

# 外源低分子量有机酸和磷肥与土壤钙素的相互作用研究

张 大 庚, 栗 杰, 刘 慧, 贺 云 龙

(沈阳农业大学 土地与环境学院, 辽宁 沈阳 110866)

**摘 要:**以含钙较高的褐土为供试土壤,系统研究了草酸、柠檬酸和磷肥对土壤/纯碳酸钙中磷素和钙素有效性的影响。结果表明:添加外源低分子量有机酸促进了土壤中钙素和磷素的释放,对钙素的活化能力为草酸<柠檬酸,对磷素的活化能力为草酸>柠檬酸。磷肥的添加明显抑制了土壤中钙素的活化。有机酸和磷肥综合作用后褐土中有效性钙素含量增加。外源有机酸和磷对纯碳酸钙中钙素有效性的影响与土壤相似。外源有机酸通过降低土壤溶液中钙素的含量进而提高了土壤中磷素的有效性。

**关键词:**外源有机酸;磷;钙;石灰性褐土

**中图分类号:**S 606+.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2015)15-0161-05

磷素和钙素都是作物生长过程中的必需营养元素,但在推荐施肥过程中对于钙素未明确考虑,而且无钙磷酸铵的施用和含钙物料施用的减少均导致了土壤中钙素的缺乏。特别是随着设施栽培蔬菜的发展,蔬菜对于钙素的需求量较高,作物常常出现缺钙的症状。同时由于钙对磷有一定的固定作用<sup>[1-2]</sup>,土壤中的磷可转化为溶解度低的 Ca-P 形态积累在土壤中<sup>[3-4]</sup>,使磷肥当季利用率较低<sup>[5-6]</sup>。近几年来,以模拟植物缺磷条件下,利用作物分泌有机酸活化土壤积累磷素研究较多。大量研究表明有机酸促进土壤中潜在磷素活化,促进难溶态磷向可溶态磷转化,有机酸活化磷素能力顺序为草酸>柠檬酸>酒石酸>苹果酸<sup>[7-11]</sup>。由于磷和钙之间可形成溶解度不同的化合物,有机酸加入后其质子酸效应和对阳离子络合作用在影响磷素有效性的同时,势必会影响土壤中有效钙含量。但大量的研究集中在有机酸对土壤磷素活化的影响,有关有机酸对土壤有效钙含量和有机酸活化的磷和钙之间相互作用的影响报道较少。因此该研究以含钙较高的褐土为研究对象,以提高土壤磷素

有效性较强的草酸、柠檬酸为低分子量有机酸代表,采用批量恒温振荡法,系统研究添加 2 种外源低分子量有机酸和磷肥与土壤钙素之间的相互作用,以期对石灰性土壤的合理施肥提供理论参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土壤采自辽宁省朝阳市郊区耕地,样品采集深度为表层 0~20 cm。土壤类型为褐土,pH 值(水土比 2.5:1)为 8.46,阳离子交换量(CEC)为 14.32 cmol/kg,土壤有机质含量 12.60 g/kg,全磷含量 0.54 g/kg,速效氮含量 82.46 mg/kg,速效磷含量 29.95 mg/kg,全钙含量 19.14 g/kg,水溶性钙含量 0.52 g/kg。

试验所用草酸、柠檬酸、碳酸钾和磷酸钾( $K_3PO_4 \cdot 3H_2O$ )均为实验室分析纯试剂。

### 1.2 试验方法

试验分别以石灰性土壤褐土和纯碳酸钙为研究对象。称取通过 1 mm 筛孔的风干土样/纯  $CaCO_3$  1 g,置于 100 mL 聚四氟乙烯离心管中,分别加入一定体积的草酸/柠檬酸和磷标液,最后加入 pH 7 的浓度为 0.01 mol/L 的 KCl 电解质,使溶液体积均为 50 mL。溶液中有机酸浓度分别为 1、3、5 mol/L,磷浓度分别为 0、10、20、30、40、50 mg/kg。为防止微生物活动,每管加氯仿数滴。加塞,严防振荡时漏液。在 25℃ 恒温振荡 30 min,置于 25℃ 保温箱内平衡培养 6 d。在此期间,每

