植物营养与肥料学报 2014,20(4):989-997
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2014.0422

硅对青蒜苗生长、光合特性及品质的影响

刘景凯,刘世琦*,冯 磊,陈祥伟,薛小艳,成 波,王 越,李 贺
(山东农业大学园艺科学与工程学院,作物生物学国家重点实验室,农业部黄淮地区园艺作物生物学与种质创制重点实验室,山东泰安 271018)

摘要:【目的】大蒜是一种兼具营养价值和药用价值的蔬菜,由于品种退化、土传病害严重等问题,导致大蒜植株矮小、产量降低、品质下降。硅作为一种公认的有益元素,在提高作物产量、改善产品品质方面有非常重要的作用。但是关于硅对大蒜生长发育以及产量和品质的影响至今还没有相关报道,因此本试验研究了硅在青蒜苗生长和品质方面的作用,以期能为大蒜无土栽培优质高产提供一些理论参考。**【方法】**利用深液流水培方式,以"金乡白皮蒜"为试材,设置了5个硅水平(0、0.75、1.5、2.25、3.0 mmol/L)探讨了不同水平硅对青蒜苗生长、光合特性及品质的影响。**【结果】**在0～1.5 mmol/L范围内,青蒜苗植株鲜重、株高、假茎长、假茎粗以及色素含量均随硅浓度的增加而升高,当硅浓度高于1.5 mmol/L时,相关指标随其升高而降低,在硅浓度1.5 mmol/L时达到最大值;同时叶片净光合速率(Pn)及气孔导度(Gs)也随营养液中硅水平的增加呈先升高后降低的趋势,硅浓度1.5 mmol/L时最高,比不施硅处理分别增加了32.41%和44.62%,而蒸腾速率(Tr)则恰好相反,随硅浓度增加先降低后升高,在$Si_{1.5}$处理中最低,与对照相比降低了22.00%;此外,叶片和假茎中可溶性糖、游离氨基酸、维生素C含量也随硅素水平的提高呈现出先升高后降低的趋势,硅浓度1.5 mmol/L时可溶性糖含量最高,与对照相比分别增加了25.37%～41.96%和21.28%～40.82%,维生素C和游离氨基酸含量则在$Si_{2.25}$处理最高,但是$Si_{2.25}$处理与$Si_{1.5}$处理相比无显著差异;硅浓度1.5 mmol/L时显著降低了叶片中可溶性蛋白含量,但能提高其在假茎中的含量,与不施硅处理相比叶片中可溶性蛋白含量降低了15.76%～21.62%,假茎中则增加了32.85%～53.73%。**【结论】**营养液中加硅后,青蒜苗植株鲜重、株高、假茎长和假茎粗均有明显增加,且其促进作用在其生育后期比生育前期更显著。加硅还可增加大蒜叶片内色素含量,增强光合速率,显著增加青蒜苗内可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C和游离氨基酸的含量,提高其营养品质。因此,在大蒜施肥中,适当增加硅肥,有可能克服大蒜品种退化、土传病害对大蒜的不利影响。

关键词:硅;青蒜苗;品质;净光合速率;蒸腾速率
中图分类号:S143.7+1;S633.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-505X(2014)04-0989-09

Effects of silicon on growth, photosynthetic characteristics and quality of garlic seedlings

LIU Jing-kai, LIU Shi-qi*, FENG Lei, CHEN Xiang-wei, XUE Xiao-yan, CHENG Bo, WANG Yue, LI He
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology/Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops(Huanghuai Region), Ministry of Agriculture, Tai'an, Shandong 271018, China*)

Abstract:【Objectives】The degeneration of variety and serious soil-born diseases are important inhibitors for garlic plant growth, lower yield and quality. As a beneficial element, silicon plays an important role in improving yield and product quality. A study was conducted to investigate the effects of silicon on the growth and quality of garlic seedlings.**【Methods】**In this study, garlic cultivar, Jinxiangbaipisuan, was taken as an experiment material and five different concentrations of silicon, 0, 0.75, 1.5, 2.25 and 3.0 mmol/L, were used to treat garlic plants, and the growth, photosynthetic characteristics and qualities of garlic seedlings were measured. **【Results】**The plant fresh weight and height, pseudo stem length and diameter and pigment contents are increased with the increase of silicon concentration from 0 to 1.5 mmol/L, while these items is decreased when the silicon concentrations are from

收稿日期:2013-07-22 **接受日期:**2014-02-27
基金项目:国家公益性行业科研专项(200903018);山东省农业重大创新项目资助。
作者简介:刘景凯(1987—),男,山东聊城人,硕士研究生,研究方向为蔬菜栽培生理。Tel:0538-8246236;E-mail:liujksdau@126.com
* 通信作者 Tel:0538-8246818;E-mail:liusq99@sdau.edu.cn

1.5 to 3.0 mmol/L, and the photosynthetic parameter (Pn and Gs) shows a similar trend. In the treatment of 1.5 mmol/L Si contents, Pn and Gs are increased by 32.41% and 44.62% respectively. The transpiration rate are decreased firstly and then increased with the increase of silicon contents, the minimum value appeares under Si of 1.5 mmol/L, in which the transpiration is reduced by 22.00% compared with the control. The contents of soluble sugar, free amino acids and vitamin C are also increased first and then decreased. The contents of soluble sugar in leaves and pseudo stems are highest under the 1.5 mmol/L silicon content, and are improved by 25.37%～41.96% and 21.28%～40.82% higher than those with the control. The contents of free amino acids and vitamin C reach their maximum values under $Si_{2.25}$, and there are no significant differences between $Si_{2.25}$ and $Si_{1.5}$. The content of soluble protein in leaves is reduced by 15.76%～21.62%, in pseudo stems is improved by 32.85%～53.73% when the silicon concentration is 1.5 mmol/L. 【**Conclusions**】 Proper Si addition can significantly increase the plant fresh weight and height and the pseudo stem length and diameter, the promoting effect is more significant at later period. Adding Si increase the pigment contents and photosynthetic rate in leaves, the nutritional quality of garlic seedlings because of the significant increase of the contents of soluble sugar, free amino acids and vitamin C. Therefore proper Si fertilization will be effective way in the relief of soil-bron diseases and the deterioration of cultivars.

