

小麦-水稻轮作下施用钢渣对酸性土壤的改良效果

魏贤¹, 赵梦霖², 邹雪园² (1. 广东省清远市农业技术推广站, 广东清远 511500; 2. 华中农业大学, 湖北武汉 430070)

摘要 [目的]研究施用钢渣对小麦-水稻轮作制度下酸性土壤的改良效果。[方法]研究了钢渣施用对小麦-水稻轮作下作物产量、土壤pH的影响,以及土壤pH和土壤养分的相关性。[结果]与当季对照相比,第一季种植小麦后土壤pH上升0.17~1.00,第二季种植水稻后土壤pH上升0.36~2.21,第三季种植小麦后土壤pH上升0.56~2.68,第四季种植水稻后土壤pH上升0.80~2.41。从第三季开始,连续施用钢渣处理的土壤有机质含量相对对照逐渐下降。钢渣施用可以显著增加小麦产量,但连续施用对水稻无增产效果。与当季对照相比,施用钢渣后,第一季小麦增产215.81%~504.65%,第三季小麦增产22.69%~37.78%。[结论]施用钢渣能提高小麦-水稻轮作制度下酸性土壤的pH,增加小麦产量。

关键词 钢渣;小麦-水稻轮作;酸性土壤;改良

中图分类号 S156 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2017)19-0104-03

The Improvement Effect of Steel Slag Application on Acidic Soil under Wheat-rice Rotation System

WEI Xian¹, ZHAO Meng-lin², ZOU Xue-yuan² (1. Qingyuan City Agricultural Technology Promotion Station, Qingyuan, Guangdong 511500; 2. Huazhong Agricultural University, Wuhan, Hubei 430070)

Abstract [Objective] To explore the improvement effect of steel slag application on acidic soil under wheat-rice rotation system. [Method] The effect of steel slag application on crop yield and soil pH, the correlation between soil nutrient and soil pH were studied. [Result] Compared to the control, after planting the first season of wheat soil pH increased by 0.17-1.00, after planting the second season of rice soil pH increased by 0.36-2.21, after planting the third season of wheat soil pH increased by 0.56-2.68, after planting the fourth season of rice soil pH increased by 0.80-2.41. From the third season, the soil organic matter content of the successive application of steel slag decreased gradually compared with the control. The application of steel slag significantly increased the yield of wheat, but the continuous application did not increase the yield of rice. Compared with season control, after the application of steel slag, wheat yield increased by 215.81%-504.65% in the first season, the yield increased by 22.69%-37.78% in the third season. [Conclusion] Steel slag can increase the pH of acid soil and the yield of wheat under the system of wheat-rice rotation.

Key words Steel slag; Wheat-rice rotation; Acid soil; Improvement

近年来,土壤酸化日益加剧,严重影响了农业生产^[1]。土壤酸化引起的问题越来越受到人们的重视,针对改良酸性土壤的改良剂产品也层出不穷。施用酸性土壤改良剂是快速有效解决问题的方法,酸性土壤改良剂具有广阔的市场前景。而作为炼钢副产品的钢渣具有许多优良特性,其含有的大量碱性物质不仅能够快速中和土壤酸性物质,而且还含有酸性土壤中缺少的钙和镁,以及对禾本科有益的元素硅^[2]。笔者选择炼钢企业产生的钢渣作为酸性土壤改良剂,研究小麦-水稻轮作制度下钢渣用量对酸性土壤的改良效果,以及连续施用钢渣对土壤和食品安全性的影响。

