

改良剂对反酸田土壤性质与水稻产量的影响<sup>\*</sup>易琼 杨少海 黄巧义 黄旭 蒋瑞平 唐拴虎<sup>†</sup>

(广东省农业科学院农业资源与环境研究所/农业部南方植物营养与肥料重点实验室 / 广东省养分资源循环利用与耕地保育重点实验室, 广州 510640)

**摘要** 采用盆栽试验研究了不同改良剂在反酸田土壤上的应用效果。结果表明, 土壤 pH 在 3.47 ~ 4.90 范围内, pH 与交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  呈极显著线性负相关关系, 而与土壤有效铁和有效硫含量呈显著正相关。不同改良处理在提高作物产量和改良土壤性质方面较对照处理与 NPK 处理效果明显, 且钙镁磷肥、自研改良剂、石灰及碱渣等无机改良剂改良效果显著高于添加腐植酸、精制有机肥、碱性有机肥处理。其改良效果主要体现在提高土壤 pH, 显著降低土壤交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  含量, 明显增加土壤有效钙和有效镁的含量, 改善根系生长环境, 增加水稻地上部养分吸收和水稻籽粒产量。综上, 初步认为酸害(包括活性酸和潜在酸)是反酸田土壤最主要的限制因子, 钙镁磷肥、自研改良剂和石灰等偏碱性且富含有效钙或磷的无机矿物质是农业生产中改良反酸田的适宜改良剂。

**关键词** 改良剂; 反酸田; 土壤性质; 水稻产量

**中图分类号** S156.2 **文献标识码** A

反酸田是一种强酸性土壤, 属于水稻土类成酸性水稻土亚类中反酸田土属<sup>[1]</sup>, 是在酸性硫酸盐土上发育而成的水稻土。据黄继茂<sup>[2]</sup> 研究报道我国该类土壤面积约在 2 万  $hm^2$  以上。反酸田的主要特征表现为土壤富含铁、铝等毒害元素, 酸性很强且严重缺磷<sup>[3]</sup>。反酸田对环境的影响不仅表现在对植物生长的限制, 而且对水生生态系统和整个土壤生态系统造成严重威胁<sup>[4-5]</sup>。因此反酸田的研究不仅仅是土壤学问题, 同时更重要的是一个生态环境问题<sup>[6]</sup>。目前, 因反酸田土壤生产力水平低而导致当地农民种稻积极性下降, 以及反酸田所带来的环境危害已引起了政府相关部门的重视。为保证我国粮食安全这一大局, 提高土地利用效率以及缓解生态环境恶化, 合理开发利用滨海地区反酸田已迫在眉睫<sup>[7]</sup>。

反酸田土壤的改良对我国东部沿海农业可持续发展将有非常广阔的应用价值和开发前景。长期以来, 不少农业工作者致力于反酸田相关研究工作, 尤其侧重于反酸田形成机制及危害机理方面的研究报道<sup>[8-9]</sup>, 且对酸性土壤的改良主要集中在

在有机肥与化肥施用, 或仅仅针对于某一种或某一类物质的改良效果<sup>[10-11]</sup>, 很少系统地比较有机类物质与无机矿物质对反酸田的应用效果和改良机制。本文以此为契机, 主要通过比较不同改良剂对反酸田水稻籽粒产量和养分吸收、土壤理化性质, 包括土壤 pH、阳离子交换量(CEC), 有效铁(Fe)、有效硫(S)含量, 交换性氢( $H^+$ )、交换性铝( $Al^{3+}$ )含量等的改良效果, 初步明确反酸田土壤的主要限制因子, 确定适合反酸田改良的添加物质, 为反酸田的改良和治理提供有力的科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 供试土壤与水稻

供试土壤采自广东省台山市冲葵镇 0 ~ 30 cm 水稻土, 该地属南亚热带海洋性季风气候, 光照充足, 雨量充沛, 低温期短, 无霜期 364 d, 年均降雨量 1 530 mm, 年平均气温为 21.5℃。该土壤发育于富含还原性硫化铁的成土母质, 土壤质地为壤土, 基本理化性状如表 1。供试水稻品种为银晶软占。

\* 公益性行业科研专项(201003016)资助

† 通讯作者, Tel: 020-85161400, E-mail: tfstshu@yahoo.com.cn

作者简介: 易琼(1985—), 女, 湖南株洲人, 硕士, 主要从事养分资源利用方面的研究。E-mail: yiq100@126.com

收稿日期: 2013-02-28; 收到修改稿日期: 2013-07-07

表 1 供试土壤基本理化性状  
Table 1 Physical and chemical properties of tested soil

土层 Soil layer (cm)	pH	有机质 OM (g kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkalytic N (g kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Avail. P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Avail. K (mg kg <sup>-1</sup> )	可溶性盐 Solub. Salt (g kg <sup>-1</sup> )	有效铁 Avail. Fe (g kg <sup>-1</sup> )	有效硫 Avail. S (g kg <sup>-1</sup> )	交换性 H <sup>+</sup> Exchange H <sup>+</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )	交换性 Al <sup>3+</sup> Exchange Al <sup>3+</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )
0 ~ 15	3.56	46.40	0.16	5.36	84.33	1.90	0.24	0.89	7.81	7.39
15 ~ 30	3.31	37.80	0.14	3.31	63.85	2.10	0.25	0.88	9.88	9.10

