

施用高炉渣对土壤的 pH 和有效硅以及水稻植株含硅量的影响

杨 丹, 张玉龙

(沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110161)

摘 要:采用盆栽试验的方法,研究了炼铁厂副产品 3 种高炉渣作硅肥使用对水稻土 pH 及土壤和水稻植株中硅素养分状况的影响。结果表明,在北方酸性水稻土上施用高炉渣可以提高土壤 pH,增加土壤有效硅含量,促进水稻对硅素养分的吸收。上述效果随高炉渣用量的增加而更为明显,且高炉渣 A 和高炉渣 F 的效果要好于高炉渣 B。

关键词:高炉渣; 水稻土; pH; 有效硅; 水稻; 硅

中图分类号:S131.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)03-0446-04

Effects of Applied Blast Furnace Slags on pH, Available Silicon in Soil and Silicon in Rice Plant

YANG Dan, ZHANG Yu-long

(College of Land and Environmental sciences, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161,China)

Abstract: Pot experiments were conducted to study the effects of applying three kinds of blast furnace slag, a by-product from ironworks, as silicon fertilizer, on soil pH, content of available silicon in paddy soil, and silicon content in rice plant, with an acidic paddy soil in northern region of China. The results showed that the soil pH value and the content of available silicon in soil were increased evidently after it was receiving blast furnace slag, and their increasing trends were more and more obvious with increasing dosage of the blast furnace slag. By analyses of variance, for soil pH and the content of available silicon, the differences among different treatments with different dosages of blast furnace slag were significant ($p=0.01$). At the same time, more silicon nutrient was absorbed by rice, and contents of silicon in rice increased with increasing dosage of blast furnace slag. Moreover, there was a significantly positive logarithm correlation between contents of SiO_2 in rice and dosages of blast furnace slag applied. So these all indicated that by applying these three blast furnace slag, silicon supplying capacity of paddy soil and silicon nutrition status of rice were improved steadily, and these effects of blast furnace slag A and blast furnace slag F were better than those of blast furnace slag B. There were also some problems, the measuring means about available silicon of soil receiving slag mucks and balanced fertilization including silicon, nitrogen, phosphorus, potassium and other nutrients, should be studied further.

Keywords: blast furnace slag; paddy soil; pH; available silicon; rice; silicon

施用硅肥可以改善土壤硅素肥力状况,提高水稻产量,改善稻米品质^[1-3]。利用工矿废渣生产硅肥能够减少废物堆放占地,促进工业固体废物资源化,实现经济与环境效益的双赢。因此,开展以工矿废渣为原料加工生产硅肥的研究具有重要意义。本文以北

方酸性水稻土及 3 种高炉渣为试材,研究了施用高炉渣对土壤 pH、有效硅含量及水稻硅素养分吸收状况的影响,进而对产于钢铁企业的高炉渣用作硅肥原料的可能性进行了评价。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤采自沈阳市于洪区大潘乡马贝村,为壤质草甸土。土壤风干后过 1.0 cm 筛备用。土壤的基

收稿日期:2004-07-28

基金项目:辽宁省自然科学基金资助(971068)

作者简介:杨 丹(1977—),女,辽宁鞍山人,硕士,助教,从事土壤改良与农业环境保护方面的教学和科研工作。

E-mail:yangdan_dfey@163.com

本理化性质详见表 1。

供试高炉渣分别取自鞍山、本溪和抚顺钢铁公司的炼铁厂,依次标记为高炉渣 A、高炉渣 B 和高炉渣 F。将 3 种高炉渣风干、研磨,分别过 20 目和 100 目筛备用。高炉渣的主要化学成分及重金属含量详见表 2 和表 3。

