

# 土壤有效硅对棉花幼苗营养代谢的影响

李清芳, 马成仓

(淮北煤炭师范学院生物系, 淮北 235000)

**摘要:** 采用土壤盆栽的方法, 研究了土壤中有效硅对棉花种子萌发、幼苗生长、光合作用、水分代谢、矿质元素吸收能力的影响。结果表明, 在土壤有效硅含量一定范围内, 随土壤有效硅含量的增加, 幼苗生长速度加快, 光合强度增强, 蒸腾强度减弱, 水分利用效率提高和叶含水量增加, 植株对磷、锌、硼的吸收量增加, 同时植株对氮、钾、锰、钙、镁的吸收量减少, 铜、钼无显著变化。说明土壤中的硅被棉花吸收后, 改善了棉花的营养代谢, 使幼苗生长加快。

**关键词:** 土壤; 硅; 棉花; 光合作用; 水分代谢; 矿质营养

## Effect of Available Silicon in Soil on Nutritive Metabolism of Cotton Seedling

LI Qing-fang, MA Cheng-cang

(Department of Biology, Huaibei Coal Normal College, Huaibei 235000)

**Abstract:** Cotton plants were cultured in flowerpot for the investigation of the effect of available silicon in soil on cotton seed germination and nutritive metabolism of seedling. The result showed that available silicon in soil had no remarkable effect on cotton seed germination rate, but the effect on seedling nutrition metabolism was significant. When the content of available silicon in soil was between 55.1 and 247.0 mg·kg<sup>-1</sup>, with the increase of available silicon in soil, the photosynthesis rate of cotton seedlings during seedlings growth increased. The transpiration rate decreased, while water utilization efficiency and leaf water content increased. The content of P, Zn and B in cotton seedlings increased, but the content of N, K, Mn, Ca and Mg in cotton seedlings were decreased, and the content of Cu and Mo change were not obvious. From the results mentioned above, it can be shown that silicon assimilated improved nutrition metabolism of cotton seedlings. As a result, seedlings growth rate were advanced.

**Key words:** Soil; Silicon; Cotton; Photosynthesis rate; Water metabolism; Mineral element nutrition

硅是地壳中含量最丰富的元素之一<sup>[1]</sup>, 但土壤中的硅多以难溶形态存在, 所以能为植物所利用的土壤硅有效含量一般比较低<sup>[2]</sup>。许多土壤表现供硅不足, 施硅能提高作物产量<sup>[3]</sup>。研究表明, 硅能增加植物茎壁厚度, 防止倒伏, 改善水稻叶着生姿态<sup>[2]</sup>; 硅在茎叶表皮细胞与角质之间沉积形成角质与硅二层结构, 硅与低等植物的细胞壁组分以一种新型的氢键连接形成复合体<sup>[4]</sup>, 使细胞壁硅质化, 抑制蒸腾<sup>[1]</sup>; 硅能提高光合速率<sup>[2]</sup>, 提高

氮、磷肥的增产效应<sup>[5]</sup>, 影响植株氮、磷、钾、钙、镁的含量, 降低锰、锌含量<sup>[6,7]</sup>; 硅能增强植株抗病、抗盐性<sup>[8,9]</sup>。Hildebrand等<sup>[10]</sup>研究发现硅与硅转运蛋白基因的开放有关。关于硅使农作物增产的机制尚缺乏系统研究。棉花是我国主要的经济作物, 关于硅对棉花生长发育影响尚未见报道。本文采用盆栽试验研究土壤有效硅对棉花幼苗生长过程中的光合作用、水分代谢及矿质营养代谢的影响, 为揭示硅对农作物作用机制提

供试验依据,为农业生产施肥提供科学参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 土壤有效硅的调节

试验选用淮北师范学院花园土(褐土类,山红土)土壤 pH 6.92,有机质  $7.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效磷  $7.76 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,速效钾  $140 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。以硝酸铵、磷酸二氢钙和硫酸钾作基肥<sup>[8]</sup>,用偏硅酸钾调节土壤有效硅含量  $55.1$  (不加偏硅酸钾)  $101.8$ 、 $147.9$ 、 $202.8$ 、 $247.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (上述数字为加入偏硅酸钾后采用硅钼蓝比色法测定的有效硅含量),加入  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  所引入的钾量从硫酸钾中扣除。施肥和调节土壤有效硅含量后测得 pH 为 6.96,各土样无显著差异。

