

## 硅肥对大豆农艺性状、产量及品质的影响

牟英辉<sup>1,2</sup>, 陈志梁<sup>1</sup>, 程艳波<sup>1,2</sup>, 年海<sup>1,2</sup>, 李秀平<sup>1,2</sup>

(1. 华南农业大学 农学院, 广东 广州 510642; 2. 国家大豆改良中心 广东分中心, 广东 广州 510642)

**摘要:**以华夏3号大豆为材料,在大田条件下控制硅肥的施用量,研究硅肥对大豆的叶绿素含量(SPAD值)、叶面积指数(LAI)、农艺性状、产量及品质的影响。结果表明,硅肥能增加大豆叶面积指数(LAI)、株高、总荚数、有效荚数、百粒重,减少无效荚数,降低植株的倒伏率;对大豆倒3叶SPAD值无显著性影响。同时,与对照相比,施用硅肥处理大豆产量显著增加11.97%~32.56%,蛋白质含量增加1.07%~2.04%,油分含量显著降低1.68%~3.61%。施用硅肥对大豆生产具有很好的促进作用,但在使用过程中要注意用量。

**关键词:**大豆;硅肥;农艺性状;产量;品质

**中图分类号:**S157.4

**文献标识码:**A

**文章编号:**1000-9841(2012)04-0625-05

## Effects of Silicon Fertilization on Agronomic Traits, Yield and Quality of Soybean

MU Ying-hui<sup>1,2</sup>, CHEN Zhi-liang<sup>1</sup>, CHENG Yan-bo<sup>1,2</sup>, NIAN Hai<sup>1,2</sup>, LI Xiu-ping<sup>1,2</sup>

(1. College of Agriculture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong; 2. Guangdong Subcenter of National Center for Soybean Improvement, Guangzhou 510642, Guangdong, China)

**Abstract:** An experiment was carried out in the field to study the effects of Silicon fertilizations on SPAD, leaf area index (LAI), agronomic traits, yield and qualities of soybean Huaxia No. 3 (*Glycine max* L.). The results showed that Silicon could increase soybean LAI, plant height, total pod number, the number of valid pods, 100-seed weight, and decrease invalid pods, plant lodging rate. However, there was no significant difference in leaf SPAD. Compared with CK, the Silicon fertilization increased soybean yield by 11.97%~32.56% and soybean protein content by 1.07%~2.04%, but significantly decreased oil content by 1.68%~3.61%. The results suggested that Silicon fertilizations with proper quantity can effectively enhance soybean production.

**Key words:** Soybean; Silicon; Agronomic traits; Yield; Quality

微量元素对于改善农作物品质起到至关重要的作用<sup>[1]</sup>,硅是水稻、麦类、玉米、大豆、花生等农作物正常生长发育不可缺少的元素。现有研究表明,硅钙肥不仅能够改善禾本科作物的农艺性状,提高作物产量<sup>[2-5]</sup>和品质<sup>[6]</sup>,硅肥还可以改善大豆生育性状及经济性状,并有一定增产效果<sup>[7-8]</sup>。硅肥可以作底肥施用,但不宜作种肥施用在播种沟内,硅肥能够改善大豆种子萌发和幼苗的生理功能<sup>[9]</sup>,使种子萌发和幼苗生长加快<sup>[1,9]</sup>,但硅肥对大豆的开花期影响不大<sup>[10]</sup>。硅能增强植株基部秸秆强度,使作物导管的刚性增强,增强抗倒伏能力。适当施用硅肥能使高油大豆早出苗,早分枝,增加分枝数、单株粒数和百粒重,进而提高群体产量和经济效益<sup>[1,10-11]</sup>。关于硅肥对大豆产量及农艺性状影响的研究多在北方,华南地区鲜有报道。本试验主要研究在华南地区大豆生产中,硅肥对大豆农艺性状、产量及品质的影响,旨在为当地的大豆高产

