植物营养与肥料学报 2012,18(3):733 -741
Plant Nutrition and Fertilizer Science

硒对大蒜生理特性、含硒量及品质的影响

夏永香,刘世琦*,李 贺,陈祥伟
(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,农业部园艺作物生物学重点开放实验室,
山东泰安 271018)

摘要: 以"金蒜3号"为试材,采用盆栽试验,通过叶面喷施不同浓度、不同次数的亚硒酸钠研究了硒对大蒜生理特性、含硒量和品质的影响。结果表明,在生长期4月5日、15日和25日累计喷施1次、2次、3次3个浓度(5、10、15 mg/L)的亚硒酸钠溶液,均不同程度影响大蒜生理特性、含硒量和品质。与对照相比,叶面喷施2次10 mg/L的亚硒酸钠溶液,可显著提高叶片中光合色素含量和光合性能;能显著改善蒜薹和鳞茎品质,单薹鲜质量和单头鲜质量分别提高68.25%和29.00%,可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C含量分别提高73.05%、104.66%、18.95%和82.01%、51.27%、69.82%;并可有效提高鳞茎中游离氨基酸含量(38.91%),降低蒜薹中游离氨基酸含量(36.95%);同时可降低蒜薹和鳞茎中大蒜素含量,但差异不显著。蒜薹和鳞茎硒含量随硒浓度和喷施次数的增加而显著提高,最高可达19.81和23.96 mg/kg,为对照的3.85和4.41倍。综合各因素指标,大蒜以叶面喷施2次10 mg/L的亚硒酸钠为宜。

关键词: 大蒜;硒;生理特性;产量;品质
中图分类号: S633.4;S143.7+9　　**文献标识码:** A　　**文章编号:** 1008-505X(2012)03-0733-09

Effects of selenium on physiological characteristics, selenium content and quality of garlic

XIA Yong-xiang, LIU Shi-qi*, LI He, CHEN Xiang-wei
(*College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University/State Key Laboratory of Crop Biology/Ministry of Agriculture Key Laboratory of Horticultural Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China*)

Abstract: A pot experiment was used to investigate the effects of Se on physiological characteristics, Se content and quality of garlic (*Allium sativum* L. cv. Golden garlic 3) by spraying sodium selenite on leaves of garlic. The results show that physiological characteristics, Se content and quality of garlic are influenced by spraying three concentrations (5, 10 and 15 mg/L) of sodium selenite with different times (1, 2 and 3 times) on April 5th, 15th and 25th. Compared with CK, the photosynthetic pigment content and photosynthetic capacity of the leaves by spraying two times of 10 mg/L sodium selenite solution are increased effectively, the quality of bolts and bulbs are improved significantly, the fresh weights per bolt and per bulb are increased by 68.25% and 29.00%, and the contents of soluble sugar, soluble protein and vitamin C in bolts and bulbs are increased by 73.05%, 104.66%, 18.95% and 82.01%, 51.27%, 69.82%, respectively. Moreover, the free amino acid content in bulbs is higher (about 138.91% of CK bulb's) than that in CK bulbs, while the free amino acid content in bolts is lower (about 63.05% of CK bolt's) than that in CK bolts, and the allicin contents in bolts and bulbs are reduced. We also find that in all the treatments, Se contents in bolts and bulbs are enhanced significantly with application dosage and time of Se, the highest values are 3.85 and 4.41 times of those in CK, respectively. In our experiment, we conclude that the quality of garlic can be improved effectively by spraying 10 mg/L Se for two times on garlic leaves.

Key words: garlic; selenium; physiological characteristic; yield; quality

收稿日期: 2011-09-26　　**接受日期:** 2011-11-10
基金项目: 国家公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903018)资助。
作者简介: 夏永香(1986—),女,山东临沂人,硕士研究生,主要从事蔬菜栽培生物学研究。E-mail: 295035282@qq.com
* 通讯作者 E-mail: liusq99@sdau.edu.cn

硒是一种比较稀有的元素,也是人体和动物体维持机体健康必需的微量元素[1]。缺硒可引起人类和动物的多种疾病,但在我国72%的地区属于缺硒或低硒地区[2]。近年来的研究证明,通过土壤—植物—(动物)—人的食物链方式补硒是最安全最有效的途径,因为蔬菜可以将毒性高的无机硒转化为毒性小的有机硒[3]。然而大多数蔬菜中的硒含量均较低,所以通过提高蔬菜中的含硒量达到补硒的目的具有很大的潜力。

大蒜是天然的含硒植物,可以作为硒的载体,特别是有机硒的载体,可望成为一种理想的补硒天然食品。段咏新等[4]对硒在大蒜体内的生物富集及其抗氧化作用做了研究,得出适量的硒可以促进大蒜生长,提高大蒜中蛋白质、可溶性糖、DNA、RNA含量;王晋民等[5]通过不同硒处理对大蒜影响的研究表明,适量的硒能提高大蒜的产量、有机硒含量和硒的转化率,提高大蒜Mg、K、Fe的含量,而降低大蒜中Vc、粗纤维、总糖含量;院金谒等[6]也证明土壤中施用适量的硒对提高大蒜叶片叶绿素、SOD活性和鳞茎硒含量及有机硒转化率作用显著,对大蒜的生长发育有明显的促进作用;王永勤等[7]证明大蒜叶面喷施适量的硒可以增加大蒜产量、硒含量和有机硒转化率,过量的硒则对大蒜产生抑制作用,甚至出现硒中毒。目前国内外关于硒对大蒜影响的研究还不算成熟,有关硒对大蒜生理特性及蒜薹和鳞茎产量、品质的综合报道较少。本文采用盆栽试验,通过叶面喷施不同次数、不同浓度的亚硒酸钠溶液,全面探讨硒对大蒜光合特性、含硒量、产量和品质的影响,旨在寻找出最合适的喷施次数与浓度,为富硒大蒜的开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验设计