### 1.2 发芽试验

将皖杂 40 棉花种子用  $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} \text{HgCl}_2$  消毒 10 min,用自来水冲洗数次,播种于盛有不同有效硅含量土壤的塑料盘中,每盘 100 粒,重复 4 次,置光照培养箱中  $25^\circ\text{C}$  培养,每日加入少量自来水。第 5 天统计发芽率,测定幼苗鲜重。

### 1.3 盆栽试验

试验在通风、光照良好的室外进行,选用直径 40 cm 的瓷花盆,每盆装土  $9.5 \text{ kg}$ ,每种有效硅含量土壤处理重复 4 盆,共计 20 盆。选取种子饱满均一的皖杂 40,用  $1.0 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1} \text{HgCl}_2$  溶液浸泡 10 min,经蒸馏水冲洗后,于 2001 年 4 月 10 日播种,每盆 40 粒,然后覆盖地膜,4 月 16 日去掉地膜,间苗,每盆保留 12 株,视土壤含水量状况不定时浇灌自来水,5

月 15 日于棉苗四叶一心时,对植株活体测定光合强度、蒸腾强度,并收获全部植株测定幼苗鲜重、叶绿素含量、叶含水量、矿质元素含量。

### 1.4 测定方法

叶绿素含量测定采用混合液(丙酮:无水乙醇 = 1:1)浸提法<sup>[11]</sup>。光合强度、蒸腾强度采用美国 CID 公司的 CI-301PS 便携式光合作用测定仪直接测定。土壤中有有效硅用 pH 4.0 的  $1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$  醋酸-醋酸钠缓冲液提取,用硅钼蓝比色法测定<sup>[12]</sup>。幼苗全氮测定采用凯氏定氮法<sup>[12]</sup>。幼苗全磷测定采用钼锑抗比色法<sup>[12]</sup>。幼苗全钾、钙、镁、铜、锌、锰的测定采用原子吸收分光光度计法<sup>[12]</sup>。幼苗硼的测定采用姜黄素法<sup>[12]</sup>。幼苗钼的测定采用硫氰酸铵比色法<sup>[12]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤有效硅对棉花种子发芽率和幼苗生长的影响

由表 1 可知,土壤中有有效硅对棉花种子发芽率无显著影响。随着土壤有效硅含量的增加,幼苗鲜重显著增加,说明土壤中有有效硅对棉花幼苗生长有促进作用。

### 2.2 土壤有效硅对棉花幼苗叶绿素含量及光合速率的影响

表 2 表明,随土壤中有有效硅含量的增加,棉花幼苗叶绿素含量无显著变化,但光合速率显著增加,表明土壤有效硅能增强棉花幼苗的光能利用能力。

表 1 土壤有效硅对棉花种子发芽率和幼苗生长的影响<sup>1)</sup>

Table 1 The effect of available Si in soil on seed germination rate and seedlings growth of cotton

	有效硅含量 Content of available Si ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )				
	55.1	101.8	147.9	202.8	247.0
发芽率 Germination rate (%)	84.0	86.0	85.5	84.5	84.0
5 d 幼苗鲜重 5 days seedlings FW (g)	0.320	0.341*	0.372*	0.398*	0.402
35 d 幼苗鲜重 35 days seedlings FW (g)	1.98	2.17*	2.32*	2.54*	2.69*

1) \* 与前一样品差异显著,  $t$  检验法  $P = 5\%$ 。下同

\* significantly different from precedent at  $P = 5\%$  level with  $t$ -test. The same as below

表 2 土壤有效硅对棉花幼苗(35 d)叶绿素含量及光合速率的影响

Table 2 The effect of available Si in soil on chlorophyll contents and photosynthetic rate of cotton seedlings (35 d)

