

张国芹, 牟建梅, 何玲莉, 等. 氮硅配施对不结球白菜养分吸收及产量和品质的影响[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1128-1133.

doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.028

氮硅配施对不结球白菜养分吸收及产量和品质的影响

张国芹¹, 牟建梅¹, 何玲莉¹, 徐 瑶¹, 陈 新²

(1. 江苏省太湖地区农业科学研究所, 江苏 苏州 215155; 2. 江苏省农业科学院蔬菜所, 江苏 南京 210014)

摘要: 以不结球白菜品种华王为材料, 设施纯 N 0 kg/hm²、50 kg/hm²、100 kg/hm²、200 kg/hm² 4 个施氮水平 (N₀~N₃) 以及 0 kg/hm²、138 kg/hm²、276 kg/hm²、552 kg/hm² 4 个施硅 (Na₂SiO₃) 水平 (Si₀~Si₃), 对不结球白菜的氮、磷、钾和硅吸收量、叶片色素含量、光合速率、体内硝酸盐含量、Vc 含量进行了测定。结果显示, 在不施氮水平下, 硅显著提高了不结球白菜体内的硝酸盐含量, 而在施氮处理下, 施硅显著降低了小白菜的硝酸盐含量, 例如 N₂Si₁ 处理的硝酸盐含量比 N₂Si₀ 处理的硝酸盐含量降低了 21.7%; 适宜的氮硅配施可提高不结球白菜叶片的产量、光合速率及 Vc 含量, 还可降低不结球白菜体内硝酸盐含量, 在一定程度上改善不结球白菜的食用安全性。

关键词: 不结球白菜; 硅肥; 氮肥; 产量; 品质

中图分类号: S143.1; S634.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2016)05-1128-06

Effects of nitrogen-silicon applications on nutrient absorption, yield and quality of *Brassica chinensis*

ZHANG Guo-qin¹, MOU Jian-mei¹, HE Ling-li, XU Yao¹, CHEN Xin²

(1. Institute of Agricultural Sciences in Taihu Lake District, Suzhou 215155, China; 2. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China)

Abstract: The integrated effect of nitrogen (N) and silicon (Si) on the production and quality of *Brassica chinensis* was studied. Taking Huawang, the variety of *B. chinensis*, as research object, a pot experiment was conducted by completely randomized block design in 2014. The N levels (N₀—N₃) were 0 kg/hm², 50 kg/hm², 100 kg/hm² and 200 kg/hm², and Si levels (Si₀—Si₃) were 0 kg/hm², 138 kg/hm², 276 kg/hm² and 552 kg/hm². The contents of N, P, K, Si, nitrate, pigment, vitamin-C (Vc) and photosynthetic rate of *B. chinensis* were determined. Results showed Si application increased the nitrate contents of *B. chinensis* without N application, but significantly decreased nitrate contents with N application. The nitrate content in N₂Si₁ treatment was lower than that in N₂Si₀ treatment by 21.7%. Combined application of N and Si increased the photosynthetic rate, the yield and Vc content of *B. chinensis*, and decreased the nitrate content, consequently improved product safety and quality.

Key words: *Brassica chinensis*; silicon fertilizer;

nitrogen fertilizer; yield; quality

收稿日期: 2016-01-19

基金项目: 苏州市应用基础项目 (SYN201326); 苏州市科技支撑项目 (SNG201437)

作者简介: 张国芹 (1981-), 女, 山东临沂人, 硕士, 助理研究员, 从事叶菜类蔬菜种质创新及栽培技术研究。
(Tel) 0512-65386213; (E-mail) guoqin1981@163.com

通讯作者: 牟建梅, (E-mail) thnjm@163.com

氮肥在农业增产中起着十分重要的作用。近年来为了提高蔬菜产量, 肥料的投入量尤其是氮肥施用量越来越高^[1-2]。施入土壤中的大量氮肥经硝化作用转变为硝态氮, 被吸收到蔬菜体内后, 由于不能