## 1.2 试验设计

盆栽试验于 2011 年 8—11 月在广东省农业科学院网室内开展,于 8 月 17 日移栽,11 月 1 日收获。试验设 10 个处理,分别为:(1)对照不施肥处理(CK);(2)常规施肥处理(NPK);(3)腐植酸 + NPK,腐植酸主要成分为腐植酸钠,pH 为 8.2;(4)精制有机肥 + NPK,精制有机肥由鸡粪堆制而成,总养分含量  $\geq 4\%$  (N:P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:K<sub>2</sub>O = 1.5:1:1.5),pH 为 7.9;(5)碱性有机肥 + NPK,碱性有机肥在鸡粪堆制过程中添加碱性材料,养分含量同处理(4),pH 为 9.5;(6)石灰 + NPK,石灰为氢氧化钙,pH 为 12.0;(7)碱渣 + NPK,碱渣主要成分为碳酸钙、硫酸钙、氯化钙等钙盐为主的废渣,pH 为 9.6;(8)粉煤灰 + NPK,粉煤灰主要由氧化硅、氧化铝、氧化铁等氧化物组成,pH 为 9.1;(9)自研改良剂 + NPK,自研改良剂是由白云石,碱渣及石灰等材料按照一定比例制成,pH 为 10.4;(10)钙镁磷肥 + NK,钙镁磷肥主要成分包括磷酸钙,硅酸钙和硅酸镁,pH 为 8.9。处理(1)、(2)作为对照,处理(3)~(5)为有机添加剂处理,处理(6)~(10)为偏碱性且富含有效钙或磷的无机矿物质,各处理设 21 个重复用于采样和收获,完全随机区组排列,上下土层土壤分别混匀装盆,每盆装土 2 kg。肥料品种分别为尿素,磷酸二铵和氯化钾,各处理氮磷钾肥按 N 0.25 g 盆<sup>-1</sup> (基肥施 60%,追肥于分蘖期施 40%),P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.075 g 盆<sup>-1</sup> (全部基肥),K<sub>2</sub>O 0.2 g 盆<sup>-1</sup> (基肥和追肥各半施入),有机、无机添加剂均按 10 g 盆<sup>-1</sup> 的量添加。网室四面通风,顶层覆膜,室内温度与室外基本相同,各处理水分均按照当地习惯前期浅水灌溉,中期排干,收获前一周停止灌溉使其落干,生育期内密切关注并防治病虫害的发生,所有管理措施尽量与大田保持一致。

## 1.3 样品采集与测定

成熟期每个处理分别取 3 个重复进行计产,同

时各处理分别取 3 个重复的土样进行分析。土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾按照常规方法测定<sup>[12]</sup>,土壤 pH 采用电位法(水土比 2.5:1);土壤交换性 H<sup>+</sup>、Al<sup>3+</sup> 采用 1 mol L<sup>-1</sup> KCl 交换—中和滴定法;土壤有效铁采用 DTPA 溶液浸提—原子吸收光谱法测定,土壤有效硫采用磷酸盐浸提—硫酸钡比浊法测定,阳离子交换量用醋酸铵法测定,土壤可溶性盐采用残渣烘干—质量法测定。

## 1.4 数据分析

本文采用 Excel 2007 和 SAS 9.0 统计软件进行数据统计分析和绘图。各处理采用邓肯(Duncan)法进行多重比较。

## 2 结果

### 2.1 改良剂对植株养分吸收与土壤养分含量的影响

由表 2 可知,添加不同改良剂对地上部植株养分的吸收和土壤养分含量影响不同。不同改良剂处理之间植株养分吸收规律与水稻籽粒产量表现出相似规律。NPK 处理较 CK 处理养分吸收量略有增加,但差异不显著,添加腐植酸处理对氮磷钾吸收较 NPK 处理差异不显著。其中添加钙镁磷肥处理植株氮磷钾的吸收量最高,添加石灰和自研改良剂处理次之。水稻收获后各处理土壤养分含量差异较大,其中以添加腐植酸处理土壤碱解氮含量最高,为 0.27 g kg<sup>-1</sup>,显著高于 CK、NPK 处理和其他改良处理(精制有机肥处理除外)。土壤速效磷含量仍以添加钙镁磷肥处理最高,而土壤速效钾含量以粉煤灰处理最高。该结果表明地上部籽粒产量较高的处理植株养分吸收量也较高,而土壤养分含量相对较低。