**第一作者简介:**张大庚(1975-),女,辽宁凌海人,博士,副教授,硕士生导师,现主要从事土壤肥力方面的教学和科研工作。E-mail:zdg111@126.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(41401323);辽宁省自然科学基金资助项目(2014027010)。

**收稿日期:**2015-05-18

天振荡 2 次(即间隔 12 h 振荡 1 次),每次 30 min,均在 25℃ 恒温条件下进行。培养结束后,以 3 000 r/min 离心 15 min,测定上层清液磷和钙浓度,即为平衡溶液中磷和钙浓度。每处理重复 3 次。

### 1.3 项目测定

钙含量采用原子吸收分光光度法测定,磷含量采用钼蓝比色法测定,其它理化性质均采用实验室常规方法测定。

### 1.4 数据分析

采用 Excel 和 DPS 软件进行数据整理和显著性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源有机酸和磷与土壤中钙素的相互作用

2.1.1 对磷素有效性的影响 由表 1 可知,在未添加有机酸条件下,添加不同浓度磷各处理土壤均吸持了一定数量的磷。随着添加磷浓度增加,土壤对磷的吸持量呈增加的趋势,吸持量分别为 1.61、5.46、8.69、10.65、11.61 mg/L。吸持量与添加磷量之间的百分比表示了土壤对磷的吸持率,褐土对磷的吸持率分别为 16.10%、27.30%、28.97%、26.63%、23.22%。吸持率在添加磷浓度为 30 mg/L 时达到最高值后,随添加磷浓度的增加呈

降低趋势。随溶液中添加磷浓度的增加,一定程度上抑制了土壤中磷的活化。

在未添加磷的条件下,添加有机酸均显著促进了土壤中磷的活化,且随 2 种有机酸浓度的增加,对磷的活化作用增强。2 种有机酸相比,草酸对土壤中磷的活化作用大于柠檬酸,如当添加有机酸浓度为 3 mmol/L 时,与未添加有机酸处理相比,添加草酸溶液中磷浓度增加 113%,而添加柠檬酸仅为 22%。

对于添加草酸处理,加入不同浓度磷后,平衡溶液中磷增加的百分比与未加磷相比均呈降低的趋势。草酸对土壤中磷素的活化能力较强,而在溶液中加入磷后对其影响也相对较大。对于添加柠檬酸处理,与草酸存在一定的差异,当添加浓度为 1、3 mmol/L 时,加入浓度为 10、20、30、40 mg/L 磷后平衡溶液中磷增加的百分比与未加磷相比均呈增加趋势。与草酸相比,柠檬酸对土壤中磷素的活化作用较小,加入磷后对其影响也较小。

从研究结果来看,添加外源低分子有机酸显著促进土壤中磷释放,随着有机酸浓度的增加有效磷含量逐渐增加,且草酸的作用大于柠檬酸,这与李有田等<sup>[7]</sup>、陆文龙等<sup>[9]</sup>、曲东等<sup>[12]</sup>有机酸对土壤中磷素活化能力的研究结果相一致。

表 1 外源低分子量有机酸、磷和钙相互作用后土壤平衡溶液中磷浓度

Table 1 P concentration in equilibrium solution after the interaction of extraneous low-molecular-weight organic acids, phosphorus and calcium in soil

