

# 天然沸石对磷、钾在红壤中迁移影响的室内模拟研究

化全县<sup>1,2</sup>, 李见云<sup>3</sup>, 周健民<sup>1</sup>

(1. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008;  
2. 郑州大学化学工程学院, 郑州 450001; 3. 郑州航空工业管理学院工业工程系, 郑州 450015)

**摘要:** 为了寻求提高磷钾肥利用率的途径, 该文采用恒温振荡试验初步研究了天然沸石对水溶性磷、钾在红壤中向无效态转化的影响。结果表明: 添加沸石降低了水溶性磷、钾含量, 增加了解吸钾量; 解吸磷和有效磷在磷酸二氢钾低水平时比对照均降低; 在磷酸二氢钾高水平时, 前者降低而后者增加了 9.6%~32.2%。在富磷的红壤中添加沸石提高了有效磷含量, 降低了磷损失的可能性; 沸石在红壤中作为钾库和钾源, 可调节土壤钾水平。

**关键词:** 天然沸石; 磷酸二氢钾; 红壤; 解吸

**中图分类号:** S158.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1002-6819(2006)09-0261-03

化全县, 李见云, 周健民. 天然沸石对磷、钾在红壤中迁移影响的室内模拟研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(9): 261-263.

Hua Quanxian, Li Jianyun, Zhou Jianmin. Laboratory simulation of effects of native clinoptilolite on phosphorus and potassium mobilization in red soil[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9): 261-263. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

磷、钾是植物必需的营养元素, 红壤因高度风化使得肥料磷强烈固定, 当季利用率较低; 同时使得肥料钾严重流失<sup>[1,2]</sup>。农田养分流失是非点源污染的主要影响因素, 与受纳水域的富营养化密切相关<sup>[3-7]</sup>。如何提高植物对磷、钾的吸收利用始终是人们关注的热点。

沸石在难溶性磷肥利用率方面得到了深入的研究, 有许多研究发现在土壤中施用沸石不仅能够增加磷矿粉的溶解性, 同时可以提高作物产量和养分吸收量<sup>[8-10]</sup>。笔者研究发现钾沸石和铵沸石能够提高水溶性磷肥在土壤中有有效性<sup>[11]</sup>, 但天然沸石对水溶性磷、钾影响的研究较少。本文现以红壤为供试土壤, 研究探讨天然沸石对水溶性磷钾肥在供试土壤中迁移转化影响的规律, 旨在为合理施用磷钾肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤

供试土壤采自于江西省鹰潭市中国科学院红壤生态实验站(28°15'30"N, 116°55'30"E)耕作表层(0~15 cm), 风干, 过 0.4 mm 尼龙筛备用。其物理和化学特性如表 1 所示。试验中固定用量为 2.5 g。

### 1.2 沸石粉

供试沸石粉(c clinoptilolite, Cp)采自于黑龙江省, 以去离子水反复洗涤, 再以丙酮除去水分<sup>[12]</sup>, 在真空干燥箱中烘干, 过 0.2 mm 尼龙筛备用, 其化学性质如表 2 示。

### 1.3 磷钾源

采用分析纯的磷酸二氢钾(monopotassium phosphorus, MKP), 其用量为 1.37 和 5.48 mg/g 土壤 2 个水平。

表 1 供试红壤的物理和化学性质

Table 1 Physical and chemical properties of surface layer(0~15 cm) of experimental red soil

pH 值	有机质 /g · kg <sup>-1</sup>	总磷 /g · kg <sup>-1</sup>	有效磷 /mg · kg <sup>-1</sup>	游离铁 /g · kg <sup>-1</sup>	游离铝 /mg · kg <sup>-1</sup>	质地组成/%		
						黏粒 < 2 μm	粉粒 2~ 50 μm	砂粒 50~ 100 μm
4.57	11.7	0.59	23.08	51.8	131.7	30.2	52.4	8.8

注: pH 值, 水土比是 2.5:1<sup>[12]</sup>; 总磷, 偏硼酸锂熔融, ICP-AES 测定; 有效磷, pH 值 8.5, 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> 浸提; 质地组成, LS230 激光粒度仪测定(美国 COULTER 公司), 按照美国农业部标准划分。

表 2 供试天然沸石的化学性质

Table 2 Chemical properties of the native clinoptilolite

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /g · kg <sup>-1</sup>	SiO <sub>2</sub> /g · kg <sup>-1</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /g · kg <sup>-1</sup>	CaO <sub>2</sub> /g · kg <sup>-1</sup>	K <sub>2</sub> O/g · kg <sup>-1</sup>	CEC/cmole · kg <sup>-1</sup>
113.7	455.4	7.6	39.1	20.5	103.1

