

土壤调理剂对酸性黄泥田改良及镉污染治理效果的研究

黄永泉¹, 黄国龙², 李江林^{1*}, 丁秋凡¹, 邓立平¹, 王淋玉²

¹醴陵市农业农村局, 湖南 醴陵

²株洲市农业科学研究所, 湖南 株洲

Email: 1074518941@qq.com, *207516638@qq.com

收稿日期: 2021年5月22日; 录用日期: 2021年6月21日; 发布日期: 2021年6月28日

摘要

通过连续3年的田间定点定位随机区组对比试验, 研究评价了土壤调理剂对湘东酸性黄泥田土壤改良及镉污染治理效果。结果表明, 基肥增施调理剂, 对酸性黄泥田改良效果稳定, 土壤有效镉、交换性铝和有效锰含量降低, 土壤pH值、盐基饱和度提高, 有机质和碱解氮含量增加, 土壤养分供给能力进一步优化, 促进水稻丰产稳产; 并显著降低稻米镉含量($p < 0.05$), 其中基肥增施土壤调理剂150 kg/667m²处理平均降镉幅度为30.00%, 增施200 kg/667m²处理平均降镉幅度为35.10%, 二者降镉差异不显著。田间实际生产中, 建议施用土壤调理剂与叶面喷施阻镉剂等降镉措施配合使用, 采用“VIP + N”方式进行综合修复治理, 确保稻米中镉等重金属指标合格。

关键词

土壤调理剂, 重金属污染, 酸性土壤, 修复

Effect of Soil Conditioner on Improvement of Acidic Yellow Soil Field and Treatment of Cd Pollution

Yongquan Huang¹, Guolong Huang², Jianglin Li^{1*}, Qiufan Ding¹, Liping Deng¹, Linyu Wang²

¹Liling Agriculture and Rural Bureau, Liling Hunan

²Zhuzhou Institute of Agricultural Sciences, Zhuzhou Hunan

Email: 1074518941@qq.com, *207516638@qq.com

Received: May 22nd, 2021; accepted: Jun. 21st, 2021; published: Jun. 28th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 黄永泉, 黄国龙, 李江林, 丁秋凡, 邓立平, 王淋玉. 土壤调理剂对酸性黄泥田改良及镉污染治理效果的研究[J]. 土壤科学, 2021, 9(3): 89-97. DOI: 10.12677/hjss.2021.93012

Abstract

Objective: The effects of soil conditioner on soil improvement and cadmium pollution control in acid yellow mud field in eastern Hunan were studied and evaluated by field fixed-point and random block comparative experiment for three consecutive years. **Result:** The results showed that adding conditioner to the base fertilizer had a stable effect on the improvement of acid yellow soil field, and the contents of available cadmium, exchangeable aluminum and available manganese in soil decreased, the pH value and base saturation of soil increased, the contents of organic matter and alkali-hydrolyzable nitrogen increased, and the supply capacity of soil nutrients was further optimized, which promoted the high and stable yield of rice. And the Cd content of rice was significantly reduced ($p < 0.05$), in which the average reduction of Cd was 30.00% when the base fertilizer was added with soil conditioner 150 kg/667m² and 35.10% when it was added with soil conditioner 200 kg/667m², with no significant difference between them. **Conclusion:** In actual field production, it is suggested that soil conditioner should be used in combination with cadmium reduction measures such as spraying cadmium inhibitor on leaf surface, and comprehensive remediation should be carried out by “VIP + N” mode to ensure that the indexes of heavy metals such as cadmium in rice are qualified.

Keywords

Soil Conditioner, Heavy Metal Pollution, Acidic Soil, Remediation

Copyright © 2021 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. 引言

土地资源是人类社会赖以生存和发展的物质基础,耕地是土地的精华,具有养育、生态以及社会保障等多种功能,耕地资源的量和质不仅关系到国家的粮食安全和社会稳定,也关系到国家经济和社会的可持续发展[1][2]。土壤酸化是土壤内部产生和外部输入的氢离子引起土壤 pH 值降低和盐基饱和度减少的过程[3][4]。镉是土壤中主要重金属污染元素之一,水稻镉吸收与富集能力强,稻米镉含量浓度与土壤镉浓度呈显著正相关关系[5][6]。土壤酸化和镉污染已成为制约湖南农业可持续发展的两个主要因素,如何改良稻田酸性土壤,阻止或减少稻株对镉等重金属的吸收与富集,提高稻米品质,保护稻田生态环境,是促进湖南双季稻生产持续稳定发展的重要课题[7][8]。为此,笔者于 2018 年~2020 年进行了本研究,以为农户改良稻田酸性土壤、修复治理镉污染稻田、降低稻米镉含量,确保稻米安全性提供理论依据。

