

## 不同调理剂组合对酸性土壤改良及稻谷降镉的效果研究

刘仁波<sup>1</sup>, 周富忠<sup>2\*</sup>

(1. 利川市农业执法大队, 湖北利川 445400; 2. 利川市土壤肥料工作站, 湖北利川 445400)

**摘要** 在 2 个不同成土母岩母质发育的水稻土试验点, 通过正规的田间小区试验, 研究“益欣荣 II”“益欣荣 II+谷乐丰”“益欣荣 II+氨糖可力”3 种不同土壤调理剂组合对酸性水稻土的改良、土壤有效镉的钝化、水稻的增产增收以及控制水稻对镉的吸收等方面的效果。结果表明, 3 种组合对水稻增产效果显著, 并有一定的经济效益, 增收稻谷 550~974 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅为 8.85%~15.23%, 净收益 600~1 725 元/hm<sup>2</sup>; 对酸性水稻土改良效果较好, 可抑制酸化土壤 pH 进一步下降、提高酸性土壤 pH, 酸化土壤交换性铝上升幅度得到控制、酸性土壤交换性铝明显下降, 明显降低了土壤有效锰含量, 提高了土壤盐基饱和度; 对土壤有效镉有一定的固化作用, 有效控制了水稻对镉的吸收, 大幅度降低了稻谷中镉含量。综合比较水稻增产增收、酸性土壤改良、土壤固镉及稻谷降镉等方面效果, “益欣荣 II+氨糖可力”最优, “益欣荣 II+谷乐丰”次之, 单施“益欣荣 II”最差。

**关键词** 酸化土壤; 土壤调理剂; 土壤有效镉; 稻谷; 镉

中图分类号 S 156 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)20-0093-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.20.025



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

**Study on the Effect of Different Conditioner Combinations on the Improvement of Acidic Soil and the Reduction of Cadmium in Rice**  
LIU Ren-bo<sup>1</sup>, ZHOU Fu-zhong<sup>2</sup> (1. Lichuan Agricultural Law Enforcement Team, Lichuan, Hubei 445400; 2. Lichuan City Soil Fertilizer Station, Lichuan, Hubei 445400)

**Abstract** In two paddy soil experimental sites with different parent materials, through regular field plot experiments, the effects of three different soil conditioner combinations of "Yixinrong II", "Yixinrong II + Gulefeng" and "Yixinrong II + Antangkeli" on the improvement of acidic paddy soil, the passivation of soil available cadmium, the increase of rice yield and income and the control of cadmium absorption by rice were verified. The results showed that the three combinations had significant effect on increasing rice yield, and had certain economic benefits. The rice yield increased by 550-974 kg/hm<sup>2</sup>, with an increase of 8.85%-15.23%, and the net income per mu was 600-1 725 yuan/hm<sup>2</sup>. The improvement effect of acid paddy soil was better, which could inhibit the further decline of pH in acid soil, improve the pH of acid soil, control the increase of exchangeable aluminum in acid soil, significantly reduce the exchangeable aluminum in acid soil, significantly reduce the soil available manganese content, and improve the soil base saturation. It could solidify available cadmium in soil, effectively control the absorption of cadmium by rice, and greatly reduce the content of cadmium in rice. Comprehensive comparison of rice yield and income, acid soil improvement, soil cadmium fixation and rice cadmium reduction effect, the "Yixinrong II + Antangkeli" was the best, the "Yixinrong II + Gulefeng" was the second, the single application of "Yixinrong II" was the worst.

**Key words** Acid soil; Soil conditioner; Soil available cadmium; Paddy; Cadmium

酸化是土壤退化的重要表现, 近几十年来由于高强度人为活动的影响, 土壤酸化的进程大大加速, 对生态环境和农业生产的危害加重<sup>[1]</sup>。我国酸化土壤呈现面积大、分布广及酸化程度高等特点<sup>[2]</sup>, 因此, 采取有效措施减缓土壤酸化进程并对严重酸化土壤进行改良和修复, 对保护生态环境和保障农业的可持续发展具有重要意义<sup>[3]</sup>。湖北利川耕地酸化问题相当突出, 相关部门对其成因及改良措施进行了较多研究<sup>[4-6]</sup>, 但多停留在单一材料和方法的筛选应用上<sup>[7-10]</sup>, 对多材料组合应用的研究较少。为研究台湾益地股份有限公司生产的益欣荣 II 土壤调理剂与南京轩凯生物科技有限公司生产的谷乐丰聚谷氨酸微生物菌剂或氨糖可力土壤修复菌剂组合, 应用于酸性土壤的改良效果, 对土壤镉的钝化作用, 以及水稻增产增收、稻谷降镉效果, 按《土壤调理剂 效果试验和评价要求》(NY/T 2271-2016)的相关规定<sup>[11]</sup>, 于 2020 年 3—10 月在湖北利川酸性水稻土上开展了专项试验。

## 1 材料与方

### 1.1 供试材料

**1.1.1 地点及土壤。**试验设 A、B 2 个点, 皆为水稻土。A 位于

利川市柏杨坝镇龙门村 7 组, 地处 108.960 655°E、30.549 721°N, 海拔 1 023 m; 紫色页岩发育的紫泥田, 质地为中壤, 试验前取样检测 pH 为 5.34, 土壤酸化。B 位于南坪乡五谷村 18 组, 地处 108.835 3°E、30.440 1°N, 海拔 1 094 m; 第四纪黏土发育的马肝泥田, 质地重壤, pH 6.09, 呈酸性。

