

## 皖南山区稻田土壤施用硅肥效应研究

孙星<sup>1</sup>,朱克亚<sup>1,2</sup>,刘勤<sup>1</sup>,曹志洪<sup>1</sup>,蔡宪杰<sup>3</sup>,程森<sup>3</sup>,张伟峰<sup>3</sup>,孙平<sup>3</sup>

<sup>1</sup>中国科学院南京土壤研究所,南京 210008;

<sup>2</sup>南京农业大学资源与环境科学学院,南京 210095;

<sup>3</sup>上海烟草集团有限责任公司,上海 200082)

**摘要:**本研究为了探索不同种类及不同用量硅肥对皖南山区稻田水稻产量的影响以及高效硅肥积累水稻品种的筛选。根据土壤缺硅特性(有效硅含量为 $5.68 \pm 0.84$  mg/kg),设计了不同硅肥种类及用量的盆栽试验和不同水稻品种硅敏感性的大田试验。盆栽结果表明,不同硅肥种类及用量均可以显著增加水稻产量,其中 $150$  kg/hm<sup>2</sup>水溶性硅肥和钢渣硅肥处理比对照的水稻产量增产效果最为明显,分别多出 $64.53\%$ 和 $23.49\%$ ,随着硅肥的用量增加并没有显著增加各硅肥处理水稻的产量;大田试验结果也表明,钢渣硅肥施用对6个水稻品种的产量均有显著增加,其中‘苏秀867’对硅肥最为敏感,施硅肥处理产量比不施硅肥的处理产量增加 $40.77\%$ ,为硅素高效吸收积累水稻品种。故对皖南山区稻田来说,适量的硅肥利用以及高吸收硅的水稻品种选择,可以有效地提高稻季作物产量,增加经济效益。

**关键词:**水溶性硅肥;钢渣硅肥;水稻产量;水稻品种;水稻土

中图分类号:S511.062

文献标志码:A

论文编号:casb15090003

### Effect of Silicon Fertilizer Application on Paddy Soil in Mountainous Area of Southern Anhui Province

Sun Xing<sup>1</sup>, Zhu Keya<sup>1,2</sup>, Liu Qin<sup>1</sup>, Cao Zhihong<sup>1</sup>, Cai Xianjie<sup>3</sup>,  
Cheng Sen<sup>3</sup>, Zhang Weifeng<sup>3</sup>, Sun Ping<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Soil Science, Chinese Academy of Science, Nanjing 210008;

<sup>2</sup>College of Resources and Environmental Sciences, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095;

<sup>3</sup>Shanghai Tobacco Company, Shanghai 200082)

**Abstract:** The aims of this study were to explore the effect of different kinds and amounts of silicon fertilizers on rice yield in the mountainous area of southern Anhui Province and select rice cultivars with high silicon fertilizer accumulation. According to the silicon deficiency properties (available silicon content was  $5.68 \pm 0.84$  mg/kg), a pot experiment with different kinds and amounts of silicon fertilizers and a field experiment on rice cultivars with different silicon sensitivity were designed. The pot experiment results showed that different kinds or amounts of silicon fertilizers could significantly increase rice yield, of which, treatments of  $150$  kg/hm<sup>2</sup> water soluble silicon and slag silicon exerted more significant effect on rice yield than the control (no silicon fertilizer) and the yield of the two treatments increased by  $64.53\%$  and  $23.49\%$ , respectively, but rice yield did not increase with the application of increasing amount of silicon fertilizers. The field experiment results showed

**基金项目:**皖南烟稻优质高效生态安全的土肥综合技术研究与示范“皖南烟稻优质高效生态安全的土肥一生管理技术之研究与示范”(CF56.1-ZJ1);国家自然科学基金“稻麦秸秆还田下农田土壤植硅体碳累积特性及调控潜力”(41271208);中国博士后科学基金资助项目“硅肥施用对稻田土壤固碳减排潜力影响”(2013M541744);江苏省博士后科研资助计划项目“长期秸秆还田下土壤植硅体碳的累积特性及其固碳能力”(1301061C)。

