

硫对设施水培大蒜光合特性和鳞茎品质的影响

刘中良, 刘世琦*, 张自坤, 杨 茹, 陈 坤

(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: 在设施条件下, 采用营养液培养大蒜, 研究不同施硫水平对其光合特性、鳞茎质量及品质的影响。结果表明, 在施硫水平 $0 \sim 2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内, 光合速率 (P_n)、叶绿素含量、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (E) 和鳞茎质量随施硫量增加而升高, 至硫浓度 $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达最高。鳞茎品质指标除可溶性蛋白质外, 随植株生长而逐渐升高。在不同硫处理间, 鳞茎中大蒜素、可溶性糖和游离氨基酸和蒜薹中大蒜素、可溶性糖、维生素C及游离氨基酸含量均以 $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫处理最高, 分别比不施硫处理增加 48.82%、127.92%、63.58%、10.61%、63.30%、29.07% 和 74.16%。营养液中硫含量为 $3.75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 鳞茎中蛋白质含量最高。大蒜二次生长指数在一定硫浓度范围内, 随硫水平的升高而降低, 而后随施硫量的升高变化不显著。

关键词: 大蒜; 硫; 光合特性; 营养品质; 鳞茎质量

中图分类号: S 633.4

文献标识码: A

文章编号: 0513-353X(2010)04-0581-08

Effects of Sulfur Content in Nutrient Solution on Photosynthetic Characteristics and Quality of Garlic

LIU Zhong-liang, LIU Shi-qi*, ZHANG Zi-kun, YANG Ru, and CHEN Kun

(College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, State Key Laboratory of Crop Biology, Agriculture Ministry Key laboratory of Horticultural Crop Biology, Tai'an, Shandong 271018, China)

Abstract: Effects of different sulfur level on photosynthetic characteristics, fresh weight and qualities of garlic were studied by nutrient solution. The results showed when sulfur content was $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, the photosynthetic parameter (P_n , G_s , E), photosynthetic pigment contents in garlic leaf and the fresh weight of bulb were higher. Quality indicators of bulb (except the soluble protein) were increased gradually with plant growth. Among the different sulfur level, the allicin, soluble sugar and free amino acid contents in bulb of garlic and the allicin, soluble sugar, vitamin C and free amino acid contents in bolt were increased by 48.82%, 127.92%, 63.58%, 10.61%, 63.30%, 29.07% and 74.16%, respectively. Higher content of sulfur ($3.75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$) increased the contents of soluble protein in bulb. At a certain range of sulfur concentrations, with the increase in sulfur level, the garlic branching index decreased and then had no significant change with the increase of sulfur level.

Key words: garlic; sulfur; photosynthesis; quality; fresh weight

收稿日期: 2009 - 11 - 16; 修回日期: 2010 - 02 - 08

基金项目: 国家科技支撑项目 (2006BAD13B06-4-9); 山东省农业重大创新项目

* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: liusq99@sdaa.edu.cn)

大蒜 (*Allium sativum* L.) 是需硫量较多的作物, 其体内累积的硫可达 0.3%~0.6% (以干基计), 能耐较高浓度的硫。硫与大蒜的风味物质——大蒜素含量有着重要的关系 (彭嘉桂 等, 2005)。近年来, 由于肥料的不平衡施用, 有机肥投入减少等, 世界范围内关于作物缺硫的报道越来越多。中国也是亚洲最缺硫的国家之一 (迟凤琴和魏丹, 2003; Beaton & D'Aquin, 2004; 孙克刚 等, 2004)。如何处理好施硫与作物需硫的平衡是人们越来越关注的问题。已有研究表明, 硫在植物生长发育过程中发挥着至关重要的作用, 可增加叶绿素含量 (Gilbert et al., 1997), 提高光合速率 (刘存辉和董树亭, 2004; Jarvan & Kuuskla, 2005; 朱英华 等, 2008), 改善作物品质 (闫冰洁, 2006; 刘璐璐和刘正辉, 2009), 增加产量 (Alexander, 2005; 李娟和林琼, 2006; 沈学善和朱云集, 2007)。杨凤娟等 (2004) 报道, 通过土壤施硫可显著提高大蒜的品质, 鳞茎中大蒜素比对照增加 16.70%~33.67%, 蒜薹中大蒜素比对照增加 24.89%~40.95%。谢迎新和朱云集 (2009) 的研究表明, 硫对小麦品种‘豫麦 49’和‘豫麦 66’具有显著的增产作用, 增幅分别为 6.37%~15.98%和 12.54%~20.90%, 两品种均以基施硫肥 120 kg·hm⁻²效果相对较好。