表 1 供试土壤的主要理化性质

Table 1 Some properties of the soil used for the experiment

粘粒(<0.02mm) /g·kg ⁻¹	全碳 /g·kg ⁻¹	碱解氮 /mg·kg ⁻¹	有效态磷 /mg·kg ⁻¹	有效态钾 /mg·kg ⁻¹
65.78	10.18	60.89	7.12	42.22
pH (H ₂ O,1:2.5)	无定形硅 /g·kg ⁻¹	活性硅 /g·kg ⁻¹	水溶性硅 /g·kg ⁻¹	有效硅 /g·kg ⁻¹
5.56	5.70	313.45	21.99	81.94

表 2 供试高炉渣的 pH 及主要化学成分(%)

Table 2 The chemical components and pH values of the three kinds of blast furnace slag

高炉渣	pH	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	P ₂ O ₅
A	9.90	36.91	44.20	8.97	8.32	0.17	0.08	1.14	0.02
B	9.41	38.98	42.05	6.49	10.07	0.74	0.11	1.14	0.03
F	10.27	36.24	46.32	4.75	9.37	0.73	0.07	1.08	0.03

表 3 供试高炉渣中微量元素与重金属元素含量(mg·kg⁻¹)

Table 3 Contents of microelements and heavy metals in three kinds of blast furnace slag

高炉渣	Mn	Cu	Zn	Cr	Cd	Pb
A	629.56	55.53	67.60	未检出	未检出	38.16
B	854.48	57.05	94.06	未检出	未检出	68.17
F	514.64	54.02	47.03	未检出	未检出	11.88

由表 3 可知,3 种高炉渣中 Cu、Mn、Pb、Zn 等重金属的含量较少,且 Cr、Cd 等重金属未检出。参照中华人民共和国农用粉煤灰中污染物控制标准(GB8173-87),3 种高炉渣适量地应用于农业生产是安全的。

盆栽试验供试作物为水稻 (Oryza sativa L cv.), 品种为秋光。

1.2 盆栽试验

以过 100 目筛的供试高炉渣作为硅肥进行 3 组盆栽试验,每组分别设置 6 个用量水平:CK(对照,不施高炉渣);Ⅰ(基施高炉渣 0.83 g·kg⁻¹ 土);Ⅱ(基施高炉渣 2.44 g·kg⁻¹ 土);Ⅲ(基施高炉渣 4.44 g·kg⁻¹ 土);Ⅳ(基施高炉渣 8.33 g·kg⁻¹ 土);Ⅴ(基施高炉渣 12.44 g·kg⁻¹ 土)。盆栽试验于 2003 年在沈阳农业大

学实验网室进行,盆钵容积 0.008 m³,每盆装土 4.5 kg,各施入尿素(N,46%)0.33 g·kg⁻¹ 土(其中 70%基施,30%于分蘖期追施),磷酸二氢钾(P₂O₅,52%)0.19 g·kg⁻¹ 土,氯化钾(K₂O,63%)0.13 g·kg⁻¹ 土作为基肥。各处理 3 次重复,盆钵随机排列。整个生育期定量浇水,按常规管理。收获后采集植物和土壤样品,风干后研磨或粉碎供分析测试用。

1.3 测定项目及方法

土壤水溶态硅、活性硅、无定形硅和土壤有效硅分别以 0.02 mol·L⁻¹CaCl₂ 溶液、0.5 mol·L⁻¹CaCl₂ (pH1.5) 溶液、0.5 mol·L⁻¹NaOH 溶液和 1 mol·L⁻¹HOAc-NaOAc(pH4)缓冲液提取,用硅钼蓝比色法测定^[4-5];土壤的主要农化性状采用常规方法测定^[6]。钢渣全量成分以碳酸钠熔融,用重量法测定硅,钼蓝比色法测定磷,原子吸收分光光度计法测定钙、镁、铁、锰、铝、铜、锌、铅、镉、铬等元素^[7]。水稻植株中的硅以三酸消煮,用重量法测定^[6]。