	有效硅含量 Content of available Si ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )				
	55.1	101.8	147.9	202.8	247.0
叶绿素 a Chlorophyll a ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ )	1.11	1.12	1.14	1.15	1.15
叶绿素 b Chlorophyll b ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ )	0.51	0.52	0.55	0.57	0.57
总含量 Chlorophyll sum ( $\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}\text{FW}$ )	1.62	1.64	1.69	1.72	1.72
光合速率 Photosynthetic rate ( $\mu\text{mol CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	4.25	4.92*	5.42*	6.35*	6.45

### 2.3 土壤有效硅对棉花幼苗水分代谢的影响

由表 3 可知,土壤中有有效硅对棉花幼苗水分代谢有显著影响,随着土壤有效硅含量增加棉花幼苗蒸腾作用降低,水分利用效率提高,叶片含水量升高。特别是蒸腾速率随有效硅含量从  $55.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  提高到  $202.8 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ,蒸腾速率降低约 30%。对叶片含水量和蒸腾作用综合分析,可以看出硅使作物在水势升高的情况下降低了蒸腾强度,说明硅能提高作物的抗旱保水能力,其原因可能是

硅在叶表皮细胞与角质之间沉积,形成角质与硅的二层结构,抑制了蒸腾作用。而水分利用率提高,也是植物抗旱、保水性能好的表现。

### 2.4 土壤有效硅对棉花幼苗组织中矿质元素含量的影响

由表 4 可以看出,随着土壤中有有效硅含量的增加,棉花幼苗对氮、钾、钙、镁的吸收减少,磷、锌、硼的吸收增加,对铜、钼的影响不明显。

表 3 土壤有效硅对棉花幼苗(35 d)水分代谢的影响<sup>1)</sup>

Table 3 The effect of available Si in soil on water metabolism of cotton seedling(35 d)

	有效硅含量 Content of available Si ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )				
	55.1	101.8	147.9	202.8	247.0
蒸腾速率 Transpiration rate ( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	5.70	4.81*	4.22*	4.07*	4.09
水分利用效率 Water utilization us ( $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mmol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ )	0.75	1.02*	1.28*	1.56*	1.60
叶含水量 Water content of leaf ( $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ )	119	125*	130*	134*	138*

<sup>1)</sup> 水分利用效率 = 光合速率/蒸腾速率 Water use efficiency = photosynthetic rate/transpiration rate

表 4 土壤有效硅对棉花幼苗组织中矿质元素含量的影响

Table 4 The effect of available Si in soil on mineral element contents of cotton seedling(35 d)

		有效硅含量 Content of available Si ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )				
		55.1	101.8	147.9	202.8	247.0
N (%)	根 Root	2.16	2.04*	1.87*	1.80*	1.71*
	茎 Stem	3.44	3.28*	3.07*	3.00*	2.85*
	叶 Leaf	1.84	1.68*	1.58*	1.50*	1.44*
P (%)	根 Root	0.289	0.296*	0.304*	0.352*	0.424*
	茎 Stem	0.272	0.296*	0.320*	0.336*	0.360*
	叶 Leaf	0.216	0.272*	0.312*	0.344*	0.360*
K (%)	根 Root	1.60	1.55*	1.51*	1.45*	1.44
	茎 Stem	1.61	1.56*	1.50*	1.46*	1.46
	叶 Leaf	1.39	1.36*	1.35	1.30*	1.26*
Ca (%)	根 Root	0.275	0.263*	0.250*	0.225*	0.203*
	茎 Stem	0.238	0.220*	0.213*	0.198*	0.185*
	叶 Leaf	0.301	0.296	0.285*	0.275*	0.266*
Mg (%)	根 Root	0.180	0.170*	0.157*	0.145*	0.138
	茎 Stem	0.210	0.183*	0.172*	0.163*	0.145*
	叶 Leaf	0.275	0.263*	0.238*	0.204*	0.183*
B ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	根 Root	18.0	19.5*	21.5*	22.0*	23.5*
	茎 Stem	19.0	20.5*	21.7*	22.5*	24.0*
	叶 Leaf	26.0	28.0*	29.2*	30.5*	32.0*
Mn ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	根 Root	77.0	75.0*	73.5*	71.0*	69.0*
	茎 Stem	75.0	73.0*	70.0*	69.5	66.0*
	叶 Leaf	146	143*	139*	136*	130*
Cu ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	根 Root	3.90	3.80	3.80	3.85	3.85
	茎 Stem	3.75	3.70	3.70	3.70	3.70
	叶 Leaf	5.95	5.82	5.93	5.82	5.81
Zn ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	根 Root	16.0	16.5*	16.8	17.0	17.3*
	茎 Stem	15.5	15.8*	16.0	16.3	16.7*
	叶 Leaf	21.6	22.1*	22.6*	23.0	23.4
Mo ( $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ )	根 Root	0.460	0.452	0.450	0.446	0.460
	茎 Stem	0.454	0.454	0.456	0.452	0.454
	叶 Leaf	0.520	0.518	0.514	0.516	0.518