水培是先进的现代农业技术, 具有广阔的应用和推广前景, 在世界农业发展中占重要地位 (蒋卫杰和刘伟, 2001)。本研究旨在探究设施水培条件下硫对大蒜光合特性、鳞茎质量及品质的影响, 以便为大蒜合理施用硫肥提供参考。

1 材料与方法

试验于 2008 年 10 月—2009 年 5 月在山东农业大学科技创新园、作物生物学国家重点实验室和农业部园艺作物生物学重点开放实验室进行。以‘金乡白皮蒜’为供试材料, 以 Hoagland 营养液 (Hoagland, 1950) 为基础, 加入 Arnon 微量元素, DFT 水培。在营养液常规含硫基础上, 试验设 6 个硫处理: 0、0.75、1.50、2.25、3.00 和 3.75 mmol·L⁻¹。硫用硫酸钠提供, 鉴于相对低浓度的 Na⁺ 对植物生长发育影响较小, 本试验结果忽略 Na⁺ 的影响。营养液用纯水配制, pH 控制在 5.8~6.2, 培养初期营养液每 12 d 换 1 次, 进入旺盛生长期每 7 d 换 1 次, 除硫处理外, 均常规管理。

试材于 2008 年 10 月 7 日在覆盖聚乙烯无滴棚膜的拱棚中播种, 每个硫水平处理 200 株, 自然光周期, 棚温控制在 0~25℃之间。采用 CIRAS-2 光合仪于 4 月 19 日上午 10:00—10:30 分别取不同处理的大蒜植株 10 株测定光合参数, 3 次重复。4 月 23 日采收蒜薹, 每处理混合均匀, 对蒜薹可溶性糖、可溶性蛋白质、大蒜素、维生素 C 及游离氨基酸含量进行测定。大蒜鳞茎品质指标分别于 2009 年 2 月 20 日、3 月 20 日、4 月 20 日和 5 月 10 日进行测定。大蒜采收时, 分别取不同处理的大蒜植株 100 株测定鳞茎形态指标、二次生长指数及鲜样质量等。

叶绿素、可溶性糖、可溶性蛋白质、维生素 C、大蒜素和游离氨基酸含量测定分别采用丙酮比色法 (赵世杰 等, 2002)、蒽酮比色法、考马斯亮蓝法、紫外快速测定法 (王学奎, 2006), 苯胺法 (屈姝存和周朴华, 1998) 和茚三酮法。二次生长指数为随机调查 100 株中的二次生长株数, DPS 单因素试验统计分析数据。

试验数据采用 DPS9.5 和 EXCEL 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同硫处理对大蒜叶片光合色素含量的影响

由图 1 可见, 叶绿素 a、叶绿素 b, 总叶绿素以及类胡萝卜素含量随生育期推进, 均表现为生长

前期升高，后期下降的趋势；在 $0 \sim 2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 范围内，色素含量随营养液硫浓度的增加呈显著升高的趋势，尤其是叶绿素a增幅比较明显，超过这一范围色素含量下降。硫肥处理对叶绿素a、叶绿素b、总叶绿素以及类胡萝卜素影响效果一致。由此可见，当营养液硫浓度为 $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时，更有利于光合色素的合成，促进光合作用，提高光能的转化效率。在生长后期，硫可以在很大程度上减缓因植株衰老所引起光合色素的降解。