**1.1.2 益欣荣 II 土壤调理剂。**台湾益地股份有限公司生产, 登记证号农肥(2018)准字 10350 号, 执行标准 Q/FJDS 053—2018, 外观为灰白色固体颗粒, 主要技术指标为 CaO+MgO ≥ 44%, pH 8.0~10.0。

**1.1.3 谷乐丰聚谷氨酸微生物菌剂。**南京轩凯生物科技有限公司生产, 执行标准 GB 20287—2006, 登记证号微生物肥(2018)准字 6353 号, 中国发明专利号 ZL201410445552.3, 外观为棕黑色颗粒, 有效活菌数(枯草芽孢杆菌、地衣芽孢杆菌、解淀粉芽孢杆菌) ≥ 5 亿/g, 聚谷氨酸 ≥ 1 100 mg/kg。

**1.1.4 氨糖可力土壤修复菌剂。**南京轩凯生物科技有限公司生产, 执行标准 Q/3201 XKSW11—2019, 登记证号微生物肥(2019)准字 7399 号, 国际发明专利号 PCT/CN2019/105620, 外观为黑色颗粒, 有效活菌数(枯草芽孢杆菌、胶冻样类芽孢杆菌) ≥ 3.0 亿/g, 聚谷氨酸 ≥ 1 400 mg/kg, 胞外多糖 ≥ 1 000 mg/kg, 壳寡糖 ≥ 1 000 mg/kg。

**1.1.5 肥料。**试验 A 为 45%(15-15-15)普通复合肥, 试验 B 为 40%(20-8-12)宜施壮水稻专用配方肥。

**1.1.6 作物。**水稻, 试验 A 品种为宜香 162, 试验 B 品种为

**作者简介** 刘仁波(1969—), 男, 湖北利川人, 农艺师, 从事农业新技术、新产品应用及农业行政执法研究。\* 通信作者, 高级农艺师, 从事土肥新技术应用、耕地质量监测及障碍修复研究。

**收稿日期** 2021-02-18; **修回日期** 2021-03-09

繁优 609。

**1.2 试验设计** 试验设 4 个处理, 4 次重复, 随机区组排列。试验 A 小区面积 27 m<sup>2</sup> (10 m×2.7 m), B 小区面积 30 m<sup>2</sup> (10 m×3 m), 小区间筑高×宽=30 cm×30 cm 田埂间隔, 保证不串肥串水, 区组间留 50 cm 通道, 便于田间观察。各处理内容如下: 处理①(CK), 常规施肥(普通复合肥 450 kg/hm<sup>2</sup> 或宜施壮配方肥 750 kg/hm<sup>2</sup>); 处理②, CK+益欣荣 II 600 kg/hm<sup>2</sup>; 处理③, CK+益欣荣 II 600 kg/hm<sup>2</sup>+谷乐丰 600 kg/hm<sup>2</sup>; 处理④, CK+益欣荣 II 600 kg/hm<sup>2</sup>+氨糖可力 600 kg/hm<sup>2</sup>。

试验前、水稻收获后分别取土样, 检测土壤 pH、交换性铝、有效锰、盐基饱和度、总镉和有效镉等。水稻分蘖期、收割期等重要生育期开展相关性状调查, 收割时按小区单打单收, 计实产, 并取稻谷样检测镉含量。

### 1.3 田间管理

(1) 试验 A。2020 年 3 月 21 日播种, 塑料棚保温早育方

式育苗; 5 月 18 日移栽, 移栽规格为 27 cm×20 cm, 密度 185 175 蔸/hm<sup>2</sup>; 移栽前按处理设计施入肥料及相关材料; 5 月 23 日, 用细土拌除草剂撒施防除田间杂草; 移栽后 10 d 发现稻水象甲危害, 用高效氯氟菊酯+三唑磷防治。10 月 13 日收获, 按小区计产。

(2) 试验 B。2020 年 3 月 26 日播种, 塑料棚保温早育方式育苗; 5 月 20 日移栽, 移栽规格为 30 cm×15 cm, 密度 222 225 蔸/hm<sup>2</sup>; 移栽前按处理设计施入肥料及相关材料; 5 月 27 日, 用细土拌除草剂撒施防除田间杂草; 始穗期防稻飞虱、稻纵卷叶螟及穗胚稻瘟。10 月 9 日收获, 按小区计实产。

**1.4 数据统计分析及样品检测方法** 采用 Excel 进行数据分析, 对不同处理水稻产量结果进行 *F* 检验, 处理间差异用新复极差法进行多重比较。稻谷及土样相关指标检测方法见表 1。

表 1 稻谷及土样相关指标检测标准及方法

Table 1 Standards and methods for testing related indexes of rice and soil samples

序号 No.	检测项目 Test item	检测标准 Test standard	检测方法 Test method
1	土壤 pH	NY/T 1121.2—2006	酸度计法
2	土壤阳离子交换量	LY/T 1243—1999	1 mol/L 乙酸铵交换, 半微量开氏蒸馏法
3	土壤交换性盐基总量	LY/T 1244—1999	1 mol/L 乙酸铵交换、蒸干、灼烧, 容量法
4	土壤盐基饱和度	直接计算	阳离子交换量/交换性盐基总量×100
5	土壤交换性铝	LY/T 1240—1999	1 mol/L 氯化钾浸提, 滴定法
6	土壤有效锰、有效镉	HJ 804—2016	DTPA 浸提, 电感耦合等离子体发射光谱法
7	土壤总镉	HJ 803—2016	王水浸提, 电感耦合等离子体质谱法
8	稻谷镉含量	GB 5009.268—2016	电感耦合等离子体质谱仪法