### 3 讨论

光合作用是植物生长发育的物质和能量的主要来源,土壤中有有效硅含量增加能增强棉花幼苗的光合作用,提高光能利用率,使碳源和能源积累速度加快,这可能是硅使作物增产的重要原因。

水分代谢是衡量植物生理功能和生长发育的重要指标。土壤中有有效硅含量高,则使玉米幼苗蒸腾作用下降、叶片含水量升高、水分利用效率提高。植株维持较高水势,减少水分丧失,为增强代谢、加速合成有效物质提供了良好条件。另一方面,硅使水分利用效率提高,增强了作物抗旱性。我国北方地区多干旱,施硅对北方农作物抗旱有重要意义。

硅在土壤中含有非常丰富,植物体内也含有大量的硅<sup>[13]</sup>,水稻植株含  $\text{SiO}_2$  可达 20%,小麦、大麦等禾本科植物含量达 2%~4%,双子叶植物达 0.04%~0.4%<sup>[11]</sup>,但迄今为止尚无法证明硅是植物生长的必需元素。关于硅对植物生长发育的作用,Epstein<sup>[14]</sup>认为硅在植物生物学中的作用非常重要,营养液配方中应包括硅。Cherif<sup>[15]</sup>等报道水培液中的可溶性硅可显著快速提高接种过腐霉菌的黄瓜根系中几丁质酶、过氧化物酶和多酚氧化酶活性。研究还发现硅对大麦叶绿素无显著影响<sup>[9]</sup>,但能提高水稻的光合速率<sup>[2]</sup>,硅能降低植物的水分蒸腾<sup>[1]</sup>。许多研究表明,硅通过影响植物的生态环境、增强植物抗逆性来影响植物。笔者认为,硅也通过改善作物的光能利用能力和水分代谢而影响作物生长发育。

一般规定土壤有效硅含量小于  $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  为严重缺硅土壤, $50 \sim 100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  为缺硅土壤,大于  $100 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  为不缺硅土壤<sup>[16]</sup>,但有研究也表明,当土壤有效硅含量为  $200 \sim 300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  范围时,施硅肥仍然有增产效果<sup>[17]</sup>。本文研究发现,即使在不缺硅的土壤中,提高土壤有效硅含量,对棉花幼苗生长有明显促进作用。我国多数土壤有效硅含量在  $200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  以下<sup>[2,3]</sup>,所以棉田施硅肥具有普遍增产作用。

各类作物在不同的土壤条件下,其矿质元素含量都有所不同。梁永超发现<sup>[1]</sup>,随着硅酸吸收的增加,水稻植株体内氮浓度略有下降,可施硅提高水稻耐高氮能力。吴英等<sup>[17]</sup>指出,高量氮素有硅配合的效果好于低量氮素与硅配合的效果,不施氮肥时,磷与硅配合施用没有增产效果。邹邦基的研究表明<sup>[5]</sup>,在不施氮肥引起水稻缺氮的情况下,高剂量

