

叶面喷施纳米硅肥对稻米镉含量及产量的影响

齐季^{1*}, 吴展才^{2*}, 刘统棋¹

¹北京艾格鲁国际农业科技有限公司, 北京

²马来西亚低投入可持续农业践行联盟, 吉隆坡

收稿日期: 2023年6月6日; 录用日期: 2023年7月7日; 发布日期: 2023年7月18日

摘要

水稻具有较强的吸镉特性, 稻米镉含量高低直接关系到农户收益及食品安全问题。本研究中使用一款新型纳米液体硅肥菲彤®, 作为水稻吸镉的叶面阻隔剂。试验数据表明, 通过9个处理组与对照组的比较, 稻米镉含量均显著降低, 且处理组镉含量均降至国家标准规定范围内, 最大降幅达64.47%。此外, 处理组与对照组之间千粒重差异不显著, 但理论亩产增加56.85 kg, 理论增产率达9.88%。因此, 纳米液体硅肥菲彤®不仅能有效降低稻米镉含量, 还能增加水稻产量, 从而带来增产提质和粮食安全的双重效益。

关键词

纳米硅肥, 理论亩产, 千粒重, 稻米镉含量

Effects of Foliar Applied Nano-Silicon Fertilizer on the Cadmium Content and Yield of Paddy Crop

Ji Qi^{1*}, Changchai Ng^{2*}, Tongqi Liu¹

¹Beijing Agro Technology International Co., Ltd., Beijing

²Low Input Sustainable Agriculture Consortium, Kuala Lumpur

Received: Jun. 6th, 2023; accepted: Jul. 7th, 2023; published: Jul. 18th, 2023

Abstract

Paddy crop absorbs cadmium (Cd) in field from soil easily, which affects income of grower and raises public food safety issue greatly. In this study, Feitong®, a new nano liquid silicon fertilizer, was used as a leaf barrier agent to block Cd absorption. Field data showed that the Cd content of

*通讯作者。

rice in 9 treatment groups was significantly reduced compared to control group, and the Cd content in the treatment group was reduced to the range stipulated by the national standard, with a maximum reduction of 64.47%. In addition, thousand-grain-weight, though difference between the treatment group and the control group was not statistically significant, theoretical yield per China acre (mu) increased by 56.85kg in average, leading to a potential increase rate of 9.88%. Therefore, Feitong®, can be used as an agent to reduce rice Cd effectively, also for yield increment, which results positive effects on food safety and production.

Keywords

Nano-Silicon Fertilizer, Theoretical Yield, TKW, Cd Content of Rice

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

根据中国环境监测总站《中国土壤污染状况调查公报》报告, 全国耕地镉超标面积为 2.87 万 km², 占耕地总面积的 0.32%。其中, 水稻田的镉污染是最突出的问题之一。GB2762-2020《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中规定, 糙米中镉的限量指标为低于 0.2 mg/kg。由于矿产资源开采、废弃物处理及农业生产等多种因素, 加之水稻自身具有富镉特性, 稻米镉含量超标问题已在多地出现。2021 年 5 月, 农业农村部发布了《农业农村部关于进一步加强农田重金属污染防治工作的意见》, 除了制定更为严格的防治标准、加强对农田土壤和农产品的监管和检测之外, 同时倡导科学的农业生产方式, 比如减少化肥、农药等农业投入品对土壤和水体的污染, 提高土壤养分含量和质量等措施, 以此保障粮食安全和民众健康。

Top of Form 水稻对铅、锌和镉等重金属的吸收能力不同。其中, 水稻对镉的吸收能力最强, 其次是铅, 最弱的是锌[1]。而且, 这个过程受到多种因素的影响, 如土壤 pH 值、有机质含量、重金属化学形态、水稻植株生长阶段等[2], 尤其是土壤的 pH 值最为敏感。在酸性土壤中, 重金属元素更容易被溶出, 也更易被水稻吸收[3]。反之, 在碱性土壤中, 重金属将更多与土壤粒子结合, 减少了被水稻吸收。此外, 水稻不同生长阶段对重金属吸收和转移的程度也不同[4]。因此, 在进行水稻种植和农业生产时, 需要采取合理措施来降低作物遭受重金属污染的风险。