## 2 结果与分析

**2.1 不同处理对水稻产量的影响** 从表 2 可以看出, A、B 2 个点水稻产量由高到低排序与处理顺序号刚好相反。“益欣荣 II”(处理②)、“益欣荣 II+谷乐丰”(处理③)、“益欣荣 II+氨糖可力”(处理④) 3 种组合, A 点分别比常规施肥增产稻谷 600、770、974 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅分别为 9.38%、12.04%、15.23%; B 点分别增产稻谷 550、700、908 kg/hm<sup>2</sup>, 增幅分别为 8.85%、11.26%、14.61%。对 2 个点进行方差分析和多重比较(新复极差法), 处理间差异极显著, 区组间差异不显著; 3 种组合比常规施肥, 水稻增产皆达显著水平; “益欣荣 II+氨糖可力”(处理④)比“益欣荣 II”(处理②)增幅超过 5%。2 个点的增产幅度和趋势一致, 试验结果重现性很好。不同组合 B 点增幅皆略低于 A 点, 应该与 B 点常规施肥为配方肥、A 点为普通复合肥有关, 说明配方肥优于氮磷钾等比例复合肥; 当然, 与两地土壤肥力的差异也有直接关系。

**2.2 不同处理对水稻经济性状的影响** 不同时期田间观察表明, 各处理间水稻生育期无明显变化。分蘖末期调查水稻基本苗、功能叶长(倒三叶)、株高; 成熟期调查水稻株高、主穗末叶长、有效穗、穗长、穗实粒、千粒重等指标。从表 3 可以看出, 分蘖末期, 2 个点的调查指标随处理号而增加。成熟期, A 点各处理的主穗末叶长、有效穗、穗长、穗实粒、千粒重

随处理号提高, 株高和结实率略有差异, 处理③最高; B 点所调查指标则完全随处理号升高。各组合通过提高水稻有效穗、穗实粒、结实率和千粒重而增产。

表 2 不同处理水稻产量

Table 2 Rice yield of different treatments

试验 Test	处理 Treat- ment	产量 Yield kg/hm <sup>2</sup>	比处理①±		比处理②±	
			值 Value kg/hm <sup>2</sup>	变幅 Trolleying %	值 Value kg/hm <sup>2</sup>	变幅 Trolleying %
A	①	6 394 bA	—	—	—	—
	②	6 994 aA	600	9.38	—	—
	③	7 164 aA	770	12.04	170	2.43
	④	7 368 aA	974	15.23	374	5.35
B	①	6 217 bA	—	—	—	—
	②	6 767 aA	550	8.85	—	—
	③	6 917 aA	700	11.26	150	2.22
	④	7 125 aA	908	14.61	358	5.29

**2.3 不同处理对水稻经济效益的影响** 2 个点各处理产值在 18 645~22 110 元/hm<sup>2</sup>, 忽略劳动力投入变化, 3 种组合增加投入 600~1 500 元/hm<sup>2</sup>, 比常规施肥(处理①)增收 1 650~2 925 元/hm<sup>2</sup>, 净增收 600~1 725 元/hm<sup>2</sup>, 增加的产出投入比在 1.40~3.00。与“益欣荣 II”(处理②)比, “益欣荣 II+谷乐

丰”(处理③)无效益,“益欣荣Ⅱ+氨糠可力”(处理④)略有效益;与常规施肥比,3种配方都有一定效益,且“益欣荣Ⅱ+

氨糠可力”(处理④)最优,“益欣荣Ⅱ+谷乐丰”(处理③)次之,“益欣荣Ⅱ”最差。

表 3 不同处理水稻经济性状调查

Table 3 Investigation of economic characteristics of rice in different treatments

试验 Test	处理 Treatment	分蘖末期 The end of tillering			成熟期 Mature period							
		基本苗 Basic seedling 株/苑	功能叶长 Function leaf length cm	株高 Plant height cm	主穗末叶长 Leaf length of main ear end//cm	株高 Plant height cm	有效穗 Effective panicle 穗/苑	穗长 Ear length cm	穗实粒 Ear grains 粒/穗	结实率 Setting percentage %	千粒重 Thousand seed weight//g	理论产量 Theoretical output kg/hm <sup>2</sup>
A	①	18.0	50.9	70.1	30.6	104.1	13.6	24.4	110.5	81.9	27.91	7 767
	②	18.2	51.0	69.2	32.0	105.0	14.3	24.2	110.3	85.5	27.96	8 166
	③	18.6	51.9	69.7	33.2	107.3	15.0	24.5	111.7	88.5	28.15	8 735
	④	19.5	52.5	72.3	35.0	106.5	15.1	24.6	113.7	87.2	28.49	9 057
B	①	13.1	53.7	80.5	37.9	106.9	10.2	21.83	141.2	83.5	26.90	8 570
	②	13.2	54.5	80.7	38.9	107.2	10.5	22.32	143.3	84.8	27.12	9 066
	③	13.3	55.2	82.5	39.1	107.8	10.6	22.48	148.6	85.2	27.15	9 459
	④	13.4	55.8	83.0	39.3	108.3	10.7	22.92	150.2	86.5	27.18	9 662