的硅肥则出现不良影响,招致稻谷产量降低。这些结果显示,硅不能促进作物对氮的吸收。由此看来,在有效硅含量高的土壤中种植作物,或田间施用硅肥时,也应该提高氮肥的用量。

研究发现施硅对水稻钾的吸收有一定的抑制效应<sup>[1,18]</sup>,可能是施硅引起细胞壁硅质化加速,特别是凯氏带产生硅质化,会阻碍  $\text{K}^+$  进入根系<sup>[18]</sup>。在有效硅含量高的土壤中种植作物,或田间施用硅肥时,也应提高钾肥的用量。

有研究报道<sup>[1,19,20]</sup>,硅能促进水稻、小麦对磷的吸收。关于硅促进作物对磷的吸收,可能是由于正硅酸与正磷酸在某些化学性质上相似<sup>[1]</sup>,这 2 种元素在代谢方面有密切联系<sup>[5]</sup>,硅酸能代换出吸附态磷,从而增加土壤磷的有效性<sup>[19]</sup>。

一般认为,硅可抑制作物对钙、镁的吸收<sup>[1]</sup>。施硅能抑制植物对钙的吸收,是因为土壤中的硅酸与碳酸钙结合形成非活性的硅钙化合物,不易水解<sup>[3]</sup>。

许多报道都表明,硅能降低植株对锰的吸收<sup>[21]</sup>,而且能提高植物组织对过量锰的耐力<sup>[1]</sup>。在锰害严重的地区,提高土壤有效硅含量是消除锰害的好方法。硅能促进棉苗对锌、硼等元素的吸收,因为施硅增加了土壤中锌、硼的有效性<sup>[19]</sup>。梁永超报道<sup>[1]</sup>,硅对水稻吸收铜元素无显著影响。笔者研究发现,硅对棉苗吸收铜、钼的影响不明显。

综上所述,土壤中有有效硅对作物矿质营养有一定影响。究竟硅是通过改变土壤中矿质营养的有效性而影响作物的矿质营养,还是通过改善作物的生理生化性质和改变矿质吸收能力而影响作物的矿质营养,有待进一步研究。

### References

- [1] 梁永超,张永春,马同生.植物的硅素营养.土壤学进展,1993,21(3):7-14.  
Liang Y C, Zhang Y C, Ma T S. Nutrition of silicon for plant. *Advancement in Pedology*, 1993, 21(3):7-14. (in Chinese)
- [2] 马同生.我国水稻土硅素养分与硅肥施用研究现状.土壤学进展,1990,18(4):1-5.  
Ma T S. Review of silicon nutrition and application of silicon fertilizer in national paddy soil. *Advancement in Pedology*, 1990, 18(4):1-5. (in Chinese)
- [3] 马同生.我国水稻土中硅素丰缺原因.土壤通报,1997,28(4):169-171.  
Ma T S. Reasons for silicon nutrition plentiful or lack in Chinese paddy soil. *Chinese Journal of Soil Science*, 1997, 28(4):169-171. (in Chinese)