栽培提供理论依据。

### 1 材料与方法

#### 1.1 试验设计

试验于2011年在华南农业大学校内农场(E:113°21'46.21",N:23°10'10.51")进行,试验地年平均气温21.4℃~21.9℃,年平均降雨量1623.6~1899.8mm,年平均日照时数1820~1960h。试验田通风透光良好、排灌方便、土壤肥力中上,地力均匀。所选用大豆品种为华夏3号。采用随机区组设计,硅肥作基肥施用,设4个施肥量(kg·hm<sup>-2</sup>)处理:75(L)、150(M)、225(H)和不施用硅肥(CK)。每个处理设3次重复,共12个小区。小区规格为5m×2.5m,行距为50cm,株距10cm。8月5日人工播种,11月23日人工收获,常规田间管理。

#### 1.2 测定项目及方法

在大豆生长期每周测定进行1次,每个小区

收稿日期:2012-05-07

基金项目:国家自然科学基金(31171508);公益性行业(农业)科研专项(200903002);现代农业产业技术体系建设专项(CARS-04-PS09)。

第一作者简介:牟英辉(1975-),男,副教授,博士,研究方向为作物栽培学与耕作学。E-mail:youthymoon@scau.edu.cn。

通讯作者:李秀平(1971-),女,博士,研究方向为作物育种、植物营养。E-mail:lixuping1000@yahoo.com.cn。

随机选取 5 行,在每行随机选取 1 株植株,用叶绿素测定仪 (SPAD-502,日本柯尼卡美能达)测定从顶叶向下数起第三片复叶的中间叶的 SPAD 值,取平均值为小区 SPAD 值。每个小区随机选取 3 条大豆行间,每周 1 次,用植物冠层分析仪 (LAI-2200 LI-COR, Inc.) 测定植株群体 LAI 值。在大豆成熟期,每个小区数出大豆植株倾斜度大于  $45^\circ$  的株数,测定倒伏率。室内考种测定大豆的株高、分枝数、总荚数、无效荚数、有效荚数、总粒数和百粒重。用 FOSS 近红外谷物品质分析仪 (Infratec TM1241, FOSS) 测定大豆的蛋白质和油分含量。

### 1.3 数据分析

利用 Statview for Windows 5.0 (SAS Institute Inc.) 采用 Fisher's LSD 法对数据进行多重比较分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 硅肥对大豆开花期的影响

如表 1 所示,施用硅肥后,大豆始花期推迟 1 ~ 2 d。而且,达到盛花期所用时间 CK 处理为 12 d, H 处理为 11 d, M 处理为 9 d, L 处理为 10 d。施用硅肥会使大豆延迟开花,并且缩短了大豆从始花期到盛花期的时间。

表 1 不同硅肥施用量条件下大豆始花期与盛花期

Table 1 Soybean flowering date under different Si fertilization (M-D)

硅肥处理 Si treatment	始花期 R1	盛花期 R2
H	9-9	9-19
M	9-10	9-18
L	9-10	9-19
CK	9-8	9-19

### 2.2 硅肥对叶片 SPAD 值的影响

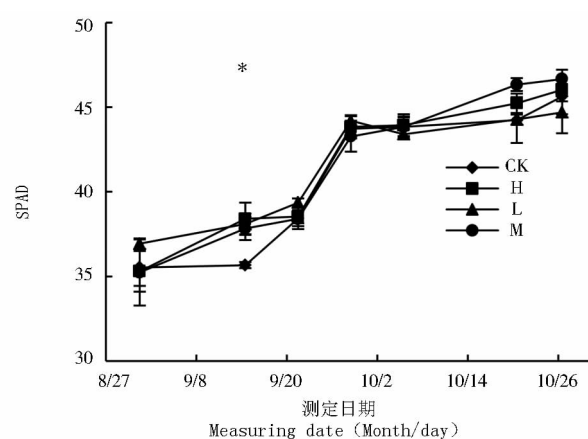
除 9 月 14 日的测定结果外,施用硅肥对不同时期大豆叶片的 SPAD 值无显著影响 (图 1)。H 处理的 SPAD 值最高 ( $38.40 \pm 0.95$ ), CK 处理的 SPAD 值最低 ( $35.67 \pm 0.18$ )。

### 2.3 硅肥对叶面积指数 (LAI) 的影响

LAI 在大豆生育期内呈先升高,后降低的趋势。在测定的各个时期 CK 处理的 LAI 均显著低于各施用硅肥处理,与 CK 相比, L、M 和 H 处理分别增加了 37%、32%、38% (图 2)。因此,施用硅肥使大豆 LAI 值显著增加。