表 2 不同改良处理对植株养分吸收与土壤养分含量的影响

Table 2 Effects of different ameliorants treatments on plant nutrient uptake and content of soil nutrients

处理 Treatment	植株 Plant			土壤 Soil		
	吸氮量 N uptake (g pot <sup>-1</sup> )	吸磷量 P uptake (g pot <sup>-1</sup> )	吸钾量 K uptake (g pot <sup>-1</sup> )	碱解氮 Alkalytic N (g kg <sup>-1</sup> )	速效磷 Avail. P (mg kg <sup>-1</sup> )	速效钾 Avail. K (mg kg <sup>-1</sup> )
CK	20.4 ± 3.1e	2.3 ± 1.6g	12.7 ± 7.2f	0.19 ± 0.01cde	9.12 ± 5.50b	127 ± 12d
NPK	21.0 ± 16.0e	3.8 ± 2.4fg	32.7 ± 17.0f	0.23 ± 0.02bc	16.7 ± 0.6b	171 ± 9c
腐植酸 <sup>①</sup> + NPK	26.0 ± 5.7e	3.9 ± 0.8fg	30.8 ± 9.4f	0.27 ± 0.02a	9.75 ± 1.50b	192.0 ± 3.5bc
精致有机肥 <sup>②</sup> + NPK	43.6 ± 9.6d	7.1 ± 2.4ef	64.5 ± 2.2e	0.25 ± 0.01ab	7.00 ± 0.90b	214 ± 14b
碱性有机肥 <sup>③</sup> + NPK	78.5 ± 16.0c	11.0 ± 4.7cd	108.0 ± 4.1d	0.19 ± 0.01cde	18.3 ± 0.4b	177 ± 22c
石灰 <sup>④</sup> + NPK	104.4 ± 12.0b	18.9 ± 1.3b	199 ± 12b	0.16 ± 0.01e	6.36 ± 0.90b	176 ± 4bc
碱渣 <sup>⑤</sup> + NPK	85.6 ± 18.0c	13.5 ± 2.8c	140 ± 49c	0.18 ± 0.01de	4.98 ± 0.10b	203 ± 19bc
粉煤灰 <sup>⑥</sup> + NPK	80.0 ± 11.0c	11.1 ± 0.9cd	145 ± 10c	0.17 ± 0.06de	13.3 ± 4.1b	254 ± 23a
自研改良剂 <sup>⑦</sup> + NPK	92.6 ± 16.0bc	14.7 ± 0.7c	157 ± 26c	0.16 ± 0.01e	5.23 ± 1.80b	170 ± 35c
钙镁磷肥 <sup>⑧</sup> + NK	126.7 ± 15.0a	36.6 ± 1.4a	290 ± 24a	0.16 ± 0.00e	24.2 ± 9.5a	110 ± 27d

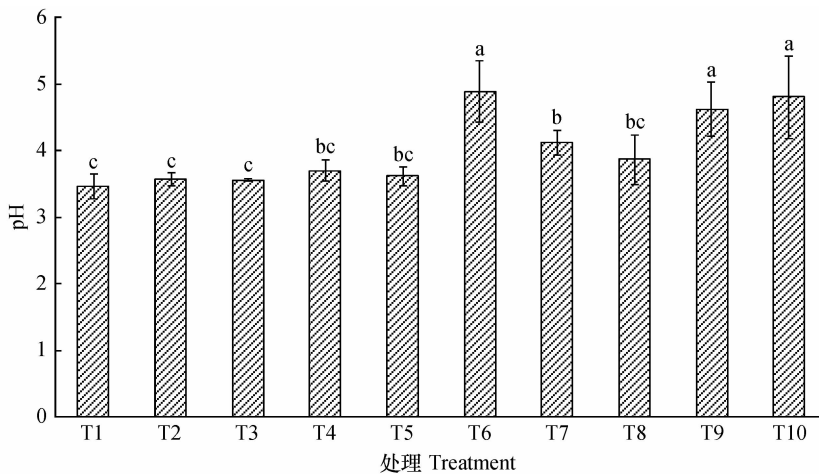
注:同列不同字母表示差异显著( $p < 0.05$ ) Note: Different letters mean significant difference in the same column ( $p < 0.05$ )

① Humic acid, ② Refined organic manure, ③ Alkaline organic manure, ④ Lime, ⑤ Alkali residue, ⑥ Fly ash. ⑦ Home-developed ameliorant, ⑧ Calcium magnesium phosphate fertilizer, 下同. The same below

## 2.2 改良剂对土壤酸度的影响

土壤酸度主要包括活性酸和潜性酸,前者通常以酸性强度指标 pH 表示,后者则以数量指标交换性酸( $H^+$ 、 $Al^{3+}$ )表示。土壤 pH 是酸性土壤作物生长的主要障碍因子之一。因此改善土壤 pH 对培肥土壤和促进作物养分吸收以及提高籽粒产