表 4 不同处理水稻效益分析

Table 4 Benefit analysis of rice of different treatments

试验 Test	处理 Treatment	产值 Output 元/hm <sup>2</sup>	比①增值 Value-added than ① 元/hm <sup>2</sup>	比②增值 Value-added than ② 元/hm <sup>2</sup>	投入 Investment	比①增投入 Increase investment than ① 元/hm <sup>2</sup>	比②增投入 Increase investment than ② 元/hm <sup>2</sup>	比①净增收 Net income increase than ① 元/hm <sup>2</sup>	增加产投比 Increase production-to-investment ratio
A	①	19 185	—	—	1 350	—	—	—	—
	②	20 985	1 800	—	1 950	600	—	1 200	3.00
	③	21 495	2 310	510	2 550	1 200	600	1 110	1.93
	④	22 110	2 925	1 125	2 550	1 200	600	1 725	2.44
B	①	18 645	—	—	2 250	—	—	—	—
	②	20 295	1 650	—	3 150	900	—	750	1.83
	③	20 745	2 100	450	3 750	1 500	600	600	1.40
	④	21 375	2 730	1 080	3 750	1 500	600	1 230	1.82

注:肥料(普通复合肥及宜施壮配方肥),稻谷单价为 3.00 元/kg,益欣荣Ⅱ土壤调理剂、谷乐丰微生物菌剂、氨糖可力土壤修复菌剂单价为 2.00 元/kg

Note:Fertilizer(ordinary compound fertilizer and Yishizhuang formula fertilizer),the unit price of rice is 3.00 yuan/kg,and the unit price of Yixinrong II soil conditioner,Gulefeng microbial inoculants,and amino sugar coeli soil remediation inoculants is 2.00 yuan/kg

2.4 不同处理对土壤 pH 的影响 从图 1 可以看出,A 点试验前后土壤 pH 皆低于 5.5,土壤酸化;试验后土壤 pH 整体下降,处理①~④分别下降 0.14、0.09、0.06、0.06;酸化程度加重,但 3 种组合土壤 pH 下降程度比常规施肥要小很多,土壤酸化得到有效缓解。B 点试验前后土壤 pH 皆低于 6.5,土壤呈酸性;试验后常规施肥土壤 pH 下降 0.18,3 种组合皆上

升,处理②~④分别上升 0.16、0.26、0.26。对土壤酸性的中和作用“益欣荣Ⅱ+谷乐丰”(处理③)与“益欣荣Ⅱ+氨糠可力”(处理④)相同,高于“益欣荣Ⅱ”(处理②)。单纯施用化肥使土壤进一步酸化,增施不同调理剂组合后,酸化土壤得到缓解,酸性土壤 pH 明显提升。

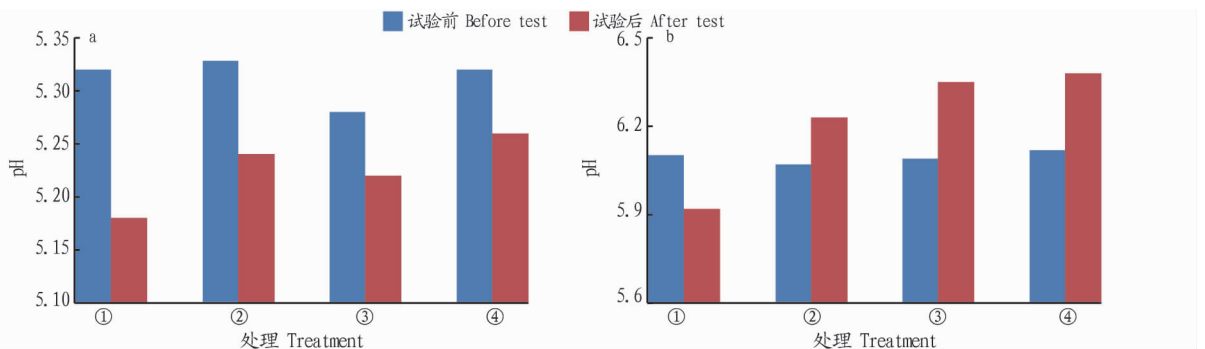


图 1 A 点(a)和 B 点(b)试验土壤 pH 变化

Fig.1 Changes in soil pH at point A (a) and point B (b)

2.5 不同处理对土壤交换性铝的影响 土壤交换性铝是土壤潜在酸的主要来源,其含量越高,潜在酸度越大。与土壤

交换性氢一起组成了土壤的交换性酸总量,是土壤酸度的容量指标<sup>[12]</sup>。从土壤交换性铝变化(图 2)可以看出,A 点试验

后土壤交换性铝整体上升,处理①~④分别上升0.85、0.60、0.49、0.50 cmol/kg;常规施肥(处理①)上升幅度最大,单独增施益欣荣Ⅱ(处理②)次之,另外2个组合相当。B点试验后土壤交换性铝整体下降,处理①~④分别下降0.02、0.05、