### 2.4 硅肥对大豆农艺性状的影响

由表 2 可知,施用硅肥后,与 CK 相比, L、M、H

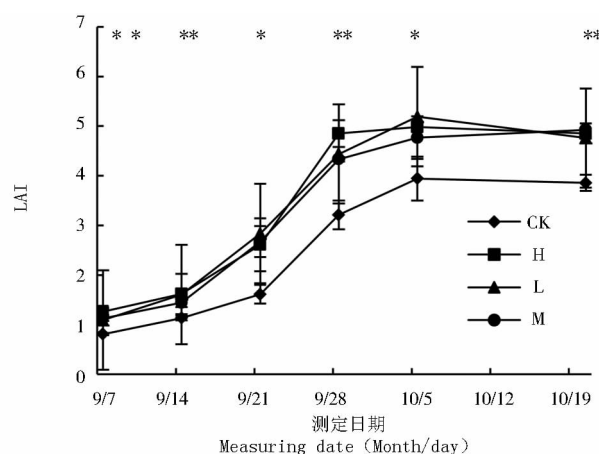


\* 表示显著差异 ( $P < 0.05$ )。

\* indicates significant difference  $P < 0.05$ .

图 1 不同硅肥处理条件下大豆叶片 SPAD 的变化

Fig. 1 Soybean leaf SPAD under different Si fertilization



\*, \*\* 分别表示显著差异 ( $P < 0.05$ ), 极显著差异 ( $P < 0.01$ )。

\*, \*\* indicate significant difference at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ .

图 2 不同硅肥处理条件下大豆 LAI 的变化

Fig. 2 Soybean leaf area index (LAI) under different Si fertilization

处理的株高分别增高了 15.31%、8.72% 和 10.11%。其中, L 处理和 CK 之间的差异达显著水平。由此可见,施用硅肥能够增加大豆株高。CK 处理的大豆分枝数最多 ( $6.53 \pm 0.32$  个), 显著高于 H 处理 ( $5.47 \pm 0.38$  个), 但与 M 和 L 处理差异不显著。施用硅肥后,大豆百粒重显著增加。H 处理的百粒重 (20.48 g) 显著高于 CK 处理 (19.67 g), 而 L (19.68 g) 和 M 处理 (19.95 g) 与 CK 相比差异不显著。

施用硅肥对大豆总荚数和有效荚数无显著影响 (表 2)。M 处理的总荚数 (103.73 个) 最多, 且显著多于 L 处理 (79.40 个); M 与 CK 处理 (95.00 个) 虽无显著性差异, 但使总荚数增加 10%; 而 L 和

H 处理相对 CK 处理各减少了 16%、7%。与 CK 处理(90.87 个)相比,M 处理(96.33 个)的有效荚数增加了 6%,而 L 和 H 处理的有效荚数分别减少了 17%、8%。施用硅肥对大豆倒伏率同样没有显著

性影响,各硅肥处理的倒伏率为 H>L>CK>M,与 CK 处理相比,H 和 L 处理的倒伏率分别增加了 20%、8%,而 M 处理的倒伏率降低了 12%。

表 2 不同硅肥施用量条件下大豆农艺性状  
Table 2 Soybean agronomic traits under variety Si fertilization

硅肥处理 Si Treat.	有效荚数 Valid pod	无效荚数 Invalid pod	总荚数 Total pod number	分枝数 Branch number	株高 Height/cm	百粒重 100-seed weight/g	倒伏率 Lodging rate/%
CK	90.87 ± 9.64a	4.13 ± 0.91b	95.00 ± 10.07ab	6.53 ± 0.32a	50.36 ± 2.24b	19.67 ± 0.27b	39.98 ± 5.73ab
H	83.47 ± 6.03a	4.53 ± 1.02b	88.00 ± 6.19ab	5.47 ± 0.38b	55.45 ± 1.52ab	20.48 ± 0.17a	59.83 ± 5.80a
M	96.33 ± 9.77a	8.40 ± 1.43a	104.73 ± 10.79a	6.00 ± 0.39ab	54.75 ± 1.78ab	19.68 ± 0.27b	48.10 ± 9.19ab
L	75.20 ± 5.52a	4.20 ± 0.85b	79.40 ± 5.77b	6.33 ± 0.39ab	58.07 ± 1.58a	19.95 ± 0.17ab	27.51 ± 6.51b

同列数值后不同小写字母表示 0.05 水平差异显著水平,下同。  
Values within a column followed by different letters are significantly different at 0.05 probability level. The same below.