被完全还原同化,导致叶菜类蔬菜硝酸盐含量升高^[3-5]。人体摄取的硝酸盐有 81.2%来自于食用蔬菜^[6]。硝酸盐在代谢过程中可能产生大量对健康有害的物质。最近研究确认,硝酸盐是一个纯粹的有害饮食成分,可致癌,甚至致畸^[7],因此有关叶菜硝酸盐含量的研究已经引起人们越来越多的重视。有关小白菜氮肥的施用技术及氮肥对小白菜产量及品质的影响已有大量研究^[8-10]。结果表明,随着供氮水平的提高,蔬菜产量增加,硝酸盐含量也增加,但施氮量达到一定水平时,蔬菜的产量不再增加,而体内的硝酸盐含量会继续增加。因此,合理施用氮肥是人工调控蔬菜硝态氮含量的重要措施。

硅是地壳中含量仅次于氧的第二大元素,主要以氧化物和硅酸盐的形式存在。由于硅肥具有明显的增产效应,各地纷纷使用。对禾本科作物的研究表明,氮硅互作提高了水稻产量,施硅可增加水稻的穗实粒数与千粒质量^[11-12],降低玉米的硝酸盐含量^[13],提高干旱胁迫条件下小麦幼苗叶绿素含量,显著提高净光合速率、蒸腾速率及水分利用率^[14]。对蔬菜的研究发现,叶面施硅提高了西芹产量及 Vc 含量,同时降低了硝酸盐含量^[15]。硅肥可提高番茄叶绿素含量及光合速率^[16],提高生姜叶片 Mg^{2+} -ATPase、 Ca^{2+} -ATPase 活性及光合速率^[17]。李炜蕾等还发现大葱施硅可显著增加大葱对硅及氮、磷、钾的吸收量,提高大葱产量及品质^[18]。硅还可提高植物的抗逆性,例如提高干旱胁迫下水稻及镉(Cd)胁迫下小白菜叶片光合特性^[19-20]。但到目前为止,关于氮硅互作对不结球白菜的光合特性、硝酸盐积累、Vc 含量等研究还未见报道。不结球白菜是南方地区周年供应的主要叶菜类消费品种,2012 年江苏省主要蔬菜品种栽培面积统计结果显示,不结球白菜播种面积占叶菜种植面积的 30%,因此不结球白菜在蔬菜的周年供应中起着举足轻重的作用^[21]。本研究通过盆栽试验,研究氮硅互作对不结球白菜产量及品质的影响,旨在阐明氮硅配施对不结球白菜硝酸盐积累的调控机制,为不结球白菜农业生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料与试验设计

在前期预备试验的基础上,试验于 2014 年在苏州市农业科学院蔬菜大棚内进行。供试不结球白菜

品种为华王,于 10 月 13 日播种,撒播于塑料栽培槽中。覆膜保湿,出苗后去除地膜。出齐苗后,11 月 12 日定苗,每盆留 25 株。试验用塑料盆(43.5 cm×19.0 cm×14.0 cm),每盆装土 5.5 kg。土壤类型为黄泥土,土壤有机质含量 3.6%,pH 值 5.78,有效硅含量 72.9 mg/kg,碱解氮 68.4 mg/kg,硝态氮 116.8 mg/kg,速效磷 60.8 mg/kg,速效钾 152.8 mg/kg。试验为 2 因素 4 水平完全随机区组试验设计,共 16 个处理,每处理 3 次重复,共 48 盆。氮肥采用尿素,1 kg 土用量 0 g(N_0)、0.048 g(N_1)、0.096 g(N_2)、0.192 g(N_3),分别相当于施纯氮 0 kg/hm²、50 kg/hm²、100 kg/hm²、200 kg/hm²。以硅酸钠($Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$)为硅肥,每 1 kg 土用量为 0 g(Si_0)、0.6 g(Si_1)、1.2 g(Si_2)、2.4 g(Si_3)g,分别相当于施硅(Na_2SiO_3) 0 kg/hm²、138 kg/hm²、276 kg/hm²和 552 kg/hm²。以不加氮和硅的处理(N_0Si_0)为对照。硅肥以基肥形式加入,施入后与土壤充分混匀。氮肥待植株长至一叶一心后作追肥施入。浇灌用自来水。