注: 全量以偏硼酸锂熔融, ICP-AES 测定。

## 1.4 方法

试验中天然沸石用量根据与土壤质量比 0:1(对照),

收稿日期: 2005-11-02 修订日期: 2006-03-05

基金项目: 国家自然科学基金(30400273); 加拿大钾磷研究所(PPI/PPIC)资助项目

作者简介: 化全县(1974-), 男, 河南濮阳人, 博士生, 主要从事土壤肥力、植物营养和控释肥料开发的研究。南京 中科院南京土壤研究所, 210008。Email: quanxianh@eyou.com

0.1:1, 0.2:1 和 1:1 而定, 即 0, 0.25, 0.5, 2.5 g。试验采用恒温振荡(25℃), 由 3 部分组成。首先, 土壤、天然沸石和磷酸二氢钾混合均匀, 振荡 48 h。该部分试验标记为 CP。第二部分是土壤和天然沸石混合均匀, 加水振荡 24 h; 再加入磷酸二氢钾溶液, 振荡 48 h, 该部分试验标记为 C-P。第三部分是土壤与磷酸二氢钾溶液相混合, 振荡 48 h; 再加入天然沸石, 振荡 24 h, 该部分试验以 P-C 表示。所有试验固定溶液体积为 50 mL。振荡结束后, 以 2790 g 转速离心 10 min, 取上清液测定水溶性 P、K; 用酒精

(分析纯)洗涤样品3次,加入0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> 50 mL,振荡1 h,在30℃下平衡24 h后,离心,取上清液测定解吸P、K<sup>[14]</sup>;如上述,以酒精洗涤样品后,用50 mL,0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub>浸提测定有效磷。

所有数据以SPSS和Excel统计检验和方差分析,并通过Tukey在 $P < 0.05$ 水平下的多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 水溶性磷钾的变化

由图1可以看出,天然沸石显著地降低了水溶液中磷、钾含量,且随沸石用量的增加而降低。在沸石与土壤比为1:1且MKP低水平时,先加入沸石的处理与对照的水溶性磷含量相当,而同时加入沸石和MKP的处理水溶性磷仅为对照的90.9%;在MKP高水平时,前者的水溶性磷为对照处理的42.2%,后者为39.0%。沸石对钾的吸附随其用量的增加差异而逐渐降低。表明沸石的施用增加了土壤对磷、钾的吸附,一定程度上降低了两种养分随水流失的可能性,尤其是阻止了钾在红壤的流失。随着沸石用量的增加,土壤对磷、钾的吸附更加强烈。

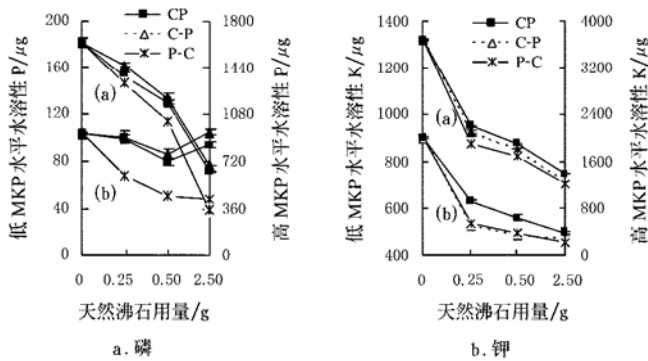


图1 天然沸石在磷酸二氢钾用量高水平 and 低水平时对水溶性磷、钾的影响

Fig. 1 Effects of native clinoptilolite on the concentration of P and K in solution at high level and low level of monopotassium phosphorus

沸石和MKP的加入次序也明显地影响着土壤对磷、钾的吸附,在MKP的2个水平下水溶性磷含量依次为C-P>CP,表明随着振荡时间的延长,沸石降低了红壤对磷的吸附。而沸石和MKP的添加顺序对钾的影响,以处理CP的含量最高,而处理P-C和C-P的钾含量差异不显著。

### 2.2 解吸溶液磷、钾的变化

如图2所示,在MKP低水平时,解吸磷量由于天然沸石的添加而减少,并且在用量为0.5 g时最低,处理CP、C-P和P-C的解吸磷量只有对照的63.9%、72.0%、36.7%。然后解吸磷量随沸石用量的增加而有所回升。在MKP高水平时,解吸磷量起初随沸石用量的增加而有所增加,在沸石用量为0.25 g时为最高,之后随其用量的增加而降低。在沸石用量为2.5 g时,处理CP、C-P和P-C的解吸磷量是对照的75.5%、74.3%和39.3%。表明添加沸石降低了土壤中交换态磷含量,但施磷高量或者富磷的土壤中适量添加沸石能够提高交换态磷的含量。所有处理均以先加入MKP处理的解吸磷量最低。磷解吸率(即解吸磷量占吸附磷量的部分)在MKP低水平时只有1.6%~4.8%,在MKP高水平时为3.5%~16.8%。表明MKP振荡时间越长,易于解吸的磷越少,当MKP的振荡时间相同时,添加沸石则能促进磷的解吸。