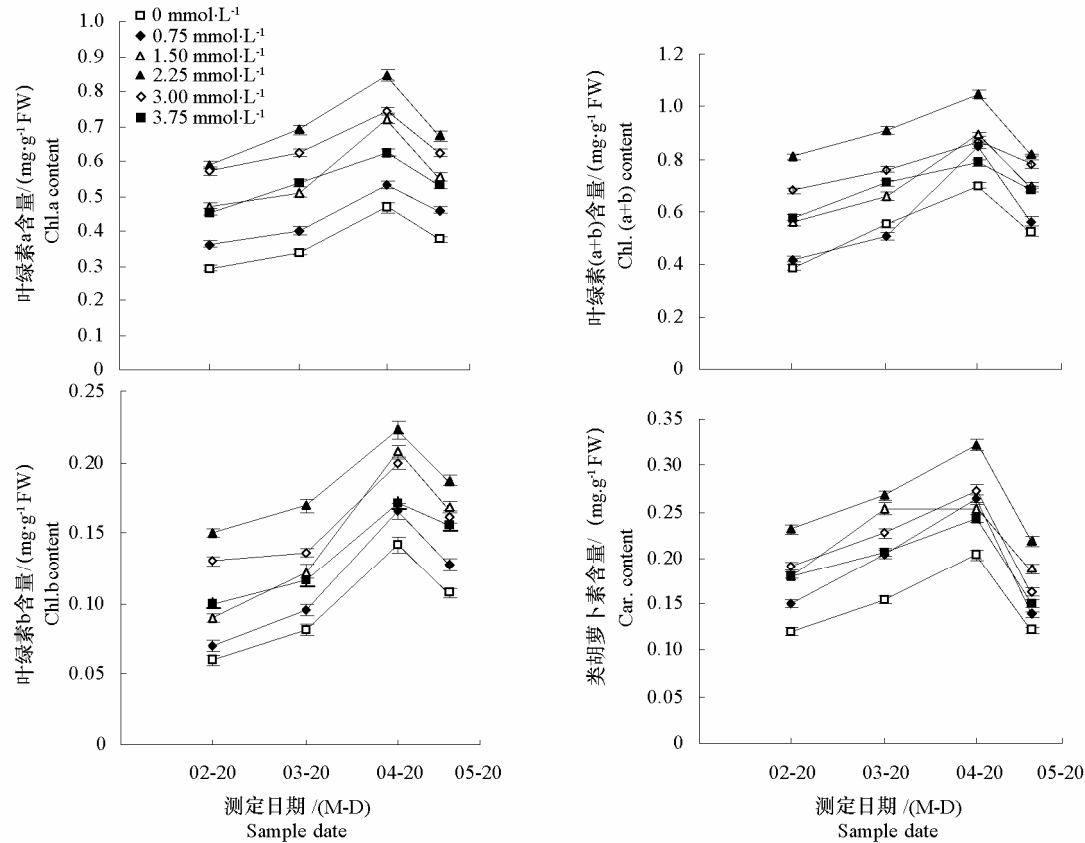


图 1 硫对大蒜叶片叶绿素和类胡萝卜素含量的影响

Fig.1 Effects of sulfur on the content of chlorophyll and carotenoid in garlic leaf

2.2 硫对大蒜叶片光合参数的影响

由表 1 可以看出，适当增加营养液硫浓度，可显著提高大蒜的光合作用。在 $0 \sim 2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

表 1 硫对大蒜叶片光合参数的影响
Table 1 Effects of sulfur on photosynthetic parameter in garlic leaf

Na ₂ SO ₄ /(mmol · L ⁻¹)	蒸腾速率/(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹) <i>E</i>	气孔导度/(mmol·m ⁻² ·s ⁻¹) <i>G_s</i>	光合速率/(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹) <i>P_n</i>	胞间CO ₂ /(μmol·mol ⁻¹) <i>C_i</i>
0	2.99 dD	664.33 cC	25.33 bB	407.67 cC
0.75	3.57 cdCD	758.67 bcBC	20.27 bAB	450.33 bcBC
1.50	4.32 bAB	801.33 bAB	27.80 abAB	491.00 bB
2.25	4.57 aA	910.67 aA	34.60 aA	567.67 aA
3.00	4.27 bA	898.23 aA	25.46 bB	543.68 aA
3.75	3.96 cC	788.49 bC	23.82 bAB	525.34 bB

注：表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P = 0.05$)，不同大写字母表示差异极显著 ($P = 0.01$)。
Note: Different small and capital letters mean significant at 5% and 1% levels, respectively.