**第一作者简介:**孙星,女,1978年出生,江苏徐州人,博士后,研究方向为稻田生态系统研究。通信地址:210008 江苏省南京市北京东路71号南京土壤研究所, Tel:025-86881388, E-mail:xsun@issas.ac.cn。

**通讯作者:**刘勤,男,1966年出生,江苏盐城人,研究员,博士,研究方向为农田生态系统研究。通信地址:210008 江苏省南京市北京东路71号南京土壤研究所, Tel:025-86881388, E-mail:qliu@issas.ac.cn。

**收稿日期:**2015-09-06, **修回日期:**2015-11-07。

that the yield of 6 rice cultivars significantly increased as steel slag silicon fertilizer was applied, of which, 'Su Xiu 867' appeared to be the most sensitive to silicon fertilizer, its yield increased by 40.77% compared with the control, and it was a rice cultivar with high silicon uptake efficiency and accumulation. As the paddy field in mountainous area of southern Anhui Province was concerned, the optimum application amount of silicon fertilizer and the selection of cultivars with high silicon uptake could effectively improve the rice yield and obtain high economic benefits.

**Key words:** water-soluble silicon fertilizer; slag silicon fertilizer; rice yield; rice cultivars; paddy soil

## 0 引言

水稻是喜硅作物<sup>[1]</sup>,整个生育期需要从土壤吸收大量的硅,产量越高,连作年限越长,带走的硅素也越多,另外土壤中有效硅含量受到多种因素的影响,如风化、淋溶、成土母质、灌溉条件、气象条件等等<sup>[2]</sup>,如果土壤不能及时补充硅元素将导致土壤硅含量严重缺乏,严重影响水稻产量和品质<sup>[3]</sup>。一般认为水稻土壤中SiO<sub>2</sub>含量小于90 mg/kg时,施用硅肥就有明显增产的效果<sup>[4]</sup>。硅肥施入土壤后通过作物吸收可以促进水稻早发,增加植株细胞壁强度<sup>[5]</sup>,促使水稻植株结构更为合理<sup>[6-7]</sup>,进一步改善了田间通气条件,更有利光合作用<sup>[8]</sup>,水稻籽粒更加充实,千粒重更高<sup>[9]</sup>,从而达到稻谷成熟度整齐以及多穗高产<sup>[10-11]</sup>。特别是土壤有效硅含量较低的田块,硅肥的利用可以增加水稻产量10%左右<sup>[3]</sup>,张磊等<sup>[12]</sup>在三江农业科学研究所试验地研究表明硅肥利用可以使水稻增产14.5%,李亚超等<sup>[2]</sup>在咸宁试验表明硅肥的施用可以增加水稻产量16.01%。

另有研究表明不同水稻品种对硅的敏感性是不同的,水稻品种间对硅素的吸收积累存在显著或极显著差异<sup>[13]</sup>,王伟<sup>[14]</sup>研究结果表明施硅后,高效吸收硅水稻品种的产量可以提高44.2%,Ma等<sup>[15]</sup>研究表明籽粒中硅素含量的多少由遗传基因控制,另外Deren等<sup>[16]</sup>、Winslow等<sup>[17-18]</sup>研究认为粳稻比籼稻吸收积累硅素高,所以可以通过品种筛选得到高吸收积累硅素的水稻品种。故高吸收积累硅的水稻品种不仅可以减少硅肥施用量,提高硅肥的利用率,也可以为进一步研究水稻硅吸收特征和硅营养机理提供基础。

皖南丘陵地区年平均气温16℃左右,≥10℃积温4800~5200℃,一月平均气温3℃左右,气候温暖湿润,属于亚热带湿润地区,是中国重要的优质稻米产地之一。丘陵谷地冲积母质上发育的水稻土土壤肥沃,稻米生产潜力高。但是曹克丽<sup>[19]</sup>对安徽省长江流域水稻土进行监测,发现土壤缺硅严重,平均为26.5 mg/kg,而笔者对安徽宣城皖南地区沪皖现代烟草农业高科技示范园区的土壤进行调查时发现,土壤有效硅含量仅为5.68±0.84 mg/kg,当地土壤的有效硅含量极低,远