1.2 测定项目与方法

不结球白菜收获前 7 d 采用 Li-6400 光合仪测定功能叶的光合速率,同时测定其叶绿素含量。11 月 27 日收获。每盆取 10 株白菜,测定地上部分的单株鲜质量后,整株放置烘箱内在 105 ℃ 条件下杀青 30 min,然后调至 75 ℃ 下烘干至恒质量。用不锈钢粉碎机粉碎,过筛后放入封口塑料袋中保存备用。植株硅含量的测定采用 Vorn 法,土壤有效硅含量测定采用柠檬酸浸提法,植株氮、磷、钾含量测定分别采用凯氏定氮法、钼锑抗比色法和火焰光度法^[22]。

1.3 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理和绘图,采用 DPS 7.5 统计分析软件对数据进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 氮硅配施对植株养分吸收的影响

测定结果(图 1)显示,不结球白菜植株中硅(SiO_2)含量随着土壤施硅浓度的增加而持续升高。例如 N_1 水平下 Si_1 、 Si_2 和 Si_3 处理的硅含量分别为 3.68 mg/g、4.20 mg/g 和 5.18 mg/g,较同等氮水平下未施硅处理分别增加 19.2%、35.9%和 67.6%; N_3 水平下 Si_1 、 Si_2 和 Si_3 处理的硅含量分别为 3.79

mg/g、4.26 mg/g、5.18 mg/g,比同等氮水平下未施硅处理分别增加了 18.5%、33.2%和 62.0%。同样植株氮含量亦随施氮量的增加而增加。 Si_0 水平下 N_0 、 N_1 、 N_2 、 N_3 处理植株氮含量分别为 24.4 g/kg、28.2 g/kg、32.6 g/kg 和 39.2 g/kg; Si_2 水平下 N_1 、 N_2 、 N_3 处理植株氮含量比对照分别提高 9.8%、11.6%和 35.9%。从图 1 还可以看出,在 N_0 、 N_1 、 N_2

施氮水平下,植株氮含量均随施硅水平的提高而增加,而在 N_3 施氮水平下,植株氮含量随施硅水平的提高呈先增后降的趋势。说明不同施氮水平下,硅对植株吸氮的影响存在差异。图 1 还显示,植株体内的磷浓度随着氮、硅含量的增加而增加,而在 N_2 、 N_3 氮水平下,3 个施硅处理的植株磷含量间差异不显著,此外,氮硅配施对植株钾含量的影响不显著。