Key words: silicon; garlic seedling; quality; net photosynthetic rate; transpiration rate

大蒜(*Allium sativum* L.)又名蒜、胡蒜,属百合科葱属一、二年生草本植物,主要以肥大的肉质鳞茎和鲜嫩的花茎器官为产品。大蒜肉质鳞茎中含有较多的蛋白质、碳水化合物、维生素和具特殊辛辣味的能帮助消化的大蒜素,是营养价值很高的一种蔬菜。大蒜还具有较高的药用价值,经常食用大蒜能够增进食欲、消咳止血、抑菌杀菌和防癌、抗癌[1]。

硅被视为部分植物必需的元素,广泛而大量地分布在自然界,占地壳总重量的27.69%,在土壤中硅的平均含量为33%;它在土壤中不以游离状态存在,而常以不溶性 SiO_2 以及极难溶性各种硅酸盐矿物形态存在[2]。硅含量在不同植物之间有很大差异,单子叶植物的硅含量大于双子叶植物的10～20倍,根据硅占栽培植物地上部分干重的百分数,可将栽培植物划分为三种类型:第一种是莎草科植物如木贼属的问荆和湿地禾本科植物如水稻,含量为10%～15%;第二类是旱地禾本科植物如甘蔗和大多数谷类作物及一些双子叶植物,含量为1%～3%;第三类为大部分双子叶植物,尤其是豆科植物,含量小于0.5%[3]。目前虽然还没有充分的证据确定硅是所有植物生长发育必需的营养元素,但通过前人的一些相关研究发现:适量施用硅能提高植物根系活力,显著提高产量和品质[4,5];增加植物叶片中叶绿素含量[6],改善气孔导度和胞间二氧化碳浓度,增强光合作用和降低蒸腾速率,从而提高植物的净光合速率[7];硅还能增强植物对生长发育过程中受到的各种生物和非生物逆境如干旱[8]、病虫害[9]、重金属毒害[10]等的抵抗能力;此外还有一些学者研究发现硅能通过与其它元素互作对植物的生长发育产生影响[11,12]。不少学者在水稻、番茄、黄瓜等作物上已经作了大量研究,也取得了不错的成果,但关于硅对大蒜影响至今还不清楚,因此本研究在设施条件下通过深液流水培方式探讨了硅对青蒜苗生长及品质的影响。

1 材料与方法

1.1 试验设计

本试验以"金蒜3号"为试材,于2012年10月～2013年6月在山东农业大学科技创新园进行。采用深液流水培技术(DFT)栽培,以 Hoagland 和 Arnon 营养液为基础,其它微量元素参照其通用配方。营养液完全用去离子水配制,每7 d更换一次,每次60 L,pH控制在6.0～6.5,每天供营养液8次,每3 h一次,每次6 min,采用微电脑控时器进行控时,营养液深度为2.0 cm,回流速度约为1.3 L/min。试验所用硅源为九水偏硅酸钠($Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$,分子量为284.22,分析纯),共设置5个硅水平,即0、0.75、1.5、2.25和3.0 mmol/L,分别用 Si_0、$Si_{0.75}$、$Si_{1.5}$、$Si_{2.25}$ 和 $Si_{3.0}$ 表示。各处理中大量元素化合物为 KNO_3、$NH_4H_2PO_4$、$Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ 和 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$,使N、P、K、Ca、Mg和S浓度分别为15、1、6、4、2和2 mmol/L。大蒜栽培于65 cm(L)×50 cm(W)×35 cm (H)的硬质塑料大盆,

每个处理 20 盆,每盆 12 株。

1.2　分析项目及方法

挑选蒜瓣肥大、色泽洁白、无病斑、无伤口的蒜瓣于 2012 年 10 月 17 日在覆盖聚乙烯无滴膜的拱棚中播种,棚内温度控制在 -2 ～25℃之间。分别于播种后 90 d(2013 年 1 月 15 日),135 d(2013 年 3 月 1 日),180 d(2013 年 4 月 14 日)进行取样,测定青蒜苗的形态指标(植株鲜重、株高、假茎长、假茎粗),叶片色素含量以及品质指标(可溶性糖、可溶性蛋白、游离氨基酸、维生素 C)。每次取样 15 株,去除衰老部分,混合均匀,重复 3 次。于 2013 年 3 月 5 日测定大蒜的光合速率、气孔导度和蒸腾速率。

用天平测定青蒜苗植株鲜重,用卷尺测定青蒜苗株高(将植株叶片全部捋直,从茎盘到最长叶叶尖的距离)、假茎长(茎盘处至上端叶片与叶鞘明显分界处的距离),用游标卡尺测定假茎粗(假茎基部的最大直径)。色素含量、可溶性蛋白含量、可溶性糖含量、游离氨基酸及维生素 C 含量的测定分别采用丙酮比色法[13]、考马斯亮蓝法[13]、蒽酮比色法[13]、茚三酮法[13]、2,6 - 二氯靛酚比色法[14]。光合参数采用 CIRAS - 1 光合仪于 3 月 5 日上午 9:00～ 10: 00 进行测定,光强 1 000 ～ 1 100 μmol/(m^2·s),气温 16 ～ 18℃,叶温 18 ～ 19℃,CO_2 浓度 400 μmol/mol,测定部位为从上数第 4 片叶中间,每处理 5 株,即重复 5 次。