钾解吸的变化不同于磷的解吸。添加沸石增加了钾的解吸

量,并且随着沸石用量的增加解吸钾量呈显著增加趋势。沸石与红壤比为1:1时,在MKP低水平和高水平时处理的解吸钾量分别比对照高出约19倍和5倍。表明沸石可以吸附钾,为红壤中作物贮存所需钾素。从图2可以看出,MKP低水平时钾解吸率随沸石用量的增加而递增,对照的钾解吸率只有86.0%,而添加沸石处理的钾解吸率在134.6%~264.9%;MKP高水平时钾解吸率随沸石用量的增加而递减,对照吸附的钾几乎全部被解吸,添加沸石处理的钾解吸率只有57.2%~75.2%。表明在土壤钾元素缺乏时,肥料引入的钾不但可以被代换出来,而且沸石中原有的钾也可以被交换于土壤溶液中,以供作物生长需求<sup>[15]</sup>;表明在土壤钾元素充足时,沸石吸附多余的钾,避免随水而流失。可见,沸石在红壤中不但可以作为钾库,而且可以作为钾源。

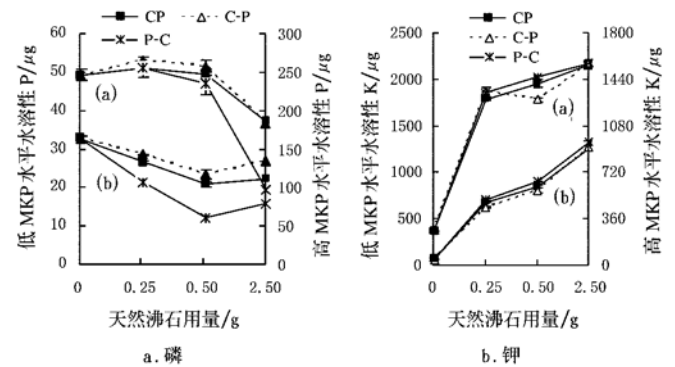


图2 天然沸石在磷酸二氢钾用量高水平 and 低水平时对解吸磷、钾的影响

Fig. 2 Effects of native clinoptilolite on the concentration of P and K extracted by 0.01 mol/L CaCl<sub>2</sub> at high level and low level of monopotassium phosphorus

### 2.3 沸石对有效磷的影响

从图3中有效磷的变化看出,沸石的添加使有效磷在MKP两个水平变化不同。MKP低水平时,沸石的添加导致有效磷量降低,且随其用量的增加有效磷量而递减,至沸石用量为2.5 g时,有效磷量只有对照处理的72.4%~84.0%。沸石和MKP加入顺序也明显影响有效磷的浸提量,有效磷量大小依次为P-C>C-P>CP处理。MKP高水平时,沸石的加入增加了有效磷浸提量,且随其用量的增加而增加,在沸石用量2.5 g时,磷浸提量比对照增加了21.1%~32.2%。各处理中以先加入MKP处理的有效磷量为最大,与水溶性磷含量相反,同时,MKP振荡时间的延长也是该部分磷的增加的原因。表明施磷高量或者富磷的红壤中加入沸石能够提高有效磷水平,减慢磷的无效化过程;但在施磷低量或缺磷的红壤加入沸石则会加剧有效磷的匮乏。

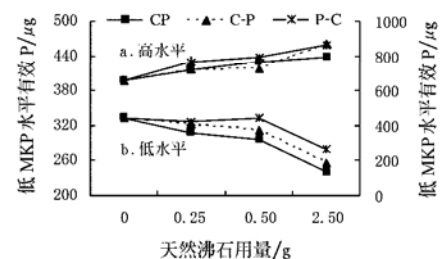


图3 天然沸石在磷酸二氢钾用量高水平 and 低水平时对有效磷的影响

Fig. 3 Effects of native clinoptilolite on the concentration of available P extracted by 0.5 mol/L NaHCO<sub>3</sub> at high level and low level of monopotassium phosphorus

### 3 结论与讨论

1) 红壤中添加天然沸石降低了水溶性磷、钾含量,且随沸石用量的增加,磷、钾含量逐渐降低。沸石降低了磷、钾随水分而流失的可能性,尤其对不能被红壤吸附的钾素更具有生产指导意义。