2. 材料与方法

2.1. 试验田概况

试验于 2018 年~2020 年在湖南省醴陵市茶山镇大西垅村某农户责任田中进行。试验田海拔 59 米,土壤为酸性黄泥田,质地疏松,肥力中等。土壤理化性状详见表 1。种植模式为双季稻。

Table 1. Statistical table of soil physical and chemical properties in experimental field
表 1. 试验田土壤理化性状统计表

总镉 (mg/kg)	全氮 (g/kg)	有效磷 (mg/kg)	速效钾 (mg/kg)	有机质 (g/kg)	pH	交换性铝 (mg/kg)	有效锰 (mg/kg)	盐基饱和度 (%)	容重 (g/cm ³)
0.796	1.93	8.6	135	37.7	4.92	6.11	19.2	58.9	1.35

2.2. 供试材料

试验选用“洁农宝”牌土壤调理剂，主要技术指标： $\text{CaO} \geq 25.0\%$ ， $\text{SiO}_2 \geq 20.0\%$ ，有机质 $\geq 12\%$ ，pH 值 10~12，水分 $\leq 15.00\%$ 。肥料选用 40% (20:8:12) 的复混肥，总氮 46.40% 的尿素，含钾 62% 的氯化钾。供试品种：双季早稻选用株两优 819，双季晚稻选用桃优香占。

2.3. 试验设计

采用定点定位试验，即三个试验周年，在同一丘田进行，且小区田间布局固定不变、各处理土壤调理剂施用量和方法均保持一致。试验设 3 处理，分别是处理 1 (对照 T1)：常规施肥(大田基施 40% 复混肥 25 kg/667m²，氮肥施尿素 10 kg/667m²、氯化钾 10 kg/667m²)，处理 2 (T2)：常规施肥 + 基施土壤调理剂 150 kg/667m²，处理 3 (T3)：常规施肥 + 基施土壤调理剂 200 kg/667m²。随机区组排列，3 次重复，小区面积 30 m²。小区间做高 20 cm、宽 30 cm 土埂，并覆膜隔离，单排单灌，四周设置 1.5 m 宽保护行。

2.4. 田间管理

试验采用湿润育秧，划行移栽，株行距 20 cm × 20 cm，早稻插 2 粒谷苗/蔸，晚稻插 1 粒谷苗/蔸。移栽前 1 天按试验要求分小区基施复混肥和土壤调理剂，氮肥于插后 7 天分小区均匀撒施。水分管理和病虫害防治等其它措施按品种高产栽培及农事季节要求进行，且处理间相互保持一致。

2.5. 测定指标与方法

基础土样于 2018 年早季稻田翻耕前按“S”形 9 点取样法采集 1 kg，风干过筛后测定土壤中 Cd 含量和其它理化指标。收获前 1 天每个小区调查 50 蔸的有效穗，并按穗数平均值取 5 蔸有代表性的稻株考察穗部性状。各小区单收单晒测实产，并随机取 500 g 稻谷测定稻米镉、蛋白质和硝酸盐含量。稻谷收割后，各小区 5 点取表层 20 cm 混合土样 500 g，风干后过 20 目和 100 目筛，测定土壤镉含量及土壤理化性状。土壤全镉采用王水 - 高氯酸消煮 - 原子吸收光谱法，有效态镉测定采用原子吸收法(GB/T 23739-2009)；稻谷 Cd 含量采用 HNO₃-H₂O₂ 微波消煮、ICP-MS 测定；土壤 pH 采用水提玻璃电极法测定，土壤理化性状详细测定方法参照土壤农化分析[9]。

所有的数据采用 Microsoft Excel 2013 和 SPSS 17.0 统计分析。

3. 结果

3.1. 土壤调理剂对土壤镉、铝、锰的影响

每季水稻成熟后土样镉、铝、锰检测结果表明(表 2)，有效态镉含量六季的变化趋势一致，T3 < T2 < T1，试验第 1 年每季 3 个处理间差异不显著，试验第 2 年和第 3 年每季 T3 和 T2 之间差异不显著，但与 T1 差异显著。交换性铝和有效锰含量六季变化趋势与有效态镉含量变化趋势相似，T2、T3 均低于 T1，差异达到显著水平，但 T2 和 T3 差异不显著。随着施用次数的增加，处理 2) 和处理 3) 土壤有效镉、交