试验于2010年10月至2011年6月在山东农业大学蔬菜试验站进行。土壤肥力状况:有机质含量21.47 g/kg、有效氮79.34 mg/kg、有效磷23.67 mg/kg、有效钾98.23 mg/kg、全硒0.203 mg/kg,土壤pH值为6.67。供试大蒜品种为"金蒜3号"。

试验采用双因素随机区组设计,主因素为施Na_2SeO_3 4个水平:0(Se0)、5(Se1)、10(Se2)、15 mg/L(Se3),副因素为喷施1次(4月25日喷施一次,T1)、2次(4月15日和25日各喷一次,T2)、3次(4月5日、15日和25日各喷一次,T3)3个处理。其中,每次喷施1000 mL,Se0为喷施等量蒸馏水的对照处理。试验采用直径30 cm、高30 cm的营养钵,每钵装风干土15 kg,每钵施入15 g硫酸钾复合肥($N:P_2O_5:K_2O=15:15:15$)做基肥,与土充分混匀。2010年10月3日播种,每钵种植大蒜5棵。每个处理重复12次,共144盆。生长期(2011年3月25日)追施一次尿素2.5 g/盆,进行正常的田间管理。

由于喷施1次(T1)、2次(T2)、3次(T3)的Se0处理的大蒜生理生化、含硒量和品质指标差异不显著,在不影响试验结果准确性的基础上,本试验将T1Se0、T2Se0、T3Se0处理的平均值作为统一的对照(即CK)。

1.2 样品采集与测定

2011年5月6日测定叶片光合速率、气孔导度、胞间CO_2浓度、蒸腾速率,5月7日测定叶片光合色素含量。5月11日采收蒜薹,6月2日采收鳞茎,分别于采收后测定蒜薹、鳞茎含硒量、产量和品质(可溶性糖、维生素C、可溶性蛋白、游离氨基酸和大蒜素),每处理取样10株,混匀,3次重复。

光合参数采用TPS-2光合仪于2011年5月6日上午8:30~10:00进行测定,光强1200~1400 μmol/(m^2·s),气温20~23℃,叶温20~24℃,CO_2浓度374~381 μmol/mol,测定部位为从上数第4片叶中间,每水平随机测定5株,即重复5次;光合色素含量测定采用丙酮比色法[8]。

蒜薹抽出打弯时从近地面向上10~15 cm处采收,用MP200B电子天平测定每个处理蒜薹的平均重量;鳞茎采收后,从鳞茎上部膨大处向上2 cm位置剪去上部假茎,去除根系,自然风干20 d,用MP200B电子天平测定蒜头的重量。

可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C和大蒜素用鲜样测定,分别采用蒽酮比色法[8]、考马斯亮蓝法[8]、二甲苯比色萃取法和苯腙法[9]。

将蒜薹和鳞茎105℃杀酶15min,80℃烘干至恒重,粉碎、过筛后,分别采用茚三酮法和分光光度法[10]测定游离氨基酸含量和硒含量。

1.3 数据处理

试验数据采用DPS6.55和Microsoft Excel2003进行统计分析。采用Duncan新复极差法进行多重比较。

2 结果分析

2.1 硒对大蒜叶片光合色素的影响

硒肥喷施次数和喷施浓度对大蒜叶片叶绿

素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和叶绿素(a+b)含量影响极显著(图1、表1)。喷施3个浓度的硒肥均能显著提高大蒜叶片中叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和叶绿素(a+b)含量,且呈先升高后降低的抛物线趋势。喷施1次和2次硒肥处理(T1、T2),Se2(10 mg/L)水平下叶片叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和叶绿素(a+b)含量增幅最大,其中 T1Se2 处理较 CK 分别提高 25.98%、24.92%、29.72% 和 25.74%;T2Se2 处理较 CK 分别提高 35.36%、33.27%、31.24% 和 34.88%,其最有利于大蒜叶片光合色素的合成。喷施3次硒肥处理(T3),Se1(5 mg/L)水平下叶片叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和叶绿素(a+b)含量达到最高值,较 CK 分别提高 28.68%、27.34%、28.68% 和 28.38%,差异极显著。高浓度(Se3)的硒肥对提高大蒜叶片叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素和叶绿素(a+b)含量的效果降低,处理 T3Se3 达到最低值,分别较 CK 提高 4.91%、5.93%、3.61% 和 5.14%。