镉对作物的不良影响, 包括抑制根和茎的生长、减少叶绿素含量、降低光合作用速率等, 从而导致植株形态异常、叶片发黄、产量降低等问题发生[5]。目前, 针对稻米镉含量超标问题, 采取的田间控制技术涵盖抗镉品种选育、土壤改良剂、叶面阻隔剂、微生物菌肥、土壤调理剂及水分管理(全生育期淹水灌溉)等。

叶面喷施硅可以显著增加水稻植株中 POD 和 SOD 活性, 降低 CAT 活性, 从而减轻镉毒性[6]。在姜中使用叶面硅, 也可显著增加 SOD、POD 和 CAT 活性, 从而减轻镉毒性[7]。此外, 研究还发现, 硅的作用机制可能与其促进植物光合作用和维持细胞膜完整性有关, 这表明硅可以通过增强植物的抗氧化能力来减轻镉毒性[8]。这些结论进一步对硅减轻植物镉毒性的机制, 提供了重要参考。然而, 具体的研究结果可能因植物物种、重金属类型、土壤条件和实验设置等因素而有所不同。本研究中使用一款新型纳米液体硅肥, 在水稻生育期内进行多次叶面喷施, 进一步探讨其在降低稻米镉含量的同时, 了解其在增产上的效应, 以期寻求一种水稻绿色高产优质的生产技术措施。

2. 材料与方法

2.1. 试验设计

本试验于 2022 年 4 月至 9 月, 在四川省成都市天府新区籍田镇开展。该区域平均海拔 437 m, 年平均气温 17℃, 年平均降雨量 905 mm, 年日照时数 1242 h, 土壤类型为水稻土。

供试水稻品种为晶两优 534, 于 4 月上旬育秧, 5 月下旬插秧, 8 月下旬至 9 月上旬陆续收获。供试产品来自北京艾格鲁国际农业科技有限公司, 商品名为菲彤[®], 技术指标 $Si \geq 120 \text{ g/L}$, 平均粒径 17.31 nm (动态光散射法)。

试验开始前, 在当地筛选管理措施具代表性、地力条件相当的 9 个水稻种植户, 每户水稻田中设置处理组和对照组各 1 亩。分别于水稻分蘖末期、破口期、穗期, 按照 100 mL/亩·次的用量处理 3 次, 同期开展清水对照。其余稻田水肥管理同一般田块管理。

2.2. 测定项目与方法

于水稻收获期从各处理及对照田块中, 选取代表性 1.1 m*1.17 m 样点 3 个, 每个样点分别收集稻谷样品, 进行糙米镉含量、千粒重、亩产的测定与计算, 并求取各处理组与对照组的平均值。

2.2.1. 理论亩产

收集样点中所有稻谷, 风干后称取重量 M 。以计算式 $667 \text{ m}^2/(1.1 \text{ m} \times 1.17 \text{ m}) \times M$, 求得理论亩产。

2.2.2. 千粒重

将样点中收集的稻穗, 风干后脱粒、去杂质及空瘪粒, 以 1000 实粒样本称重, 求得千粒重。

2.2.3. 糙米镉含量

用实验砬谷机脱壳制成糙米 500 g, 然后用粉碎机粉碎至全部通过 20 目筛, 混匀。按照 LS/T6115-2016 《粮油检验稻谷中镉含量快速测定 X 射线荧光光谱法》进行糙米镉含量测定。