		mg/L					
处理		原始溶液添加磷浓度 P concentration added in the original solution/(mg · L <sup>-1</sup> )					
Treatment		0	10	20	30	40	50
对照	0 mmol/L	0.23±0.05dC	8.16±0.58bB	14.31±0.01cB	21.08±0.38cD	29.12±0.78cdBC	39.16±1.00bcC
	1 mmol/L	0.33±0.01cdBC	11.39±0.59aA	20.99±0.59aA	28.02±1.99bBC	36.08±2.34abAB	41.59±2.56bBC
草酸	3 mmol/L	0.49±0.04bcAB	11.14±1.84aA	18.91±0.90bA	29.41±1.12abABC	39.64±0.39aA	50.27±1.12aAB
	5 mmol/L	0.70±0.03aA	11.25±0.21aA	20.28±1.54abA	30.66±0.43aAB	40.43±0.98aA	50.57±2.36aAB
柠檬酸	1 mmol/L	0.26±0.01dC	10.11±0.22aAB	19.19±0.38bA	27.51±1.23bC	33.27±2.73bcABC	40.08±2.31bcC
	3 mmol/L	0.28±0.02dBC	11.50±0.74aA	20.03±0.98abA	27.82±0.98bC	36.95±4.78dC	46.25±2.81cC
	5 mmol/L	0.56±0.25abAB	11.35±0.90aA	19.35±0.01bA	30.93±1.09aA	41.44±0.90aA	52.07±0.41aA

注:小写字母表示  $P<0.05$ ;大写字母表示  $P<0.01$ 。下同。

Note: The lowercase letters show  $P<0.05$  and the capital letters show  $P<0.01$ . The same below.

2.1.2 对钙素有效性的影响 由表 2 可知,在未添加有机酸处理中,平衡溶液中钙含量随添加磷量的增加逐渐降低,且降低的幅度逐渐增加。与未添加磷素相比,平衡溶液中钙含量降低幅度分别为 50.00%、67.86%、78.57%、85.71%和 85.71%。说明添加的磷酸盐固定了一定数量溶液中钙素,且当添加磷酸盐浓度为 40 mg/L 时已基本形成最大沉淀量。

添加有机酸后,在未添加磷的条件下平衡溶液中钙含量随加酸量增加而增加。因此,添加有机酸促进土壤磷素活性的同时,也增加了土壤中钙素的有效性。但不

同外源有机酸对磷素和钙素的有效性影响不同。与有机酸对土壤磷素有效性的影响相反,添加草酸后土壤溶液中钙的浓度远低于添加柠檬酸处理,添加 3 mmol/L 草酸处理溶液中钙素含量(0.46±0.044)g/L 低于添加 1 mmol/L 柠檬酸(0.61±0.029)g/L 处理。分析可知添加的草酸和钙离子可形成草酸钙,而草酸钙本身也是一种沉淀,草酸钙的溶解度仅为 0.000 67 g/100mL(20℃)。因此随草酸的添加,其所带入的氢离子可提高土壤中钙的有效性,但同时形成的草酸钙又在一定程度上减少了溶液中钙素含量,最终是二者平衡的结果。添加的柠檬酸

与钙之间也形成沉淀,溶解度为 0.095 g/100mL(20℃)远大于草酸钙,因此 2 种有机酸对土壤中钙素有效性的影响为草酸<柠檬酸。

不同浓度的草酸处理溶液钙含量随着磷浓度增加逐渐降低,但添加有机酸处理溶液中钙素含量均高于不加有机酸处理。除原始溶液磷浓度为 30 mg/L 处理外,其它处理随添加磷浓度的增加,与对照相比增加的幅度也呈增加的趋势。随着添加草酸浓度增加,与未添加磷处理相比土壤溶液中钙含量降低幅度范围分别为 16.67%~80.00%、20.69%~58.62%和 32.61%~71.74%,平均降幅为 55.33%、40.00%和 55.22%。这也是添加草酸后  $H^+$  对钙的活化、酸根与钙形成沉淀及磷酸根与活化的钙形成沉淀 3 种过程相互平衡的结果。不同浓度柠檬酸处理溶液钙含量随着