2 结果与讨论

2.1 施用高炉渣对土壤 pH 的影响

收获水稻后,采集盆栽土壤样品测定高炉渣对土壤 pH 的影响,见图 1。由图 1 可以看出,供试土壤淹水种稻后土壤 pH 值较试验前有显著升高 ($t>t_{0.01}$, $n=3$),这可能是由于灌溉用水 pH 值(pH 为 6.74)相对土壤偏碱性所致,且各施高炉渣处理土壤 pH 的升高幅度与高炉渣用量呈正相关,这是由高炉渣中碱性物质的溶出所导致的,即高炉渣中的碱性离子(如 Ca²⁺、Mg²⁺等)与土壤溶液中的 H⁺发生离子交换,使溶液中剩下了过量的 OH⁻所致^[8]。此外,施用高炉渣可在土壤中形成非晶形羟基铝硅酸盐,也会使土壤 pH 升高^[7]。因此,高炉渣用量越大,碱性物质水解或溶解产

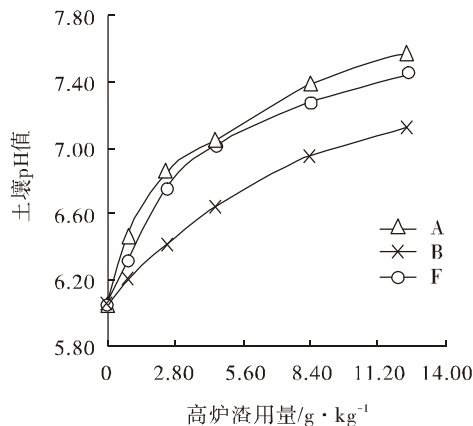


图 1 施用高炉渣对土壤 pH 的影响

Figure 1 Effects of applied blast furnace slag on pH of soils

物越多,中和 H^+ 或 Al^{3+} 的数量越多,pH 升高的幅度也就越大。

分别对 3 组高炉渣试验土壤 pH 值随高炉渣用量的变化情况进行方差分析,结果表明,3 组试验的 F 值 ($F_A=186.08, F_B=299.03, F_F=96.49$) 均大于 $F_{0.01}$ ($5.06, n_1=5, n_2=12$),说明施用任何一种高炉渣均可明显地提高土壤 pH,不同用量处理间有极显著差异。

2.2 施用高炉渣对土壤有效硅的影响

土壤有效硅是指土壤中可供当季作物吸收利用的硅素,包括土壤溶液中的单硅酸及各种易于转化为单硅酸的成份,如多硅酸、交换态硅以及胶体态硅的一部分等。通常将土壤有效硅含量作为衡量土壤供硅能力的指标,且以 $1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (pH4)醋酸钠缓冲液

浸提法应用最为广泛,各个国家和地区也根据这一方法的测定结果制订了相应的丰缺指标。

表 4 是盆栽试验土壤有效硅含量的测定结果。由表可知,对照 CK 的土壤有效硅含量极显著高于试验前土壤($t>t_{0.01}, n=3$)。产生这种现象的原因可能是:第一,灌溉水 pH 相对土壤偏碱性,淹水种稻后土壤 pH 升高,可促进土壤硅素的溶解与解吸;第二,灌溉水含硅量的多少也会显著影响水稻植株对硅的吸收及土壤有效硅的含量。本试验灌溉用水含硅量约为 $20\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,而且本试验设计无水分自土体中渗出,通过灌溉向土壤中输入了较多的可溶性硅素养分,是导致 CK 处理土壤有效硅的测定结果高于试验前土壤的主要原因。

表 4 施用高炉渣对土壤有效硅含量的影响($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

Table 4 Effects of blast furnace slag applied on available silicon in soils($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

处理	CK	I	II	III	IV	V
试验前	81.94	—	—	—	—	—
A	119.57eC	163.66deC	346.99cdBC	399.41cBC	598.33bB	1145.91aA
B	119.57eE	264.73eE	642.42dD	1121.72cC	1774.41bB	3006.04aA
F	119.57eE	198.91eE	401.34dD	678.75cC	1220.12bB	1815.89aA