试验数据采用 Microsoft Excel 2003 软件进行处理,DPS 6.55 软件进行统计分析和处理间显著性检验(Duncan 新复极差法)。

2　结果与分析

2.1　硅对水培青蒜苗生长指标的影响

从表 1 可以看到硅对青蒜苗生长有明显的促进作用。青蒜苗三个生育时期(90 d、135 d、180 d)的植株鲜重、株高、假茎长和假茎粗均随营养液中硅浓度的增加先升高后降低,最高值出现在 1.5 mmol/L($Si_{1.5}$)处理中,与对照(Si_0)相比,播种后

表 1　不同硅水平对青蒜苗植株鲜重、株高、假茎长和假茎粗的影响

Table1　Effects of different silicon levels on plant fresh weight and height and pseudo stem length and diameter of garlic seedlings

播后天数 (d) Day after planting	处理 Treatment	植株鲜重 (g) Plant fresh weight	株高 (cm) Plant height	假茎长 (cm) Pseudo stem length	假茎粗 (mm) Pseudo stem diameter
90	Si_0	17.77 ±0.39 bA	29.10 ±0.60 cB	5.47 ±0.06 bC	8.97 ±0.26 cC
	$Si_{0.75}$	19.02 ±2.27 abA	31.33 ±2.02 bAB	5.87 ±0.12 aAB	9.99 ±0.18 bcB
	$Si_{1.5}$	21.13 ±1.60 aA	34.00 ±0.00 aA	6.00 ±0.10 aA	11.48 ±0.10 aA
	$Si_{2.25}$	19.75 ±0.39 abA	29.83 ±1.04 bcB	5.83 ±0.12 aAB	10.33 ±0.42 bB
	$Si_{3.0}$	18.93 ±0.49 abA	29.30 ±0.69 bcB	5.60 ±0.09 bBC	10.00 ±0.20 bcB
135	Si_0	46.81 ±0.27 cCD	51.17 ±0.29 cC	10.23 ±0.25 dC	10.37 ±0.06 eD
	$Si_{0.75}$	48.70 ±0.42 cC	53.50 ±0.50 bB	11.00 ±0.50 cC	11.79 ±0.18 dC
	$Si_{1.5}$	60.04 ±1.37 aA	58.33 ±0.58 aA	12.90 ±0.66 aA	14.87 ±0.60 aA
	$Si_{2.25}$	54.91 ±0.31 bB	57.50 ±0.50 aA	11.90 ±0.17 bB	13.42 ±0.37 bB
	$Si_{3.0}$	49.67 ±2.89 cC	53.00 ±0.87 bB	10.67 ±0.29 cdC	12.52 ±0.21 cC
180	Si_0	78.02 ±2.16 dD	74.50 ±3.91 cB	12.67 ±0.29 dD	13.83 ±0.95 dC
	$Si_{0.75}$	86.18 ±2.06 cC	81.67 ±2.81 abcAB	12.97 ±0.47 dD	16.60 ±0.79 cB
	$Si_{1.5}$	118.38 ±2.31 aA	86.33 ±8.14 aA	17.50 ±0.66 aA	20.37 ±0.12 aA
	$Si_{2.25}$	115.92 ±1.54 aA	84.80 ±5.03 abA	16.5 ±0.70 bB	18.97 ±0.68 bAB
	$Si_{3.0}$	108.52 ±2.58 bB	78.00 ±6.93 bcAB	15.30 ±0.26 cC	18.53 ±0.25 bA

注(Note):同列中不同小写和大写字母分别表示差异达 5% 和 1% 显著水平 Different small and capital letters in the same column mean significant at the 5% and 1% levels, respectively.

90 d 时分别增加了 18.91%，16.83%，9.69%，27.98%；135 d 时分别增加了 28.26%，13.99%，26.10%，43.39%；180 d 时分别增加了 51.73%，15.88%，38.12%，47.29%（$P<0.05$）；并且除株高外，其它指标在生育后期的增加幅度比生育前期更大。可见适宜的硅水平（1.5 mmol/L）能很好地促进青蒜苗的生长，而且后期施用效果更明显，这样就为大蒜合理施用硅肥、实现高产奠定了基础。

2.2 硅对水培青蒜苗色素含量的影响

表2显示，在0～3 mmol/L范围内，叶绿素a、叶绿素b、叶绿素（a+b）以及类胡萝卜素含量均随硅浓度增加先升高后降低，1.5 mmol/L（$Si_{1.5}$）时最高，分别为0.71，0.19，1.11和0.20 mg/g，分别比不施硅处理（Si_0）增加了44.90%，58.33%，50.00%和33.33%（$P<0.05$）。说明营养液中硅浓度为1.5 mmol/L时最有利于青蒜苗叶片中色素的合成，提高光合作用和光能转换效率。

表2 不同硅水平对青蒜苗叶片光合色素含量的影响（mg/g，FW）

Table 2 Effects of different silicon levels on photosynthetic pigments of leaves of garlic seedlings

处理 Treatment	叶绿素a含量 Chlorophyll a content	叶绿素b含量 Chlorophyll b content	叶绿素（a+b）含量 Chlorophyll (a+b) content	类胡萝卜素含量 Carotenoid content
Si_0	0.49 c	0.12 c	0.74 c	0.15 c
$Si_{0.75}$	0.56 bc	0.13 bc	0.79 bc	0.18 b
$Si_{1.5}$	0.71 a	0.19 a	1.11 a	0.20 a
$Si_{2.25}$	0.59 b	0.15 b	0.86 b	0.18 b
$Si_{3.0}$	0.56 bc	0.14 bc	0.79 bc	0.17 b

注（Note）：同列中不同小写字母表示差异达5%显著水平 Different small letters in the same column mean significant at the 5% level.