2.3. 数据统计

运用 Excel 软件进行数据录入与计算, 运用 SPSS20.0 进行统计分析。

3. 结果与分析

3.1. 叶面喷施纳米硅肥对水稻亩产的影响

从图 1 可以看出, 在 9 个水稻种植户中, 无论是取样点的稻谷重量, 还是水稻理论亩产, 处理组均高于对照组。除以 4、8 为标记的种植户外, 其余种植户中的处理组与对照组之间的差异均达到显著性水平。其中, 取样点中稻谷重量平均增加 0.11 kg, 水稻理论亩产平均增加 56.85 kg, 最高增幅达 86.38 kg, 理论增产率为 9.88% (图 2)。

3.2. 叶面喷施纳米硅肥对水稻千粒重的影响

由图 3 可知, 9 个处理组的千粒重均高于相应对照组, 其中处理组平均千粒重为 25.06 g, 较对照组平均值增加 0.65 g。但是处理组与对照组之间的差异均未达到显著性水平。这说明水稻产量的增加可能与硅肥对于结实率、有效穗数等其他影响因素的提升有关, 具体原因需要在后续研究中进一步探讨。

3.3. 叶面喷施纳米硅肥对糙米中镉含量的影响

图 4 表明, 处理组糙米镉含量均显著低于对照组, 且处于国家限定标准($0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)范围之内。经过

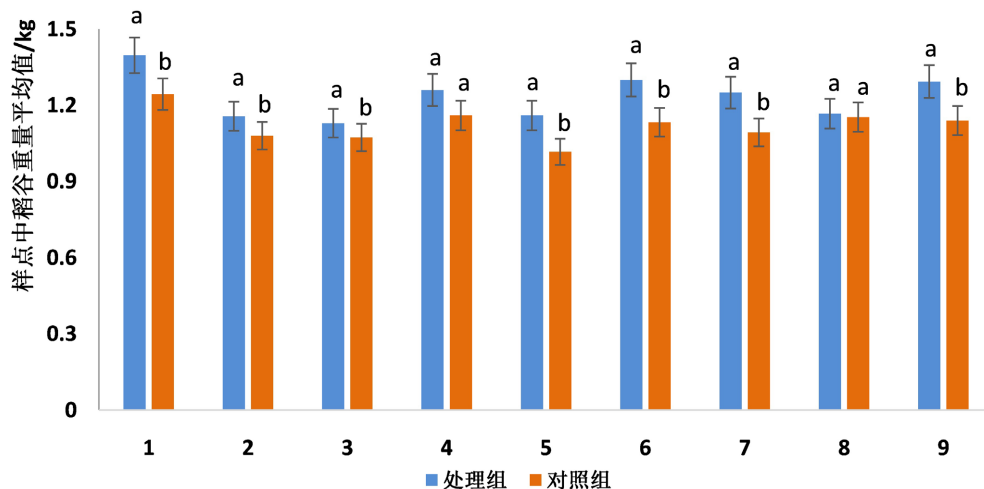


Figure 1. Samples collected grain average weight (kg)

图 1. 取样点中稻谷重量平均值比较/kg

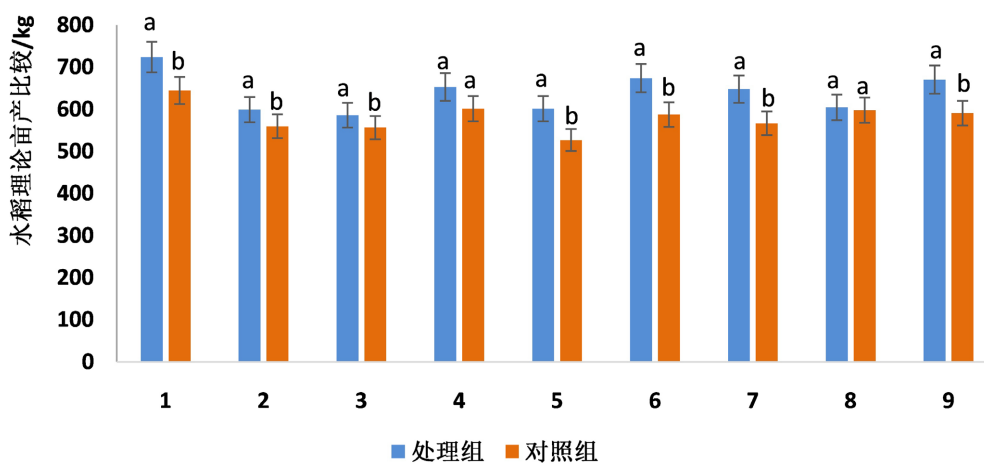


Figure 2. Paddy theoretical yield in weight (kg)