0.05、0.04 cmol/kg;常规施肥(处理①)下降幅度最小,3种不同组合相当。3种组合对抑制土壤交换性铝皆有一定作用,可降低土壤铝毒害风险。

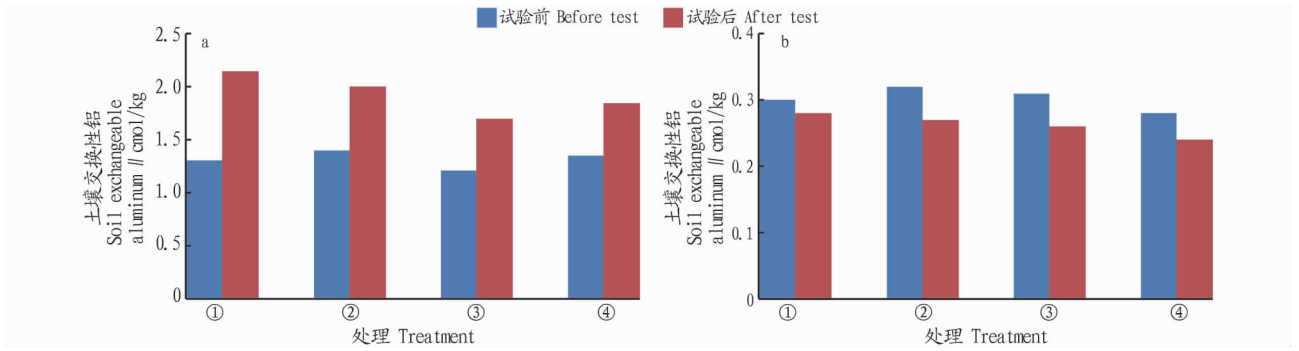


图2 A点(a)和B点(b)试验土壤交换性铝变化

Fig.2 Changes of exchangeable aluminum in experimental soil at point A(a) and point B(b)

2.6 不同处理对土壤有效锰的影响 从图3可以看出,试验后土壤有效锰整体下降,A点处理①~④分别下降14.5、14.5、24.2、23.3 mg/kg,下降程度处理①、②一致,处理③、④相当;B点处理①~④分别下降5.9、6.8、10.6、14.3 mg/kg,下降程度随着处理号增加而增加,该点有效锰在50 mg/kg以

上,含量极高<sup>[13]</sup>。说明3种组合对土壤有效锰皆有一定的抑制作用,可有效降低锰过量。“益欣荣Ⅱ+氨糠可力”(处理④)优于“益欣荣Ⅱ+谷乐丰”(处理③),更优于“益欣荣Ⅱ”(处理②)。

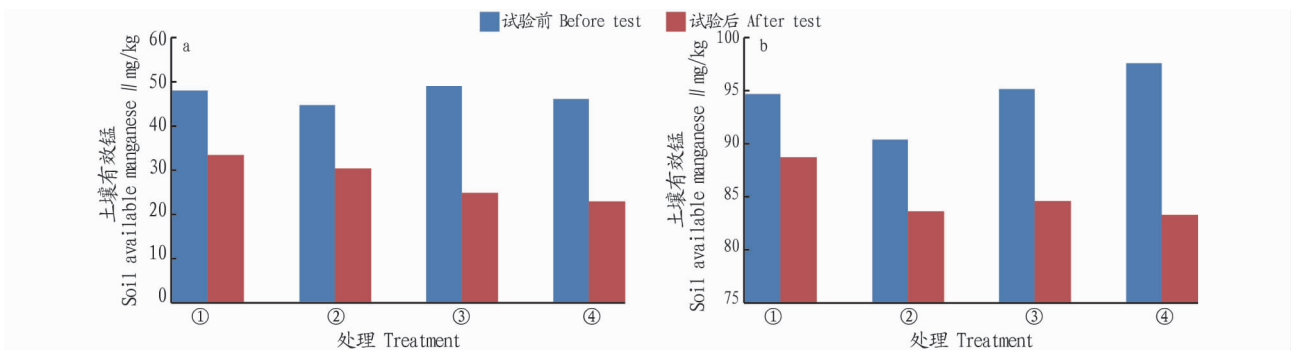


图3 A点(a)和B点(b)试验土壤有效锰变化

Fig.3 Changes of available manganese in test soil at point A(a) and point B(b)

2.7 不同处理对土壤盐基饱和度的影响 一般盐基饱和度 $\geq 80\%$ 的土壤为较肥沃的土壤;50%~80%的土壤为中等肥力水平;而低于50%,土壤肥力较低<sup>[14]</sup>。从图4可以看出,A点土壤盐基饱和度在58.21%~66.63%,处于中等水平;B点在72.80%~84.14%,处于中等至高水平。A点试验后常规施肥(处理①)下降2.29个百分点,处理②~④则分别上升

7.80、6.76、4.40个百分点,“益欣荣Ⅱ”(处理②)对土壤盐基饱和度的提高程度高于“益欣荣Ⅱ+谷乐丰”(处理③),更高于“益欣荣Ⅱ+氨糠可力”(处理④);B点试验后土壤盐基饱和度整体上升,处理①~④分别上升2.92、8.42、8.98、5.67个百分点,“益欣荣Ⅱ+谷乐丰”(处理③)高于“益欣荣Ⅱ”(处理②),更高于“益欣荣Ⅱ+氨糠可力”(处理④)。