2.5 硅肥对大豆产量及品质的影响

2.5.1 产量 施用硅肥对大豆产量有显著影响(表 3)。其中,M 处理产量最高(2 980 kg·hm<sup>-2</sup>),与 CK 处理相比,M 处理极显著增产 32.4%,L 处理极显著增产 15.6%,H 处理显著增产 12.0%。因此,适量施用硅肥增产效果明显。

表 3 不同硅肥施用量条件下大豆产量、蛋白质及油分含量  
Table 3 Soybean yield,protein and oil content under different Si fertilization

硅肥处理 Si Treat.	产量 Yield/kg·hm <sup>-2</sup>	蛋白质含量 Protein/%	油分 Oil/%
CK	2248 ± 70cC	42.11 ± 0.24bB	20.30 ± 0.06aA
H	2517 ± 50bBC	42.97 ± 0.19aA	19.57 ± 0.14cB
M	2980 ± 56aA	42.56 ± 0.22abAB	19.69 ± 0.16bcB
L	2604 ± 145bB	42.56 ± 0.13abAB	19.98 ± 0.07bAB

2.5.2 蛋白质含量 由表 3 可知,与 CK 相比,H、M、L 处理的大豆蛋白质含量分别提高了 0.9%、0.4%、0.4%。其中,H 处理相对 CK 处理达极显著差异,而 M 和 L 处理相对 CK 差异不显著。

2.5.3 油分含量 施用硅肥对大豆油分含量产生显著影响(表 3)。与 CK 处理相比,H 处理和 M 处理的大豆油分分别极显著降低了 0.7% 和 0.6%,L 处理的大豆油分含量显著降低了 0.3%。

3 结论与讨论

3.1 硅肥对大豆农艺性状的影响

前人研究表明,大豆施用硅肥后,正茬或重茬大豆开花提前了 1~3 d<sup>[12-13]</sup>,而 3 a 连茬大豆则推迟了 2 d<sup>[13]</sup>。在不同肥力水平条件下,随着硅肥施用量的增加,大豆开花期甚至可以提前 7~11 d<sup>[1]</sup>。本研究中为正茬大豆,施用硅肥对大豆的开花期虽无显著影响,但与未施用硅肥相比推迟了 1~2 d。

而潘德斌等<sup>[10]</sup>发现,大豆生产中增施硅肥后对大豆生育期并无显著影响。

施用硅肥会使大豆 LAI 增大,与 CK 处理相比,低、中、高量硅肥处理分别使 LAI 增加了 37%、32%、38%。说明施用硅肥能促进大豆叶片生长,增加光合作用面积,提高作物光合作用的强度,增加有机物的积累<sup>[14]</sup>。施用硅肥能提高大豆植株生长速率,促进大豆增高<sup>[13,15-16]</sup>。但在不同肥力条件下,硅肥对大豆株高的影响不同,在高肥力和中肥力条件下随硅肥施用量的增加,大豆株高呈先升后降;而在低肥力条件下,大豆株高与硅肥施用量呈负相关<sup>[1]</sup>。本研究中,随硅肥施用量的增加,大豆株高同样呈现了先增加后降低的趋势。由此可见,过量施用硅肥对植株生长有一定抑制作用<sup>[15]</sup>。

华夏 3 号大豆属适种华南地区晚熟大豆品种,由于其植株较高,结荚多,抗倒伏能力较差。施高、低量硅肥后倒伏率分别提高了 20%、8%,施中量硅肥的倒伏率降低了 12%。由此可见,硅肥不仅可以增加玉米、水稻等禾本科作物的抗倒伏能力<sup>[17-22]</sup>,适量施用硅肥还可以增加大豆的抗倒伏能力。本研究中,施用硅肥可减少大豆的分枝数,且与施肥量呈负相关。但娄春荣等<sup>[7]</sup>发现,硅肥可增加大豆分枝数,且与施肥量呈正相关,与本研究不一致,可能是因为地域及大豆品种的因素导致。