图 2. 水稻理论亩产比较/kg

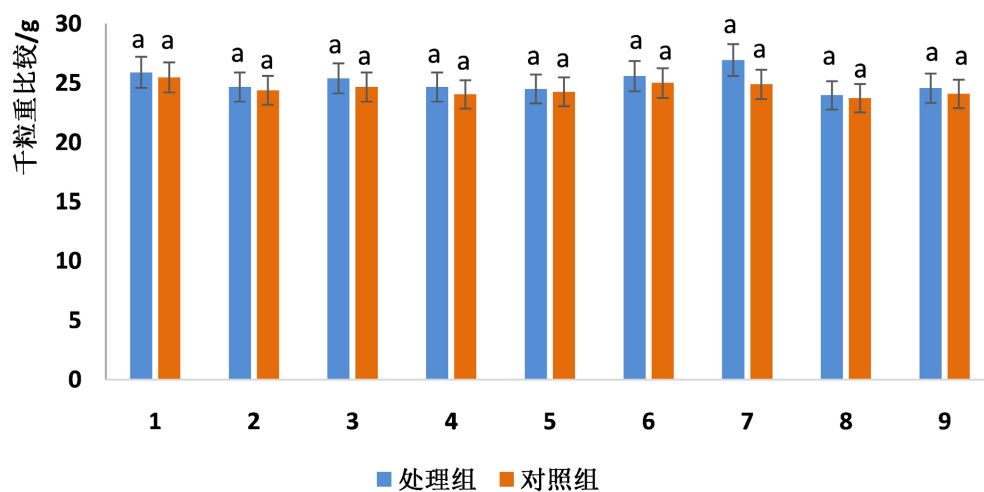


Figure 3. Samples collected thousand-grain-weight (g)

图 3. 水稻千粒重比较/g

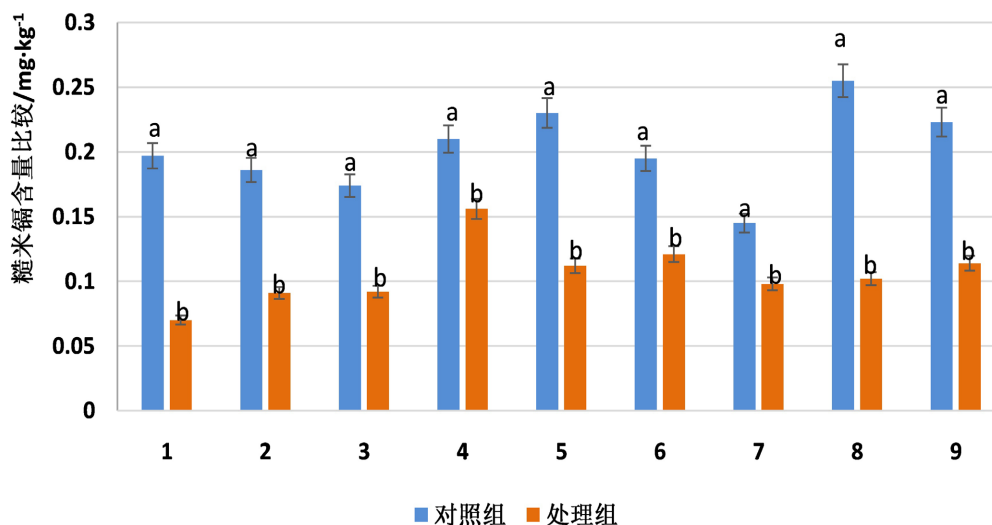


Figure 4. Cadmium analysis of collected brown rice ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