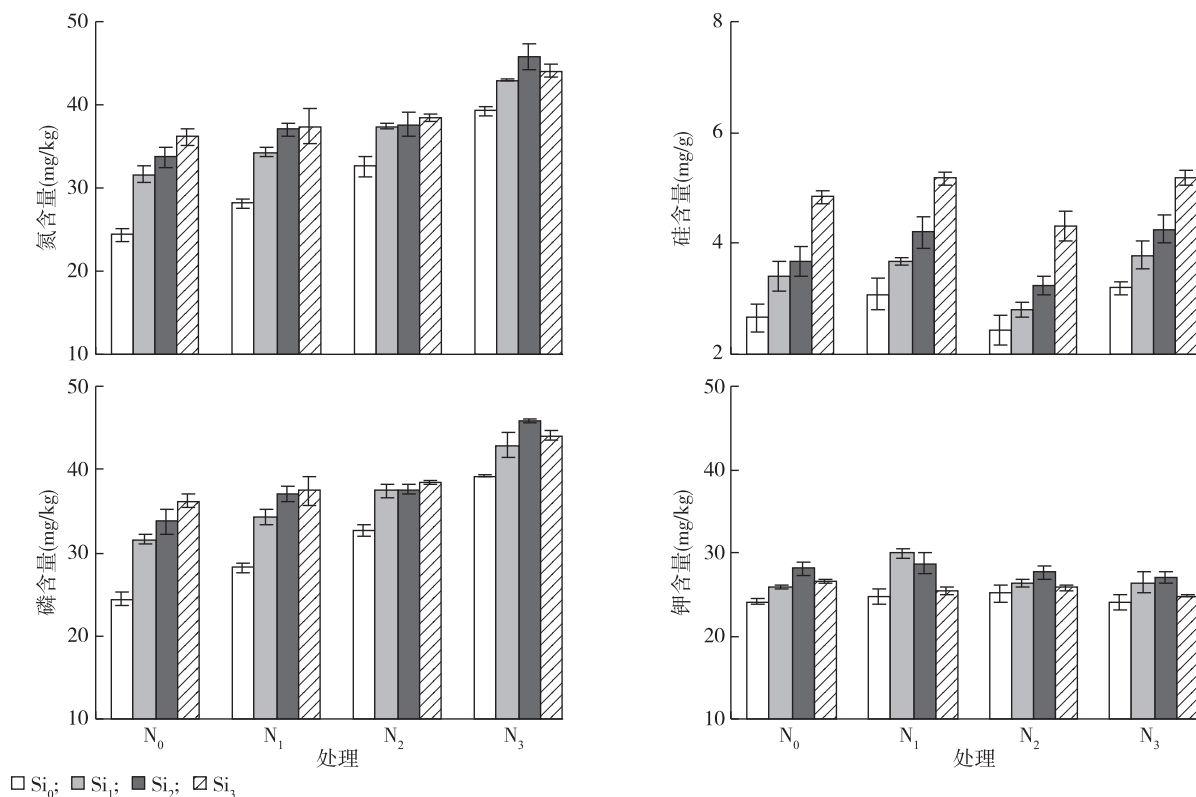


图 1 氮硅配施对不结球白菜植株氮、硅、磷及钾含量的影响
 $N_0 \sim N_3$: 不同施氮量处理,依次为施纯氮 0 kg/hm²、50 kg/hm²、100 kg/hm²、200 kg/hm²; $Si_0 \sim Si_3$: 不同施硅量处理,依次为施硅(Na_2SiO_3) 0 kg/hm²、138 kg/hm²、276 kg/hm²和 552 kg/hm²。

图 1 氮硅配施对不结球白菜植株氮、硅、磷及钾含量的影响

Fig.1 Effects of nitrogen application combined with silicon on the contents of nitrogen, silicon, phosphorus, and potassium of *Brassica chinensis* plant

2.2 氮硅配施对不结球白菜植株单株质量及光合性能的影响

表 1 显示,不结球白菜单株质量随施硅量的增加呈现先增加后降低趋势。氮硅之间具有一定的交互作用。其中 N_2 水平下 Si_1 处理的单株质量增幅最高, N_2Si_1 处理比 N_2Si_0 处理单株质量提高了 6.9%,比 N_1Si_1 处理提高了 12.4%。从表 1 中可以看出,氮对不结球白菜的增产作用显著高于硅。 Si_1 水平下, N_1 、 N_2 、 N_3 处理的不结球白菜单株质量分别为 11.09 g、12.46 g、11.05 g,分别比未施氮肥处理提高了 25.4%、

40.9%、25.0%。可见过高的氮肥反而会抑制生长。表 1 还显示,随着施硅量的增加,各处理叶片的叶绿素含量和光合速率(P_n)均高于对照。叶绿素含量随着施硅量的增加先升高后降低,同氮水平下以 Si_1 处理较高。 P_n 值随施硅量的增加呈现与叶绿素相似的变化趋势,施硅处理植株的 P_n 高于对照。

2.3 氮硅互作对不结球白菜品质的影响

在不同施氮量下,硅肥对不结球白菜体内硝酸盐含量积累的影响不同(图 2)。在 N_0 水平下,不结球白菜硝酸盐含量随着硅肥用量的增加而升高。而

表 1 氮硅互作对不结球白菜单株质量及光合性能的影响

 Table 1 Effects of combined application of nitrogen and silicon on plant weight and photosynthetic property of *B. chinensis*