磷浓度增加逐渐降低,不同浓度处理之间差异显著。随着有机酸浓度增加,与未添加磷处理相比土壤溶液中钙含量降低幅度范围分别为 0.00%~68.85%、6.28%~20.77%和 10.22%~31.95%,平均降幅为 30.49%、13.24%和 18.79%。相同磷浓度和有机酸浓度条件下,柠檬酸处理平衡溶液中钙含量高于草酸,且达极显著差异水平,其平衡溶液钙的降低幅度低于草酸。

由以上分析可知,添加外源草酸后由于钙可与草酸根结合形成草酸钙沉淀较多,因此减少了与磷酸根相结合的钙,从另一个角度来讲增加了磷的有效性。因此,进一步说明了添加草酸对土壤中磷素的活化作用要大于柠檬酸,而添加草酸对土壤中钙素有效性的影响要小于柠檬酸的原因。

表 2 外源低分子量有机酸、磷和钙相互作用后土壤平衡溶液中钙浓度

Table 2  $Ca^{2+}$  concentration in equilibrium solution after the interaction of extraneous low-molecular-weight organic acids,phosphorus and calcium in soil g/L

处理 Treatment		原始溶液添加磷浓度 P concentration added in the original solution/(mg · L <sup>-1</sup> )					
		0	10	20	30	40	50
对照	0 mmol/L	0.28±0.035eE	0.14±0.003dD	0.09±0.011gF	0.06±0.006eE	0.04±0.003eF	0.04±0.002eE
	1 mmol/L	0.30±0.011eE	0.25±0.013dD	0.17±0.008fE	0.11±0.01deDE	0.08±0.005eEF	0.06±0.019eDE
草酸	3 mmol/L	0.29±0.006eE	0.23±0.012dD	0.20±0.001eE	0.16±0.006dDE	0.16±0.003dD	0.12±0.005dCD
	5 mmol/L	0.46±0.044dD	0.31±0.044dD	0.27±0.011dD	0.17±0.04dD	0.13±0.025dDE	0.15±0.039cdC
柠檬酸	1 mmol/L	0.61±0.029cC	0.61±0.014cC	0.56±0.031cC	0.46±0.053cC	0.30±0.013cC	0.19±0.009cC
	3 mmol/L	2.07±0.011bB	1.94±0.022bB	1.92±0.012bB	1.82±0.006bB	1.64±0.046bB	1.66±0.013bB
	5 mmol/L	3.13±0.053aA	2.81±0.316aA	2.46±0.002aA	2.61±0.098aA	2.70±0.046aA	2.13±0.063aA

## 2.2 外源有机酸和磷与纯碳酸钙中钙素的相互作用

2.2.1 对磷素有效性的影响 碳酸钙是石灰性土壤中钙素存在的主要形态,因此,为进一步探讨有机酸和磷对石灰性土壤中钙素影响的机理,以纯碳酸钙为研究对象,分析了磷-有机酸-钙的交互作用。由表 3 可知,在只添加磷条件下,随添加磷含量的增加,平衡溶液中磷含量呈增加的趋势。但碳酸钙对溶液中磷的吸附量未发生较大的变化,纯碳酸钙吸持后溶液中磷浓度的变化仅在 3.75~1.70 mg/L 之间。说明在试验条件下所添加的磷含量相对较高,在添加量为 10 mg/L 条件下,已使纯碳酸钙基本达到了磷吸持饱和。

添加草酸和柠檬酸后,均降低了土壤平衡溶液中磷含量,且随添加磷素含量的增加,与添加磷浓度相比降低幅度呈增加趋势。由添加磷 10 mg/L 降低的幅度约 8.6%~55.0%,到添加量为 50 mg/L 降低的幅度约 43.2%~86.9%。2 种有机酸比较可知,添加不同浓度