远小于土壤效硅的临界值(90 mg/kg),明显不能满足水稻生长对硅元素的需要,而且目前当地农户对硅肥的利用认识度还不够,较少施用硅肥,同时当地水稻品种选择也相对较传统,主要以籼稻为主。因此本研究旨在通过盆栽和田间试验,研究观测不同水稻品种、施用不同量和种类硅肥对水稻产量的效应,筛选高产优质易吸收硅的水稻品种,为皖南地区硅肥的科学施用,提高水稻产量和品质,增加农民收益提供科学研究。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

选择了皖南地区适栽的优质水稻品种,分别'嘉禾58'、'秀水519'、'南粳5055'、'南粳46'、'苏秀867'和'嘉禾218'。硅肥采用钢渣硅肥(辽宁省鞍山秦和农业科技有限公司)和纯硅肥(江苏省南通市港闸区幸福农用新养分有限公司)2种,其SiO<sub>2</sub>含量分别30.3%和34.8%。

### 1.2 盆栽试验

选取安徽省宣城市皖南烟稻轮作地区缺硅土壤(土壤基本理化性状见表1),进行盆栽试验,设置1、CK(不施硅);2、低硅肥(以SiO<sub>2</sub>计)(150 kg/hm<sup>2</sup>);3、中量硅肥(300 kg/hm<sup>2</sup>);4、高量硅肥(600 kg/hm<sup>2</sup>)。2种肥料(S:水溶性硅肥和G:钢渣硅肥),3次重复,共24个处理。盆钵为容积0.0175 m<sup>3</sup>的塑料桶,称取12 kg土壤与肥料充分混匀后装盆。水稻品种为'南粳46',常规肥料用量,其中氮肥40%基施,30%于分蘖期追施和30%于孕穗期追施;磷肥和钾肥作基肥一次性施入,各处理随机排列,整个生育期按常规管理,水溶性硅肥试验水稻于2013年10月26日收获,钢渣硅肥试验水稻于2014年10月28日收获。

### 1.3 大田试验

试验设在安徽省宣城市沪皖现代烟草农业高科技示范园区内,土壤类型红壤性水稻土,土壤基本理化性状见表1。采用6个水稻品种,设对照和施用300 kg/hm<sup>2</sup>(以SiO<sub>2</sub>计)钢渣硅肥2个处理,3次重复,共36个小区,试验小区面积为30 m<sup>2</sup>,硅肥为钢渣硅肥,作基肥一次放入,于2014年11月25日收获。

### 1.4 统计方法

统计方法为EXCEL作图统计法及SPSS17.0相关

表1 皖南烟稻轮作区域土壤基本理化性质

土壤类型	pH	Eh/mV	有机质/(g/kg)	全磷/(g/kg)	有效磷/(mg/kg)	全钾/(g/kg)	有效钾/(mg/kg)	有效硅/(mg/kg)
红壤性水稻土	4.62	230	28.89±1.21	0.18±0.01	17.44±1.54	52.49±0.80	210.0±0.00	5.67±0.84

性分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 水溶性硅肥施用对水稻生物量及产量的影响

施用不同用量的水溶性硅肥均可以显著增加水稻的生物量,特别是150 kg/hm<sup>2</sup>的硅肥处理S1,比对照的生物量多出6.45 t/hm<sup>2</sup>,提高了46.07%,显著增加了水稻的生物量,而硅肥处理S2和S3分别比对照生物量高出4.32 t/hm<sup>2</sup>和4.50 t/hm<sup>2</sup>,比对照生物量提高30.86%和32.14%(见表2)。然而随着硅肥用量的增加水稻生物量并没有显著提高,所以过量的硅肥利用并