图 4. 糙米镉含量比较/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

3 次菲彤®纳米液体硅肥处理之后, 糙米镉含量最高降幅达 64.47%, 平均降幅为 46.55%。这与叶面喷施硅肥促进质外体物理屏障形成、维管束系统成熟、减少重金属向上运输等有很大关系。

4. 讨论

镉主要借助铁、锰、锌、硅、硒等微量元素的转运通道进入水稻根系, 并向上运输到水稻稻穗中, 主要包括根部吸收、木质部转运、跨维管束运输及韧皮部向籽粒迁移四个步骤[9]。土壤中的镉超标, 对水稻种子萌发、幼苗生长、根系生长与生理生化及营养代谢等方面, 均有不利的影响[10]。理论上讲, 本研究中纳米硅肥对于水稻增产降镉的效应, 也源自于硅在植物体内对重金属镉的阻隔, 减少了镉对作物光合作用的影响, 从而使作物更顺畅地进行生理代谢反应。在叶面喷施之外, 若在土壤中进一步使用相关硅肥产品, 可将镉隔绝在根系以外的环境, 是未来值得探讨的研究方向。

叶面喷施含有 0.5 mM 硅的营养液, 水稻木质部汁液可于 30 min、8.5 h 分别达到 6 mM、18 mM [11], 说明硅肥能从叶面高效进入到体内, 发挥增强植物提质和抗逆的功能。研究明确指出, 植物对镉和硅的响应机制存在相互作用, 硅可以降低植物对镉的吸收和转运[12]。硅在植物中的转运主要通过硅转运蛋白, 其中包括从内皮层到木质部的转运过程。一些研究已经确认了参与硅转运的关键基因和蛋白质, 例如在水稻中发现的 *Lsi1* 和 *Lsi2* 基因以及它们编码的蛋白质 *Lsi1* 和 *Lsi2*, 这些基因和蛋白质都可以调节硅在植物中的吸收和转运[13]。

Liu 等人通过叶面喷施硒来降低降低水稻体内的镉积累。在镉胁迫下, 叶面施用硒可以降低水稻体内镉的积累量, 并增强水稻的抗氧化能力, 减轻镉对水稻的毒害作用。这可能是因为硒可与镉形成不易被吸收的硒镉复合物, 从而减少镉在水稻体内的积累[13]。硅和硒的使用也具有缓解镉毒性的效果。添加硅和硒可以增加根系中的活性氧清除酶活性、提高根系和叶片中几种抗氧化酶活性来缓解镉胁迫对水稻的损害[14]。Ahmed 使用硅可以显著降低水稻幼苗体内的镉积累量, 并且增加其生长指标和生理特性[15]。对比本研究中使用的菲彤®纳米液体硅肥, 其作用机制与前人论述基本相同, 而且在实际应用中, 由于其具有良好的复配性及纳米特性, 保证了该产品能够适合多种应用场景及在作物体内快速传导。和前人研究的不同之处, 本文也进一步指出使用液体硅肥菲彤®, 具有潜在性的增加产量, 农户在投入产出比能有更安全的收获和更好的收益。

5. 结论

稻米镉污染问题涉及到粮食安全、农户收益等各个层面，是水稻产业中不容忽视的痛点、难点。本研究结果表明，新型纳米液体硅肥菲彤®的使用，可有效降低糙米中镉含量，达到甚至远低于国家限定标准。为整治水稻重金属污染提供了新思路、新方法。此外，在理论增产率可达 9.88%，纳米液体硅肥菲彤®在学理推断上和前人的效果机理能相互印证，在实际使用上，不仅能有效降低稻米镉含量，还能增加水稻产量，从而带来增产和粮食安全的双重效益，是作为国家粮食战略布局的有力工具。