量具有重要意义。从图 1 可以看出,NPK 处理、添加腐植酸、碱性有机肥和粉煤灰处理较 CK 处理土壤 pH 稍有升高,但差异不显著。添加石灰、钙镁磷肥、自研改良剂和碱渣处理较 NPK 处理显著提高土壤 pH,分别增加了 1.32、1.24、1.05 和 0.55 个 pH 单位。



注Note: T1-对照(Control, CK); T2-常规处理(Conventional treatment, NPK); T3-腐植酸(Humic acid)+NPK; T4-精致有机肥(Refined organic manure)+NPK; T5-碱性有机肥(Alkaline organic manure)+NPK; T6-石灰(Lime)+NPK; T7-碱渣(Alkali residue)+NPK; T8-粉煤灰(Fly ash)+NPK; T9-自研改良剂(Home-developed ameliorant)+NPK; T10-钙镁磷肥(Calcium magnesium phosphate fertilizer). 下同The same as follow

图 1 不同改良处理对土壤 pH 的影响

Fig. 1 Effects of different ameliorants on soil pH

同样,改良剂的施用对降低土壤潜性酸的效果非常显著(图 2),本试验供试土壤为强酸性土壤,CK 处理与 NPK 处理土壤交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  含量均处于较高的水平,而改良剂的添加能有效降低二者的含量。与 NPK 处理相比,添加石灰、自研改良剂、钙镁磷肥和碱渣处理土壤交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  含量差异显著,分别降低了 95.2%、88.0%、88.0%、63.9% 和 95.9%、89.0%、90.0%、

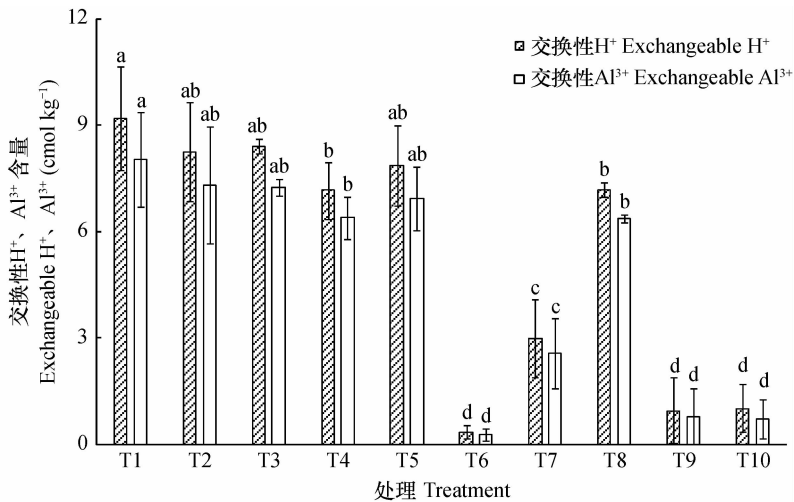


图 2 不同改良处理对土壤潜在酸的影响

Fig. 2 Effects of different ameliorants on soil potential acid

### 2.3 改良剂对土壤 CEC 和有效元素的影响

改良剂的施用对土壤 CEC 的影响不大,而改良前后各处理土壤 CEC、有效铁、有效硫,有效钙,有效镁的含量差异较大,尤其以无机矿物质处理变化更明显(表 3)。NPK 处理土壤有效铁和有效硫含量较 CK 处理差异不显著。各改良剂处理土壤有效铁含量在  $0.31 \sim 0.54 \text{ g kg}^{-1}$  范围内,较 NPK 处理增加了 14.8% ~ 98.2%,该结果可能与改良剂的添加改变了土壤环境,土壤酸度有所升高,从而促使土壤中铁的活化,以致土壤有效铁含量升高。土壤有效硫含量则表现为添加碱渣、石灰、粉煤灰和自研改良剂处理较 NPK 处理显著增加,其余改良处理对土壤有效硫含量无显著影响。值得一提的是,有机、无机改良剂对土壤有效钙和有效镁的含量的影响差异较大。土壤改良前后,腐植酸、精致或碱性有机肥等有机改良剂处理土壤有效钙和有效镁的含量较 NPK 处理差异不显著,而石灰、碱渣、粉煤灰、自研改良剂及钙镁磷肥处理土壤有效钙和有效镁含量较 NPK 处理分别增加了 5.79 倍、3.76 倍、2.75

64.4%。土壤中交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  含量的降低能减少植株对铝的吸收及铝对植物根系的毒害作用<sup>[13]</sup>。添加腐植酸处理和有机肥处理土壤交换性  $H^+$  含量较 NPK 处理稍有降低,但差异不显著,可能与腐植酸自身呈酸性,具有阳离子交换性能和络合金属离子等特性<sup>[14]</sup>有关,具体原因有待进一步研究。综上,添加合理的改良剂对防止酸性土壤进一步氧化和酸化及降低土壤酸度意义重大。