1 材料与方

1.1 试验材料 水稻:水稻品种G两优9815。土壤:黄红壤,取自武汉市江夏区贺胜桥镇。土壤基本理化性质:pH 6.49,碱解氮59.85 mg/kg,速效磷7.65 mg/kg,速效钾75.88 mg/kg,全氮1.15 g/kg,有机质6.78 g/kg,交换性钙1313.45 mg/kg,交换性镁140.73 mg/kg,全铬137.23 mg/kg,全铜0.11 mg/kg,全砷0.09 mg/kg。改良剂:钢渣,固体灰色粉末,粒径为100目。改良剂基本理化性质:pH 12.52,碱解氮3.15 mg/kg,全氮0.03 g/kg,速效钾47.52 mg/kg,速效磷105.19 mg/kg;CO₃²⁻浓度69 mg/kg, HCO₃⁻浓度0 mg/kg, Cl⁻浓度11.08 mg/kg,硝态氮含量31.89 mg/kg,SO₄²⁻含量30.8 mg/kg, Na⁺含量115.02 mg/kg, K⁺含量25.64 mg/kg, Ca²⁺含量1597.84 mg/kg, Mg²⁺含量

0.07 mg/kg;有效态铜含量2.01 mg/kg,有效态锰含量30.72 mg/kg,有效态锌含量1.26 mg/kg,有效态铁含量329.08 mg/kg;Cd含量0.12 mg/kg, Cr含量144.24 mg/kg, Cu含量31.77 mg/kg, Pb含量0 mg/kg, Mn含量8904.38 mg/kg, Zn含量115.79 mg/kg, Fe含量115.59 g/kg, As含量10.50 mg/kg, Se含量0.52 mg/kg, Hg含量0.23 mg/kg。钢渣重金属含量均符合国家土壤环境质量二级标准(GB 15618—1995)。

1.2 试验设计 试验共设5个处理,分别为:①SS₀(空白对照,CK);②SS₁(1 g/kg钢渣);③SS₂(2 g/kg钢渣);④SS₃(3 g/kg钢渣);⑤SS₄(4 g/kg钢渣)。

试验方式为小麦-水稻轮作。作物种植前以相同处理继续施用钢渣,钢渣与肥料分开施用。试验方案见表1。

表1 试验方案

Table 1 Experimental scheme

作物 Crops	处理方式 Treatment methods	重复数 Repeat number	每盆用土 Soil per basin//kg
小麦 Wheat	SS ₀ , SS ₁ , SS ₂ , SS ₃ , SS ₄	6	8
水稻 Rice	SS ₀ , SS ₁ , SS ₂ , SS ₃ , SS ₄	4	10
小麦 Wheat	SS ₀ , SS ₁ , SS ₂ , SS ₃ , SS ₄	4	7
水稻 Rice	SS ₀ , SS ₁ , SS ₂ , SS ₃ , SS ₄	4	7

1.3 样品采集与处理 每种作物分3个时期取植物地上部样品,并记录取样数,取样后风干。成熟期植物样品风干脱粒计产。植物收获后采取土壤样品。植物样品采样后洗去表面尘土,然后放入105℃烘箱杀青1h,后改为60℃烘干、

作者简介 魏贤(1990—),男,湖北咸宁人,助理农艺师,硕士,从事酸性土壤改良方面的研究。

收稿日期 2017-04-19

称重,之后粉碎,密封装袋。禾本科植物在成熟期调查分蘖数。土壤样品风干后磨细,过 20 目和 60 目筛,密封装袋。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 土壤样品的测定。土壤 pH:水浸提电位法(水土比为 2.5:1.0);有机质:重铬酸钾容量法-外加热法;碱解氮:碱解扩散法;速效磷:0.5 mol/L NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;速效钾:1 mol/L 乙酸铵浸提-火焰光度法;交换性钙、交换性镁:1 mol/L 乙酸铵交换-原子吸收光谱法;有效硅:柠檬酸浸提-硅钼蓝比色法;重金属:王水-高氯酸-氢氟酸微波消解(220 ℃),原子吸收光谱法测定 Cr、Cd(石墨炉)含量,原子荧光光谱法测定 As 含量。