在本研究中,硅肥施用量对总荚数、无效荚数、有效荚数无显著影响,刘晶等<sup>[12]</sup>的研究结果与此相似。但也有研究表明,硅肥可以增加总荚数<sup>[7,16]</sup>。林蔚刚等<sup>[15]</sup>发现,硅肥施肥量在 375 kg·hm<sup>-2</sup>条件下,总荚数高于未施肥处理,但随施肥量的增加,总荚数呈减少趋势。

3.2 硅肥对大豆产量的影响

大豆是需要磷肥较多的作物,硅元素能减少磷元素在土壤中的固定,活化土壤中被固定的磷元

素,使磷元素由无效态转化为有效态,促进作物对磷元素的吸收及在体内运转,提高结实率<sup>[14,23]</sup>,从而增加大豆的产量<sup>[1,7,12]</sup>。在本研究中,与对照 CK 相比,低、中、高量硅肥处理分别增产 16%、33%、12%,中量硅肥的增产效果最好。但 Pereira 等<sup>[16]</sup>发现,增施硅肥虽然可以增加单株荚数和株高,并不能促进大豆增产。而林蔚刚等<sup>[15]</sup>认为,施用硅肥可以使大豆增产,但当施肥量超过 1 125 kg·hm<sup>-2</sup>时,会使大豆产量下降。因此,只有合理适量地施用硅肥才可以使大豆增产。

### 3.3 硅肥对大豆品质的影响

对于硅肥提高大豆蛋白质含量的原理,国内外未见报道。本研究中使用硅肥能提高大豆蛋白质含量,高量硅肥效果最好。因此,在大田生产中,施用硅肥可以提高大豆蛋白质含量,适用于高蛋白大豆的生产。

虽然硅肥能够使高油大豆增产<sup>[1,13]</sup>,在本研究中,施用硅肥则降低了大豆油分含量。大豆油分含量随硅肥施用量的增加而降低,呈负相关关系。常春荣等<sup>[24]</sup>研究发现,施用硅肥不能提高花生的粗脂肪含量,而且在下针期追施硅肥会降低花生粗脂肪含量。在大田生产中,建议对于高油大豆品种不要施用硅肥,避免大豆油分降低,影响高油大豆的经济价值。

## 4 结 论

本研究认为,夏播大豆增施硅肥做基肥,可有效地改善大豆的农艺性状,降低倒伏率,增加大豆 LAI 和 SPAD;能够使大豆增产,提高大豆的蛋白质含量,降低大豆的油分含量。但在使用过程中要注意施用量。

### 参考文献

[1] 王佳,杨凌舒,杨宏宝,等.高油大豆施用硅肥技术研究[J].大豆通报,2004(3):9-11. (Wang J, Yang L S, Yang H B, et al. Study of Silicon fertilization technique on high-oil soybean[J]. Soybean Bulletin, 2004(3):9-11.)

[2] 张学军,冯卫东,宋德印,等.施用硅钙磷肥对水稻生长、产量及品质的研究初报[J].宁夏农林科技,2001(1):37-38. (Zhang X J, Feng W D, Song D Y, et al. A short report of Si-Ca-P fertilization on rice growth, grain yield and quality [J]. Ningxia Agriculture and Forestry Science and Technology, 2001(1):37-38.)

[3] 王德民.小麦—玉米(大豆)复种连作区硅钾肥施用效果研究[J].天津农业科学,2009,15(3):87-90. (Wang D M. Effects of Silicon and Potassium fertilization on the area of multiple and continuous cropping for wheat and maize(soybean)[J]. Tianjin Agricultural Science, 2009, 15(3):87-90.)

[4] 高明,魏朝富,车福才,等.含硅熔渣对水稻养分吸收及产量的影响[J].生态环境,2004,13(4):587-591. (Gao M, Wei C F, Che F C, et al. Effect of slog containing Silicon on nutrient absorption and yield of rice [J]. Ecology and Environmental, 2004, 13(4):587-591.)

[5] 龚玉琴,杨金明,白锦红,等.硅、硫、锌、锰肥配施对水稻品质及产量的影响[J].土壤肥料,2004(6):17-20. (Gong Y Q, Yang J M, Bai J H, et al. Effect of Si, S, Zn, Mn fertilizers combined application on quality and yield in rice [J]. Soil and Fertilizer, 2004(6):17-20.)