倍、3.15 倍、3.45 倍和 2.20 倍、1.02 倍、0.07 倍、2.15 倍、2.45 倍,差异达到极显著水平(粉煤灰处理有效镁含量除外)。由此可知,无机改良剂在改善土壤有效钙和有效镁含量方面较有机改良剂效果显著。

### 2.4 改良处理土壤主要理化性质间的相关性

通过分析土壤中有效铁、有效硫、交换性  $H^+$ 、交换性  $Al^{3+}$ 、碱解氮,速效磷,速效钾和 pH 之间的相关关系(表 4)可知,pH 在 3.47 ~ 4.90 范围内,土壤 pH 与土壤碱解氮、交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  均呈极显著线性负相关关系,而与土壤有效铁、有效硫含量呈显著正相关。由此表明,改良剂改善土壤 pH 的同时,又能有效降低土壤中交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  的含量。此外由表 4 还可知土壤有效铁和有效硫含量均与土壤交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  呈极显著负相关关系,而土壤碱解氮含量则与土壤交换性  $H^+$  和交换性  $Al^{3+}$  之间具极显著正相关关系。

表 3 不同改良处理对土壤 CEC 和有效元素的影响

Table 3 Effects of different ameliorants on CEC and available Fe and S

处理 Treatment	阳离子交换量 CEC ( $\text{cmol kg}^{-1}$ )	有效铁 Avail. Fe ( $\text{g kg}^{-1}$ )	有效硫 Avail. S ( $\text{g kg}^{-1}$ )	有效钙 Avail. Ca ( $\text{g kg}^{-1}$ )	有效镁 Avail. Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ )
CK	11.9a	0.29cd	0.66c	0.47d	0.07c
NPK	12.0a	0.27d	0.58c	0.51d	0.08c
腐植酸 <sup>①</sup> + NPK	12.0a	0.35bc	0.58c	0.45d	0.07c
精致有机肥 <sup>②</sup> + NPK	12.2a	0.31bcd	0.57c	0.58d	0.08c
碱性有机肥 <sup>③</sup> + NPK	11.6a	0.37b	0.64c	0.78d	0.08c
石灰 <sup>④</sup> + NPK	11.6a	0.54a	0.94b	3.47a	0.25a
碱渣 <sup>⑤</sup> + NPK	11.5a	0.34bc	1.09a	2.43b	0.16b
粉煤灰 <sup>⑥</sup> + NPK	12.0a	0.32bcd	0.87b	1.92c	0.08c
自研改良剂 <sup>⑦</sup> + NPK	12.8a	0.34bc	1.17a	2.10bc	0.24a
钙镁磷肥 <sup>⑧</sup> + NK	12.4a	0.51a	0.56c	2.27bc	0.27a

表 4 不同改良处理土壤主要理化性质间的相关关系

Table 4 Correlations between main soil physical and chemical properties in different ameliorants treatments

项目 Item	有效铁 Avail. Fe	有效硫 Avail. S	交换性 $\text{H}^+$ Exchange $\text{H}^+$	交换性 $\text{Al}^{3+}$ Exchange $\text{Al}^{3+}$	碱解氮 Alkalytic N	速效磷 Avail. P	速效钾 Avail. K	pH
有效铁 Avail. Fe	1							
有效硫 Avail. S	0.101	1						
交换性 $\text{H}^+$ Exchange $\text{H}^+$	-0.664 **	-0.535 **	1					
交换性 $\text{Al}^{3+}$ Exchange $\text{Al}^{3+}$	-0.668 **	-0.528 **	0.999 **	1				
碱解氮 Alkalytic N	-0.418 *	-0.522 **	0.639 **	0.635 **	1			
速效磷 Avail. P	0.36	-0.342	-0.189	-0.19	-0.127	1		
速效钾 Avail. K	-0.307	0.250	0.221	0.232	0.250	-0.462 *	1	
pH	0.718 **	0.394 *	-0.909 **	-0.902 **	-0.549 **	0.358	-0.265	1

注：“\*”，“\*\*”分别表示在 5% 和 1% 水平有显著性关系 Note：“\*”，“\*\*” indicate significance at 5% and 1% levels, respectively

## 2.5 改良剂对籽粒产量的影响

改良剂对土壤的改良效果同时通过地上部籽粒产量这一指标得以体现,不同改良剂对水稻籽粒产量影响不同(图 3)。与 NPK 处理相比较,添加腐植酸和精制有机肥处理对水稻籽粒产量增加均不显著。其余改良剂处理均显著增产,其中添加钙镁磷肥处理水稻籽粒产量最高,为  $19.3 \text{ g 盆}^{-1}$ ,较 NPK 处理提高了 32.2 倍,添加石灰、自研改良剂、粉煤灰、碱渣及碱性有机肥处理分别较 NPK 处理提高了 22.2 倍、19.5 倍、14.1 倍、11.0 倍和 5.4 倍。由图 3 可知,添加钙镁磷肥、石灰、自研改良剂、粉煤灰和碱渣这类无机改良剂对提高水稻籽粒产量效果显著高于添加腐植酸、精制有机肥和碱性有机肥这类有机物质。