注:列标有不同小写英文字母表示差异达 5%显著水平;标有不同大写英文字母表示 1%显著水平。

从表 4 还可以看出,各处理土壤有效硅含量随高炉渣施用量的增加而增加。方差分析结果表明,3 组施用高炉渣试验的 F 值 ($F_A=37.89, F_B=248.51, F_F=587.26$)均大于 $F_{0.01}$ ($5.06, n_1=5, n_2=12$),即各高炉渣用量处理间差异达到极显著水平。

综上所述,可以得出施用高炉渣可使土壤有效硅含量显著增加的结论。这可能是由以下三方面的原因导致的。首先,施用高炉渣改变了土壤的 pH 值,促进了土壤中硅素养分的活化及有效性的提高^[9];其次,高炉渣中的硅有一部分以有效硅的形态存在,从而导致测定结果较高;第三,提取土壤活性硅的浸提剂为强酸性,将碱性高炉渣中更多的硅提取出来,进而导致测定结果偏高。因此,关于施用过废渣的土壤有效硅含量的测定方法有待进一步研究。

2.3 施用高炉渣对水稻植株中硅含量的影响

与土壤指标相比,植株的生长状况及植株硅含量更能确切地反映土壤硅素的供应状况,因此可以通过植株分析,如灰分含量测定、植株含硅量测定及叶片硅化细胞镜检等来间接了解土壤硅素的丰缺状况,而其中又以测定植株含硅量法最为可靠。

表 5 是盆栽试验水稻植株含硅量的测定结果,可以看出,水稻植株含硅量随高炉渣施用量的增加而增加。方差分析结果表明,A、B、F 3 组试验的 F 值($F_A=$

表 5 施用高炉渣对水稻植株硅含量的影响($\text{SiO}_2, \%$)

Table 5 Effects of blast furnace slag applied on contents of silicon in rice

处理	CK	I	II	III	IV	V
A	3.48cC	4.37bBC	4.63bB	4.84bB	5.89aA	6.22aA
B	3.48cC	3.62cC	3.86bcBC	4.34abABC	4.63aAB	4.76aA
F	3.48dE	3.72dDE	4.41cCD	4.88cC	5.43bB	6.62aA

注:列标有不同小写英文字母表示差异达 5%显著水平;标有不同大写英文字母表示 1%显著水平。

$23.71, F_B=8.31, F_F=37.47$) 均大于 $F_{0.01}$ ($5.06, n_1=5, n_2=12$),即每种高炉渣用量处理间差异极显著。

对盆栽土壤有效硅含量与植株含硅量进行相关分析,得 1 式、2 式和 3 式,见图 2。这一结果表明施用 A、B、F 3 种高炉渣后土壤有效硅含量与水稻植株含硅量之间存在极显著的对数正相关关系 ($r_{0.01}=0.917, n=6$),

$$y_A=1.167\ 0\ln x-1.934\ 6\qquad r=0.960^{**}\qquad (1)$$

$$y_B=0.434\ 3\ln x+1.267\ 6\qquad r=0.971^{**}\qquad (2)$$

$$y_F=1.074\ 4\ln x-1.905\ 5\qquad r=0.968^{**}\qquad (3)$$

式中: y 为水稻植株含硅量,%; x 为土壤有效硅含量, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。因此可以说,上述 3 种高炉渣(A、B、F)的施用确实改善了供试土壤的供硅能力,促进了水稻植株对硅素养分的吸收。