处理	单株质量 (g)	叶绿素含量 (mg/kg)	光合速率(P_n) [$\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$]
N_0Si_0	8.28d	1.422f	20.00c
N_0Si_1	8.84cd	1.712bcd	22.97abc
N_0Si_2	8.80cd	1.629cde	25.94a
N_0Si_3	8.82cd	1.749abc	22.70bc
N_1Si_0	10.70abc	1.502ef	24.49ab
N_1Si_1	11.09abc	1.584cdef	24.48ab
N_1Si_2	11.36ab	1.627cde	23.12ab
N_1Si_3	9.51bcd	1.546def	24.53ab
N_2Si_0	11.66ab	1.590cdef	22.70bc
N_2Si_1	12.46a	1.701bcd	23.07abc
N_2Si_2	11.27ab	1.830ab	23.33ab
N_2Si_3	10.79abc	1.561def	22.26bc
N_3Si_0	12.02a	1.660bcde	22.25bc
N_3Si_1	11.05abc	1.893a	24.16ab
N_3Si_2	10.50abcd	1.804ab	22.47bc
N_3Si_3	11.38ab	1.586cdef	22.61bc

各处理见图 1 注。同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

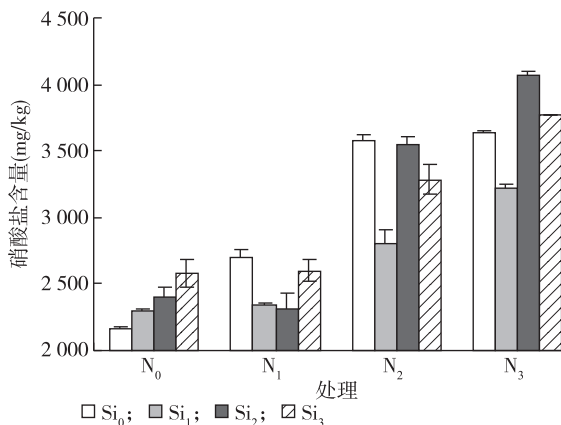
在 N_1 、 N_2 和 N_3 水平下,不结球白菜体内硝酸盐含量随施硅量的增加先降低后升高。在 N_1 水平下, Si_1 处理的硝酸盐含量比 Si_0 处理的硝酸盐含量降低了 13.5%;在 N_2 水平下, Si_1 处理的硝酸盐含量比 Si_0 处理的硝酸盐含量降低了 21.7%。由此可见,在施氮

量不同时,硅对不结球白菜体内硝酸盐积累的影响不同,就总趋势而言,硅的施入降低了不结球白菜可食部分的硝酸盐含量。

图 2 还显示,施硅处理显著提高了不结球白菜体内 Vc 含量。 N_0 水平下 Si_1 、 Si_2 、 Si_3 处理 Vc 含量分别为 946 mg/kg、832 mg/kg、953 mg/kg,比未施硅对照分别提高了 59.7%、40.5%、60.8%。在 N_1 水平下, Si_1 、 Si_2 、 Si_3 处理的 Vc 含量分别为 854 mg/kg、811 mg/kg 和 859 mg/kg,比未施硅对照分别提高了 40.1%、33.0% 和 41.0%。施氮量对 Vc 含量的影响不大,但高氮处理 (N_3) 却明显降低了不结球白菜 Vc 含量, $Si_0 \sim Si_3$ 施硅水平下 N_3 处理的不结球白菜 Vc 含量比 N_2 处理分别下降了 19.0%、43.3%、36.9%、23.2%。

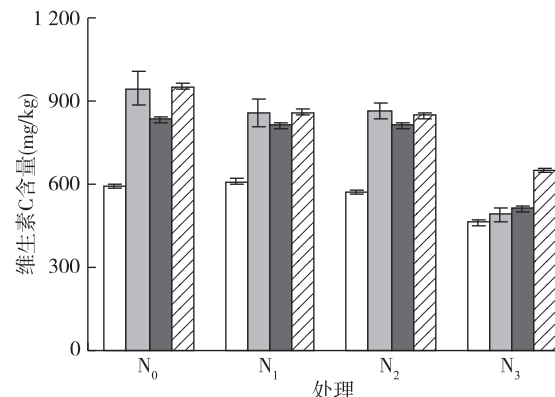
3 讨论

本试验结果表明,氮硅配施提高了不结球白菜的产量,这与前人在黄瓜^[23]、生姜^[24]上的研究结果一致。硅促进不结球白菜生长的原因可能与硅能促进植物根系的生长,增加细胞内线粒体数量,有利氧化磷酸化进行,提高根的呼吸速率,增加 ATP 含量,提高根对水分和养分的吸收能力等有关^[25-26]。本研究还发现,增加硅施入量,可降低不结球白菜体内的硝酸盐含量,例如施氮量 100 kg/hm² 条件下,施硅量 138 kg/hm² 处理的硝酸盐含量比不施硅对照的硝酸盐含量降低了 21.7%。分析其原因可能有以下几个方面:一是硅肥提高了不结球白菜叶片叶绿素含量,促进了光合作用,从而提高了 CO₂ 的同化率,