不能显著增加水稻的生物量,同样地,不同用量硅肥的利用对株高和穗长的影响不是很大,虽然生物学统计没有显著差异,但是有提高水稻农艺数据的趋势。就水稻千粒重的数据而言,150 kg/hm<sup>2</sup>的硅肥处理S1,比对照的千粒重多出3.58 g/盆,提高了14.82%,显著提高水稻千粒重。对水稻产量影响见图1,产量的数据变化趋势和生物量基本相似,也是150 kg/hm<sup>2</sup>的硅肥处理S1的产量最高,比对照的产量多出3.61 t/hm<sup>2</sup>,提高了64.46%,显著增加了水稻的产量,而硅肥处理S2和S3分别比对照产量高出2.27 t/hm<sup>2</sup>和2.17 t/hm<sup>2</sup>,比

表2 不同硅肥处理水稻生长影响(S:水溶性硅肥)

处理	生物量总重/(t/hm <sup>2</sup> )	株高/cm	穗长/cm	千粒重/(g/盆)
CK	14.00±1.61c	69.69±3.99a	13.25±0.29b	24.15±3.84ab
S1	20.45±1.24a	73.98±3.02a	13.23±0.08b	27.73±0.40a
S2	18.32±0.32b	70.77±1.24a	12.88±0.58b	24.88±1.55b
S3	18.50±1.78ab	72.40±0.91a	14.46±0.60a	24.50±0.67b

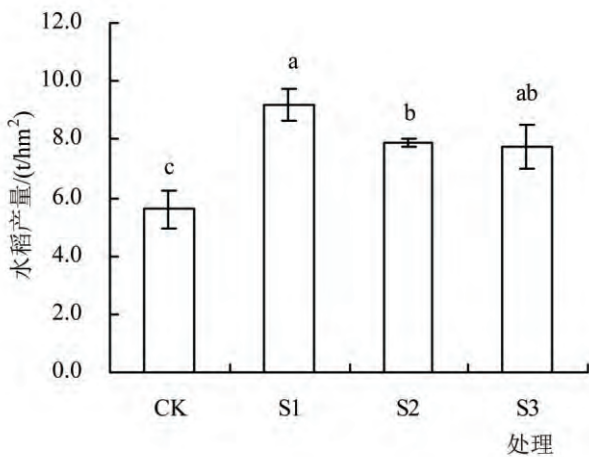


图1 不同用量的水溶性硅肥对水稻产量的影响

对照产量提高40.54%和38.75%。

### 2.2 钢渣硅肥施用对水稻生物量及产量的影响

施用不同用量的钢渣硅肥没有显著增加水稻的生

物量,但是有提高水稻生物量的趋势,150 kg/hm<sup>2</sup>的硅肥处理G1的生物量最高(见表3),比对照的生物量多出2.69 t/hm<sup>2</sup>,提高了16.07%,而硅肥处理G2和G3分别比对照生物量高出2.06 t/hm<sup>2</sup>和2.66 t/hm<sup>2</sup>,比对照生物量提高12.31%和15.89%。同样地,不同用量硅肥的利用对株高和穗长等农艺数据的影响不是很大,所以钢渣硅肥利用并不能显著增加水稻的生物量。对水稻产量影响见图2,3种钢渣硅肥用量均可以显著提高水稻产量,随着硅肥用量增加并没有显著增加水稻产量,其中150 kg/hm<sup>2</sup>的硅肥处理G1的产量最高,比对照的产量多出1.66 t/hm<sup>2</sup>,提高了23.38%,显著增加了水稻的产量,而硅肥处理G2和G3分别比对照产量高出0.88 t/hm<sup>2</sup>和1.06 t/hm<sup>2</sup>,比对照产量提高12.39%和14.93%。

### 2.3 不同水稻品种对硅肥的敏感特性

不同水稻品种施用硅肥处理后的水稻生物学指标

表3 不同硅肥处理对水稻生长影响(G:钢渣硅肥)

处理	生物量总重/(t/hm <sup>2</sup> )	15株生物量重/g	株高/cm	穗长/cm
CK	16.74±2.36a	104.50±21.17a	78.47±5.52a	13.03±0.64b
G1	19.43±1.74a	88.37±5.37a	78.83±2.21a	15.57±0.96a
G2	18.80±1.67a	100.71±6.34a	82.37±4.09a	13.93±1.16b
G3	19.40±0.77a	98.75±10.49a	82.43±2.25a	15.03±0.51a

