

· 创新与探索 ·

硅肥对农田镉轻度污染水稻修复效果的研究

杨庆波¹, 鲍广灵¹, 张宁¹, 马友华^{1*}, 朱慧可², 李丁²

(1. 安徽农业大学资源与环境学院, 安徽 合肥 230036;

2. 芜湖格丰环保科技研究院有限公司, 安徽 芜湖 241080)

摘要:为探讨硅肥对农田土壤 Cd 污染的修复效果, 在田间试验条件下, 研究了不同硅肥处理对 Cd 轻度污染农田水稻的修复效果。结果表明: 不同硅肥处理可以降低 Cd 轻度污染农田中水稻糙米 Cd 含量, 降幅为 2.02% ~ 16.00%, 提高土壤 pH 值 0.36 ~ 0.45, 降低土壤有效态 Cd 含量, 降幅为 34.88% ~ 45.47%, 水稻产量增加 3.63% ~ 6.23%, 基施与叶面喷施联合施用硅肥对农田土壤 Cd 污染的修复效果最好。

关键词: 硅肥; Cd 污染修复; 农田土壤; 水稻

中图分类号: X53; S511

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2021)01-0054-03

Effect of Silicon Fertilizer on Remediation of Rice Farmland with Light Cadmium Pollution

YANG Qing-bo¹, BAO Guang-ling¹, ZHANG Ning¹, MA You-hua^{1*}, ZHU Hui-ke², LI Ding²

(1. School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China;

2. Wuhu Gefeng Environmental Protection Technology Research Institute Co. LTD., Wuhu, Anhui 241080, China)

Abstract: In order to explore the remediation effect of silicon fertilizer on Cd polluted farmland, a field experiment was conducted with different silicon fertilizer treatments on Cd slightly polluted paddy field. The results showed that different silicon fertilizer treatments could reduce Cd content in brown rice by 2.02% ~ 16.00%, the pH value of soil increased by 0.36 ~ 0.45, the available Cd content decreased by 34.88% ~ 45.47%, and the yield of rice increased by 3.63% ~ 6.23%. Applying silicon fertilizers in combination of basal application and foliar spraying had the best remediation effect on Cd polluted farmland.

Key words: Silicon fertilizer; Cd pollution remediation; Paddy soil; Rice

重金属 Cd 超标对我国的耕地土壤造成了严重影响, 并给经济发展带来了损失^[1-4]。在我国, 有些水稻种植地区土壤 Cd 含量很高, 对粮食作物食用安全产生了重大影响^[5]。种植水稻 Cd 低积累品种和施用土壤调理剂是修复“镉大米”土壤污染的主要措施^[6]。研究发现, 在土壤中添加适量硅肥可以有效提高水稻产量^[7-11]。硅肥作为一种调理剂, 对修复水稻土重金属 Cd 污染及降低有效态 Cd 含量具有明显效果^[12-15]。过去研究多为盆栽试验, 或在不同气候条件及土壤类型上开展田间试验, 今通过在铜陵市 Cd 轻度污染区域进行田间试验, 研究硅肥对水稻农田土壤 Cd 污染的修复效

果, 为农田 Cd 污染修复提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

铜陵有“中国古铜都, 当代铜基地”之称, 矿区

收稿日期: 2019-11-27; 修订日期: 2020-11-18

基金项目: 安徽省科技重大攻关“农田重金属污染高效纳米修复材料的开发与应用”基金资助项目(No. 17030701053); 芜湖市科技重大专项“基于秸秆的土壤重金属修复材料开发与应用”基金资助项目(No. 2017zd10)

作者简介: 杨庆波(1994—), 男, 安徽滁州人, 在读研究生, 研究方向为土壤重金属污染与修复。

* 通信作者: 马友华 E-mail: yhma@ahau.edu.cn

土壤 Cd 污染问题比较突出。研究稻田位于铜陵市义安区西联乡,土壤类型为水稻土,亚类为潜育型水稻土,成土母质为砂质洪冲沉积物。土壤中 Cd 和 Cu 的质量比分别为 0.309 mg/kg 和 48.00 mg/kg,基本理化性质如下:pH 值 5.69,有效态 Cd、有机质、有效磷、速效钾、碱解氮质量比分别为 0.12 mg/kg、22.66 g/kg、26.37 mg/kg、158.75 mg/kg、78.28 mg/kg,土壤 Cd 质量比超出了筛选值范围。

1.2 试验处理

试验样品为镇稻 11 品种^[16]。试验在 Cd 轻度污染区域进行,分为不同的处理类型:①不施硅肥(空白)(CK);②基施硅肥(JS),每亩施硅肥 30 kg(有效硅占 30%);③叶面喷施硅肥(YMPS),每亩喷洒叶面硅肥 100 mL,喷洒 3 次,时间分别为水稻移苗到田中 7 d 后、40 d 后和 75 d 后;④基施与叶面喷施联合施用硅肥(JS + YMPS),每亩施硅肥 30 kg(有效硅占 30%)和喷洒叶面硅肥 100 mL,方法同上。