各处理见图 1 注。

图 2 氮硅配施对不结球白菜硝酸盐含量(左)及维生素 C 含量(右)的影响

 Fig.2 Effects of nitrogen application combined with silicon on the contents of nitrate (left) and vitamin C (right) of *B. chinensis*


为硝酸盐的还原提供充足的能量,促进硝酸盐的还原同化,使不结球白菜体内的铵态氮或硝态氮尽快转化为氨基酸或蛋白质,从而降低其体内的硝酸盐含量。也可能与硅使叶片增厚,叶绿体变大,叶片中ATP含量增加,促进了光合作用有关^[27]。王显等^[28]研究结果显示,在同一氮肥水平下,施用硅肥可不同程度地延缓水稻成熟期剑叶叶绿素含量的下降,提高光合速率。二是硅参与了植物体内的氮代谢过程。李清芳等^[29]研究证明,硅提高了硝酸还原酶活性,提高了硝态氮的转化。三是硅可调节蔬菜作物在不同营养阶段对N、P、K等营养元素的需求,在其他营养元素使用过量时有抑制供给的作用。高青海等^[30]研究发现,外源硅显著降低了黄瓜体内铵态氮含量,减轻了铵态氮的毒害。郭彬等^[31]也发现,氮硅配施提高了土壤速效氮含量和有效硅含量,降低了土壤速效钾含量。

本试验中,硅显著提高了不结球白菜Vc含量。在施氮量50 kg/hm²水平下138 kg/hm²、276 kg/hm²和552 kg/hm²施硅量处理的不结球白菜Vc含量分别比未施硅处理提高了40%、33%和41%。而高氮水平却明显降低了不结球白菜Vc含量,施氮量200 kg/hm²条件下0 kg/hm²、138 kg/hm²、276 kg/hm²和552 kg/hm²施硅量处理的不结球白菜Vc含量分别比施氮量100 kg/hm²条件下4个施硅量处理降低了19.0%、43.3%、36.9%、23.2%,这与闵炬等^[32]研究结果一致。说明适量施用氮肥可以显著提高蔬菜产品品质,而过量的氮肥会降低蔬菜体内的Vc含量。硅对Vc含量的影响可能与硅促进不结球白菜对矿质养分的吸收和运转,改善作物体内的营养状况,从而调节养分在植物体内的合理分配有关。刘景凯等^[33]发现在营养液中加硅处理增加了大蒜叶片的色素含量,增强了光合速率,从而显著提高了Vc含量。

综合分析本试验中氮硅配施对不结球白菜植株硅、氮、磷、钾含量、叶绿素含量、光合速率、单株质量、硝酸盐含量及Vc含量的影响,初步认为在本试验条件下,合理的土壤施氮量为100 kg/hm²,施硅量为138 kg/hm²。

参考文献:

- [1] 谢金兰,王维赞,朱秋珍,等. 氮肥施用方式对甘蔗产量及土壤养分变化的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(4): 607-610.
- [2] 陈仁天,陶伟,陈雷. 氮肥运筹对桂两优2号干物质生产及氮肥利用率的影响[J]. 南方农业学报, 2013, 44(6): 954-957.
- [3] 王朝辉,田霄鸿,李生秀. 叶类蔬菜的硝酸盐累积及成因研究[J]. 生态学报, 2001, 21(7): 1136-1141.
- [4] 李东坡,武志杰. 化学肥料的土壤生态环境效应[J]. 应用生态学报, 2008, 19(5): 1158-1165.
- [5] 任轶,李瑞霞,艾昊,等. 减施肥条件下木霉SQR-T037微生物肥对黄瓜产量、品质及养分利用效率的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(2): 143-146.
- [6] WHITE J W J. Relative significance of diaetarg source of nitrate and nitrite[J]. Journal of Agricultural Food Chemistry, 1975, 23(5): 886-891.
- [7] PIETRO S. Nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2006, 86: 10-17.
- [8] 王小丽,杨丹妮,黄丹枫. 氮素形态对小白菜生长和碳氮积累的影响[J]. 应用生态学报, 2012, 23(4): 1042-1048.
- [9] 陈龙正,梁亮,徐海,等. 铵态氮影响小白菜硝酸盐积累及其机制研究[J]. 华北农学报, 2010, 25(6): 221-224.
- [10] 张耀良,姚春霞,陈亦,等. 减量施肥对小白菜连作的产量、品质及生理特性的影响[J]. 上海农业学报, 2012, 28(2): 132-136.
- [11] 丁能飞,郭彬,李建强,等. 氮硅互作对水稻营养和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(12): 127-130.
- [12] 郭彬,姜运生,梁永超,等. 氮硅肥配施对水稻生长、产量及土壤肥力的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 33-36.
- [13] STEFANO G, FRANCESCO L, NICOLA T, et al. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad plants[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2012, 56: 14-23.
- [14] 丁燕芳,梁永超,朱佳,等. 硅对干旱胁迫下小麦幼苗生长及光合参数的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(3): 471-478.
- [15] 薛高峰,孙焱鑫,陈延华,等. 叶面施硅对西芹养分吸收、产量及品质的影响[J]. 核农学报, 2012, 26(1): 1176-1181.
- [16] 曹逼力,徐坤,石健,等. 硅对番茄生长及光合作用与蒸腾作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19(2): 354-360.
- [17] 张国芹,徐坤,王兴翠,等. 硅对生姜叶片水、二氧化碳交换特性的影响[J]. 应用生态学报, 2008, 19(8): 1702-1707.
- [18] 李炜蕾,张逸,石健,等. 硅对大葱矿质元素吸收、分配特性及产量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2016, 22(2): 486-494.
- [19] 陈伟,蔡昆争,陈基宁. 硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响[J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2620-2628.
- [20] 宋阿琳,李萍,李兆君,等. 硅对镉胁迫下白菜光合作用及相关生理特性的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(9): 1675-1684.
- [21] 侯喜林. 不结球白菜育种研究新进展[J]. 南京农业大学学报,

- 2003, 26(4): 111-115.
- [22] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [23] 王喜艳, 张玉龙, 虞娜, 等. 硅肥对保护地黄瓜光合特性和产量的影响[J]. 长江蔬菜, 2007(2): 45-47.
- [24] 张国芹. 硅对生姜生长及生理特性的影响[D]. 泰安: 山东农业大学, 2008.
- [25] 邵长泉. 硅肥对糯玉米根系生长状况、产量及品质的影响[J]. 长江蔬菜, 2007(5): 50-51.
- [26] HOSSAIN M T, MORI R, SOGA K, et al. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings[J]. Journal of Plant Research, 2002, 115(1): 23-27.
- [27] MA J F, NAOKI Y. Silicon uptake and accumulation in higher plants[J]. Trends in Plant Science, 2006, 11(8): 392-397.
- [28] 王显, 张国良, 霍中洋, 等. 氮硅配施对水稻叶片光合作用和氮代谢酶活性的影响[J]. 扬州大学学报, 2010, 31(3): 44-49.
- [29] 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.
- [30] 高青海, 王亚坤, 陆晓民, 等. 硅对铵态氮胁迫下黄瓜幼苗生理特性的影响[J]. 应用生态学报, 2014, 2(5): 1395-1400.
- [31] 郭彬, 姜运生, 梁永超, 等. 氮硅肥配施对水稻生长、产量及土壤肥力的影响[J]. 生态学杂志, 2004, 23(6): 33-36.
- [32] 闵炬, 施卫明. 不同施氮量对太湖地区大棚蔬菜产量、氮肥利用率及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2009, 15(1): 151-157.
- [33] 刘景凯, 刘世琦, 冯磊, 等. 硅对青蒜苗生长、光合特性及品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 989-997.

(责任编辑:张震林)