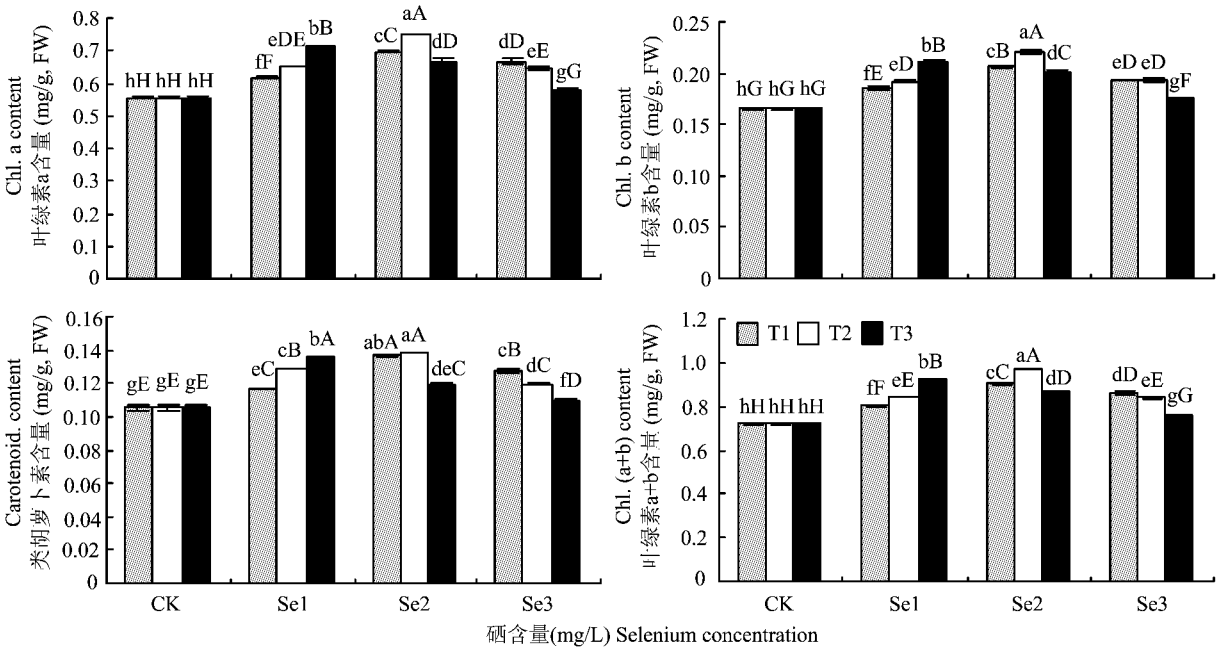

图1　硒肥喷施次数和浓度对大蒜叶片光合色素含量的影响

Fig. 1　Effects of different Se spraying frequencies and concentrations on photosynthetic pigment content of garlic leaves

[注(Note):柱上不同大、小写字母分别表示处理间差异达1%或5%水平 Different capital and small letters above bars indicate significantly different among treatments at the 1% and 5% probability levels, respectively.]

表1　硒肥喷施次数和浓度对大蒜叶片光合色素含量影响的差异显著性分析(*F* 值)

Table 1　Significance analyses of effects of different Se spraying frequencies and concentrations on photosynthetic pigment content of garlic leaves (*F*-value)

光合色素 Photosynthetic pigment	喷施次数 Spraying frequency (T)	硒浓度 Se concentration (Se)	喷施次数×浓度 T×Se
Chl. a	48.74**	1109.68**	170.10**
Chl. b	31.07**	1148.53**	132.62**
Chl. (a+b)	66.19**	1684.75**	242.31**
Car.	61.51**	673.46**	144.79**

注(Note):** 表示 0.01 水平差异显著 Denote significant differences at the 0.01 probability level.

2.2　硒对大蒜叶片光合参数的影响

表2表明,Se1、Se2、Se3 浓度下喷施1次、2次、3次处理均显著提高了叶片的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度。各喷施次数下,大蒜叶片净光合速

率、蒸腾速率和气孔导度的变化均随硒浓度增加呈先升高后降低的趋势，喷施1次(T1)、2次(T2)硒肥处理，Se2浓度增幅最大，T1Se2、T2Se2与CK相比，净光合速率分别提高61.42%、88.02%，蒸腾速率分别提高50.00%、72.30%，气孔导度分别提高85.63%、92.35%；喷施3次(T3)硒肥处理，Se1浓度增幅最大，与CK相比，T3Se1处理净光合速率、蒸腾速率和气孔导度分别提高了68.16%、51.01%和87.46%。T3Se3处理净光合速率、蒸腾速率和气孔导度达到所有处理的最低值(除CK)，说明喷施3次高浓度(Se3)硒肥不利于净光合速率、蒸腾速率和气孔导度的提高。由表2还可看出，胞间CO_2浓度的变化与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度的变化趋势相反，除处理T1Se1、T3Se3外，其它各处理均显著降低叶片胞间CO_2浓度，T1Se2、T2Se2、T3Se1处理达到各喷施次数的最低值，分别比CK降低10.38%、16.21%、11.11%。

总之，硒肥喷施次数和浓度对大蒜叶片净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间CO_2浓度的影响显著，其中喷施2次10 mg/L浓度的硒肥处理最有利于大蒜叶片光合性能的提高，更有利于光合物质的积累。

表2 硒肥喷施次数和浓度对大蒜叶片光合参数的影响

Table 2 Effects of different Se spraying frequencies and concentrations on photosynthetic parameters of garlic leaves

喷施次数 Spraying frequency	硒浓度水平 Selenium concentration	净光合速率 (Pn) Net photosynthetic rate [μmol/(m²·s)]	蒸腾速率 (E) Transpiration rate [mmol/(m²·s)]	气孔导度 (Gs) Stomatal conductance [mmol/(m²·s)]	胞间CO_2浓度 (Ci) Intercell. CO_2 conc. (μL/L)
T1	CK	13.35 ±0.35 hI	1.48 ±0.04 gF	163.5 ±2.12 hG	274.5 ±3.54 aA
	Se1	17.55 ±0.07 fG	1.87 ±0.04 eD	242.5 ±0.71 gF	266.0 ±4.24 bAB
	Se2	21.55 ±0.21 cC	2.22 ±0.01 bcB	303.5 ±0.71 bcB	246.0 ±1.41 deD
	Se3	21.30 ±0.28 cCD	2.18 ±0.02 bcB	300.0 ±2.83 cB	250.5 ±3.54 cdD
T2	CK	13.35 ±0.35 hI	1.48 ±0.04 gF	163.5 ±2.12 hG	274.5 ±3.54 aA
	Se1	20.40 ±0.14 dE	2.16 ±0.01 cB	270.5 ±0.71 eD	260.0 ±1.41 bBC
	Se2	25.10 ±0.28 aA	2.55 ±0.01 aA	314.5 ±3.54 aA	230.0 ±2.83 fE
	Se3	19.00 ±0.28 eF	2.06 ±0.01 dC	258.0 ±4.24 fE	262.5 ±0.71 bB
T3	CK	13.35 ±0.35 hI	1.48 ±0.04 gF	163.5 ±2.12 hG	274.5 ±3.54 aA
	Se1	22.45 ±0.21 bB	2.24 ±0.04 bB	306.5 ±2.12 bB	244.0 ±2.83 eD
	Se2	20.50 ±0.14 dDE	2.02 ±0.01 dC	281.5 ±2.12 dC	253.0 ±1.41 cCD
	Se3	16.65 ±0.35 gH	1.76 ±0.03 fE	239.5 ±2.12 gF	272.5 ±2.12 aA
			*F*值 *F*-value		
喷施次数 Spraying frequency(T)		47.38**	87.76**	8.83**	4.61*
硒浓度 Se concentration (Se)		1215.62**	814.71**	3851.33**	128.77**
喷施次数×硒浓度 T×Se		142.11**	95.10**	268.43**	31.27**