2) 在磷酸二氢钾低水平时,肥料钾不但全部被浸提,而且沸石中的钾也释放于土壤溶液。而在磷酸二氢钾高水平时,只有57.2%~75.2%的钾释放。可见天然沸石在红壤既可以“钾源”,又可以作为“钾库”;同时沸石提高了土壤有效磷含量,减缓了磷无效化的过程。

3) 天然沸石应用于蔬菜生产地和温室土壤等富磷土壤,在提高磷利用率的同时降低了农业非点源磷污染的可能性;而用于产生点源磷污染的工矿企业,切断磷污染源头的同时变废为宝,为农业提供磷源。

#### [参 考 文 献]

- [1] Du Z Y, Zhou J M, Wang H Y, et al. Effect of nitrogen fertilizers on movement and transformation of phosphorus in an acid soil[J]. *Pedosphere*, 2005, 15(4): 424-431.
- [2] 文亦芾, 艾有群. 南方红壤磷素化学研究进展和展望[J]. *云南农业大学学报*, 2005, 20(4): 534-538, 547.
- [3] 段永惠, 张乃明, 张玉娟. 施肥对农田氮磷污染物径流输出的影响研究[J]. *土壤*, 2005, 37(1): 48-51.
- [4] 司有斌, 王慎强, 陈怀满. 农田氮磷的流失与水体富营养化[J]. *土壤*, 2000(4): 188-193.
- [5] 孙波, 王兴祥, 张桃林. 红壤养分淋失的影响因子[J]. *农业环境科学学报*, 2003, 22(3): 257-262.
- [6] Lu J J, Yang H, Gao L, et al. Spatial variation of P and N in water and sediments of Dianchi Lake, China[J]. *Pedosphere*, 2005, 15(1): 78-83.
- [7] 沈根祥, 杨建军, 黄沈发, 等. 塑料大棚盐渍化土壤灌水洗盐对环境污染负荷的研究[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(1): 124-127.
- [8] Barbarick K A, Lai T M, Eberl D D. Exchange fertilizer (phosphate rock plus ammonium-zeolite) effects on sorghum-sudangrass[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1990, 54: 911-916.
- [9] He Z L, Baligar V C, Martens D C, et al. Effect of byproduct, nitrogen fertilizer, and zeolite on phosphate rock dissolution and extractable phosphorus in acid soil[J]. *Plant and soil*, 1999, 208: 199-207.
- [10] 魏静, 周恩湘, 姜淳, 等. 石灰性土壤上利用天然沸石活化磷矿粉的初步探讨[J]. *河北农业大学学报*, 1999, 22(3): 25-27.
- [11] Hua Q X, Zhou J M, Wang H Y, et al. Effects of modified clinoptilolite on phosphorus mobilization and potassium or ammonium release in ferrosols[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2006, 44(3) (in press).
- [12] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [13] Allen E R, Hossner L R, Ming D W, et al. Release rates of phosphorus, ammonium, and potassium in clinoptilolite-phosphate rock systems[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1996, 60: 1467-1472.
- [14] 卢瑛, 龚子同, 张甘霖. 南京城市土壤磷的形态和吸附-解吸特征[J]. *土壤通报*, 2003, 43(1): 40-43.
- [15] Allen E R, Ming D W, Hossner L R, et al. Modeling transport kinetics in clinoptilolite-phosphate rock systems[J]. *Soil Science Society of America Journal*, 1995, 59: 248-255.

## Laboratory simulation of effects of native clinoptilolite on phosphorus and potassium mobilization in red soil

Hua Quanxian<sup>1,2</sup>, Li Jianyun<sup>3</sup>, Zhou Jianmin<sup>1</sup>

(1. State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Sciences, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. School of Chemical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China; 3. Department of Industrial Engineering, Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, Zhengzhou 450015, China)

**Abstract:** In order to improve the nutrient efficiency, batch-experiments were conducted to preliminarily study the effects of native clinoptilolite on the unavailable process of water-dissolvable phosphorus and potassium in red soil. Results show that with the clinoptilolite additions, the concentration of phosphorus and potassium in solution decreases, and the potassium extracted by CaCl<sub>2</sub> increases. The extractable and available phosphorus concentrations in the treatments with clinoptilolite addition decrease in contrast with no clinoptilolite addition at the low level of monopotassium phosphorus; the former is decreased and the latter is increased 9.6%~32.2% at the high level. In red soil, clinoptilolite increases the available phosphorus concentration and decreases the probability of phosphorus pollution in soils with high application of phosphorus fertilizer or high phosphorus concentration. For potassium, native clinoptilolite can be as a sink or a source, which maintains a good potassium concentration.

**Key words:** native clinoptilolite; monopotassium phosphorus; red soil; desorption