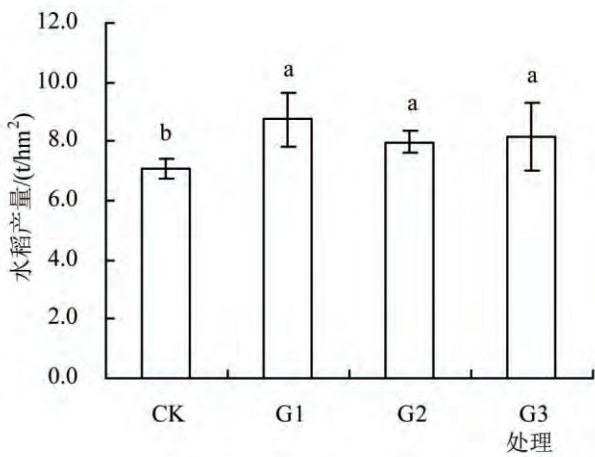


图2 不同用量的钢渣硅肥对水稻产量的影响

和产量见表4。‘嘉58’、‘秀水519’、‘南粳5055’、‘南粳46’、‘苏秀867’和‘嘉218’的施硅处理比不施硅处理的生物学指标虽然没有显著性差异,但是都有提高的趋势,其产量也有相同趋势,这6个品种未施硅处理的产量分别为6.08、6.46、5.60、4.60、6.10、8.04 t/hm<sup>2</sup>,而施硅肥处理的产量分别为7.41、8.44、7.51、5.54、8.58、

8.83 t/hm<sup>2</sup>,施硅处理产量比不施硅处理产量分别高出了21.87%、30.65%、34.11%、20.43%、40.66%和9.83%,统计呈显著性差异,故硅肥利用可以显著提高水稻的产量,从增产比率来看,6个品种的水稻增产效率是不相同的,‘苏秀867’>‘南粳5055’>‘秀水519’>‘嘉58’>‘南粳46’>‘嘉218’,说明不同水稻品种对硅肥的敏感性是不相同的,‘苏秀867’对硅肥最敏感,增产率为40.66%,‘嘉218’对硅肥最不敏感,增产率仅为9.83%。

根据施用硅肥和不施用硅肥的水稻产量以及稻谷市场均价,计算每公顷水稻可以增收的效益,再扣除硅肥的费用,得到表5,从实际的增收效益栏,能看到硅肥的施用可以使6个品种的水稻都增加了效益,幅度为1024.5~5239.5元/hm<sup>2</sup>,所以硅肥的施用是既可提高水稻产量,并增加农民收益的。

### 3 结论与讨论

本研究结果表明,无论是水溶性硅肥还是钢渣硅肥,硅肥用量为150 kg/hm<sup>2</sup>时,水稻产量与对照水稻产量相比增加最多,增幅分别为64.53%和23.49%(图1

表4 钢渣硅肥处理后大田水稻农艺数据及产量

品种名称	处理	株高/cm	穗长/cm	15株总重/g	总生物量/(t/hm <sup>2</sup> )	产量/(t/hm <sup>2</sup> )
嘉58	不施硅	60.70±4.49a	12.57±1.69a	41.65	11.50±0.38b	6.08±0.06b
	施硅	61.33±3.56a	13.97±0.97a	53.00	12.22±0.25a	7.41±0.15a
秀水519	不施硅	53.75±6.61a	11.98±1.62a	53.57	10.92±0.54b	6.46±0.32b
	施硅	60.53±6.15a	13.47±1.96a	59.17	14.39±1.96a	8.44±1.15a
南粳5055	不施硅	69.30±2.75a	14.60±1.33a	52.79	10.66±2.21a	5.60±1.16b
	施硅	71.71±5.01a	13.73±1.24a	54.48	11.96±0.41a	7.51±0.25a
南粳46	不施硅	68.97±2.99a	13.13±0.95a	47.35	9.92±2.13a	4.60±0.99b
	施硅	68.06±6.22a	12.35±1.60a	48.75	11.50±0.38a	5.54±0.18a
苏秀867	不施硅	61.02±5.25a	14.06±0.89a	49.53	9.48±0.79b	6.10±0.51b
	施硅	57.93±4.99a	13.57±1.41a	47.80	13.92±0.73a	8.58±0.45a
嘉218	不施硅	59.83±3.72a	16.10±1.90a	52.01	12.97±0.71b	8.04±0.44b
	施硅	60.63±5.73a	17.23±1.82a	53.96	14.16±0.62a	8.83±0.39a