注(Note)：同列数据后不同大、小字母表示在0.01和0.05水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 levels, respectively. *和**分别表示0.05和0.01水平的差异显著性 Denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

2.3 硒对蒜薹及鳞茎硒含量的影响

由表3可知，叶面喷施不同浓度、不同次数的亚硒酸钠溶液均可提高蒜薹和鳞茎含硒量，其中硒肥喷施次数和浓度对蒜薹和鳞茎含硒量影响极显著。各喷施次数下，随着喷施浓度的升高，蒜薹和鳞茎含硒量随之增加，在Se3浓度(15 mg/L)下达到最高值；各喷施浓度下，随着喷施次数的增加，蒜薹和鳞茎含硒量也随之增加，喷施3次硒含量最高。当喷施3次15 mg/L的Se时(T3Se3处理)，蒜薹和鳞茎含硒量达最高，分别为19.81和23.96 mg/kg，为CK

表 3　硒肥喷施次数和浓度对大蒜蒜薹及鳞茎硒含量的影响

Table 3　Effects of different Se spraying frequencies and concentrations on Se content of bolts and bulbs of garlic

喷施次数 Spraying frequency	硒浓度水平 Selenium concentration	鳞茎硒含量 Se content of bulbs (mg/kg)	增幅 Increased range (%)	蒜薹硒含量 Se content of bolts (mg/kg)	增幅 Increased range (%)
T1	CK	5.43 ±0.11 hH		5.14 ±0.05 iH	
	Se1	8.90 ±0.20 gG	63.88	8.16 ±0.12 hG	58.80
	Se2	12.78 ±0.22 fF	135.10	12.02 ±0.41 fEF	134.02
	Se3	14.04 ±0.13 eE	158.31	12.81 ±0.14 eDE	149.34
T2	CK	5.43 ±0.11 hH		5.14 ±0.05 iH	
	Se1	12.12 ±0.17 fF	123.13	11.27 ±0.18 gF	119.43
	Se2	16.59 ±0.19 dD	205.34	14.85 ±0.74 cC	189.17
	Se3	18.55 ±0.18 cC	241.43	16.57 ±0.33 bB	222.59
T3	CK	5.43 ±0.11 hH		5.14 ±0.05 iH	
	Se1	14.50 ±0.26 eE	166.92	13.66 ±0.51 dD	165.91
	Se2	20.31 ±0.41 bB	273.85	17.18 ±0.12 bB	234.51
	Se3	23.96 ±0.87 aA	340.90	19.81 ±0.42 aA	285.61
			F 值 *F*-value		
喷施次数 Spraying frequency (T)		347.65**		643.91**	
硒浓度 Se concentration (Se)		1322.80**		2041.17**	
喷施次数×硒浓度 T×Se		41.48**		87.49**	

注(Note)：同列数据后不同大、小字母表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 levels, respectively. ** 表示 0.01 水平差异显著 Denote significant differences at the 0.01 probability level.

的 3.85 和 4.41 倍。

2.4　硒对蒜薹及鳞茎质量的影响

由表 4 可看出,叶面喷施硒肥可显著提高蒜薹及鳞茎鲜质量,喷施次数和浓度对提高单薹和单头鲜质量效果极显著,各喷施次数中,平均单薹鲜质量和平均单头鲜质量均随硒浓度的增加呈先升高后降低的抛物线趋势。T1Se2、T2Se2、T3Se1 处理达到各喷施次数的最高值,其中平均单薹鲜质量较 CK 分别提高 64.90%、68.25%、65.72%,平均单头鲜质量较 CK 分别提高 25.16%、29.00%、26.09%。T3Se3 处理对提高单薹和单头鲜质量的效果最差,较 CK 仅分别提高 9.19% 和 8.22%。总之,喷施 2 次 10 mg/L 浓度的硒肥处理(T2Se2)对提高蒜薹和鳞茎鲜质量效果最显著,进而最有利于蒜薹和鳞茎增产。

2.5　硒对蒜薹及鳞茎品质的影响

2.5.1 硒对蒜薹品质的影响　硒不但可以影响蒜薹的生理指标,还对蒜薹的品质有一定的影响。由表 5 可知,硒对蒜薹中可溶性糖,可溶性蛋白,维生素 C 含量的影响基本一致,即在各喷施次数下,随着硒浓度的增加,上述指标都呈先升高后降低的抛物线趋势,但是各处理对不同指标影响的显著性不尽相同。喷施 1 次、2 次硒处理,Se2(10 mg/L)浓度下蒜薹可溶性糖含量最高,分别较 CK 提高 38.76%、73.05%;喷施 3 次硒处理,Se1(5 mg/L)浓度下蒜薹可溶性糖含量增加最显著,较 CK 提高 59.11%;T3Se3 处理蒜薹可溶性糖含量低于其他各施硒处理,较 CK 仅提高 9.64%。不同浓度、不同喷施次数(除 T3Se3 处理维生素 C 含量外)均能显著提高蒜薹中可溶性蛋白和维生素 C 含量,其中 T1Se2、T2Se2、T3Se1 处理达到各喷施次数的最高值,可溶性蛋白和维生素 C 含量分别较 CK 提高 71.93%、104.66%、83.89% 和 14.22%、18.95%、17.41%;处理 T3Se3 可溶性蛋白和维生素 C 达到各处理最低值,其中维生素 C 含量与 CK 差异不显著。