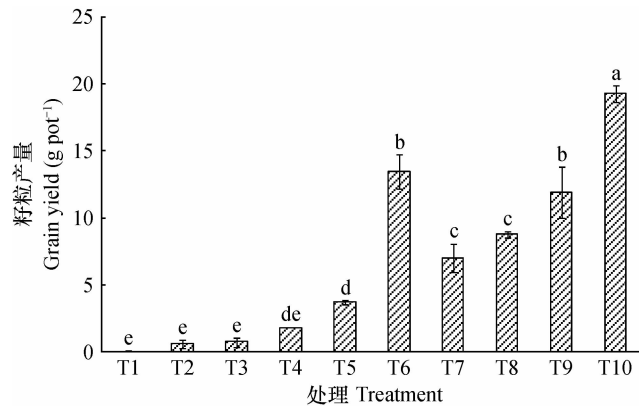


图 3 不同改良剂处理对籽粒产量的影响

Fig. 3 Effects of different ameliorants on grain yields of rice

### 3 讨 论

酸性土壤的改良是一个由来已久的问题,同样,反酸田作为酸性土壤的一种特殊类型,其改良与治理是不可逃避的重要任务。目前,已有研究表明<sup>[15]</sup>酸性土壤在农业生产中主要障碍因素为土壤酸度低、有效磷含量低、铝锰等离子毒害等。反酸田具有酸性土壤共性的同时,还具有其特殊性,如在氧化条件下具有反酸特性<sup>[16]</sup>,有机质含量相对较高,且富含铁、硫元素等重要特征。因此,在众多障碍因子的作用下,反酸田的改良可能会更复杂。

迄今为止,针对酸性土壤的改良国内外已开展了大量的研究工作。据已有研究报道可知,目前改善反酸田土壤颇为有效的应用措施主要有外源添加改良剂和不同的灌排措施等。王小兵等<sup>[11]</sup>研究指出长期施用有机肥,提高土壤有机质含量对改良土壤酸度和减轻铝毒具有重要作用。众所周知,反酸田在干旱或干湿交替过程中,其中硫化物氧化产生大量硫酸,且大量铝活化析出,从而导致土壤酸化,因此, Golez 和 Kyuma<sup>[17]</sup>提出保持土壤表层界面 2~3cm 水层能有效避免土壤酸化,然而这一措施并非作物正常生长长效机制。此外,不少研究表明石灰对改良反酸田土壤效果显著<sup>[18]</sup>,本试验条件也是很好的例证,石灰既能中和土壤中的酸又能补充盐基离子。然而石灰的长期施用对土壤造成的负面效应是不可回避的,如何在获得良好改良效果的同时缓解石灰对土壤的板结等问题将是很有前景的研究方向。本试验结果表明,钙镁磷肥、自研改良剂和石灰对提高土壤 pH 及降低土壤交换性  $H^+$ 、 $Al^{3+}$  和提高水稻籽粒产量的效果显著,这主要得益于钙镁等盐基离子的补充和磷酸具有较强的酸碱缓冲性能,钙镁磷肥处理产量最高,得益于有效磷的补充,碱渣和粉煤灰效果次之。有机物质如腐植酸和精制有机肥的添加对改善土壤酸度和促进作物生长效果不佳,可能与有机类材料的施用成效缓慢,其对酸害的控制需要足够的时间和施用量才能突显<sup>[19]</sup>。与 NPK 处理相比,钙镁磷肥、自研改良剂和石灰三种改良剂效果最佳,土壤 pH 增加均超过 1 个 pH 单位,土壤中交换性  $H^+$ 、交换性  $Al^{3+}$  的含量显著降低,该结果与前人研究结果一致<sup>[20]</sup>。改良处理土壤中有效铁含量较 NPK 处理有所升高,其中以添加石灰和钙镁磷肥处理最为显著,而土壤有效磷含量则表现为添加腐殖质与有机肥、钙镁磷