处理草酸处理溶液中磷含量均高于添加柠檬酸处理。如添加 2 种有机酸浓度为 5 mmol/L 时,与添加磷相比,平衡溶液中磷含量降低的幅度在 13.4%~81.1%之间,而添加柠檬酸后,降低的幅度在 55.0%~86.9%之间。随 2 种低分子有机酸浓度的增加,平衡溶液中磷含量呈降低趋势。如添加磷素浓度为 50 mg/L 条件下,随添加草酸浓度的增加,平衡溶液中磷素降低的幅度由 43.2%增加到 81.1%,添加柠檬酸处理降低幅度由 72.5%增加到 86.9%。因此与土壤相似,添加草酸后纯碳酸钙溶液中磷素的有效性高于柠檬酸,但与土壤不同的是随添加外源有机酸浓度的增加,溶液中有效磷含量呈一定降低趋势。

由上述分析可知,由于纯碳酸钙本身不含有磷素,因此添加外源有机酸后均表现为一定程度的吸持作用。纯碳酸钙本身对磷的吸持量较小,而添加有机酸后可能是增加了溶液中钙素的含量,增加了磷和钙之间的沉淀作用,从而增加了纯碳酸钙对磷素的吸持量。



表 3 外源低分子量有机酸、磷和钙相互作用后纯碳酸钙平衡溶液中磷浓度

Table 3 P concentration in equilibrium solution after the interaction of extraneous low-molecular-weight organic acids, phosphorus and CaCO<sub>3</sub> mg/L

处理		原始溶液添加磷浓度 P concentration added in the original solution/(mg·L <sup>-1</sup> )					
Treatment		0	10	20	30	40	50
对照	0 mmol/L	—	7.46±0.22aA	18.20±0.38aA	28.30±0.95aA	37.91±0.38aA	46.25±0.66aA
	1 mmol/L	—	6.82±0.66abAB	16.81±0.44aA	22.49±0.58bB	26.41±0.52bB	26.28±0.79bB
草酸	3 mmol/L	—	6.07±0.01bBC	6.07±0.66bB	10.49±2.52cC	18.20±0.31cC	23.38±0.95cC
	5 mmol/L	—	6.46±0.40bAB	5.39±0.53bB	6.06±0.4dD	8.08±0.70deD	8.75±0.23eE
柠檬酸	1 mmol/L	—	5.12±0.84cC	5.79±0.23bB	7.67±0.03dCD	9.56±0.2dD	12.72±0.29dD
	3 mmol/L	—	6.33±0.23bAB	6.87±0.40bB	6.46±0.40dD	6.33±1.30eD	7.54±0.18efEF
	5 mmol/L	—	3.36±0.39dD	8.24±0.25bB	5.89±0.20cC	6.29±0.74eD	6.04±0.41fF

2.2.2 对钙素有效性的影响 由表 4 可知,随添加磷浓度的增加,平衡溶液中钙素含量呈明显降低的趋势,未添加磷时钙素含量为 0.06 g/L,添加磷浓度 10 mg/L 时钙素含量为 0.02 g/L。但随添加磷酸盐浓度的增加,平衡溶液中钙素含量变化较小。分析可知,在未添加有机酸的条件下,释放的钙素含量相对较少,在添加磷浓度为 10 mg/L 时,已使溶液中钙素基本沉淀完全。

在未添加磷条件下,添加有机酸后明显增加了平衡溶液中钙素含量。其中随添加草酸浓度的增加,与不添加有机酸处理相比,溶液中钙素含量分别增加 1.3、4.5、7.3 倍;添加柠檬酸浓度的增加,溶液中钙素含量分别增加 10.7、34.7、59.3 倍。因此,外源草酸对纯碳酸钙中钙的活化作用远小于柠檬酸。

与只添加有机酸相比,添加磷后,有机酸对溶液中

钙素含量的影响程度增加,其中添加磷浓度为 10 mg/L 时,对溶液中钙素含量的影响最大。随添加草酸浓度的增加,溶液中钙素分别增加 2.0、10.0、22.2 倍;随添加柠檬酸浓度的增加,分别增加 28.2、103.2、179.0 倍。在该试验浓度范围内,2 种有机酸均可促进纯碳酸钙的活化,增加溶液中钙素的活性,且柠檬酸>草酸。而随溶液中有效性钙素含量的增加,也增加了其与磷酸根之间的作用,增加了沉淀数量,而减少了溶液中磷素的含量。而进一步说明了随 2 种有机酸浓度的增加,溶液中磷素的含量减少原因。