[6] 田华,唐正明,段美洋,等.氮磷钾硅肥对香稻培杂软香产量及品质的影响[J].中国农学通报,2008(12):499-504. (Tian H, Tang Z M, Duan M Y, et al. Effect of Nitrogen, Phosphorus, Potassium and Silicon on yield and quality of Peizaruanxiang [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008(12):499-504.)

[7] 姜春荣,刘慧颖,华利民,等.大豆施用硅钙复混肥及硅钙肥效果研究[J].杂粮作物,2002,22(2):102-104. (Lou C R, Liu H Y, Hua L M, et al. Effects of Si - Ca compound fertilizer and calcium fertilizer on soybean [J]. Rain Fed Crops, 2002, 22(2):102-104.)

[8] 林蔚刚,吴俊江,董德健,等.硅钙肥、生石灰、硫肥三因素二次多项式回归大豆产量效应分析[J].大豆科学,2007,26(3):351-354. (Lin W G, Wu J J, Dong D J, et al. Quadratic polynomial regression analysis of Silicon and Calcium fertilizer, quicklime and Sulfur powder on soybean yields [J]. Soybean Science, 2007, 26(3):351-354.)

[9] 李清芳,马成仓,李韩平,等.土壤有效硅对大豆生长发育和生理功能的影响[J].应用生态学报,2004,15(1):73-76. (Li Q F, Ma C C, Li H P, et al. Effects of soil available Silicon on growth, development and physiological functions of soybean [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2004, 15(1):73-76.)

[10] 潘德斌,朱志强,于日新,等.钾硅钙矿物肥在大豆上应用效果[J].现代化农业,2011(7):11 (Pan D B, Zhu Z Q, Yu R X, et al. Effects of K-Si-Ca compound mineral fertilizer on soybean [J]. Modernizing Agriculture, 2011(7):11.)

[11] 牛东海,孙治安,郁富景.硅钙镁钾肥在大豆上的施用效果[J].农技服务,2011(2):183. (Niu D H, Sun Z A, Yu F J. Effects of Si-Ca-Mg-K compound mineral fertilizer on soybean [J]. Agricultural Technology Service, 2011(2):183.)

[12] 刘晶,兰志华,张文素.大豆施用硅钙肥试验[J].内蒙古农业科技,2007(S1):300. (Liu J, Lan Z H, Zhang W S. Effects of Si-Ca compound fertilizer on soybean [J]. Inner Mongolia Agricultural Science and Technology, 2007(S1):300.)

[13] 杨宏宝,杨凌舒,陈青山,等.高油大豆施用硅钙多元复合肥试验研究[J].大豆通报,2005(4):9-10. (Yang H B, Yang L S, Chen Q S, et al. Effects of Si-Ca compound fertilizer on high-oil soybean [J]. Soybean Bulletin, 2005(4):9-10.)

[14] 李双霖.硅肥的作用及其在生产上的应用前景[J].福建农业科技,1980(6):54-58. (Li S L. A review of Silicon fertilizer application in agriculture [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 1980(6):54-58.)

[15] 林蔚刚,吴俊江,董德健,等.施用硅钙肥对大豆生长发育和产量的作用[J].作物杂志,2007(2):37-39. (Lin W G, Wu J J, Dong D J, et al. Effects of Silicon-Calcium compound fertilizer on soybean growth and yields [J]. Crops, 2007(2):37-39.)