参考文献

- [1] Wu, C.Y., Ye, Z.H. and Wong, M.H. (2007) Responses of Different Genotypes of Paddy Rice to Cadmium Contamination and Their Mechanisms of Tolerance. *Journal of Environmental Sciences*, **19**, 725-732.
- [2] Zhang, X., Lei, M., Sun, G., Teng, Y. and Shao, Y. (2012) Uptake and Transport of Cadmium in Rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings as Affected by Iron Plaque and Fe/Cd Ratios. *Plant and Soil*, **362**, 205-214.
- [3] Liu, J., Hu, P. and Qi, Y. (2013) Mechanisms for the Uptake of Lead, Zinc and Cadmium by Rice Plants in a Mining Area. *Journal of Environmental Sciences*, **25**, 944-952.
- [4] Seregin, I.V. and Ivanov, V.B. (2001) Physiological Aspects of Cadmium and Lead Toxic Effects on Higher Plants. *Russian Journal of Plant Physiology*, **48**, 523-544. <https://doi.org/10.1023/A:1016719901147>
- [5] Bashir, H., Ahmad, J., Bagheri, R., Baig, M.A., Iqbal, M., Qureshi, M.I. and Athar, H.U.R. (2013) Effect of Cadmium Toxicity on Growth, Yield and Biochemical Parameters of Rice (*Oryza sativa* L.) Varieties Differing in Grain Cadmium Accumulation. *Chemosphere*, **91**, 1387-1395.
- [6] Wang, S., Wang, F. and Gao, S. (2015) Foliar Application with Nano-Silicon Alleviates Cd Toxicity in Rice Seedlings. *Environment Science of Pollution Research*, **22**, 2837-2845. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3525-0>
- [7] Chen, Z., Zhang, J., Xu, K. and Cao, B. (2020) Alleviating Effects of Silicon on Cadmium Toxicity in Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *European Journal of Horticultural Science*, **86**, 469-479. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2021/86.5.3>
- [8] Hou, L., Ji, S., Zhang, Y., Wu, X., Zhang, L. and Liu, P. (2023) The Mechanism of Silicon on Alleviating Cadmium Toxicity in Plants: A Review. *Frontier of Plant Science*, **14**, Article 1141138. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1141138>
- [9] Zhang, J.L., Zhu, Y.C., Yu, L.J., Yang, M., Zou, X., Yin, C.X. and Lin, Y.J. (2022) Research Advances in Cadmium Uptake, Transport and Resistance in Rice (*Oryza sativa* L.). *Cells*, **11**, Article 569. <https://doi.org/10.3390/cells11030569>
- [10] Li, H., Liang, X. and Li, J. (2012) Proteomic Analysis of Rice Roots Reveals the Involvement of Oxidative Stress in Cadmium Responses. *Environment Science Technology*, **46**, 10194-10202.
- [11] Mitani, N., Yamaji, N. and Ma, J.F. (2016) Silicon Influx Transporters in Higher Plants. *Plant Cell Physiology*, **57**, 1331-1337.
- [12] Ma, J.F. and Yamaji, N. (2015) A Cooperative System of Silicon Transport in Plants. *Trends in Plant Science*, **20**, 435-442. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.04.007>
- [13] Liu, H. and Zhang, X. (2013) Effects of Foliar Application of Selenium on Cadmium Accumulation and Antioxidative Capacity in Rice (*Oryza sativa* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, **20**, 2400-2408.
- [14] Yu, H., Wang, J., Fang, W., Yuan, J., Yang, Z. and Yang, Y. (2018) Application of Silicon and Selenium to Alleviate Cadmium Toxicity in Rice (*Oryza sativa* L.) under Hydroponic Culture. *Environmental Science and Pollution Research*, **25**, 12921-12933.
- [15] Ahmad, P., Nabi, G., Ashraf, M. and Hu, X. (2011) Silicon-Mediated Amelioration of Arsenic Toxicity in Rice (*Oryza sativa* L.) Seedlings. *Journal of Plant Growth Regulation*, **30**, 355-365.