2.3 硅对水培青蒜苗光合参数的影响

由表3可知，青蒜苗叶片净光合速率和气孔导度均随硅浓度增加先升高后降低，而蒸腾速率则是先降低后升高。净光合速率、气孔导度最高值和蒸腾速率的最低值都出现在Si 1.5 mmol/L处理中，与不施硅处理相比，净光合速率和气孔导度分别增加了32.41%和44.62%（$P<0.05$），蒸腾速率降低了22.00%（$P<0.05$）。说明营养液中硅浓度为1.5 mmol/L时，青蒜苗光合性状比较好，有利于光合产物的累积，并且蒸腾作用较低，水分利用率较高。表3还表明：各施硅处理的胞间CO_2浓度虽然都高于不施硅处理，而且随硅浓度升高呈单峰曲线变化，但差别不大，没有达到显著水平。

表3 不同硅水平对青蒜苗叶片光合参数的影响

Table 3 Effects of different silicon levels on photosynthetic parameters of leaves of garlic seedlings

处理 Treatment	净光合速率（Pn） Net photosynthetic rate [μmol/(m²·s)]	蒸腾速率（Tr） Transpiration rate [mmol/(m²·s)]	气孔导度（Gs） Stomatal conductance [mmol/(m²·s)]	胞间CO_2浓度（Ci） Intercellular CO_2 (μmol/mol)
Si_0	14.50±1.28 bB	6.59±0.09 aA	607.33±2.08 dD	349.33±3.05 bA
$Si_{0.75}$	15.17±0.86 bB	5.86±0.21 bB	664.33±6.66 cC	358.67±6.43 abA
$Si_{1.5}$	19.20±1.00 aA	5.14±0.33 cC	878.34±9.50 aA	362.00±2.26 abA
$Si_{2.25}$	17.33±1.52 aAB	5.97±0.30 bAB	796.00±4.00 bB	375.67±1.15 aA
$Si_{3.0}$	17.67±1.04 aAB	6.13±0.07 bAB	671.33±5.50cC	367.33±4.93 abA

注（Note）：同列中不同小写和大写字母分别表示差异达5%和1%显著水平 Different small and capital letters in the same column mean significantly different at the 5% and 1% levels, respectively.

2.4　硅对青蒜苗品质的影响

2.4.1 硅对青蒜苗可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响　图 1 表明，在 0～3 mmol/L 硅浓度范围内，叶片中可溶性蛋白含量随着硅浓度的增加先降低后升高，而假茎中可溶性蛋白含量的变化与叶片恰好相反。$Si_{1.5}$处理中叶片的可溶性蛋白含量最低，与对照相比三个生育期（90 d、135 d、180 d）分别降低了 21.62%、15.76%、17.47%；同时假茎中各生育期可溶性蛋白含量的最高值（5.02 mg/g，9.70 mg/g，11.90 mg/g）也出现在 $Si_{1.5}$处理中，与对照相比分别增加了 53.73%、32.85% 和 44.14%。可见，硅浓度为 1.5 mmol/L 时最有利于青蒜苗叶片中可溶性蛋白的合成以及向假茎中的转运。

图 1 中可以看出，叶片和假茎中可溶性糖含量均随着硅浓度的增加呈先升高后降低的趋势，最高值均出现在 $Si_{1.5}$处理中，播种后 180 d 时比对照分别增加了 41.96% 和 40.82%，差异显著。由此可见，营养液中硅素水平 1.5 mmol/L 时对青蒜苗可溶性糖合成最有利。