范围内,随着硫浓度提高,净光合速率随之升高,差异显著;而从 2.25 ~ 3.75 mmol · L⁻¹,净光合速率则表现降低的趋势。

蒸腾速率、气孔导度和细胞间隙CO₂浓度的变化趋势与净光合速率相似,1.50 mmol · L⁻¹以上处理均显著高于不施硫处理,其中 2.25 mmol · L⁻¹和 3.00 mmol · L⁻¹处理之间差异不显著。

2.3 不同硫处理对大蒜鳞茎营养品质的影响

2.3.1 大蒜素和可溶性糖含量

由表 2 可知,随着大蒜生育期的进行,各处理间大蒜素含量均呈现升高的趋势;在不同硫浓度处理间表现为营养液硫浓度增加显著提高大蒜鳞茎大蒜素含量,其中硫浓度为 2.25 mmol · L⁻¹时大蒜素含量最高,最有利于大蒜素形成,在 4 个发育时期分别比不施硫处理提高 55.56%、156.78%、79.70% 和 48.82%。

可溶性糖作为光合作用的初始产物,其含量高低还可反映植株的碳营养状况。可溶性糖与大蒜素有相似的变化趋势,2.25 mmol · L⁻¹硫浓度处理最有利于可溶性糖的积累。

表 2 硫对大蒜鳞茎大蒜素、可溶性糖含量的影响
Table 2 Effects of sulfur on the content of allicin and soluble sugar in the bulbs of garlic

Na ₂ SO ₄ / (mmol·L ⁻¹)	大蒜素/(μg·g ⁻¹ FW) Allicin				可溶性糖/%FW Soluble sugar			
	02 - 20	03 - 20	04 - 20	05 - 10	02 - 20	03 - 20	04 - 20	05 - 10
0	0.09 dC	1.18 dC	1.97 dD	4.73 eD	0.36 bB	1.71 dC	12.05 cC	28.04 cC
0.75	0.10 cC	1.71 cdBC	2.69 cC	5.62 dC	0.42 abAB	2.62 cB	13.74 bB	36.91 bcBC
1.50	0.13 bB	2.38 abcAB	3.05 bB	6.54 abA	0.43 aAB	2.90 abAB	14.21 aA	45.21 bB
2.25	0.14 aA	3.03 aA	3.54 aA	6.85 aA	0.46 aA	3.06 aA	14.46 aA	63.91 aA
3.00	0.14 aA	2.67 abAB	2.79 cC	6.23 bcAB	0.43 aAB	2.77 bcB	13.90 bB	54.51 aA
3.75	0.13 bB	2.09 bcAB	2.14dD	6.00 cdBC	0.41 abAB	2.74 bcB	12.64 cC	43.32 bB

注: 02-20、03-30、04-20 和 05-10 分别代表 2 月 20 日、3 月 20 日、4 月 20 日和 5 月 10 日。表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P = 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P = 0.01$)。

Note: 02 - 20, 03 - 30, 04 - 20 and 05 - 10 represent February 20, March 20, April 20 and May 10, respectively. Different small and capital letters mean significant at 5% and 1% levels, respectively.

2.3.2 可溶性蛋白质, 游离氨基酸和维生素 C 含量

硫是构成蛋白质和氨基酸不可缺少的成分,植物体内几乎所有的蛋白质都含有硫。由表 3 可以看出,在大蒜生育期内,可溶性蛋白质呈现前期先升高后期下降的趋势。在不同硫水平之间,以硫浓度 3.75 mmol · L⁻¹处理最高。

表 3 硫对大蒜鳞茎可溶性蛋白质、游离氨基酸和维生素 C 的影响
Table 3 Effect of sulfur on the content of soluble protein, free amino acid and vitamin C in the bulbs of garlic