小区面积为 20 m²,区组随机分布,3 次重复。每个小区用塑料薄膜覆盖的埂分开,按照当地高产栽培技术施肥量施肥,施用复合肥(17-17-17)450 kg/hm²作为基肥,移栽 20 d 后追施 225 kg/hm²的尿素,硅肥材料与基肥先施入各小区再混匀。每个处理使用清水灌溉,截断污染源,做好灌水和排水田间管理。水稻栽培方式为移栽,栽培密度为 13.33 cm × 30 cm,即行距 30 cm,株距 13.33 cm。2017 年 5 月 30 日硅肥施入小区,6 月 8 日水稻移栽,10 月 15 日水稻收获,各小区收获后单独测量实际产量。液体硅肥由滁州给力肥料有限公司提供,硅有效成分 ≥ 100 g/L;固体硅肥由安徽茂施新型肥料有限公司提供,SiO₂ 占比 ≥ 29%。

1.3 样品采集与测试方法

将成熟期水稻籽粒样和该时期土壤混合样作为试验采集的样品。土壤混合样品采集完放置于阴凉通风处自然风干,使用尼龙磨土盘分别过 10 目、60 目、100 目筛,用于测定土壤理化性质。水稻植株样品采集完立即清洗(先后用自来水和超纯水各清洗一遍),之后放置于烘箱内于 80 °C 杀青,最后将籽粒研磨,用于测定 Cd 含量。

土壤 pH 值和土壤全量 Cd(王水-过氧化氢消煮-无焰原子吸收光谱法)的测试参照文献[17];水稻籽粒 Cd 和土壤有效态 Cd 分别采用石墨炉和火焰原子吸收法测定,仪器为 ZEE nit 700P

型原子吸收光谱仪。在测试过程中使用国家标准物质(土壤标样 GBW 07461 和植物标样 GBW 10045)进行质量控制,标样测定结果均在允许误差范围内。

1.4 数据处理

试验获得的基础数据使用 Microsoft Excel 2019 处理,采用 SPSS 19 进行显著性分析。

2 结果与分析

2.1 水稻籽粒 Cd 在硅肥处理下的影响

试验表明,不施硅肥、JS 处理、YMPS 处理与 JS + YMPS 处理,水稻籽粒 Cd 的质量比存在显著性差异($P < 0.05$)。添加硅肥后,水稻籽粒中 Cd 的质量比均有所降低,平均降幅为 7.73%,其中,JS + YMPS 处理降幅最大(16.00%),YMPS 处理次之(5.18%),JS 处理降幅最小(2.02%)。

2.2 水稻产量在硅肥处理下的影响

试验表明,不施硅肥与 JS 处理、YMPS 处理、JS + YMPS 处理,水稻产量无显著性差异($P < 0.05$)。不施硅肥水稻产量最低,为(8 300 ± 954) kg/hm²,JS、YMPS 和 JS + YMPS 处理后产量分别增加至(8 701 ± 611) kg/hm²、(8 601 ± 936) kg/hm² 和(8 817 ± 142) kg/hm²,增幅分别为 4.83%、3.63% 和 6.23%,平均增幅为 4.90%。由此可见,JS + YMPS 处理对水稻产量影响最大,YMPS 处理影响最小。

2.3 土壤 pH 值在硅肥处理下的影响

试验表明,不施硅肥与 JS 处理、YMPS 处理、JS + YMPS 处理,土壤 pH 值存在显著性差异,各硅肥处理间无明显差异($P < 0.05$)。硅肥处理后,土壤 pH 值得到一定的提升,平均增加 0.39,其中,JS + YMPS 处理增加最多(0.45),YMPS 处理增加最少(0.36)。

2.4 土壤有效态 Cd 在硅肥处理下的影响

试验表明,不施硅肥与 JS 处理、YMPS 处理、JS + YMPS 处理,土壤有效态 Cd 的质量比存在显著性差异,各硅肥处理间无明显差异($P < 0.05$)。添加硅肥后,土壤有效态 Cd 的质量比均有所降低,平均降幅为 40.96%,其中,JS + YMPS 处理降幅最大(45.47%),YMPS 处理次之(42.53%),JS 处理降幅最小(34.88%)。

2.5 相关性分析

对水稻籽粒 Cd、水稻产量、土壤 pH 值、土壤有

效态 Cd 的相关性分析表明:土壤 pH 值与土壤有效态 Cd 存在相关性(相关系数 -0.787,显著性水平 0.01),与水稻籽粒 Cd 相关性不明显;水稻籽粒 Cd 与水稻产量、土壤有效态 Cd 相关性不显著;水稻产量与土壤 pH 值相关性不显著,与土壤有效态 Cd 呈不显著负相关(相关系数 -0.336)。