1.4.2 植物样品的测定。N、P、K:H₂SO₄-H₂O₂ 消煮,凯氏定氮法测定 N 含量,钼锑抗比色法测定 P 含量,火焰光度法测定 K 含量;Ca、Mg:硝酸-高氯酸消煮,原子吸收法测定 Ca、Mg 含量。植物重金属:硝酸-高氯酸微波消解,原子吸收光谱法测定 Fe、Mn、Cu、Zn、Cr、Cd(石墨炉)含量,原子荧光光谱法测定 As 含量。

1.5 数据分析 采用 Excel 2013 进行相关图表绘制;用 SPSS 20.0 统计软件进行方差分析、多重比较和相关性分析(LSD 法, $P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 作物产量 由于所选土壤较为贫瘠,2012—2013 年作物长势普遍较差,产量较低。从表 2 可以看出,2012—2013 年小麦产量随钢渣施用量的增加而增加。相对对照,2012—2013 年小麦各处理分别增产 2.16、2.70、4.52、5.05 倍,其中各处理相对对照均达显著增产效果。

2013—2014 年小麦施用钢渣的处理相对对照达显著增产效果。其中各处理小麦相对对照分别增产 22.69%、

29.13%、35.56%、37.78%。相对 2012—2013 年小麦增产效果下降,但产量远高于 2012—2013 年小麦,其中 2013—2014 年 SS₄ 处理小麦产量是 2012—2013 年 SS₄ 处理小麦产量的 4.22 倍。说明在改良酸性土壤方面,施用钢渣能起到很好的效果。但施用钢渣处理间差异不显著,说明长期施用钢渣对作物增产效果下降。

表 2 施用钢渣对作物产量的影响

Table 2 Effects of steel slag application on crop yield g/盆

处理 Treatments	2012—2013 年小麦 Wheat in 2012—2013	2013—2014 年小麦 Wheat in 2013—2014	2014 年水稻 Rice in 2014
SS ₀	2.15 ± 0.30 c	33.27 ± 5.46 b	56.08 ± 4.09 a
SS ₁	4.64 ± 1.24 b	40.82 ± 2.93 a	53.30 ± 3.06 ab
SS ₂	5.31 ± 0.74 b	42.96 ± 2.98 a	52.99 ± 1.83 abc
SS ₃	9.72 ± 1.51 a	45.10 ± 3.40 a	47.15 ± 4.78 bc
SS ₄	10.85 ± 1.18 a	45.84 ± 5.59 a	45.27 ± 8.32 c

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences at 0.05 level

2014 年水稻产量 SS₁、SS₂ 处理与 SS₀ 对照相比有所下降,但差异不显著。SS₃ 和 SS₄ 处理相对对照其产量显著下降,分别下降了 15.92% 和 19.28%。说明在水田中可能不宜长期大量施用钢渣,这种现象在钢渣改良土壤过程中较少见。

2.2 土壤 pH 酸性土壤最重要的改良指标是土壤 pH,它直观地反映了土壤酸碱度变化,同时影响土壤养分的形态和有效性^[3]。从表 3 可以看出,不同年份土壤 pH 均随着钢渣施用量的增加而提高。在 2012—2013 年小麦中,施用钢渣能显著提高土壤 pH。相对对照,2012—2013 年小麦施用钢渣后土壤 pH 分别提高 0.17、0.27、0.65、1.00。

表 3 施用钢渣对土壤 pH 的影响

Table 3 Effects of steel slag application on soil pH

处理 Treatments	2012—2013 年小麦 Wheat in 2012—2013	2013 年水稻 Rice in 2013	2013—2014 年小麦 Wheat in 2013—2014	2014 年水稻 Rice in 2014
SS ₀	4.32 ± 0.03 d	4.92 ± 0.05 e	4.68 ± 0.02 e	5.54 ± 0.04 e
SS ₁	4.49 ± 0.07 c	5.28 ± 0.05 d	5.24 ± 0.02 d	6.34 ± 0.06 d
SS ₂	4.59 ± 0.03 c	5.64 ± 0.02 c	5.95 ± 0.02 c	7.13 ± 0.02 c
SS ₃	4.97 ± 0.03 b	6.36 ± 0.02 b	6.79 ± 0.03 b	7.71 ± 0.01 b
SS ₄	5.32 ± 0.10 a	7.03 ± 0.04 a	7.36 ± 0.03 a	7.95 ± 0.02 a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著($P < 0.05$)