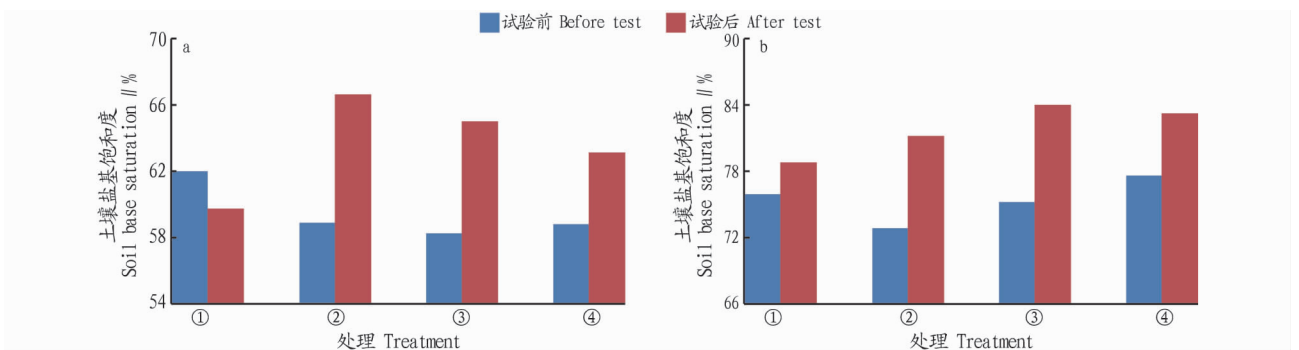


图4 A点(a)和B点(b)土壤盐基饱和度变化

Fig.4 Changes in soil base saturation at point A(a) and point B(b)

**2.8 不同处理对土壤总镉及有效镉的影响** 对 B 点试验前后土壤总镉及有效镉进行检测,结果发现(图 5),试验后土壤总镉整体下降,处理①~④分别下降 0.038、0.041、0.036、0.041 mg/kg,各处理间变化规律不明显。试验后土壤有效镉与总镉一样整体下降,处理①~④分别下降 0.023、0.041、

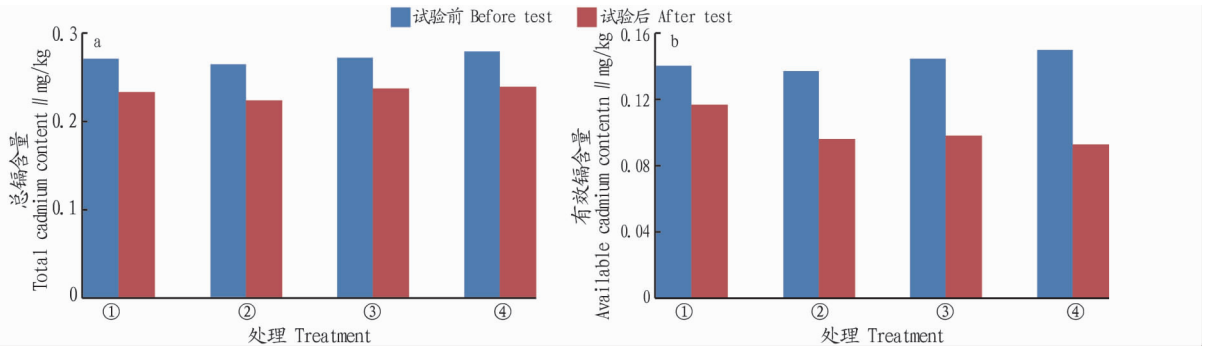


图 5 B 点试验前后土壤总镉(a)及有效镉(b)变化

Fig.5 Changes of soil total cadmium(a) and available cadmium(b) before and after test at point B

**2.9 不同处理对稻谷镉含量的影响** 试验后取样检测 B 点稻谷镉含量,结果发现(图 6),稻谷镉含量皆高于 0.4 mg/kg,超过了食品安全国家标准食品中污染物限量 GB 2762—2017<sup>[15]</sup>规定的限量值(0.2 mg/kg),也超过了土壤中有效镉和总镉含量,稻谷对镉的富集作用明显。随着处理号增加,稻谷镉含量迅速下降,处理②~④分别比处理①降低 0.078、0.120、0.138 mg/kg。说明 3 种组合能有效阻止稻谷对土壤中镉的吸收,且“益欣荣 II+氨糠可力”(处理④)优于“益欣荣 II+谷乐丰”(处理③),更优于“益欣荣 II”(处理②)。

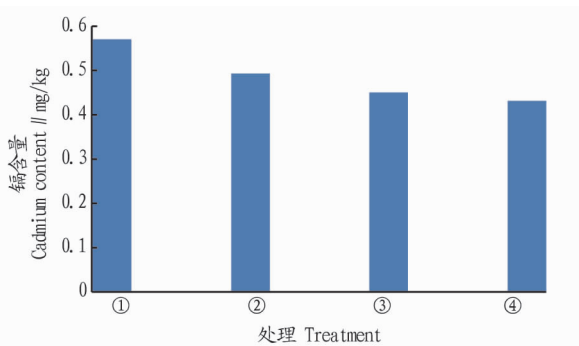


图 6 试验后 B 点不同处理稻谷镉含量变化

Fig.6 Changes of cadmium content in paddy under different treatments at point B

### 3 结论与讨论

土壤调理剂是指加入障碍土壤中以改善土壤物理、化学和/或生物性状的物料,适用于改良土壤结构、降低土壤盐碱危害、调节土壤酸碱度、改善土壤水分状况或修复污染土壤等<sup>[16]</sup>。可分为矿物源、有机源、化学源 3 种类型,此次试验考虑了矿物源与有机源土壤调理剂的结合应用。在湖北利川市柏杨坝镇、南坪乡 2 个点位,不同成土母岩母质发育的水稻土中,应用“益欣荣 II”“益欣荣 II+谷乐丰”“益欣荣 II+氨糠可力”3 种不同土壤调理剂组合,试验结果如下:

(1) 3 种组合在水稻上应用增产效果显著,“益欣荣 II+氨糠可力”优于“益欣荣 II+谷乐丰”,更优于“益欣荣 II”。A

0.047、0.057 mg/kg。3 种组合(处理②~④)土壤有效镉下降程度明显低于常规施肥处理(处理①),作物对有效镉的吸收得到控制,重金属镉污染得到缓解。“益欣荣 II+氨糠可力”(处理④)优于“益欣荣 II+谷乐丰”(处理③),更优于“益欣荣 II”(处理②)。

点分别增产稻谷 974、770、600 kg/hm<sup>2</sup>,增幅分别为 15.23%、12.04%、9.38%;B 点分别增产稻谷 908、700、550 kg/hm<sup>2</sup>,增幅分别为 14.61%、11.26%、8.85%。主要通过提高水稻有效穗、穗实粒和千粒重实现稻谷增产。

(2) 3 种组合在水稻上应用皆有一定的经济效益,从净收益上看,“益欣荣 II+氨糠可力”优于“益欣荣 II”,更优于“益欣荣 II+谷乐丰”,后两者差异不大。A 点净增收分别为 1 725、1 200、1 110 元/hm<sup>2</sup>,B 点净增收分别为 1 230、750、600 元/hm<sup>2</sup>。

(3) 3 种组合对改良酸化或酸性水稻土有较好效果。“益欣荣 II”“益欣荣 II+谷乐丰”“益欣荣 II+氨糠可力”3 种组合与常规施肥对比,A 点分别可使土壤 pH 提升 0.05、0.08、0.08 单位,土壤交换性铝下降 0.25、0.36、0.35 cmol/kg,土壤有效锰下降 0.9、9.7、8.8 mg/kg,土壤盐基饱和度提升 10.09、9.05、6.69 百分点;B 点土壤 pH 分别提升 0.34、0.44、0.44 单位,土壤交换性铝下降 0.03、0.03、0.02 cmol/kg,土壤有效锰下降 0.9、4.7、8.4 mg/kg,土壤盐基饱和度提升 5.50、6.06、2.75 百分点。3 种组合皆能使土壤 pH 相对或绝对上升,交换性铝相对或绝对下降,盐基饱和度明显提高,有效锰明显下降,土壤酸性得到中和,铝毒害风险得到缓解,有效锰过量得到有效控制,土壤肥力有所增强。

(4) 从 B 点结果看,3 种组合对土壤总镉影响不大,对土壤有效镉皆有一定的钝化作用,从而明显控制了稻谷对镉的吸收。“益欣荣 II+氨糠可力”优于“益欣荣 II+谷乐丰”,更优于“益欣荣 II”,与常规施肥相比,土壤有效镉分别下降 0.034、0.024、0.018 mg/kg;稻谷镉含量分别下降 0.138、0.120、0.078 mg/kg,下降幅度较大,分别为 24.13%、20.98%、13.64%,但未能达到食品安全国家标准食品中污染物限量 GB 2762—2017 规定的限量值(0.2 mg/kg)要求。

以上试验结果表明,3 种土壤调理剂组合对改良酸化或酸性水稻土有较好效果,特别是钝化土壤镉及降低作物镉含

(下转第 130 页)

**2.3 主要产量指标** 由表5可知,达维在引种5年进入初果期后,产量显著高于其他4个品种,单株产量达到了2 125.78 g/株,玉坠稍次,平欧524产量处于中间水平,平欧226的株产量最低,仅824.91 g/株;在对比果实形状时,达维、平欧226、平欧524果实大小较接近,且显著大于玉坠和平欧110,其中,平欧524果实最大,果横径、果纵径分别达到了

21.97 mm、20.79 mm,大于其他4个品种,达维的果侧径最大,达21.75 mm<sup>[9]</sup>。5个品种果实内含物方面,平欧524的可溶性糖含量为81.21 mg/g,显著大于其他4个品种,达维稍次,含量为67.47 mg/g,玉坠和平欧226无明显差异,平欧110可溶性糖含量最低,仅37.93 mg/g;5个品种果实可溶性淀粉无明显差异<sup>[10]</sup>。

表5 不同品种平欧杂交榛产量指标(6年生)

Table 5 Yield indicators of different varieties of hybrid hazelnut (6 years old)

品种 Variety	株产量 Plant yield g/株	果横径 Fruit horizontal diameter//mm	果纵径 Fruit longitudinal diameter//mm	果侧径 Fruit side diameter//mm	可溶性糖 Soluble sugar mg/g	可溶性淀粉 Soluble starch mg/g
达维 Dawei	2 125.78±134.12 a	18.32±0.38 c	16.86±0.27 d	21.75±0.44 b	67.47±9.60 ab	12.10±0.77 a
玉坠 Yuzhui	2 005.72±66.32 a	15.14±0.16 d	13.68±0.13 e	19.41±0.34 c	55.35±9.58 abc	12.57±1.40 a
平欧110 Pingou 110	1 537.37±45.01 b	17.86±0.87 c	17.71±0.73 c	19.71±0.17 c	37.93±8.43 c	12.10±1.78 a
平欧226 Pingou 226	824.91±14.81 c	21.86±0.29 a	18.66±0.44 b	20.61±0.94 a	53.51±6.84 bc	14.07±2.30 a
平欧524 Pingou 524	1 716.77±135.21 a	21.97±0.27 b	20.79±0.37 a	19.76±0.28 c	81.21±9.73 a	14.95±0.64 a

注:同列不同小写字母表示不同品种之间差异显著( $P<0.05$ )

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant differences among different varieties ( $P<0.05$ )