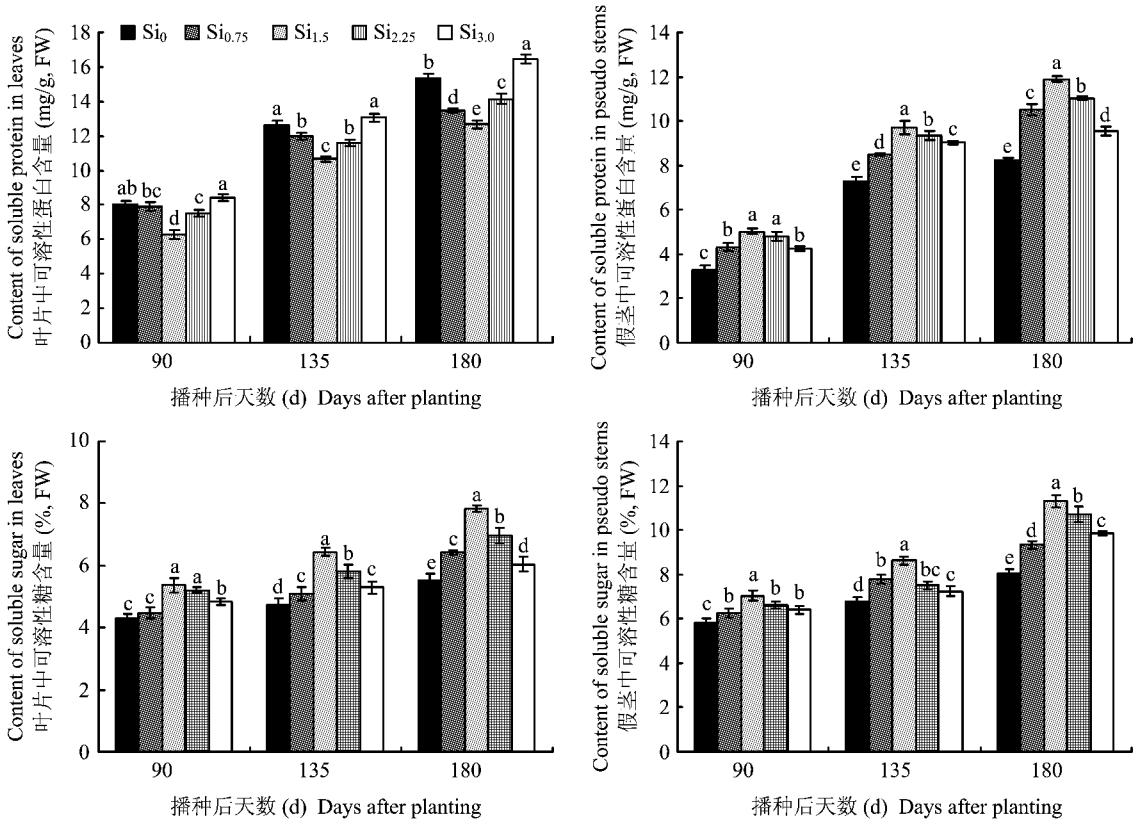

图 1　硅对青蒜苗可溶性蛋白和可溶性糖含量的影响

Fig.1　Effect of silicon on the contents of soluble protein and soluble sugar of garlic seedlings

［注（Note）：图中同一采样期不同字母表示处理间差异达 5% 显著水平 Different letters at the same sampling date mean significant at the 5% level.］

2.4.2 硅对青蒜苗维生素 C 和游离氨基酸含量的影响　从图 2 可以看到，在 0～3 mmol/L 范围内，随着硅浓度的增加，青蒜苗三个生育期叶片和假茎中维生素 C 含量都是先升高后降低，$Si_{2.25}$处理中最高，与对照相比差异显著，但 $Si_{2.25}$处理和 $Si_{1.5}$差异不显著。同时图 2 表明，青蒜苗各生育期游离氨基酸含量的变化趋势和维生素 C 相似，最高值也出现在 $Si_{2.25}$中，而且 $Si_{2.25}$处理和对照差异显著，但与 $Si_{1.5}$处理差异不显著。由此可见，硅能够促进青蒜苗中维生素 C 和游离氨基酸的合成，并且硅浓度在 1.5～2.25 mmol/L 之间效果较好。

3　讨论与结论

研究表明硅对于促进植物生长发育有重要作用，它不仅能够促进植物根系生长，增强根系活力，改善通气组织和根部氧化能力，提高其对水分和养分的吸收量，同时还可以增加植株的呼吸率以及叶片和根系中的 ATP 含量[15]，为植物的生命活动提供能量。本

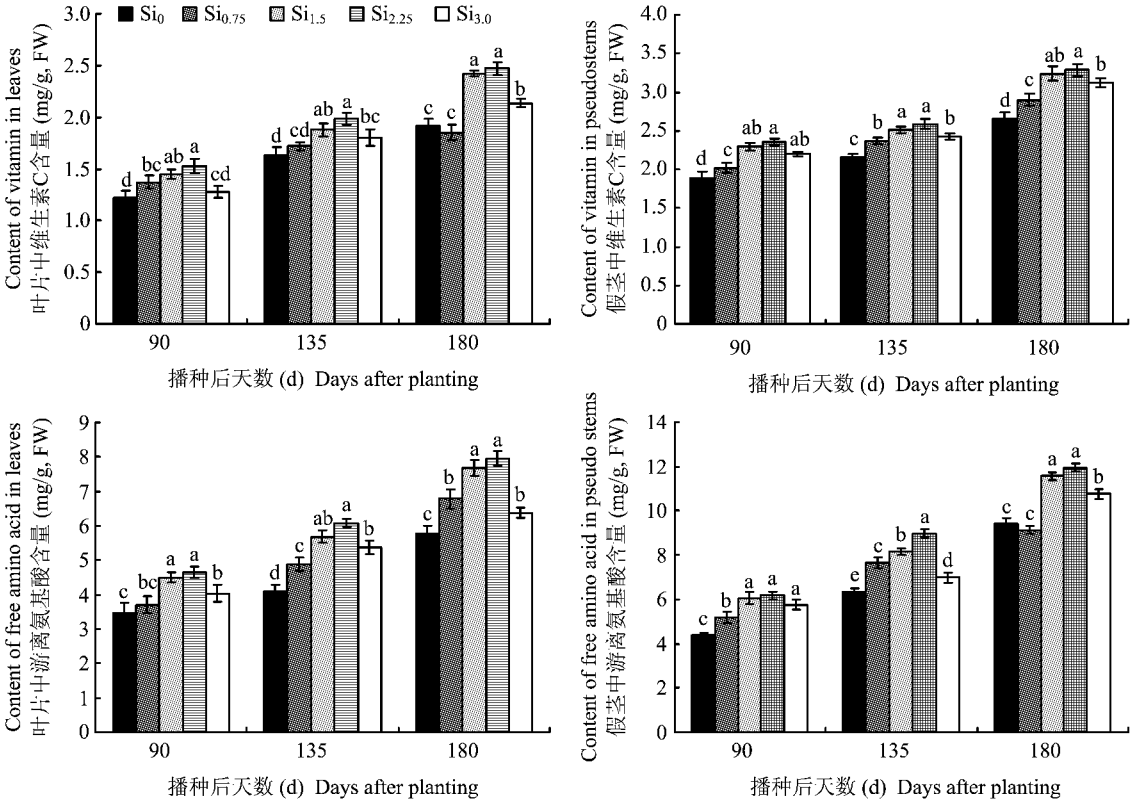

图2 硅对青蒜苗维生素C和游离氨基酸含量的影响

Fig. 2 Effect of silicon on the contents of vitamin C and free amino acid of garlic seedlings

[注(Note):图中同一采样期不同字母表示处理间差异达5%显著水平 Different letters at the same sampling date mean significant at the 5% level.]