Note: Different lowercases in the same column stand for significant differences at 0.05 level

2013 年继续施用钢渣后,2013 年水稻各处理土壤 pH 相对 2012—2013 年小麦土壤 pH 变化较大。这与淹水条件有关,土壤淹水能使土壤 pH 趋向中性^[4]。2013 年旱地改水田后,对照土壤 pH 提高了 0.60。在相同施用钢渣处理下,2013 年水稻相对 2012—2013 年小麦,SS₁、SS₂、SS₃ 和 SS₄ 处理土壤 pH 分别提高了 0.79、1.05、1.39、1.71。2013 年连续施用钢渣后,土壤 pH 同样得到显著提高,土壤 pH 随钢渣施用量增加继续增加,施用钢渣的处理相对不施用钢渣其 pH 分别提高了 0.36、0.72、1.44、2.11。其中 SS₄ 处理已将土壤 pH 调至中性范围。

2013—2014 年水旱轮作中由水田改为旱地种植小麦,其中不施用钢渣的处理土壤 pH 较 2013 年有所下降,但比 2012—2013 年不施用钢渣处理高 0.34,说明干湿交替也能提高土壤 pH。2013—2014 年小麦土壤 pH 仍与钢渣施用量呈正比,施用钢渣的处理相对不施用钢渣处理差异均达显著水平,其土壤 pH 相对对照分别提高了 0.56、1.27、2.11、2.68。2013—2014 年,SS₄ 处理已将土壤 pH 调至中性范围。

2014 年水旱轮作由旱地改为水田继续种植水稻,其中不施用钢渣处理土壤 pH 比之前不施用钢渣处理的土壤 pH 均提高,且不同处理间均达显著差异,施用钢渣的处理相对不

施用钢渣处理其土壤 pH 分别提高了 0.80、1.59、2.17、2.41。其中 SS₂ 处理 pH 已处于土壤中中性范围,而 SS₃、SS₄ 处理将土壤 pH 提升至弱碱性范围,已超出大部分作物种植最佳土壤 pH 范围。

在扣除上一季环境本底带来的影响后,每一季不同钢渣处理提升 pH 能力不同。在连续施用 4 次钢渣的过程中,钢渣改良效率最高出现在 2013—2014 年小麦 SS₂ 处理,1 g/kg 钢渣能提高 pH 0.55。其次是 2014 年 SS₁ 处理,1 g/kg 钢渣能提高 pH 0.48。在 4 次施用钢渣后,钢渣对 pH 的改良效率逐渐降低。而 2014 年 SS₄ 处理出现钢渣对 pH 贡献的负增长,说明淹水作用逐渐在调控 pH 的过程中占主

导地位,抑制了土壤 pH 的提升,在钢渣调节 pH 至中性范围后,可以考虑减少或不继续施用钢渣^[5]。在不同作物种植中,以 2013 年水稻改良剂改良效率最高,1 g/kg 钢渣能提高土壤 pH 0.40。连续施用 4 次钢渣后,以 SS₂ 处理提升土壤 pH 效率最高,1 g/kg 钢渣能提高土壤 pH 0.44。说明在小麦—水稻轮作中,可以考虑短期多施或者长期少施改良剂。

2.3 土壤 pH 和土壤养分相关性分析 由表 4 可知,在小麦—水稻轮作下,土壤交换性钙、交换性镁、有效硅始终与土壤 pH 呈极显著正相关。说明土壤 pH 越高,土壤中交换性钙、交换性镁、有效硅含量也越高。