换性铝和有效锰含量呈依次减少趋势。说明在本试验条件下, 基肥增施土壤调理剂可降低土壤有效镉、交换性铝和有效锰含量, 土壤调理剂施用量由 150 kg/667m² 增加到 200 kg/667m², 降低效果差异不显著。

Table 2. Test results of cadmium, aluminum and manganese in soil

表 2. 土壤镉、铝、锰含量检测结果

年份	季别	处理	有效镉(mg/kg)	交换性铝(mg/kg)	有效锰(mg/kg)
2018	早季	T1	0.454a	5.80b	17.5b
		T2	0.442a	5.50a	16.2a
		T3	0.440a	5.30a	16.1a
	晚季	T1	0.462a	6.72b	18.2b
		T2	0.441a	6.22a	17.1a
		T3	0.439a	6.11a	16.9a
2019	早季	T1	0.441b	5.91b	18.2b
		T2	0.426a	5.42a	17.1a
		T3	0.424a	5.26a	16.7a
	晚季	T1	0.442b	5.87b	18.8b
		T2	0.424a	5.35a	17.2a
		T3	0.421a	5.28a	16.4a
2020	早季	T1	0.457b	5.83b	18.0 b
		T2	0.428a	5.31a	16.9a
		T3	0.421a	5.33a	16.8a
	晚季	T1	0.443b	5.85b	18.2b
		T2	0.427a	5.53a	16.9a
		T3	0.424a	5.41a	17.8a

注: 表中同列数据后不同小写字母分别表示处理间差异达到 5% 显著水平, 下同。

3.2. 土壤调理剂对土壤 pH 和盐基饱和度的影响

从每季水稻成熟后土样 pH 和盐基饱和度检测结果来看(表 3), 土壤 pH 值随着土壤调理剂施用量的增加上升, 即 T3 > T2 > T1, 且每季变化趋势相同; T2 和 T3 差异不显著, 二者与 T1 的差异由不显著向显著递增。盐基饱和度的变化趋势与 pH 值相似, 随着土壤调理剂施用量的增加而提高, T2、T3 与 T1 的差异显著。说明本试验条件下, 基肥增施土壤调理剂可降低土壤酸性。

Table 3. Test results of soil pH value and base saturation
表 3. 土壤 pH 值、盐基饱和度检测结果

年份	季别	处理	pH	盐基饱和度(%)
2018	早季	T1	4.93a	58.3b
		T2	5.04a	61.0a
		T3	5.09a	62.2a
	晚季	T1	4.91a	57.9b
		T2	5.08a	62.1a
		T3	5.12a	63.4a
2019	早季	T1	4.94a	58.9b
		T2	5.08a	62.4a
		T3	5.14a	65.1a
	晚季	T1	4.92b	59.3b
		T2	5.16a	64.9a
		T3	5.21a	66.9a
2020	早季	T1	5.08b	59.6b
		T2	5.19ab	62.3a
		T3	5.23a	64.5a
	晚季	T1	5.04b	60.4b
		T2	5.22a	64.7a
		T3	5.25a	65.1a

3.3. 土壤调理剂对土壤养分的影响

每季水稻成熟后土壤养分检测结果显示(表 4), 基肥增施土壤调理剂后, T3 和 T2 的有机质和碱解氮均较 T1 增加, 但每季 3 个处理间差异不显著。有效磷含量, T3 和 T2 有 5 季较 T1 增加, 1 季减少, 每季 3 个处理间差异不显著。速效钾含量, T2 有 4 季较 T1 上升, T3 有 5 季较 T1 上升; 且每季 3 个处理间差异不显著。这说明, 基肥增施土壤调理剂对增加有机质含量、提高碱解氮、有效磷和速效钾含量有一定作用。

Table 4. Test results of soil N, P, K and organic matter content**表 4.** 土壤氮、磷、钾和有机质含量检测结果