另外值得注意的是,表 4 中的数据显示施用 A、

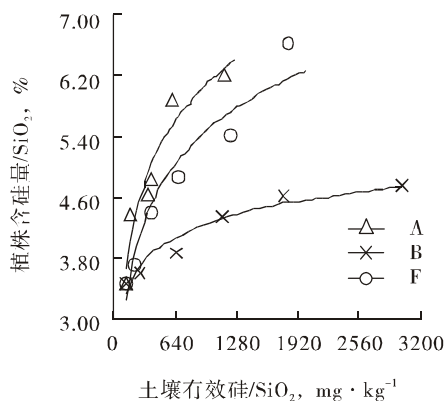


图2 土壤有效硅与植株含硅量的关系

Figure 2 The relationship between available Si in soils and SiO_2 in plants

B、F 3 种高炉渣的土壤有效硅含量随高炉渣施用量增加显著升高;在高炉渣施用量相同时,土壤有效硅含量的高低顺序总是 $B > F > A$ 。但从图 2 中可以看出, B 处理水稻植株的含硅量相对较低,其变化幅度也远小于 A 和 F 处理。这也正说明了以 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (pH4) 醋酸钠缓冲液浸提法测定施用过废渣的土壤有效硅含量可能是不适宜的,应尽快开展这方面的研究,探讨适用性更广、快速、准确的评价土壤硅素肥力的方法。

对于盆栽试验的水稻产量进行了初步分析,结果表明施用高炉渣可影响水稻的产量,但施用不同高炉渣及不同施用量对水稻产量的影响都是不同的。施用高炉渣 F 后水稻产量随废渣施用量的增加表现出明显的先增后减的抛物线趋势,而施用其他 2 种高炉渣后水稻产量与高炉渣用量间的关系无明显规律可寻。因此可以说,在生产实践中要促进水稻高产稳产,仅为水稻生长提供充足的硅素养分还远远不够,使土壤硅素养分与氮、磷、钾及其他中、微量元素达到适宜比例也是非常重要的,这也正是今后硅肥课题研究的重点所在。

综上所述,施用 3 种高炉渣均可改善水稻土供

硅能力,促进水稻植株吸硅,有益于水稻的高产和优产,而且高炉渣 A 和高炉渣 F 的效果要好于高炉渣 B。

3 结论

施用高炉渣盆栽水稻的试验结果表明:施用高炉渣可以提高酸性水稻土的 pH,改善土壤供硅能力,促进水稻对硅素养分的吸收,其效果随高炉渣用量的增加而变得更加显著,且高炉渣 A 和高炉渣 F 的效果要好于高炉渣 B。

总之,高炉渣作硅肥使用可以在工农业生产间形成资源利用的良性循环,但本文仅以盆栽方法研究了在北方地区一种酸性水稻土上施用 3 种高炉渣对土壤 pH、有效硅和水稻植株体内硅含量的影响,在其他类型水稻土中施用不同类型工矿废渣的效果尚有待今后进一步研究。

参考文献:

- [1] 刘鸣达,张玉龙.水稻土硅素肥力的研究现状与展望[J].土壤通报, 2001,32(4):187-192.
- [2] 刘鸣达,张玉龙,王耀晶,等.钢渣作为 Si 肥的水稻肥料效应研究[A]. 见:中国土壤学会第九次全国会员代表大会论文集(辽宁省卷)[C].沈阳:沈阳科学技术出版社,1999.187-191.
- [3] 中国农业科学院主编.中国稻作学[M].北京:农业出版社,1986.197-200.
- [4] 向万胜,何电源,廖先苓.湖南省土壤中硅的形态与土壤性质的关系[J].土壤,1993,25(3):146-151.
- [5] 熊毅,等.土壤胶体(第二册):土壤胶体研究法[M].北京:科学出版社,1985.
- [6] 劳家桢.土壤农化分析手册[M].北京:农业出版社,1988.
- [7] 李学垣.土壤化学及实验指导[M].北京:农业出版社,1997.190.
- [8] 加藤直人,伊森博志,尾和上人.鉍さいケイ酸質肥料の淹水土壤中における溶解過程[J].日本土壤肥料学雑誌, 1996,67(6):640-647.
- [9] 刘鸣达,张玉龙,李军,等.施用钢渣对水稻土硅素肥力的影响[J].土壤与环境,2001,10(3):220-223.