- [16] Pereira J P, Rezende P M, Malfitano S C, et al. Effects of doses of Silicon in the yield and agronomic characteristics of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] [J]. *Ciencia e Agrotecnologia*, 2010, 34 (4): 908-913.
- [17] 张翠珍, 郑国红, 邵长泉, 等. 硅肥对糯玉米产量、品质及抗倒性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2007, 38 (3): 360-362. (Zhang C Z, Zheng G H, Shao C Q, et al. Effect of Silicon fertilizer on yield, quality and lodging resistance of waxy corn[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2007, 38 (3): 360-362.)
- [18] 陈健晓, 屠乃美, 易镇邪, 等. 硅肥对超级早稻茎叶形态与抗倒伏特性的影响[J]. 作物研究, 2011, 25 (3): 209-212. (Chen J X, Tu N M, Yi Z X, et al. Effects of Silicon fertilizer on morphology of stem and leaves and lodging resistance in early super hybrid rice [J]. *Crop Research*, 2011, 25 (3): 209-212.)
- [19] 陈绍荣, 孙玲丽, 史先良, 等. 硅肥在水稻超高产栽培中的作用及其施用技术[J]. 磷肥与复肥, 2010, 25 (4): 75-76. (Chen S R, Sun L L, Shi X L, et al. The function of Silicon fertilizer in the cultivation of super-high-yielding rice and its application technique [J]. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 2010, 25 (4): 75-76.)
- [20] 徐洪斌, 陈秋雪, 韩兆明. 硅肥与生物肥配合施用对寒地水稻的影响[J]. 现代农业, 2011 (5): 54-55. (Xu H B, Chen Q X, Han Z M. Effects of Silicon in conjunction with bio-fertilizer application on cold region rice [J]. *Modern Agriculture*, 2011 (5): 54-55.)
- [21] 邓文, 青先国, 蒲熙, 等. 硅肥和钙肥对超级杂交稻茎秆抗倒力学的影响[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2008, 34 (5): 586-590. (Deng W, Qing X G, Pu X, et al. Effects of Silicon and Calcium application on the material characteristics of super hybrid rice [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Natural Sciences)*, 2008, 34 (5): 586-590.)
- [22] 王厚胜, 王吉春, 李才库, 等. 硅钙肥对水稻生育性状及产量的影响[J]. 吉林农业科学, 2007, 32 (3): 35-36. (Wang H S, Wang J C, Li C K, et al. Effect of Silicon-Calcium fertilizer on growing characters and yield of rice [J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2007, 32 (3): 35-36.)
- [23] 韩兴华, 王广龙, 李德志, 等. 硅素在水稻上的增产机理、效果及应用[J]. 现代农业科技, 2006 (8): 94. (Han X H, Wang G L, Li D Z, et al. Increasing mechanism of Silicon in rice, the effect and application [J]. *Modern Agricultural Technology*, 2006 (8): 94.)
- [24] 常春荣, 龚觅真, 廖基兴. 硅肥对南方花生产量和品质效应研究[J]. 中国农学通报, 2006, 22 (11): 432-435. (Chang C R, Gong M Z, Liao J X. Effect of Silicon fertilizer on peanut yield and quality in south China [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2006, 22 (11): 432-435.)

(上接第 624 页)

- [15] Akada S, Kung S D, Dube S K. The nucleotide sequence of gene 3 of the soybean chalcone synthase multigene family [J]. *Nucleic Acids Research*, 1990, 18: 5899.
- [16] Wang W H, Takano T, Shibata D, et al. Molecular basis of a null mutation in soybean lipoxygenase 2: substitution of glutamine for an iron-ligand histidine [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 1994, 91: 5828-5832.
- [17] Francois G, Michael G H. Oligosaccharins: structures and signal transduction [J]. *Plant Molecular Biology*, 1994, 26: 1379-1411.
- [18] Van L C. The nomenclature of pathogenesis-related proteins [J]. *Plant Molecular Biology*, 1990, 37: 229.
- [19] Thomma B P H J, Eggermont K, Penninckx I A M A, et al. Separate jasmonate-dependent and salicylate-dependent defense-response pathways in *Arabidopsis* are essential for resistance to distinct microbial pathogens [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 1998, 95 (25): 15107-15111.
- [20] Vick B A, Zimmerman D C. Oxidative systems for modification of fatty acids: the lipoxygenase pathway [J]. *The Biochemistry of Plants*, 1987, 9: 53-90.
- [21] Graham M Y, Weidner J, Wheeler K, et al. Induced expression of pathogenesis-related protein genes in soybean by wounding and the *Phytophthora sojae* cell wall glucan elicitor [J]. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 2003, 63: 141-149.
- [22] Creelman R A, Mullet J E. Oligosaccharins, brassinolides, and jasmonates: Nontraditional regulators of plant growth, development and gene expression [J]. *The Plant Cell*, 1997, 9: 1211-1223.
- [23] Klarzynski O, Descamps V, Plesse B, et al. Sulfated fucan oligosaccharides elicit defense responses in tobacco and local and systemic resistance against tobacco mosaic virus [J]. *Molecular Plant-microbe Interactions*, 2003, 16 (2): 115-122.