表4 硒肥喷施次数和浓度对大蒜蒜薹及鳞茎鲜质量的影响

Table 4 Effects of different Se spraying frequencies and concentrations on the fresh weights of bolts and bulbs of garlic

喷施次数 Spraying frequency	硒浓度水平 Selenium concentration	平均单薹鲜质量(g) Average fresh weight per bolt	增幅 Increased range (%)	平均单头鲜质量(g) Average fresh weight per bulb	增幅 Increased range (%)
T1	CK	8.96 ±0.05 iI		36.45 ±0.04 jJ	
	Se1	10.67 ±0.10 gG	19.05	41.05 ±0.07 hH	12.62
	Se2	14.77 ±0.05 bB	64.90	45.62 ±0.08 cC	25.16
	Se3	13.13 ±0.06 cC	46.56	44.56 ±0.04 dD	22.24
T2	CK	8.96 ±0.05 iI		36.45 ±0.04 jJ	
	Se1	12.02 ±0.04 eE	34.16	42.96 ±0.06 fF	17.86
	Se2	15.07 ±0.05 aA	68.25	47.02 ±0.04 aA	29.00
	Se3	11.44 ±0.05 fF	27.73	41.51 ±0.05 gG	13.88
T3	CK	8.96 ±0.05 iI		36.45 ±0.04 jJ	
	Se1	14.84 ±0.05 bB	65.72	45.96 ±0.03 bB	26.09
	Se2	12.86 ±0.04 dD	43.54	43.07 ±0.03 eE	18.16
	Se3	9.78 ±0.03 hH	9.19	39.45 ±0.04 iI	8.22
			F 值 *F*-value		
喷施次数 Spraying frequency (T)		97.95**		922.50**	
硒浓度 Se concentration (Se)		15189.44**		56612.29**	
喷施次数×硒浓度 T×Se		3010.94**		7088.00**	

注(Note):同列数据后不同大、小字母表示在0.01和0.05水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 levels, respectively. ** 表示0.01水平的差异显著性 Denote significant differences at the 0.01 probability level.

由表5还可以看出,硒可降低蒜薹中大蒜素和游离氨基酸含量,其中硒对大蒜素含量的影响与可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C相似,游离氨基酸含量的变化则与其相反。除处理T1Se1、T2Se3、T3Se3可显著降低蒜薹中大蒜素含量外(分别比CK降低16.39%、9.71%、13.45%),其他各处理对蒜薹中大蒜素含量的影响不显著;各处理均能显著降低蒜薹中游离氨基酸的含量,T1Se2、T2Se2、T3Se1达各喷施次数的最低值,分别比CK降低28.12%、36.95%、33.52%。方差分析表明,硒浓度对上述指标影响极显著(表5)。

2.5.2 硒对大蒜鳞茎品质的影响 由表6可知,除游离氨基酸含量变化与蒜薹相反外,其他品质指标的变化均与蒜薹相似。不同喷施次数、不同浓度(除T3Se3处理的可溶性蛋白和维生素C含量)的硒肥均能有效提高鳞茎中可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C和游离氨基酸的含量,T1Se2、T2Se2、T3Se1分别达到各喷施次数的最高值,与CK相比,可溶性糖分别提高68.55%、82.01%、72.66%,可溶性蛋白分别提高40.74%、51.27%、44.79%,维生素C分别提高49.32%、69.82%、59.90%,游离氨基酸分别提高35.20%、38.91%、38.46%;处理T3Se3可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C、游离氨基酸均低于其他各施硒处理,较CK分别提高10.47%、1.39%、4.65%、11.49%。叶面施硒可降低鳞茎中大蒜素的含量,除T2Se2对鳞茎大蒜素含量的影响不显著外,其他各处理均可显著降低鳞茎大蒜素的含量。表6表明,喷施次数和浓度对上述指标影响显著,且存在显著交互效应,其中以喷施2次10 mg/L Se处理(T2Se2)对改善鳞茎品质最有效。

3 讨论

3.1 叶面喷施硒对大蒜叶片光合性能的影响

本试验证明,硒可以提高大蒜叶绿素和类胡萝卜素含量,这与院金谒等[6]的研究结果一致,适量的硒可以显著提高叶绿素含量,这在小麦[11]、油菜[12]、生菜[13]、胡萝卜[14]、花椰菜[15]、辣椒[16]等多种植物上均有报道。在硒的生理浓度范围内,硒可

表 5　硒肥喷施次数和浓度对大蒜蒜薹营养品质的影响

Table 5　Effects of different Se spraying frequencies and concentrations on nutrition quality of in the bolts of garlic