表5 施用硅肥后不同水稻品种增加的经济效益

品种名称	施硅肥与不施硅肥产量差/(t/hm <sup>2</sup> )	水稻增加效益/(元/hm <sup>2</sup> )	肥料价格/(元/hm <sup>2</sup> )	实际增加的效益/(元/hm <sup>2</sup> )
嘉58	1.33	3313.5	975.0	2338.5
秀水519	1.98	4954.5		3979.5
南粳5055	1.91	4782.0		3807.0
南粳46	0.94	2353.5		1378.5
苏秀867	2.49	6214.5		5239.5
嘉218	0.80	1999.5		1024.5



和图2),随着硅肥的用量增加并没有显著增加水稻产量,张磊等<sup>[12]</sup>也研究表明225 kg/hm<sup>2</sup>硅肥利用增产14.5%,而375 kg/hm<sup>2</sup>的硅肥施用增产为10.1%,同样地,吴海兵等<sup>[20]</sup>也建议施用225 kg/hm<sup>2</sup>矿物硅就具有很好的增产效果且最经济,说明过量的硅肥施用对水稻产量的再次提高没有显著影响。另外150 kg/hm<sup>2</sup>水溶性硅肥施用的水稻产量比对照高出64.53%,而150 kg/hm<sup>2</sup>钢渣硅肥施用的水稻产量比对照高出23.49%,数据表明水溶性硅肥在水稻产量增加率要高于钢渣硅肥的增加率,这可能是由于钢渣硅肥当季硅元素释放有关。宁东峰等<sup>[21]</sup>研究表明钢渣硅素释放受培养介质和温度以及粒径的影响,粉末状比粒状更有利于硅素的释放。但是总的来说,硅肥的利用可以显著提高水稻的产量,在本试验研究结果表明,无论是水溶性硅肥还是钢渣硅肥,硅肥用量为150 kg/hm<sup>2</sup>时对水稻产量增加效果最好。

大田高吸收硅肥水稻品种筛选试验数据得出,硅肥的施用显著提高了所有供试品种水稻的生物学指标和产量,但是施硅肥处理比不施硅处理的对不同水稻产量增加率是不相同的,增产率分别为10%~40%,刘辉等<sup>[13]</sup>在28个水稻品种中筛选到5个硅素高效吸收积累品种,4个硅素低效吸收积累品种,并证明水稻品种间对硅素的吸收积累存在显著或极显著差异;王伟等<sup>[14]</sup>研究结果也表明在25个海南主要栽培水稻品种得到10个高效水稻品种(系),而且高效吸收硅水稻品种在硅肥施用后的产量可以提高44.2%;Ma等<sup>[15]</sup>研究表明子粒中硅素含量的多少由遗传基因控制,所以可以通过品种筛选得到高吸收积累硅素的水稻品种,另外Deren等<sup>[16]</sup>、Winslow等<sup>[17-18]</sup>研究认为粳稻比籼稻吸收积累硅素高,本研究的6个水稻品种均为中晚粳稻,结果发现‘苏秀867’对硅肥最敏感,增产率为40.66%,‘嘉218’对硅肥最不敏感,增产率仅为9.83%。就宣城地区而言<sup>[22]</sup>,水稻种植面积为15.3万hm<sup>2</sup>,2010年水稻产量为6.62 t/hm<sup>2</sup>,如果在其基础上补充适量的硅元素,根据大田施用硅肥可以使6个品种的水稻产量增加10%~40%的数据,可以增加该地区水稻产量为0.65~2.70 t/hm<sup>2</sup>,仅此一项可以增产9.95万t~41.29万t稻谷。据此认为,在皖南及与此类似的其他等丘陵谷地缺硅的水稻土确保粮食安全是很有意义的、并可产生非常明显的经济和社会效益。