与土壤相比,添加外源有机酸和磷后,纯碳酸钙溶液中钙素的含量较低,说明碳酸钙只是石灰性褐土中一部分存在形态,其还存在一些有效性较高的钙素形态。

表 4 外源低分子量有机酸、磷和钙相互作用后纯碳酸钙平衡溶液中钙浓度

Table 4 Ca<sup>2+</sup> concentration in equilibrium solution after the interaction of extraneous low-molecular-weight organic acids, phosphorus and CaCO<sub>3</sub> g/L

处理		原始溶液添加磷浓度 P concentration added in the original solution/(mg·L <sup>-1</sup> )					
Treatment		0	10	20	30	40	50
对照	0 mmol/L	0.06±0.006gF	0.02±0.001fE	0.02±0.002fE	0.02±0.002dD	0.02±0.002dD	0.01±0.004dD
	1 mmol/L	0.14±0.018fF	0.06±0.015fE	0.04±0.001fE	0.02±0.00dD	0.02±0.001dD	0.01±0.002dD
草酸	3 mmol/L	0.33±0.014eE	0.22±0.019eD	0.13±0.054eE	0.06±0.034dD	0.03±0.001dD	0.02±0.001dD
	5 mmol/L	0.50±0.075dD	0.46±0.108dC	0.29±0.06dD	0.07±0.017dD	0.19±0.038cC	0.13±0.011cC
柠檬酸	1 mmol/L	0.70±0.050cC	0.58±0.065cC	0.42±0.065cC	0.33±0.042cC	0.22±0.012cC	0.12±0.002cC
	3 mmol/L	2.14±0.035bB	2.08±0.023bB	1.90±0.022bB	1.64±0.056bB	1.39±0.074bB	1.27±0.05bB
	5 mmol/L	3.62±0.057aA	3.60±0.008aA	3.48±0.08aA	3.27±0.051aA	2.96±0.047aA	2.71±0.061aA

### 3 结论

添加外源低分子量有机酸促进了土壤中磷素的释放,随着有机酸浓度的增加有效磷含量逐渐增加,活化能力为草酸>柠檬酸。添加外源有机酸也可促进土壤中钙素的活化,随着有机酸浓度的增加有效钙含量逐渐增加,但活化能力为草酸<柠檬酸。磷肥的添加明显抑制了土壤中钙素的活化。有机酸和磷肥综合作用后土壤中有效性钙素含量增加。外源有机酸和磷对纯碳酸钙中钙素有效性的影响与土壤相似。添加草酸溶液中有效性钙的含量远低于柠檬酸,添加磷肥后溶液中降低了

有效钙含量,且作用大小为草酸<柠檬酸。外源有机酸可通过降低土壤溶液中钙素的含量进而提高了土壤中磷素的有效性。

### 参考文献

- [1] 尹金来,曹翠玉,史瑞和. 徐淮地区石灰性土壤磷素固定的研究[J]. 土壤学报,1989,26(2):131-138.
- [2] 姚晓芹,马文奇,楚建周. 不同酸性物质对石灰性土壤的酸化效果研究[J]. 中国生态农业学报,2006,14(4):68-71.
- [3] 党廷辉,郝明德,郭胜利. 石灰性土壤磷素的化学活化途径探讨[J]. 水土保持学报,2005,19(2):100-104.
- [4] 卜玉山,梁美英,张广锋. 不同石灰性土壤磷素形态及其有效性差异[J]. 山西农业大学学报(自然科学版),2011,31(3):193-199.