喷施次数 Spraying frequency	硒浓度水平 Selenium concentration	可溶性糖 Soluble sugar (%, FW)	可溶性蛋白质 Soluble protein (mg/g, FW)	维生素 C Vitamin C (mg/kg, FW)	大蒜素 Allicin (mg/g, FW)	游离氨基酸 Free amino acid (mg/g, DW)
T1	CK	6.96 ±0.07 iG	8.27 ±0.32 hG	558.7 ±3.3 iF	2.48 ±0.03 aA	5.89 ±0.14 aA
	Se1	7.77 ±0.00 ghF	10.27 ±0.67 fF	577.2 ±3.2 gE	2.07 ±0.08 fD	5.41 ±0.01 bB
	Se2	9.65 ±0.02 cC	14.22 ±0.07 cC	638.1 ±6.6 cB	2.41 ±0.08 abcAB	4.23 ±0.02 eE
	Se3	9.31 ±0.03 dCD	13.75 ±0.18 cCD	623.5 ±1.7 dC	2.38 ±0.07 abcAB	4.46 ±0.20 dE
T2	CK	6.96 ±0.07 iG	8.27 ±0.32 hG	558.7 ±3.3 iF	2.48 ±0.03 aA	5.89 ±0.14 aA
	Se1	8.44 ±0.01 fE	12.01 ±0.03 eE	603.0 ±1.2 eD	2.32 ±0.02 cdABC	5.00 ±0.07 cCD
	Se2	12.04 ±0.29 aA	16.93 ±0.10 aA	664.5 ±3.8 aA	2.47 ±0.01 abA	3.71 ±0.01 fF
	Se3	7.99 ±0.01 gF	11.80 ±0.08 eE	594.2 ±3.0 fD	2.24 ±0.02d eBCD	5.25 ±0.05 bBC
T3	CK	6.96 ±0.07 iG	8.27 ±0.32 hG	558.7 ±3.3 iF	2.48 ±0.03 aA	5.89 ±0.14 aA
	Se1	11.07 ±0.30 bB	15.21 ±0.12 bB	655.9 ±5.0 bA	2.45 ±0.02 abcA	3.91 ±0.09 fF
	Se2	9.03 ±0.05 eD	12.95 ±0.21 dD	616.5 ±5.3 dC	2.34 ±0.02 abcdABC	4.92 ±0.02 cD
	Se3	7.63 ±0.03 hF	9.50 ±0.14 gF	568.2 ±0.9 hEF	2.15 ±0.14 efCD	5.48 ±0.03 bB
			F 值 *F*-value			
喷施次数 Spraying frequency (T)		23.53**	18.03**	5.77*	0.9	1.55
硒浓度 Se concentration (Se)		707.79**	573.58**	490.59**	19.01**	270.76**
喷施次数×硒浓度 T×Se		254.23**	127.73**	138.44**	10.17**	83.03**

注(Note)：同列数据后不同大、小字母表示在 0.01 和 0.05 水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 levels, respectively. * 和 ** 分别表示 0.05 和 0.01 水平的差异显著性 Denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

以促进植物对 P、K、Ca、Mg、Mn、Zn、Mo 等元素的吸收[17]，而这些元素大多能促进或参与叶绿素的合成过程，因此，硒提高叶绿素含量可能是通过促进这些对叶绿素合成有益元素的吸收来实现的。

硒提高大蒜叶片的净光合速率，可能是由于硒引起叶绿素含量增加，导致光合作用增强，进而引起净光合速率提高。杨凤娟等[18]的研究表明，大蒜叶片净光合速率越高，胞间 CO_2 浓度越低，与本试验结果一致。施硒同时提高了大蒜叶片的蒸腾速率和气孔导度，表明适量的硒有助于调节气孔正常开闭，从而利于 CO_2 的交换和水的蒸腾。

3.2　硒对蒜薹和鳞茎硒含量的影响

本试验表明，随着喷施次数和浓度的增加，蒜薹和鳞茎含硒量随之增加，说明大蒜对硒有很强的富集作用，这与王晋民等[5]、王永勤等[7]、段咏新等[19]、院金谒等[6]的研究结果一致。含硒量与前人结果有差别，可能是由于大蒜品种不同、地域差异等原因造成的。

3.3　硒对蒜薹和鳞茎的产量与品质的影响

研究证明，适量的硒可以提高大蒜产量[5-7]，改善作物品质。关于硒对大蒜品质影响的报道还相对较少，本试验得出，硒可以提高蒜薹和鳞茎中可溶性糖、可溶性蛋白、Vc 含量，喷施 2 次 10 mg/L 的亚硒酸钠效果最显著。段咏新等[19]证明硒可以提高大蒜中蛋白质和可溶性糖含量，但王晋民等[5]研究表明，施硒与大蒜中 Vc 和总糖含量呈负效应，与本试验结果不同，但是在其它作物上有相似报道，如水培生菜加硒可提高生菜叶总糖、还原糖和可溶性蛋白含量[20]，李彦等[21]证明一定量的硒能提高番茄果实 Vc 含量。关于硒对大蒜品质影响的报道还不是很多，得出不同的结果可能是由于品种、生长环境等因素不同所造成的。同时本试验还得出硒与大蒜素含量呈负相关，除对照(CK)外，在喷施相同次数条件下，随硒浓度升高，大蒜素含量呈先升高后降低的趋势，且以喷施 2 次 10 mg/L 的亚硒酸钠的处理大蒜素含量最高，与对照无差异，目前其机理尚待进一

表6 硒肥喷施次数和浓度对大蒜鳞茎营养品质的影响

Table 6 Effects of different Se spraying frequencies and concentrations on nutrition quality in the bulbs of garlic