肥处理较 NPK 处理变化不明显,而添加石灰、碱渣、粉煤灰和自研改良剂处理较 NPK 处理显著增加。综上可知,反酸田土壤的最主要的障碍因子为土壤活性酸和潜在酸的毒害,土壤酸害对土壤-作物体系的贡献较铁、硫的毒害更大。且缺磷也是制约水稻生长的一个关键因素,土壤中游离氧化铁和铝氧化物对土壤磷的吸附具有显著影响,因此,通过调节反酸田土壤中各元素的含量及有效性对控制土壤酸化的进一步加剧和植株元素毒害具有重要意义<sup>[3,21]</sup>。本试验研究结果表明,有机无机改良剂均能有效促进植株对氮、磷、钾三大营养元素的吸收,并能有效提高作物籽粒产量,尤其以无机矿物质改良剂效果最突出。改良剂的应用对土壤理化性质及养分含量,尤其是交换性  $H^+$ 、 $Al^{3+}$  含量,和有效铁、硫、钙和镁含量的影响非常明显。其中,以添加石灰、自研改良剂和钙镁磷肥处理在改善土壤酸环境,提高土壤元素有效性和促进养分吸收和提高作物产量等各方面规律一致,效果明显。因此,初步认为钙镁磷肥、自研改良剂和石灰的添加是反酸田适宜的改良剂。然而,要全面保障反酸田长期高效利用,仅仅依靠添加剂的作用是远远不够的,还应综合考虑反酸田实际环境,结合水分管理和改变种植体系等<sup>[22-23]</sup>措施共同改善反酸田,培肥土壤,提高土地利用率。

### 4 结 论

本试验条件下,土壤酸害是反酸田最主要的障碍因子。钙镁磷肥、自研改良剂和石灰等偏碱性且富含有效钙或磷的无机矿物质能有效提高土壤 pH,明显增加土壤有效钙和有效镁的含量,降低土壤中交换性  $H^+$ 、交换性  $Al^{3+}$  的含量,改善根系生长环境,提高水稻产量,是农业生产中改良反酸田的适宜改良剂。

### 参 考 文 献

- [1] 广东省土壤普查办公室. 广东土壤. 北京: 科学出版社, 1993: 282—288. Soil Survey Office of Guangdong Province. Guangdong soil (In Chinese). Beijing: Science Press, 1993: 282—288
- [2] 黄继茂. 广东滨海强酸性盐渍水稻土(反酸田)化学特性的研究. 土壤学报, 1958, 6(2): 112—122. Huang J M. Study on the chemical properties of strong acidity and salt-stress paddy soil in Guangdong coast (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 1958, 6(2): 112—122
- [3] 臧小平, 孙光明, 张承林, 等. 酸性硫酸盐土壤上几种磷矿