试验中,低浓度硅显著增加了青蒜苗各生育期的植株鲜重、株高、假茎长和假茎粗,且当硅浓度为1.5 mmol/L时上述各指标值最大,硅浓度超过1.5 mmol/L时,增加效果则不明显。这与Lee等[16]在大豆、曹逼力等[17]在番茄、高熙等[18]在草莓、Abro等[19]在小麦上的研究结果相似。

硅对大蒜叶片色素含量有显著的影响。本试验中叶绿素a、叶绿素b、叶绿素(a+b)以及类胡萝卜素含量均随着硅浓度增加先上升后下降,最大值都出现在$Si_{1.5}$处理中。这与Liang等[20]在硅藻,马成仓等[21]在玉米上的研究结果相似。但也有一些研究指出增施硅对生姜[22]、大豆[23,24]叶绿素含量没有显著影响。由此可见硅对不同植物色素含量的影响因植物而异。不过几乎所有研究均表明增施硅能够增强植物的光合速率,降低蒸腾速率,本试验中硅对植物光合速率和蒸腾速率的影响与先前的研究[25,26]一致。在0～1.5 mmol/L的范围内,随着Si浓度的增加,光合速率和气孔导度升高,蒸腾速率降低,而在1.5～3 mmol/L的范围内,光合速率和气孔导度随着Si浓度的增加降低,蒸腾速率则升高。但不同浓度硅对青蒜苗胞间CO_2浓度的变化没有显著影响。对于硅能增强植物光合作用的原因,有一种观点[3]认为可能是充满了硅酸的硅化细胞导致的,因为硅化细胞对于散射光的透过量为绿色细胞的10倍,起了增加阳光吸收的天窗的作用,从而促进了光合作用。饶丽华[15]研究认为是硅使水稻植株茎叶之间的夹角减小,改善了个体及群体条件,同时使叶细胞中的叶绿体增大,基粒片层增多,叶绿素含量增加造成的。张国芹[22]则认为是硅增强了植物叶片中叶绿体的偶联因子Mg^{2+}-ATPase和Ca^{2+}-ATPase活性,从而促进了光合磷酸化的进行。硅能降低蒸腾速率是因为供硅可加厚细胞,使细胞壁表面形成角质-双硅层,降低了水分或水汽的渗透,而且沉积在植株体内的硅胶对水分具有很强的吸附能力[3]。而邹春琴等[27]的研究则表明硅降低蒸腾速率主要是通过降低气孔蒸腾来实现的,不仅仅是叶片的角质层蒸腾。本试验中气孔导度随硅浓度的增加而升高,因此硅应该不是降低气孔蒸腾,至于硅能降低蒸腾的具体机制还有待进一步研究确定。

可溶性蛋白是衡量青蒜苗营养品质的一个重要

生理生化指标,硅对可溶性蛋白的合成有重要的促进作用。李佐同等[28]就研究表明随着硅浓度增加,玉米幼苗根系和叶片中可溶性蛋白含量都显著增加,并且在 2 mmol/L 硅酸钠处理中最高。周秀杰等[29]也发现硅能显著增加水分胁迫下黄瓜幼苗内的可溶性蛋白含量,从而降低细胞的渗透势,增强其抗旱性。张翠珍等[30]研究了硅对糯玉米品质的影响,发现施用硅肥的糯玉米粗蛋白和赖氨酸含量都有不同程度的增加,改善了玉米的品质和适口性,从而提高了其商品价值。本试验中,青蒜苗叶片可溶性蛋白含量随着硅浓度的增加先降低后升高,$Si_{1.5}$处理含量最低,而假茎与叶片正好相反,$Si_{1.5}$处理时含量最高,说明施硅促进了可溶性蛋白的合成及由叶片向假茎中的转移,而假茎作为青蒜苗的主要食用器官,可溶性蛋白的合成与积累,有利于其食用品质的提高。

作为光合的初级产物和植物各种生理代谢途径的前提物质,可溶性糖是干旱胁迫诱导的小分子溶质之一,它不仅参与植物体内渗透调节,在维持植物蛋白质稳定方面也有重要作用。庄国成[31]认为硅能降低甘蔗体内的转化酶、过氧化酶、腺苷三磷酸酶的活性,从而利于蔗糖的累积。本试验中一定浓度的 Si (1.5 mmol/L)促进了青蒜苗叶片和假茎中可溶性糖的合成。这可能是由于硅提高了叶片中色素含量,增强了光合作用,促进了碳水化合物的合成和累积。本试验结果与石彦召等[32]在葡萄、薛高峰等在西芹[33]、番茄[34]上的研究结果相似。

维生素 C 是广泛存在于新鲜蔬菜和水果中的一种重要的维生素,它是一种高活性物质,参与植物体内多种新陈代谢过程,在植物衰老和逆境等自由基伤害理论研究中对其研究尤为关键。本试验中,随着硅浓度的提高,青蒜苗叶片和假茎中维生素 C 含量都是先增加后降低,$Si_{2.25}$处理时最高。这与薛高峰等[34]在番茄、胡京昂等[35]在芥蓝、王明祖等[36]在甜瓜上的研究一致。与张国芹等[37]在生姜,李佐同[28]在玉米上的研究结果相似,本试验中,青蒜苗叶片和假茎中游离氨基酸含量也随着硅浓度的增加先升高后降低,$Si_{2.25}$处理时最高。维生素 C 和游离氨基酸含量的提高可能是由于施硅促进了青蒜苗对氮、磷等其它养分的吸收,增加了叶片中色素含量,从而增强了青蒜苗的光合作用,促进了维生素 C 和氨基酸的合成和累积。但 $Si_{2.25}$处理和 $Si_{1.5}$处理相比维生素 C 和游离氨基酸含量都差异不显著,说明对青蒜苗维生素 C 和游离氨基酸合成的最佳硅浓度范围为 1.5 ~ 2.25 mmol/L 之间。

综合分析本试验中硅对青蒜苗植株鲜重、株高、假茎长、假茎粗、色素含量、光合特性以及营养品质的影响,认为在水培条件下对青蒜苗优质高产的最佳硅浓度为 1.5 mmol/L。

参 考 文 献:

[1] 刘世琦. 蔬菜栽培学简明教程[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007, 173.
Liu S Q. Concise guide of olericulture[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2007. 173.