- [ 4 ] Crabtree R H. A new type of hydrogen bond. *Science* ,1998 , 282 :2 000 - 2 001 .
- [ 5 ] 邹邦基.土壤供 Si 能力及 Si 与 N、P 的相互作用.应用生态学报 ,1993 ,3(2):150 - 155 .  
Zou B J. Silicon supplying capacity of soil and interaction of silicon and nitrogen or phosphorus. *Chinese Journal of Applied Ecology* ,1993 ,3(2):150 - 155. (in Chinese)
- [ 6 ] 贺立源,江世文.小麦使用硅、钙肥效应的研究.土壤肥料,1999 (3):8 - 11 .  
He L Y , Jiang S W. The effect of silicon and calcium fertilizers to wheat. *Soil and Fertilizer* , 1999 ,(3)8 - 11. (in Chinese)
- [ 7 ] 崔德杰,王月福,刘彦军.冬小麦硅钙肥施用效应的研究.土壤通报 ,1999 ,30(3):121 - 122 .  
Cui D J , Wang Y F , Liu Y J. Effects of silicon and potassium fertilizers to wheat. *Chinese Journal of Soil Science* , 1999 ,30(3):121 - 122. (in Chinese)
- [ 8 ] 梁永超,丁瑞兴,刘 谦.硅对大麦耐盐性的影响及其机制.中国农业科学 ,1999 ,32(6):75 - 83 .  
Liang Y C , Ding R X , Liu Q. Effects of silicon on salt tolerance of barley and its mechanism. *Scientia Agricultura Sinica* , 1999 ,32(6):75 - 83. (in Chinese)
- [ 9 ] Match T , Kariusmee P , Takahashi E. Salt-induced danger to rice plants and alleviation effect of silicate. *Soil Science and Plant Nutrition* , 1986 ,32 :295 - 304 .
- [ 10 ] Hildebrand M , Volcani B E , Gassmann W , Schroeder J I. A gene family of silicon transporters. *Nature* ,1997 ,385 :688 - 689 .
- [ 11 ] 苏正淑,张宪政.几种测定植物叶绿素含量的方法比较.植物生理学通讯 ,1989 ,25(5):77 .  
Su Z S , Zhang X Z. The comparison of methods for measuring the contents of chlorophyll in plant. *Plant Physiology Communications* ,1989 ,25(5):77. (in Chinese)
- [ 12 ] 南京农业大学.土壤农化分析,第 2 版,北京:农业出版社,1981:157,167 .  
Nanjing Agricultural University. *Soil Agricultural Chemical Analysis*(2nd edition). Beijing : Agricultural Press ,1981 :157 , 167. (in Chinese)
- [ 13 ] Ma J F , Nishimura K , Takahashi E. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Science and Plant Nutrition* , 1989 ,35(3)347 - 356 .
- [ 14 ] Epstein E. The anomaly of silicon in plant biology. *Proceedings of the National Academy of Science USA* , 1994 ,91 :11 - 17 .
- [ 15 ] Cherif M , Asselin A , Belanger R R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology* ,1994 ,84 :236 - 242 .
- [ 16 ] 郑 路,何义斌,邵建国.安徽省土壤有效硅含量分布.安徽农业大学学报 ,1993 ,20(4):287 - 291 .  
Zheng L , He Y B , Shao J G. Soil available silicon content distribution in Anhui province. *Journal of Anhui Agricultural University* ,1993 ,20(4):287 - 291. (in Chinese)
- [ 17 ] 吴 英,赵秀春,李树藩.我省不同类型土壤水稻施硅肥效果的探讨.黑龙江农业科学 ,1987 (5):8 - 12 .  
Wu Y , Zhao X C , Li S F. The probing into the effects of silicon fertilizer application to rice in different types of soil in our province. *Heilongjiang Agricultural Science* ,1987 (5):8 - 12. (in Chinese)
- [ 18 ] 魏朝富,谢德体,杨剑虹,廖东波.氮钾硅肥配施对水稻产量和养分吸收的影响.土壤通报 ,1997 ,28(3):121 - 123 .  
Wei C F , Xie D T , Yang J H , Liao D B. The effect of nitrogenous , potassium and silicon fertilizers mix application on rice yield and nutritive absorption. *Chinese Journal of Soil Science* , 1997 ,28(3):121 - 123. (in Chinese)
- [ 19 ] 王富华.我国硅肥应用生产与分析方法研究近况.湖北农业科学 ,1993 (6):39 - 41 .  
Wang F H. Silicon fertilizer application and analyze method study recent development in China. *Hubei Agricultural Sciences* ,1993 (6):39 - 41. (in Chinese)
- [ 20 ] Ma J F , Takahashi E. Effect of silicic acid on phosphorus uptake by rice plant. *Soil Science and Plant Nutrition* , 1989 ,35(2) : 227 - 234 .
- [ 21 ] Tsugoshi Horigushi. Mechanism of manganese toxicity and tolerance of plants IV. effect of silicon on alleviation of manganese toxicity of rice plants. *Soil Science and Plant Nutrition* , 1988 , 34(1)65 - 73 .

(责任编辑 卞海军)