喷施次数 Spraying frequency	硒浓度水平 Selenium concentration	可溶性糖 Soluble sugar (%, FW)	可溶性蛋白质 Soluble protein (mg/g, FW)	维生素C Vitamin C (mg/kg, FW)	大蒜素 Allicin (mg/g, FW)	游离氨基酸 Free amino acid (mg/g, DW)
T1	CK	9.35±0.02 iH	12.15±0.01 iI	309.0±2.8 gF	7.30±0.10 aA	6.07±0.03 gG
	Se1	12.74±0.06 gF	12.97±0.10 hH	350.6±3.8 fE	6.07±0.00 cdDE	7.56±0.03 eE
	Se2	15.75±0.09 cB	17.10±0.17 cC	461.3±12.3 cC	6.69±0.27 bBC	8.21±0.10 bABC
	Se3	15.08±0.22 dC	16.18±0.13 dD	417.2±1.5 dD	5.80±0.21 deEF	8.13±0.16 bcBC
T2	CK	9.35±0.02 iH	12.15±0.01 iI	309.0±2.8 gF	7.30±0.10 aA	6.07±0.03 gG
	Se1	13.75±0.19 fE	15.27±0.11 fF	372.3±10.9 eE	5.86±0.07 deDEF	7.79±0.11 dDE
	Se2	17.01±0.12 aA	18.37±0.05 aA	524.7±8.6 aA	7.09±0.23 aAB	8.44±0.13 aA
	Se3	13.02±0.28 gF	14.11±0.05 gG	367.8±4.2 eE	5.26±0.09 fgGH	7.69±0.11 deE
T3	CK	9.35±0.02 iH	12.15±0.01 iI	309.0±2.8 gF	7.30±0.10 aA	6.07±0.03 gG
	Se1	16.14±0.12 bB	17.59±0.18 bB	494.0±8.6 bB	6.31±0.24 cCD	8.41±0.05 aAB
	Se2	14.58±0.13 eD	15.82±0.17 eE	400.9±11.1 dD	5.56±0.06 efFG	8.00±0.10 cCD
	Se3	10.32±0.15 hG	12.32±0.01 iI	323.3±10.8 gF	4.95±0.04 gH	6.77±0.02 fF
			F 值 *F*-value			
喷施次数 Spraying frequency (T)		58.04**	49.40**	4.97*	18.57**	11.28**
硒浓度 Se concentration (Se)		2256.18**	2290.25**	415.91**	175.97**	694.08**
喷施次数×硒浓度 T×Se		320.93**	618.27**	132.56**	18.95**	57.56**

注(Note):同列数据后不同大、小字母表示在0.01和0.05水平差异显著 Values followed by different letters within a column are significantly different at the 0.01 and 0.05 levels, respectively. *和**分别表示0.05和0.01水平的差异显著性 Denote significant differences at the 0.05 and 0.01 probability levels, respectively.

步研究。试验证明,蒜薹和鳞茎游离氨基酸含量的变化呈负相关,硒可减少蒜薹中游离氨基酸含量,增加鳞茎中游离氨基酸含量,可能是蒜薹与鳞茎对硒的耐受力不同,也可能是硒促进了蒜薹中的游离氨基酸向鳞茎转移,还可能是硒促进了蒜薹中的游离氨基酸合成蛋白质,目前还不能给出明确的解释,有关硒对游离氨基酸含量影响的报道也不尽相同,如Munshi[22]指出硒可提高马铃薯块茎中蛋白质含量,降低游离氨基酸含量;史衍玺等[23]研究表明,硒能提高小白菜地上部游离氨基酸含量。

4 结论

试验证明,叶面施硒能有效提高大蒜叶片光合性能,提高蒜薹和鳞茎质量、含硒量、可溶性糖含量、可溶性蛋白含量和维生素C含量,提高鳞茎游离氨基酸含量。当生长期喷施2次10 mg/L亚硒酸钠时,光合性能达到最优,蒜薹和鳞茎质量、可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C含量达到最高,鳞茎游离氨基酸含量最高,蒜薹和鳞茎大蒜素降低不显著。高浓度(15 mg/L)的硒不利于叶片光合性能,蒜薹和鳞茎质量、可溶性糖、可溶性蛋白、维生素C、大蒜素含量的提高,当喷施3次高浓度(15 mg/L)的硒肥时,以上指标达到最低值,仅蒜薹中游离氨基酸降幅不显著,但此时蒜薹和鳞茎的含硒量最高。

综上,生长期喷施2次10 mg/L的亚硒酸钠可以显著增强大蒜叶片的光合性能,增加蒜薹和鳞茎的质量,改善蒜薹和鳞茎的品质。

参考文献:

[1] 尚庆茂,张志刚,陈淑芳. 微量元素硒及其在蔬菜上的应用[J]. 中国蔬菜,2004,(1):67-69.
Shang Q M, Zhang Z G, Chen S F. The application of selenium in vegetable production[J]. China Veget., 2004, (1): 67-69.

[2] 郑达贤,李日邦,王五一. 初论世界低硒带[J]. 环境科学学报,1982,2(3):241-249.
Zheng D X, Li R B, Wang W Y. A preliminary exposition on low-selenium zone in the world[J]. Acta Sci. Circumst., 1982, 2(3): 241-249.

[3] 张弛,吴永尧,彭振坤. 植物硒的研究进展[J]. 湖北民族学

院学报(自然科学版)，2002，20(3)：58-62.
Zhang C, Wu Y Y, Peng Z K. Progress in the research of selenium in plants[J]. J. Hubei Inst. Nat. (Nat. Sci. Edn.), 2002, 20(3): 58-62.

[4] 段咏新，傅庭治，傅家瑞. 硒在大蒜体内的生物富集及其抗氧化作用[J]. 园艺学报，1997，24(4)：343-347.
Duan Y X, Fu T Z, Fu J R. Studies on the biological accumulation and antioxidation of selenium in garlic[J]. Acta Hortic. Sin., 1997, 24(4): 343-347.

[5] 王晋民，蔡甲福. 不同硒处理对大蒜含硒量及产量和品质的影响[J]. 中国农学通报，2006，22(4)：342-344.
Wang J M, Cai J F. Effects of selenium applications on the selenium content, yield and quality of garlic[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2006, 22(4): 342-344.

[6] 院金谒，王朴，刘正兴，等. 土壤施硒对大蒜生理特性、含硒量及产量的影响[J]. 新疆农业大学学报，2010，33(1)：19-22.
Yuan J Y, Wang P, Liu Z X *et al*. Effect of application of sodium selenite to soil on physiological characteristic, Se content and yield of garlic[J]. J. Xinjiang Agric. Univ., 2010, 33(1): 19-22.

[7] 王永勤，曹家树，李建华，等. 施硒对大蒜产量和含硒量的影响[J]. 园艺学报，2001，28(5)：425-429.
Wang Y Q, Cao J S, Li J H *et al*. Effect of selenium application on the yield of garlic and its selenium content[J]. Acta Hortic. Sin., 2001, 28(5): 425-429.