年份	季别	处理	碱解氮(mg/kg)	有效磷(mg/kg)	速效钾(mg/kg)	有机质(g/kg)
	基础土样		213.0	8.6	135.0	37.7
2018	早季	T1	216.0a	8.7a	136.0a	37.1a
		T2	222.0a	8.9a	140.0 a	37.4a
		T3	221.0a	8.8a	142.0 a	38.2a
	晚季	T1	214.0a	7.9a	165.0a	39.9a
		T2	212.0a	8.1a	170.0a	40.2a
		T3	220.0a	8.6a	172.0a	41.1a
2019	早季	T1	209.0a	8.9a	147.0a	38.1a
		T2	217.0a	8.6a	150.0a	39.2a
		T3	223.0a	8.1a	149.0a	39.0a
	晚季	T1	212.0a	8.5a	152.0a	38.5a
		T2	224.0a	8.7a	156.0a	39.6a
		T3	217.0a	8.9a	154.0a	40.2a
2020	早季	T1	211.0a	8.4a	142.0a	38.7a
		T2	224.0a	8.6a	132.0a	39.8a
		T3	223.0a	8.7a	147.0a	40.1a
	晚季	T1	216.0a	8.4a	158.0a	37.7a
		T2	222.0a	8.6a	149.0a	38.6a
		T3	224.0a	8.9a	155.0a	39.4a

3.4. 土壤调理剂对稻米镉、蛋白质、硝酸盐含量的影响

稻米检测结果表明(表 5), 每季水稻 T2、T3 稻米镉含量显著低于 T1, 随着施用年限的增加, 降镉效果有逐年提高的趋势, 2018 年在 21.4%~36.3%之间、2019 年在 26.7%~33.3%之间、2020 年在 32.5%~49.9%之间, T2 与 T3 之间差异不显著。T2 稻米镉含量 6 季平均值为 0.281 mg/kg, 较 T1 稻米镉含量 6 季平均值低 0.126 mg/kg, 平均降镉幅度 30.0%; 处理 3) 稻米镉含量 6 季平均值为 0.264 mg/kg, 较 T1 米镉含量 6 季平均值低 0.143 mg/kg, 平均降镉幅度 35.1%。稻米蛋白质含量, 6 季水稻变化趋势相同, 随土壤调理剂施用量的增加而增加(T3 > T2 > T1), 每季 3 个处理间无显著差异。稻米硝酸盐含量变化趋势则相反, 随土壤调理剂施用量的增加而减少(T3 < T2 < T1), T2 与 T3 之间差异不显著, 二者与 T1 的差异显著。

Table 5. Detection results of cadmium, protein and nitrate in rice
表 5. 稻米镉、蛋白质、硝酸盐含量检测结果

年份	季别	处理	镉(mg/kg)	蛋白质(%)	硝酸盐(mg/kg)
2018	早季	T1	0.379b	8.7a	12.1b
		T2	0.286a	9.2a	10.4a
		T3	0.271a	9.4a	10.0a
	晚季	T1	0.336b	8.9a	11.1b
		T2	0.244a	9.4a	10.2a
		T3	0.264a	10.0a	9.7a
2019	早季	T1	0.456b	9.6a	9.3b
		T2	0.336a	10.0a	8.2a
		T3	0.321a	10.2a	8.0a
	晚季	T1	0.453b	9.2b	11.9b
		T2	0.312a	10.1a	10.7a
		T3	0.301a	10.4a	9.9a
2020	早季	T1	0.412b	10.1a	8.8a
		T2	0.278a	10.2a	8.4a
		T3	0.225a	10.2a	8.5a
	晚季	T1	0.403b	10.2a	9.9a
		T2	0.231a	11.0a	9.7a
		T3	0.202a	11.3a	9.6a

3.5. 土壤调理剂对水稻产量的影响

产量差异分析结果表明(表 6), 2018 年、2019 年和 2020 年 3 个试验年度, 早季 T3 比 T1 依次分别增产 6.7%、8.4%和 10.5%, 增产差异显著; T2 比 T1 依次分别增产 5.9%、6.2%、4.1%, 其中 2019 年增产差异显著, 2018 年和 2020 年增产差异不显著, T2 和 T3 产量差异不显著。晚季 T3 比 T1 依次分别增产 7.9%、7.1%和 7.8%, 增产差异显著; T2 比 T1 依次分别增产 5.4%、5.1%、5.8%, 其中 2019 年和 2020 年增产差异显著, 2018 年增产差异不显著, T2 和 T3 产量差异不显著。

Table 6. Comparison of significant differences in yield among different treatments
表 6. 不同处理产量差异显著性比较