[2] 周鸣铮. 土壤肥力学概论[M]. 浙江科学技术出版社, 1985, 283.
Zhou M Z. Introduction to soil fertility study[M]. Zhejiang Science and Technology Press, 1985, 283.

[3] 何念祖, 孟赐福. 植物营养原理[M]. 上海科学技术出版社, 1985, 315-317.
He N Z, Meng C F. The principles of plant nutrition[M]. Shanghai Science Technology Press, 1985, 315-317.

[4] 邓接楼, 王艾平, 何长水, 等. 硅肥对水稻生长发育及产量品质的影响[J]. 广东农业科学, 2011, (12): 58-61.
Deng J L, Wang A P, He C S *et al*. Effect of silicon fertilizer on growth and development, yield and quality of rice[J]. Guangdong Agriculture Science, 2011, (12): 58-61.

[5] 梁永超, 陈兴华, 马同生, 等. 硅对番茄生长、产量与品质的影响[J]. 江苏农业科学, 1993, (4): 48-50.
Liang Y C, Chen X H, Ma T S *et al*. Effect of silicon on growth, yield and quality of tomato[J]. Jiangsu Agriculture Science, 1993, (4): 48-50.

[6] 卢钢, 曹家树. 硅对甜瓜早熟性及光合特性的影响[J]. 园艺学报, 2001, 28(5): 421-424.
Lu G, Cao J S. Effect of silicon on prematurity and photosynthetic characteristics of melon[J]. Acta Horticulture Sinica, 2001, 28(5): 421-424.

[7] 王耀晶, 刘鸣达, 李冬. 施硅对草莓光合特性和产量的影响[J]. 北方园艺, 2009(12): 90-92.
Wang Y J, Liu M D, Li D. Effect of silicon on photosynthetic characteristic and yield of strawberry[J]. North Horticulture, 2009, (12): 90-92.

[8] Janislampi K W. Effect of silicon on plant growth and drought stress tolerance[D]. USA: MS thesis, Utah State University, 2012.

[9] 余晔, 杜金萍, 杜相革. 硅对黄瓜霜霉病抑制效果和抗性相关酶活性的影响[J]. 植物保护学报, 2010, 37(1): 37-41.
Yu Y, Du J P, Du X G. Effects of silicon on the efficacy of downy mildew control and the activities of defense-related enzymes in cucumber[J]. Acta Phytophy Sinica, 2010, 37(1): 37-41.

[10] 周建华, 王永锐. 硅营养缓解水稻幼苗 Cd、Cr 毒害的生理研究[J]. 应用与环境生物学报, 1999, 5(1): 11-15.
Zhou J H, Wang Y R. Physiological studies on recieving effects of Cd and Cr poisoning on rice seeding through silicon nutrition[J]. Chinese Journal of Applied Environment and Biology, 1995, 5(1): 11-15.

[11] 李春花，刘新保，褚天铎，等. 高产玉米硅锌锰营养及效应研究[J]. 土壤肥料，1999(5)：15-17.
Li C H, Liu X B, Chu T D *et al*. Study of silicon manganese zinc on nutrition and effects of high yield corn[J]. Soil and Fertilizer, 1999, (5): 15-17.

[12] 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(农业与生命科学版)，2010，31(3)：44-49.
Wang X, Zhang G L, Huo Z Y *et al*. Effects of application of nitrogen combined with silicon on the photosynthesis and activities of nitrogen metabolic enzyme of rice leaf[J]. Journal of Yangzhou University (Agriculture & Life Science), 2010, 31(3): 44-49.

[13] 赵世杰，史国安，董新纯. 植物生理学实验指导[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2002.
Zhao S J, Shi G A, Dong X C. Guidance of plant physiology experiments [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002.

[14] 王学奎. 植物生理生化实验原理和技术(第2版)[M]. 北京：高等教育出版社，2006.
Wang X K. Principles and techniques of plant physiological biochemical experiments (2nd Ed) [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006.

[15] 饶立华，覃莲祥，朱玉贤. 硅对杂交稻形态结构和生理的效应[J]. 植物生理学通讯，1986，(3)：20-24.
Rao L H, Tan L X, Zhu Y X. The effect of silicon on the morphological structure and physiology of hybrid rice[J]. Plant Physiol. Comm, 1986, (3): 20-24.

[16] Lee S K, Sohn E Y, Hamayun M *et al*. Effect of silicon on growth and salinity stress of soybean plant grown under hydroponic system [J]. Agroforestry Syst, 2010, 80(3): 333-340.

[17] 曹逼力，徐坤，石健，等. 硅对番茄生长及光合与蒸腾作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2013，19(2)：354-360.
Cao B L, Xu K, Shi J *et al*. Effects of silicon on growth, photosynthesis and transpiration of tomato[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2013, 19(2): 354-360.

[18] 高熙，武华文. 硅对草莓品质和产量的影响研究[J]. 现代农业科技，2010，(16)：122-123.
Gao X, Wu H W. Study of silicon effects on quality and yield of strawberry[J]. Modern Agricultural Science and Technology, 2010, (16): 122-123.

[19] Abro S A, Qureshi R, Soomro F M *et al*. Effects of silicon levels on growth and yield of wheat in silty loam soil[J]. Pakistan Journal of Botany, 2009, 41(3): 1385-1390.