表 4 土壤 pH 与土壤养分的相关性分析

Table 4 The correlation analysis between soil pH and soil nutrients

土壤养分 Soil nutrients	2012—2013 年小麦 Wheat during 2012—2013	2013 年水稻 Rice in 2013	2013—2014 年小麦 Wheat during 2013—2014	2014 年水稻 Rice in 2014
有机质 The organic matter	-0.353	-0.066	-0.673**	-0.870**
碱解氮 Alkaline hydrolysis nitrogen	-0.739**	0.519*	-0.887**	-0.302
速效磷 Rapid available phosphorus	0.726**	0.814**	0.669**	-0.064
速效钾 Rapidly available potassium	-0.705**	-0.889**	-0.947**	-0.136
交换性钙 Exchangeable calcium	0.985**	0.975**	0.987**	0.942**
交换性镁 Exchangeable magnesium	0.979**	0.929**	0.914**	0.890**
有效硅 Effective silicon	0.946**	0.990**	0.994**	0.943**

注:*表示 0.05 水平显著相关,**表示 0.01 水平显著相关

Note:* stands for significant correlation at 0.05 level,** stands for significant correlation at 0.01 level

在 2 年的轮作中,土壤有机质在前 2 次轮作中未表现出与土壤 pH 的相关性,但在 2013—2014 年小麦和 2014 年水稻种植中与土壤 pH 呈极显著负相关,说明 pH 的升高促进了土壤有机氮的矿化,土壤有机质含量下降。

土壤速效磷在前 3 次轮作中均表现出与土壤 pH 呈极显著正相关,而在 2014 年,水稻土壤速效磷和土壤 pH 无相关性。一方面 pH 的上升促进了土壤磷从固定态向吸附态的转化,增加了磷的有效性,另一方面 pH 超过一定值时,土壤磷有效性下降。土壤速效钾在前 3 次轮作中均表现出与土壤 pH 呈极显著负相关,而在 2014 年土壤速效钾和土壤 pH 无相关性。

3 结论与讨论

钢渣中含有较多的碱性物质,能够中和土壤中的酸性物质^[6]。该研究表明,施用钢渣后,土壤 pH 均有所提高,随着钢渣施用量的增加,土壤 pH 不断提高。土壤 pH 的变化直观反映了钢渣对酸性土壤的改良效果。钢渣施用显著提高了小麦—水稻轮作下土壤 pH。与当季对照相比,第一季种植小麦后土壤 pH 上升 0.17~1.00,第二季种植水稻后土壤

pH 上升 0.36~2.21,第三季种植小麦后土壤 pH 上升 0.56~2.68,第四季种植水稻后土壤 pH 上升 0.80~2.41。从第三季开始,连续施用钢渣处理的土壤有机质含量相对对照逐渐下降。与对照相比,钢渣施用可以显著增加小麦产量,但连续施用对水稻无增产效果。与当季对照相比,施用钢渣后,第一季小麦增产 215.81%~504.65%,第三季小麦增产 22.69%~37.78%,第四季水稻产量下降 4.96%~19.28%。

参考文献

- [1] 陈绍荣,余根德,白云飞,等. 土壤酸化及酸性土壤调理剂应用概述[J]. 化肥工业,2013,40(2):66-68.
- [2] DAS B, PRAKASH S, REDDY P S R, et al. An overview of utilization of slag and sludge from steel industries[J]. Resources, conservation and recycling, 2007, 50(1):40-57.
- [3] 李九玉,王宁,徐仁扣. 工业副产品对红壤酸度改良的研究[J]. 土壤, 2009, 41(6):932-939.
- [4] 陈永亮,周晓燕,韩士杰. 不同 N 素形态对落叶松苗木根/土界面 pH 值及养分有效性的影响[J]. 林业科学, 2006, 42(9):134-139.
- [5] 朱昌锋. 淹水对土壤磷有效性影响的研究[D]. 重庆:西南大学, 2008.
- [6] 刘鸣达,张玉龙,王耀晶,等. 施用钢渣对水稻土 pH、水溶态硅动态及水稻产量的影响[J]. 土壤通报, 2002, 33(1):47-50.