本研究结果表明2种硅肥均是低量的硅肥施用就可以显著提高作物产量,并不是最佳硅肥用量,在以后的工作中应该涉及此项研究,另外水稻品种筛选试验仅仅是水稻品种对硅吸收积累的表面,不同水稻品种

对硅的敏感性不尽相同,具体的机理还需要进一步的研究。综上所述,笔者认为对于缺硅土壤硅素的补充及高效硅积累品种的筛选可以为稻田生态系统的高产稳产打下良好的基础。

### 参考文献

- [1] 吴英,魏丹,高洪生.硅在水稻营养中的作用及其有效条件研究[J].土壤肥料,1992(3):25-27.
- [2] 李亚超,马坤伟,徐媛.硅肥对水稻产量及农艺性状的影响[J].耕作与栽培,2015,2:10-11.
- [3] 高玉凤,焦峰,沈巧梅.水稻硅营养与硅肥应用效果研究进展[J].中国农学通报,2009,25(16):156-160.
- [4] 藏惠林.水稻施硅的抗病增产效果[J].土壤,1984(5):165-179.
- [5] 韩光,冯海艳,张喜林,等.硅对水稻茎叶解剖结构的影响[J].黑龙江农业科学,1998(4):47.
- [6] 冯元琦.硅肥应成为我国农业发展中的新肥料[J].化肥工业,2000,27(4):9-11.
- [7] 管恩太,蔡德龙.硅营养[J].磷肥与复肥,2000,15(5):64-66.
- [8] 李玉影,刘颖,刘双全.黑龙江省水稻硅肥效果研究[J].黑龙江农业科学,2009(3):60-63.
- [9] 李卫国,任永玲.氮、磷、钾、硅肥配施对水稻产量及其构成因素的影响[J].山西农业科学,2001,29(1):53-58.
- [10] 黄秋婵,韦友欢,韦良兴.硅对水稻生长的影响及其增产机理研究进展[J].安徽农业科学,2008,36(3):919-920.
- [11] 申广勤,石尧尧.水稻抗倒伏特性及其与茎秆性状的相关性研究[J].中国农学通报,2007(23):58-62.
- [12] 张磊,陈雪丽,常本超,等.高效硅肥在水稻上的应用效果研究[J].黑龙江农业科学,2014(12):43-45.
- [13] 刘辉,张静,杜彦修,等.水稻苗期吸收积累硅素的品种差异研究[J].植物遗传资源学报,2009,10(2):278-282.
- [14] 王伟,张合心,黄承和,等.海南硅高效水稻的筛选及硅吸收特征[J].中国农学通报,2014,30(3):61-65.
- [15] Ma J F, Higashitan A, Sato K, et al. Genotypic variation silicon concentration of barley grain [J]. Plant and Soil,2003,249:383-387.
- [16] Deren C W, Datnoff L E, Snyder G N. Variable silicon content of rice cultivars grown on everglads histosols[J]. Journal of Plant Nutrition,1992,15:2363-2368.
- [17] Winslow M D. Silicon, disease resistance, and yield of rice genotypes under upland cultural conditions[J].Crop Science,1992,32:1208-1213.
- [18] Winslow M D, Okada K, Correa-Victoria F. Silicon deficiency and the adaptation of tropical rice ecotype[J]. Plant and Soil, 1997,188:239-248.
- [19] 曹克丽.安徽省水稻土有效硅测定方法及影响因素[J].安徽农业科学,2013,41(28):11549-11551.
- [20] 吴海兵,申建宁,胡珊珊.硅肥对寒地水稻植株性状及产量的影响[J].北方水稻,2014(44):12-15.
- [21] 宁东峰,宋阿琳,梁永超.钢渣硅肥硅素释放规律及其影响因素研究[J].植物营养及肥料学报,2015,21(2):500-508.
- [22] 胡锋,张春平,兰陆寿,等.宣城市水稻种植结构与高产栽培策略[J].安徽农业科学,2014,42(31):11129-11131,11137.