[20] Liang Y, Yin C L, Jiang X Q *et al*. Effects of different Si concentrations on the growth and chlorophyll fluorescence of Chaetoceros gracilis and Phaeodactylum tricornutum[J]. Marina Fish Research, 2007, 28(5).

[21] 马成仓，李清芳，束良佐，张经余. 硅对玉米种子萌发和幼苗生长作用机制初探[J]. 作物学报，2002，28(5)：665-669.
Ma C C, Li Q F, Shu L Z, Zhang J Y. Preliminary explanation of the mechanism about effect of silicon on maize seed germination and seeding growth[J]. Acta Agronomy Sinica, 2002, 28(5): 665-669.

[22] 张国芹，徐坤，王兴翠，等. 硅对生姜水、二氧化碳交换特性的影响[J]. 应用生态学报，2008，19(8)：1702-1707.
Zhang G Q, Xu K, Wang X C *et al*. Effect of silicon on exchange characteristics of H_2O and CO_2 in ginger leaves[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2008, 19(8): 1702-1707.

[23] 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.

[24] 牟英辉，陈志梁，程艳波，等. 硅肥对大豆农艺性状、产量及品质的影响[J]. 大豆科学，2012，31(4)：625-629.
Mou Y H, Chen Z L, Cheng Y B *et al*. Effects of silicon fertilization on agronomic traits, yield and quality of soybean[J]. Soybean Science, 2012, 31(4): 625-629.

[25] 朱佳，梁永超，丁燕芳，李兆君. 硅对低温胁迫下冬小麦幼苗光合作用及相关生理特性的影响[J]. 中国农业科学，2006，39(9)：1780-1788.
Zhu J, Liang Y C, Ding Y F, Li Z J. Effect of silicon on photosynthesis and its related physiological parameters in two winter wheat cultivars under cold stress[J]. Scienta Agricultura Sinica, 2006, 39(9): 1780-1788.

[26] 李清芳，马成仓. 土壤有效硅对棉花幼苗营养代谢的影响[J]. 中国农业科学，2003，36(6)：726-730.
Li Q F, Ma C C. Effect of available silicon in soil on nutritive metabolism of cotton seeding[J]. Scienta Agricultrea Sinica, 2003, 36(6): 726-730.

[27] 邹春琴，高霄鹏，刘颖杰，等. 硅对向日葵水分利用效率的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11(4)：547-550.
Zhou C Q, Gao X P, Liu Y J *et al*. Effects of silicon on water use efficiency in sunflower with solution culture[J]. Plant Nutrition and Fertilizer Science, 2005, 11(4): 547-550.

[28] 李佐同，高聚林，王玉凤，杨克军. 外源硅对NaCl胁迫下玉米幼苗渗透调节物质含量影响[J]. 玉米科学，2011，19(3)：91-97.
Li Z T, Gao J L, Wang Y F, Yang K J. Effects of silicon application on the content of osmotic adjustable substances of maize seedlings under NaCl stress[J]. J. Maize Science, 2011, 19(3): 91-97.

[29] 周秀杰，赵红波，马成仓. 硅提高黄瓜幼苗抗旱性的研究[J]. 中国农学通报，2010，26(9)：195-197.
Zhou X J, Zhao H B, Ma C C. Studies on silicon increased drought resistance of cucumber seedlings[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(9): 195-197.

[30] 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 Agriculture University (Natural Science), 2007, 38(3): 360-362.

[31] 庄国成,张金雨. 施用炉渣灰(硅肥)对甘蔗产量和糖分含量的影响[J]. 甘蔗,1998,5(2):41-43.
Zhuang G C, Zhang J Y. Effect of deshydratees (silicon) on yield and sugar content of sugarcane[J]. Sugarcane, 1998, 5(2): 41-43.

[32] 石彦召,荣娇凤,苏利,等. 增施硅肥对葡萄生理、品质的影响研究[J]. 吉林农业,2010,(11):98-100.
Shi Y Z, Rong J F, Shu L *et al*. Effect of silicon on physiology and quality of grape[J]. Jilin Agric, 2010, (11): 98-100.

[33] 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):176-181.
Xue G F, Sun Y X, Chen Y H *et al*. Influences of spraying different forms of silicon on nutrient absorption, yield and quality of celery[J]. Acta Agriculturea Nuclear Sinica, 2012, 26(1): 176-181.

[34] 薛高峰,张贵龙,孙焱鑫,等. 喷施不同形态硅对温室番茄生长发育及品质的影响[J]. 中国农学通报,2012,28(16):272-276.
Xue G F, Zhang G L, Sun Y X *et al*. Influences of spraying two different forms of silicon on plant growth and quality of tomato in solar greenhouse [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2012, 25(16): 272-276.

[35] 胡京昂,张建国,支慧,等. 施用硅肥对芥蓝产量和品质的影响[J]. 中国瓜菜,2011,24(4):37-38.
Hu J A, Zhang J G, Zhi H *et al*. Effect of silicon on yield and quality of cabbage mustard[J]. China Cucurbits and Vegetable, 2011, 24(4): 37-38.

[36] 王明祖,何生根. 施用硅酸钠对甜瓜产量和品质的影响[J]. 农业与技术,2004,24(3):91-92.
Wang M Z, He S G. Effect of silicon on yield and quality of melon [J]. Agriculture and Technology, 2004, 24(3): 91-92.

[37] 张国芹. 硅对生姜生长及生理特性的影响[D]. 泰安:山东农业大学硕士学位论文,2008.
Zhang G Q. Effect of silicon on the growth and some physiological characteristics of ginger [D]. Taian: MS thesis, Shandong Agricultural University, 2008.