3 讨论

王世华等^[18]研究发现,通过添加叶面硅肥的方式可以降低水稻籽粒 Cd 含量。代邹^[19]分别在水稻田中添加基施硅肥和在叶面喷施硅肥,发现两种施硅方式均可降低水稻籽粒 Cd 含量。本试验在 Cd 轻度污染地区施用硅肥,有效降低了水稻籽粒 Cd 含量,与张昊^[20]通过田间试验添加硅肥的试验结论一致。在土壤中添加硅肥,可以增加植物地上部分和根系对 Cd 的阻碍作用,调节植物的生理能力,进而降低水稻籽粒 Cd 含量^[21]。

试验发现,在 Cd 轻度污染区域采用不同的硅肥处理,对水稻增产有一定作用,其中,JS + YMPS 联合处理对水稻的增产效果最明显。水稻是一种典型的硅富集植物,添加硅肥可以增加其抗倒伏性,从而提高产量^[22]。本试验发现,JS 处理提高水稻产量的效果优于 YMPS 处理,与任海等^[23]的试验结论不同。分析原因,可能是由于两个试验的气候条件与土壤类型不同,本试验区域属于北亚热带季风过渡区,土壤类型为潜育型水稻土,而后者试验区域属于暖温带大陆性半湿润季风气候,土壤类型为滨海盐渍型水稻土。

研究表明,施用硅肥可以显著降低土壤 Cd 含量^[24]。本试验发现,与不施硅肥相比,施用硅肥可以明显降低土壤有效态 Cd 含量,最大降幅可达 45.47%,与郭俊霞等^[25]的研究结论一致。土壤 pH 值与土壤有效态 Cd 呈极明显差异($P < 0.01$),土壤 pH 值增加或降低,土壤表面负电荷对重金属的吸附作用也会相应增强或减弱。吴文成等^[26]研究发现,添加硅肥后土壤 pH 值得到不同程度的提升,而土壤 Cd 含量明显降低。本试验发现,在不同硅肥处理下土壤 pH 值均升高,这可能是土壤重金属含量降低的原因之一。

4 结论

施用适量硅肥,对 Cd 轻度污染农田水稻具有一定的增产效果,其中,JS + YMPS 联合施用硅肥

对水稻的增产效果最明显。施用硅肥降低了土壤有效态 Cd 和水稻籽粒 Cd 含量,对修复农田 Cd 轻度污染具有一定效果。综合本试验中硅肥对水稻糙米 Cd 含量、水稻产量、土壤 pH 值、土壤有效态 Cd 含量的影响分析结果,轻度 Cd 污染农田土壤施用硅肥可以作为一种修复模式推广应用。

[参考文献]

- [1] 陈怀满. 土壤-植物系统中的重金属污染[M]. 北京:科学出版社,1996.
- [2] 吴昌华,徐昌旭,池泽新. 江西省耕地重金属污染防治问题及治理策略[J]. 环境监测管理与技术,2019,31(4):1-3.
- [3] 师荣光,郑向群,龚琼,等. 农产品产地土壤重金属外源污染来源解析及防控策略研究[J]. 环境监测管理与技术,2017,29(4):9-13.
- [4] 徐玉霞,汪庆华,彭囿凯,等. 煤矿周边土壤重金属影响评价及来源分析[J]. 环境监测管理与技术,2018,30(3):32-36.
- [5] 刘发欣,高怀友,伍钧. 镉的食物链迁移及其污染防治对策研究[J]. 农业环境科学学报,2006,25(S2):805-809.
- [6] 王谟东. 水稻品种及典型土壤改良措施对稻米吸收镉的影响[J]. 粮食科技与经济,2019,44(5):66-67.
- [7] 田艳洪,刘玉娥,任毅,等. 硅氮肥配施生物菌粉对水稻生长及产量的影响[J]. 现代化农业,2019(4):19-21.
- [8] 车红伟,高伟江. 硅钙肥在水稻上的应用效果[J]. 现代化农业,2019(3):16-17.
- [9] 贺礼,陈跃进,BOCHARNIKOVA E,等. 钢渣硅肥对水稻产量及稻田重金属污染治理作用研究进展[J]. 现代农业科技,2018(9):232-233.
- [10] CUONG T X, ULLAH H, DATTA A, et al. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of vietnam [J]. Rice Science, 2017, 24(5):283-290.
- [11] MEHARG C, MEHARG A A. Silicon, the silver bullet for mitigating biotic and abiotic stress, and improving grain quality, in rice? [J]. Environmental and Experimental Botany, 2015, 120:8-17.
- [12] 刘磊. 不同钝化剂的复合施用对水稻吸收积累重金属镉的影响研究[D]. 沈阳:沈阳农业大学,2018.
- [13] LI P, WANG X X, ZHANG T L, et al. Distribution and accumulation of copper and cadmium in soil-rice system as affected by soil amendments[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2009, 196(1/2/3/4):29-40.
- [14] 李伯平. 叶面阻控剂与土壤调理剂对稻米降镉效果研究[J]. 湖南农业科学, 2016(9):30-32.
- [15] NWUGO C C, HUERTA A J. Effects of silicon nutrition on cadmium uptake, growth and photosynthesis of rice plants exposed to low-level cadmium [J]. Plant and Soil, 2008, 311(1/2):73-86.

(下转第 60 页)