[8] 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. 55-57, 84-85, 98-99.
Zhao S J, Shi G A, Dong X C. Guidance of plant physiology experiments[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002. 55-57, 84-85, 98-99.

[9] 屈姝存，周朴华. 大蒜油提取及大蒜油与大蒜渣的化学成分分析[J]. 湖南农业大学学报，1998，24(3)：235-237.
Qu S C, Zhou P H. The extraction of diallyl thiosulfonateanal and the analysis of chemical composition of garlic oil and the residue [J]. J. Hunan Agric. Univ., 1998, 24(3): 235-237.

[10] 王安亭，潘吉平. 分光光度法测定野蒜中硒和锗的含量[J]. 中国测试技术，2008，34(2)：95-111.
Wang A T, Pan J P. Content determinations of Se and Ge in wild garlic by spectrophotometry[J]. China Meas. Test. Technol., 2008, 34(2): 95-111.

[11] 王宁宁，杜晓光，朱亮基. 亚硒酸钠对转绿小麦叶片内叶绿素生物合成和某些抗氧化作用的影响[J]. 南开大学学报(自然科学版)，1994，(2)：21-25.
Wang N N, Du X G, Zhu L J. The effect of selenite on chlorophyll biosynthesis and some antioxdation in greening wheat leaves[J]. Acta Sci. Nat. Univ. Nankaiensis (Nat. Sci. Edn.), 1994, (2): 21-25.

[12] 张弛，吴永尧，彭振坤. 硒对油菜苗期叶片色素的影响研究[J]. 湖北民族学院学报(自然科学版)，2002，20(3)：63-65.
Zhang C, Wu Y Y, Peng Z K. Influence of selenium on the content of chloroplast pigment in rape seedlings[J]. J. Hubei Inst. Nat. (Nat. Sci. Edn.), 2002, 20(3): 63-65.

[13] 冯两蕊，杜慧玲，王曰鑫. 叶面喷施硒对生菜富硒量及产量与品质的影响[J]. 山西农业大学学报(自然科学版)，2007，27(3)：291-294.
Feng L R, Du H L, Wang Y X. Influences of foliar selenium solution spraying on selenium content, yield and quality of Lettuce [J]. Shanxi Agric. Univ. (Nat. Sci. Edn.), 2007, 27(3): 291-294.

[14] 王晋民，谭大凤，王艳萍，李国山. 外源硒对胡萝卜生理生化特性、富硒性及其产量的影响[J]. 青海师范大学学报(自然科学版)，2007，(2)：70-73.
Wang J M, Tan D F, Wang Y P, Li G S. Effect of selenium on the feature of physiology and biochemistry, Se accumulationand, yield of carrot [J]. J. Qinghai Normal Univ. (Nat. Sci. Edn.), 2007, (2): 70-73.

[15] 周大寨，唐巧玉，张弛，等. 硒对花椰菜幼苗叶绿素、脯氨酸及丙二醛含量的影响[J]. 湖北农业科学，2005，(2)：77-78.
Zhou D Z, Tang Q Y. Zhang C *et al*. Effects of selenium on the content of chlorophyll, proline and malondialdehyde in the seedings of cauliflower[J]. Hubei Agric. Sci., 2005, (2): 77-78.

[16] 尚庆茂，陈淑芳，张志刚. 硒对高温胁迫下辣椒叶片抗氧化酶活性的调节作用[J]. 园艺学报，2005，32(1)：35-38.
Shang Q M, Chen S F, Zhang Z G. Regulation of selenium on antioxidative enzymes activity in pepper leaves under high temperature stress[J]. Acta Hortic. Sin., 2005, 32(1): 35-38.

[17] Arvy M P, Thiersault M, Doireau P. Relationships between selenium, micronutrients, carbohydrates and alkaloid accumulation in Catharanthus Roseus cells[J]. Plant Nutr., 1995, 18: 1535-1546.

[18] 杨凤娟，刘世琦，王秀峰. 硫对大蒜生理生化指标及营养品质的影响[J]. 应用生态学报，2004，15(11)：2095-2098.
Yang F J, Liu S Q, Wang X F. Effects of sulfur on physiological and biochemical indices and nutrition quality of garlic[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(11): 2095-2098.

[19] 段咏新，傅庭治. 大蒜对硒的吸收及硒对大蒜生长的影响[J]. 广东微量元素科学，1997，4(11)：52-55.
Duan Y X, Fu T Z. The absorption of Se by garlic and the effect of Se on the growth of garlic[J]. Guangdong Trace Elem. Sci., 1997, 4(11): 52-55.

[20] 尚庆茂，高丽红，李式军. 硒素营养对水培生菜品质的影响[J]. 中国农业大学学报，1998，3(3)：67-71.
Shang Q M, Gao L H, Li S J. Effect of selenium on quality of hydroponics lettuce[J]. J. China Agric. Univ., 1998, 3(3): 67-71.

[21] 李彦，罗盛国，刘元英，等. 硒对番茄叶片中谷胱甘肽过氧化物酶活性及产量和品质的影响[J]. 山东农业科学，1999，(6)：38-39.
Li Y, Luo S G, Liu Y Y *et al*. The effect on glutathione peroxidase activity, yield and quality of tomato leaves [J]. Shandong Agric. Sci., 1999, (6): 38-39.

[22] Munshi C B, Combs G F, Mondy N I. Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato[J]. Agric. food Chem., 1990, 38: 2000-2002.

[23] 史衍玺，杜振宇，马丽，等. 不同施硒方式下小白菜对硒的吸收和累积特征[J]. 土壤通报，1998，29(5)：229-231.
Shi Y X, Du Z Y. Ma Li *et al*. Effects of different ways of applying selenium on selenium uptake and accumulation of Chinese cabbage [J]. J. Soil Sci., 1998, 29(5): 229-231.