年份	季别	处理	小区产量(kg)	差异显著性	
				LSR _{0.05}	LSR _{0.01}
2018	早季	T3	22.40	a	A
		T2	21.47	ab	A
		T1	20.27	b	A
	晚季	T3	22.73	a	A
		T2	22.20	ab	A
		T1	21.07	b	A
2019	早季	T3	21.10	a	A
		T2	20.67	a	A
		T1	19.47	b	A
	晚季	T3	21.60	a	A
		T2	21.20	a	A
		T1	20.17	b	B
2020	早季	T3	21.67	a	A
		T2	21.13	ab	A
		T1	20.30	b	A
	晚季	T3	22.50	a	A
		T2	22.07	a	AB
		T1	20.87	b	B

注：表中同列数据后不同大小写字母分别表示处理间差异达到 1% 和 5% 显著水平。

4. 讨论

1) 有机质含量是评价土壤肥力高低的主要指标之一，碱解氮是反映当期土壤氮素供应的重要指标。在本试验条件下，基肥增施土壤调理剂后，土壤有机质含量增加，碱解氮、有效磷和速效钾含量均上升，土壤的 pH 上升，盐基饱和度提高，为农作物养分吸收创造了有利条件，促进水稻丰产稳定，对酸性黄泥田改良效果持续稳定。

2) 谢运河等研究表明，土壤调理剂主要通过 3 个途径降低农作物对重金属的吸收：一是调理土壤酸碱度，提高土壤 pH，降低土壤重金属镉活性；二是含大量硅、磷、钾、钙、镁、锰、锌以及其它微量元素等，为农作物提供养分的同时，与土壤中镉等重金属镉等产生拮抗或络合作用，降低农作物对镉的吸收转运；三是增加土壤有机质含量，提高土壤对重金属的吸附性能，扩大土壤环境容量，减少对土壤中重金属镉等被植物的吸收利用[10]。本研究检测结果表明，供试土壤调理剂将 3 种降镉途径融合在一起，

土壤有效镉、交换性铝和有效锰含量较对照明显下降, 稻米中镉含量显著低于对照, 所以对降低土壤重金属活性、及阻止稻株对镉的吸收有较好效果。

3) 稻米镉检测结果表明, 施土壤调理剂 150 kg/667m² 处理, 稻米镉含量 6 季平均减少 30.0%, 蛋白质平均提高 0.53 个百分点, 硝酸盐平均减少 0.9 mg/kg; 施土壤调理剂 200 kg/667m² 处理, 稻米镉含量 6 季平均减少 35.1%, 蛋白质平均提高 0.80%, 硝酸盐平均减少 1.2 mg/kg, 说明基肥增施土壤调理剂可有效改善稻米品质。但稻米镉含量仍高于 0.2 mg/kg 以下的品质标准要求, 因此田间实际生产中建议与叶面喷施阻镉剂等降镉措施配合使用, 采用“VIP + N”方式进行综合修复治理, 确保稻米中镉等重金属指标合格。

基金项目

国家水稻产业技术体系项目(CARS-01-84)。

参考文献

- [1] 宋春雨, 张兴义, 刘晓冰, 等. 土壤有机质对土壤肥力与作物生产力的影响[J]. 土壤与作物, 2008, 24(3): 357-362.
- [2] 许嘉琳, 杨居荣. 陆地生态系统中的重金属[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1995: 157-231.
- [3] 曹胜, 欧阳梦云, 周卫军, 等. 石灰对土壤重金属污染修复的研究进展[J]. 中国农学通报, 2018, 34(26): 109-112.
- [4] 归秀娥. 我国耕地资源可持续利用面临的问题与对策[J]. 理论导刊, 2008, 24(3): 357-362.
- [5] 周修萍, 秦文娟. 华南三省(区)土壤对酸雨的敏感性及其分区图[J]. 环境科学学报, 1992, 12(1): 78-83.
- [6] 田发祥, 纪雄辉, 谢运河, 等. 碱性缓释肥对水稻吸收积累 Cd 的影响[J]. 农业环境科学学报, 2016, 35(11): 2116-2122.
- [7] 李平, 王兴祥, 郎漫, 等. 调理剂对 Cu、Cd 污染土壤重金属形态转化的影响[J]. 中国环境科学, 2012, 32(7): 1241-1249.
- [8] 范中亮, 季辉, 杨菲, 等. 不同土壤类型下 Cd 和 Pb 在水稻籽粒中累积特征及其环境安全临界值[J]. 生态环境学报, 2010, 19(4): 792-797.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 第 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 谢运河, 黄伯军, 纪雄辉, 等. 镉污染稻田专用土壤调理剂修复效果评价[J]. 湖南农业科学, 2017(12): 31-35.