### 3 结论

该研究结果表明,达维引种6年后的产量与东北地区差异不大,但平欧杂交榛引种至安徽地区后,可提前30 d左右成熟,于7月中上旬抢占市场,不仅具有一定的推广价值,还丰富了安徽地区的物种多样性;达维和平欧524的果实较大,且横纵侧径较接近呈规则圆形,因此达维与平欧524果实比例均衡且美观;由不同品种平欧杂交榛物候期得出,达维的新梢生长、雌雄花期、果实生长均显著早于其他4个品种,根据物候期的不同,可针对不同品种的平欧杂交榛制订不同的养护管理方案;从生长指标来看,达维、玉坠、平欧524生长势最强,在水胁迫环境下,达维和平欧524的新梢及叶片干物质量均高于其他3个品种,这说明水胁迫条件下达维和平欧524的生物量积累和生长状况均优于玉坠、平欧110和平欧226,表现出较强的抗涝能力和适应性。

综上所述,5个品种中达维引种表现最好,适应性最强,平欧524引种表现比达维稍差;其他3个品种引种表现均有不同程度的缺陷和差异。达维引种栽培6年后,与东北地区

平欧杂交榛的生长结实情况无显著差异,且生长结实适应性良好,是安徽地区可推广栽培的平欧杂交榛优良品种。

### 参考文献

- [1] 朱小芳,杨凯,赵玉红.平欧榛子活性成分含量及抗氧化性比较[J].食品科学,2017,38(19):130-136.
- [2] 吴红雪,李显玉,李锴,等.平欧杂交榛引种试验[J].安徽农业科学,2021,49(10):111-114.
- [3] 张永贵,曲东,燕飞,等.榛子种质资源、育种及栽培技术研究进展[J].生物资源,2019,41(2):95-103.
- [4] 黄梦楠.长丰县水资源保护研究[D].合肥:安徽农业大学,2018.
- [5] 章理运,申明海,周传涛,等.豫南引种不同薄壳山核桃无性系花期物候特征[J].经济林研究,2020,38(4):32-41.
- [6] 张双英,高本旺,宋正江,等.鄂西地区良种核桃选育I——引种栽培适应性表现对比试验[J].经济林研究,2014,32(1):87-91.
- [7] 陈刚,杨静荣.吉林地区大果榛子引种试验初报[J].北方园艺,2012(21):31-33.
- [8] 宋锋惠,哈地尔·依沙克,何琼,等.杂交榛子果实经济性状分析与评价[J].经济林研究,2009,27(4):36-40.
- [9] 罗青红,史彦江,宋锋惠,等.不同产地杂交榛果实品质比较分析[J].食品科学,2013,34(3):50-54.
- [10] 李建红,赵生春,汪淑娟,等.甘肃10个引进核桃品种坚果品质与营养成分分析[J].经济林研究,2015,33(4):111-114.
- [11] 张旋,邓婕红,周富忠.改酸型有机肥在高山甘蓝上的应用效果研究[J].长江蔬菜,2018(18):63-66.
- [12] 余斌,丁和权,温权州,等.“最镁”在十字花科蔬菜上的应用效果[J].湖北农业科学,2017,56(18):3438-3443.
- [13] 王明琼,向益英,周富忠.石灰在利川市高山蔬菜基地的应用效果[J].长江蔬菜,2013(4):63-65.
- [14] 中华人民共和国农业部.土壤调理剂 效果试验和评价要求:NY/T 2271—2016[S].北京:中国农业出版社,2016.
- [15] 向永生.恩施州耕地资源评价与利用[M].北京:中国农业科学技术出版社,2013:137-152.
- [16] 周富忠,王明琼,冉露.利川市耕地铜、锌、铁、锰有效态含量及其空间分布[J].湖北农业科学,2019,58(13):64-71,101.
- [17] 汪文强,王子芳,高明,等.施氮对紫色土交换性酸及盐基饱和度的影响[J].水土保持学报,2014,28(3):138-142.
- [18] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会,国家食品药品监督管理总局.食品安全国家标准 食品中污染物限量:GB 2762—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [19] 中华人民共和国农业部.土壤调理剂 通用要求:NY/T 3034—2016[S].北京:中国农业出版社,2017.

(上接第97页)

量效果明显,在水稻上应用增产效果显著,并有一定的经济效益。综合比较,“益欣荣Ⅱ+氨糖可力”优于“益欣荣Ⅱ+谷乐丰”,更优于单施“益欣荣Ⅱ”。建议在酸化耕地及高镉区域大面积推广应用,并进一步在其他作物上试验、示范。

### 参考文献

- [1] 张玲玉,赵学强,沈仁芳.土壤酸化及其生态效应[J].生态学杂志,2019,38(6):1900-1908.
- [2] 于天一,孙秀山,石程仁,等.土壤酸化危害及防治技术研究进展[J].生态学杂志,2014,33(11):3137-3143.
- [3] 徐仁扣.土壤酸化及其调控研究进展[J].土壤,2015,47(2):238-244.
- [4] 周富忠.利川市耕地酸化的成因及治理措施研究[D].荆州:长江大学,2012.
- [5] 杨远恒,杨再辉,周富忠,等.恩施州土壤酸化情况调查及对策建议[J].长江蔬菜,2017(16):64-67.
- [6] 师超,上官力,刘光彪,等.“清江源”利川特色优质烟区土壤酸化治理研究[J].安徽农业科学,2015,43(26):97-100.
- [7] 周富忠,朱学祝,刘仁波.加拿大碳酸钙火山盐岩(SRC)对酸化土壤的