- [5] 刘建玲,张福锁,杨奋翩.北方耕地和蔬菜保护地土壤磷素状况研究[J].植物营养与肥料学报,2000,6(2):179-186.
- [6] 介晓磊,李有田,庞荣丽,等.低分子量有机酸对石灰性土壤磷素形态转化及有效性的影响[J].土壤通报,2005,36(6):856-860.
- [7] 李有田,庞荣丽,介晓磊,等.低分子量有机酸对石灰性潮土磷吸附与解吸的影响[J].河南农业大学学报,2002,36(20):133-137.
- [8] 陆文龙,张福锁,曹一平,等.低分子量有机酸对石灰性土壤磷吸附动力学的影响[J].土壤学报,1999,36(2):189-197.
- [9] 陆文龙,王敬国,曹一平,等.低分子量有机酸对土壤磷素释放动力学的影响[J].土壤学报,1988,35(4):493-500.
- [10] 陆文龙,曹一平,张福锁.低分子量有机酸对土壤无机磷形态转化的影响[J].华北农学报,1999,14(2):1-5.
- [11] 庞荣丽,介晓磊,方金豹,等.有机酸对石灰性潮土有机磷组分的影响[J].土壤,2008,40(4):566-570.
- [12] 曲东,尉庆丰,周建军.有机酸对石灰性土壤磷素的活化效应[J].西北农业大学学报,1996,24(1):101-103.

## Study on the Interaction of Extraneous Low-molecular-weight Organic Acids, Phosphorus and Calcium in Soil

ZHANG Dageng, LI Jie, LIU Hui, HE Yunlong

(Land and Environment College, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866)

**Abstract:** Using cinnamon soils as the representative of calcareous soil, the effect of oxalic acid, citric acid and phosphorus on calcium availability in soil/ $\text{CaCO}_3$  were studied. The results showed that adding low-molecular-weight organic acids promoted the release of phosphorus in soil; the activating ability of organic acids for phosphorus followed the order, oxalic acid > citric acid. Adding low-molecular-weight organic acids also could promote the calcium activation in soils; but the activating ability of organic acids for calcium followed the order, oxalic acid < citric acid. Adding phosphorus fertilizer significantly inhibited calcium activation in soil. Under the combined action of organic acid and phosphate fertilizer effectiveness calcium content increased in soil. The effect of exogenous organic acid and phosphorus on calcium in  $\text{CaCO}_3$  was similar with soil. Therefore, exogenous organic acids could increase phosphorus effectiveness by reducing the content of calcium element in soil solution.

**Keywords:** extraneous organic acids; phosphorus; calcium; cinnamon soil

## 欢迎订阅 2016 年《北方园艺》

全国自然科学(中文)核心期刊  
中国农业核心期刊  
全国优秀农业期刊  
中国北方优秀期刊  
黑龙江省优秀科技期刊  
美国化学文摘社(CAS)收录期刊

主管:黑龙江省农业科学院  
主办:黑龙江省园艺学会、黑龙江省农业科学院  
刊号:ISSN 1001-0009 CN 23-1247/S  
广告经营许可证号:2301070000009  
邮发代号:14-150 半月刊 每月 15、30 日出版  
单价:15.00 元 全年:360.00 元

全国各地邮局均可订阅 或直接向编辑部汇款订阅

本刊内容丰富、栏目新颖、技术实用、信息全面。涵盖园艺学的蔬菜、果树、瓜类、花卉、植保等研究领域的新成果、新技术、新品种、新经验。竭诚欢迎全国各地科研院所人员、大专院校师生,各省、市、县、乡、镇农业技术推广人员、农民科技示范户等踊跃订阅。

现辟有试验研究、研究简报、设施园艺、栽培技术、园林花卉、生物技术、植物保护、贮藏保鲜加工、食用菌、中草药、土壤与肥料、新品种选育、产业论坛、专题综述、农业经纬、经验交流等栏目。

地址:黑龙江省哈尔滨市南岗区学府路 368 号《北方园艺》编辑部  
邮编:150086 电话:0451-86674276 信箱:bfyybjb@163.com 网址:www.haasep.cn