而鲜质量则呈显著的下降趋势($P < 0.05$),说明土壤中适量的添加生物炭可以一定程度提高白菜的产量,而生物炭施用过量可能影响土壤肥力,甚至影响作物的正常生长,这可能是由于生物炭的添加提高了土壤的电解质浓度,使白菜产生一定程度的失水,从而导致白菜的鲜质量下降,也有可能因为盆栽不像真正的大田环境,土壤中的电解质交换不够。有研究表明,土壤中 0~1 mg/kg 的镉含量对白菜生物量的增加有促进作用^[12]。生物炭本身是一种良好的土壤理化性质改良剂,可提高土壤比表面积和孔隙度,提高土壤中各种离子的交换能力与 pH 值,令土壤的保水、保肥性能得到提高,有助于涵养水土,提高土壤微生物活性,促进土壤中的养分循环等^[13-16]。

随生物炭添加量的增加,白菜地上部镉含量呈显著下降趋势($P < 0.05$),说明生物炭的添加可有效降低白菜地上部的镉含量。土壤中的镉主要存在形态有水溶态、碳酸盐结合态、铁锰氧化物结合态、有机硫化合物结合态、残渣态,其中水溶态镉与碳酸盐结合态镉占总镉含量的 70% 左右^[12]。本试验中使用硝酸镉溶液将土壤中的总镉含量由背景值 0.465 $\mu\text{g/g}$ 提高到 1.5 $\mu\text{g/g}$,故在生物炭施用前水溶态镉应为土壤中镉的主要存在形式。生物炭的施用,可能会促使水溶态镉向碳酸盐结合态等其他形态镉转化,从而降低镉在土壤中的生物有效性,同时,生物炭多孔结构提供的巨大比表面积及强大的吸附作用可吸附与沉淀土壤中的有效态镉离子^[13-14]。

白菜叶片中的镉含量显著高于叶柄,说明白菜叶片对镉的存储与富集作用高于叶柄。前人研究结果表明,农作物不同部位对镉的富集能力不同,同时,农作物中可能存在镉的主要存储部位,如叶鞘是水稻最容易富集镉的部位,花生籽粒则对镉具有相对较高的富集能力,是花生植株的“镉存储”部位^[17-19]。

pH 值是影响土壤镉生物有效性的一个重要因素,弱碱性的生物炭可使土壤中 OH^- 的含量得到提高,进而提高土壤的 pH 值,而 pH 值提高可使土壤颗粒表面所带的负电荷得到有效增加,使其对镉离子的吸附作用增强。同时,土壤中 OH^-

离子浓度的提高,使 Cd^{2+} 更容易形成难溶的氢氧化镉,进一步还可以通过络合反应等使镉离子转变为碳酸盐结合态等更加不易被植物体吸收的存在形态,从而使可交换态镉的含量降低,进而降低农作物对其的吸收固定作用^[20-21]。

参考文献:

- [1] Moreno - Caselles J, Moral R, Perez - Espinosa A, et al. Cadmium accumulation and distribution in cucumber plant[J]. Journal of Plant Nutrition, 2000, 23(2): 243 - 250.
- [2] 王凯荣, 张格丽. 农田土壤镉污染及其治理研究进展[J]. 作物研究, 2006, 20(4): 359 - 364.
- [3] 王凯荣. 我国农田镉污染现状及其治理利用对策[J]. 农业环境保护, 1997, 16(6): 274 - 278.
- [4] 赵雪梅, 谢 华, 吴开庆, 等. 酸与 Cd 污染农田的植物修复及健康风险评价[J]. 农业环境科学学报, 2015, 34(4): 702 - 708.
- [5] 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.
- [6] 丁凌云, 蓝崇钰, 林建平, 等. 不同改良剂对重金属污染农田水稻产量和重金属吸收的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1204 - 1208.
- [7] Fan J L, Hu Z Y, Ziadi N, et al. Excessive sulfur supply reduces cadmium accumulation in brown rice (*Oryza sativa* L.) [J]. Environmental Pollution, 2010, 158(2): 409 - 415.
- [8] 张兴梅, 杨清伟, 李 扬. 土壤镉污染现状级修复研究进展[J]. 河北农业科学, 2010, 14(3): 79 - 81.
- [9] 陈温福, 张伟明, 孟 军, 等. 生物炭应用技术研究[J]. 中国工程科学, 2011, 13(2): 83 - 89.
- [10] 陈 瑛, 李廷强, 杨肖娥, 等. 不同品种小白菜对镉的吸收积累差异[J]. 应用生态学报, 2009, 20(3): 736 - 740.
- [11] 王发园, 王 玲, 王旭刚, 等. 钝化剂在烟草植物修复铅镉污染土壤中的作用[J]. 环境工程学报, 2014, 8(2): 789 - 794.
- [12] 郭利敏, 艾绍英, 唐明灯, 等. 不同改良剂对镉污染土壤中小白菜吸收镉影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(3): 654 - 658.
- [13] Liang B, Lehmann J, Solomon D, et al. Black carbon increases cation exchange capacity in soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 2006, 70(5): 1719 - 1730.
- [14] Laird D A, Fleming P, Davis D D, et al. Impact of biochar amendments on the quality of a typical midwestern agricultural soil [J]. Geoderma, 2010, 158(3/4): 443 - 449.
- [15] Fowles M. Black carbon sequestration as an alternative to bioenergy [J]. Biomass & Bioenergy, 2007, 31(6): 426 - 432.
- [16] Chan K Y, Van Zwieten L, Meszaros I, et al. Using poultry litter biochars as soil amendments [J]. Australian Journal of Soil Research, 2008, 46(5): 437 - 444.
- [17] 王凯荣, 曲 伟, 刘文龙, 等. 镉对花生苗期的毒害效应及其品种间差异[J]. 生态环境学报, 2010, 19(7): 1653 - 1658.
- [18] 王凯荣, 张 磊. 花生镉污染研究进展[J]. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2757 - 2762.
- [19] 王姗姗, 王颜红, 张 红. 镉胁迫对花生籽实品质的影响及响应机制[J]. 生态学杂志, 2007, 26(11): 1761 - 1765.
- [20] 侯艳伟, 曾月芬, 安增莉. 生物炭施用对污染红壤中重金属化学形态的影响[J]. 内蒙古大学学报(自然科学版), 2011, 42(4): 460 - 466.
- [21] 王 典, 张 祥, 姜存仓, 等. 生物炭改良土壤及对作物效应研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(8): 963 - 967.