- 粉对水稻生长的影响. 土壤通报, 2001, 32(5): 217—219. Zang X P, Sun G M, Zhang C L, et al. Effect of rock phosphates from different sources on rice grown on acidic sulphate soils (In Chinese). Chinese Journal of Soil Science, 2001, 32(5): 217—219
- [4] Hinwood A, Horwitz P, Rogan R. Human exposure to metals in groundwater affected by acid sulfate soil disturbance. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2008, 55(3): 538—545
- [5] Dent D L, Pons L J. A world perspective on acid sulphate soils. Geoderma, 1995, 67: 263—276
- [6] 章家恩, 骆世明, 王建武. 酸性硫酸盐土研究现状与发展趋势. 热带亚热带土壤科学, 1998, 7(4): 309—313. Zhang J E, Luo S M, Wang J W. The present situation and trends in the research of acid sulphate soils (In Chinese). Tropical and Subtropical Soil Science, 1998, 7(4): 309—313
- [7] 王建武. 酸性硫酸盐土的环境危害机理及其生态风险评估方法研究. 北京: 气象出版社, 2003. Wang J W. Study on environmental hazards mechanism and its ecological risk assessment method in acid sulphate soil (In Chinese). Beijing: Meteorological Press, 2003
- [8] 章家恩. 酸性硫酸盐土的酸害暴发机制及其环境影响. 热带地理, 1999, 19(2): 137—141. Zhang J E. The process of acid hazards in acid sulfate soils and its environmental effects (In Chinese). Tropical Geography, 1999, 19(2): 137—141
- [9] 刘振乾, 段舜山, 李爱芬, 等. 不同土壤水分条件下酸性硫酸盐土硫形态转化特征. 应用生态学报, 2004, 15(9): 1570—1574. Liu Z Q, Duan S S, Li A F, et al. Transformation characteristics of sulfur forms in acid sulfate soil under different soil water conditions (In Chinese). Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(9): 1570—1574
- [10] 吕焕哲, 王凯荣, 谢小立, 等. 有机物料对酸性红壤铝毒的缓解效应. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(4): 637—641. Lü H Z, Wang K R, Xie X L, et al. Alleviation of organic manure on aluminum toxicity in acid red soil (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2007, 13(4): 637—641
- [11] 王小兵, 骆永明, 李振高, 等. 长期定位施肥对亚热带丘陵地区红壤旱地质量的影响 I. 酸度. 土壤学报, 2011, 48(1): 98—102. Wang X B, Luo Y M, Li Z G, et al. Effect of long-term stationary fertilization on upland red soil quality in subtropical hilly regions I. Acidity (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(1): 98—102
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000: 39—114. Lu R K. Analytical methods for soil and agricultural chemistry (In Chinese). Beijing: China Agricultural Science Technology Press, 2000: 39—114
- [13] 余国泰, 秦遂初. 有机肥缓解小麦铝毒效果的研究. 植物营养与肥料学报, 1998, 4(1): 57—62. Yu G T, Qin S C. Effect of organic manure on soil aluminum toxicity and nutrient absorption of winter wheat (In Chinese). Plant Nutrition and Fertilizer Science, 1998, 4(1): 57—62
- [14] 文雅, 李东旭. 风化煤腐植酸在土壤改良中的应用. 科技情报开发与经济, 2010, 20(33): 148—149. Wen Y, Li D X. Application of weathered coal humic acid in soil amelioration (In Chinese). Sic-Tech Information Development & Economy, 2010, 20(33): 148—149
- [15] 郇恒福. 不同土壤改良剂对酸性土壤化学性质影响的研究. 广州: 中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所, 2004: 3—9. Xun H F. Research on the effect of different soil amendment treatments on the acid soil chemical property (In Chinese). Guangzhou: Tropical Crops Genetic Resources Institute of Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences, 2004: 3—9
- [16] Lin C. Analytical methods for environmental risk assessment of acid sulfate soils: A review. Pedosphere, 2001, 11(4): 301—310
- [17] Golez N V, Kyuma K. Influence of pyrite oxidation and soil acidification on some essential nutrient elements. Aquacultural Engineering, 1997, 16: 107—124
- [18] Krairapanond A, Jugsujinda A, Patrick Jr W H. Phosphorus sorption characteristics in acid sulfate soils of Thailand: Effect of uncontrolled and controlled soil redox potential (Eh) and pH. Plant and Soil, 1993, 157: 227—237
- [19] 龙光强, 蒋瑞霖, 孙波. 长期施用猪粪对红壤酸度的改良效应. 土壤, 2012, 44(5): 727—734. Long G Q, Jiang Y J, Sun B. Effects of long-term application of pig manure on ameliorating acidity of red soil (In Chinese). Soils, 2012, 44(5): 727—734
- [20] 郭和蓉, 陈琼贤, 郑少玲, 等. 营养型土壤改良剂对酸性土壤的改良. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2003, 24(3): 24—26. Guo H R, Chen Q X, Zheng S L, et al. Melioration of nutritive soil modifier on acid soil (In Chinese). Journal of South China Agricultural University: Natural Science Edition, 2003, 24(3): 24—26
- [21] Jugsujinda A, Krairapanond A, Jr Patrick W H. Influence of extractable iron, aluminum, and manganese on P-sorption in flooded acid sulfate soils. Biology and Fertility of Soils, 1995, 20(2): 118—124
- [22] Fitzpatrick R W, Shand P, Thomas M, et al. Acid sulfate soils in subaqueous, waterlogged and drained soil environments of nine wetlands below Blanchetown (Lock 1), South Australia: Properties, genesis, risks and management. CSIRO Land and Water Science Report 42/08. CSIRO, Adelaide, 2008: 122
- [23] Lin C. Acid sulfate soil in Australia: Characteristics, problems and management. Pedosphere, 1999, 9(4): 289—298

## EFFECT OF SOIL AMELIORANTS ON SOIL PROPERTIES AND RICE YIELD OF ACID SULFATE PADDY FIELD

Yi Qiong Yang Shaohai Huang Qiaoyi Huang Xu Jiang Ruiping Tang Shuanhu<sup>†</sup>

(*Institute of Agricultural Resources and Environment, Guangdong Academy of Agricultural Sciences/ Key Laboratory of Plant Nutrition and Fertilizer in South Region, Ministry of Agriculture/ Guangdong Key Laboratory of Nutrient Cycling and Farmland Conservation, Guangzhou 510640, China*)

**Abstract** A pot experiment was conducted to study effects of ameliorants on soil properties and rice yield of acid sulfate paddy soil. Results show that soil pH, in the range of 3.47 ~ 4.90, was significantly and negatively correlated with exchangeable  $H^+$  and  $Al^{3+}$ , but positively with soil available iron (Fe), sulfur (S). Compared with treatments CK and NPK, all the amelioration treatments showed varying significant effects of increasing crop yield and improving soil properties. Inorganic ameliorants, e. g. calcium magnesium phosphate, home-developed ameliorant, lime and alkali residue, were better than organic ones, such as humic acid, refined organic manure and alkaline organic manure. The amelioration effects were mainly reflected in higher soil pH, available Ca and available Mg, lower soil exchangeable  $H^+$  and  $Al^{3+}$ , better environment for root growth and hence higher nutrient uptake by rice shoots and higher rice grain yield. To sum up, acid hazard (including active acid and potential acid) is the main limiting factor in rice production in acid sulfate paddy soil. Alkalescent and Ca- or P-rich inorganic substances, such as calcium magnesium phosphate, home-developed ameliorant, lime, etc. are proper ameliorants for acid sulfate paddy fields in agricultural practice.

**Key words** Ameliorant; Acid sulfate paddy field; Soil properties; Rice yield

(责任编辑:檀满枝)