Na ₂ SO ₄ / (mmol·L ⁻¹)	可溶性蛋白质/(mg·g ⁻¹ FW) Soluble protein				游离氨基酸/(μg·g ⁻¹ DW) Free amino acid				维生素C/(mg·kg ⁻¹ FW) Vitamin C			
	02 - 20	03 - 20	04 - 20	05 - 10	02 - 20	03 - 20	04 - 20	05 - 10	02 - 20	03 - 20	04 - 20	05 - 10
0	1.83 bB	7.06 dD	17.70 dC	11.12 eD	1.01 cC	7.44 dD	16.01 dD	47.55 dD	0.11 aA	0.45 cD	0.76 dC	1.32 eD
0.75	1.94 bB	8.55 cC	21.46 cB	17.76 dC	1.20 bB	8.47 cC	17.73 cdCD	54.59 cCD	0.11 aA	0.46 cD	0.78 cC	1.52 dC
1.50	1.97 bB	9.25 bB	21.56 cB	18.58 cC	1.32 aA	8.65 cC	20.99 bB	60.79 bB	0.12 aA	0.55 bBC	0.89 aA	1.59 cdBC
2.25	2.36 aA	10.86 aA	23.11 abA	21.03 bB	1.34 aA	8.90 cC	25.41 aA	77.78 aA	0.12 aA	0.60 aA	0.90 aA	1.78 aA
3.00	2.06 bAB	8.87 cC	22.95 bAB	20.31 bB	1.30 aAB	12.37 bB	19.80 bcBC	65.72 bB	0.12 aA	0.59 aAB	0.84 bB	1.71 abA
3.75	1.96 bB	8.83 cC	24.41 aA	22.12 aA	1.27 abAB	13.76 aA	17.74 cdCD	57.68 cC	0.12 aA	0.53 bC	0.88 abAB	1.65 bcAB

注: 02-20、03-30、04-20 和 05-10 分别代表 2 月 20 日、3 月 20 日、4 月 20 日和 5 月 10 日。表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P = 0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P = 0.01$)。

Note: 02 - 20, 03 - 30, 04 - 20 and 05 - 10 represent February 20, March 20, April 20 and May 10, respectively. Different small and capital letters mean significant at 5% and 1% levels, respectively.

游离氨基酸含量变化趋势(表3)和可溶性糖相似的趋势(表2)。硫浓度为 $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 更有利于游离氨基酸的合成。

维生素 C 含量在生育期内也有相似的趋势(表3)。

2.4 不同硫处理对大蒜蒜薹营养品质的影响

表4表明, 施硫可显著提高蒜薹的品质。在 $0 \sim 2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理范围内, 大蒜素、可溶性糖、游离氨基酸和维生素C含量随营养液硫浓度的升高而增加, 在硫浓度为 $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时达最高, 上述各组分分别比不施硫增加 10.61%、63.30%、74.16%和 29.50%。硫浓度 $3.00 \sim 3.75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时呈下降趋势。可溶性蛋白质含量在硫浓度 $1.50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时最高, 比不施硫增加 63.81%。由此可见, 在提高蒜薹营养品质时, 以硫浓度 $1.50 \sim 2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 较好。

表4 硫对蒜薹营养品质的影响
Table 4 Effects of sulfur on nutrition quality in bolts of garlic

$\text{Na}_2\text{SO}_4/$ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	大蒜素/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) Allicin	可溶性糖/ (% FW) Soluble sugar	可溶性蛋白质/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}\text{FW}$) Soluble protein	游离氨基酸/ ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}\text{DW}$) Free amino acid	维生素 C/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}\text{FW}$) Vitamin C
0	4.43 cC	14.14 eE	23.71 cC	26.82 cC	0.86 dC
0.75	4.54 bB	15.64 dD	25.01 dD	31.55 bcBC	0.91 cdBC
1.50	4.71 bcBC	20.31 bB	38.84 aA	37.16 bB	1.07 aA
2.25	4.90 bA	23.09 bB	34.97 bB	46.71 aA	1.11 aA
3.00	4.64 aA	19.24 aA	30.95 bB	40.78 bA	1.04 abAB
3.75	4.60 aA	17.56 aA	29.83 bcBC	35.34 bA	0.97 bcBC

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P=0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P=0.01$)。

Note: Different small and capital letters mean significant at 5% and 1% levels, respectively.

2.5 硫对鳞茎形态及质量的影响

合理增加营养液硫浓度能够促进大蒜生长发育, 降低二次生长指数, 提高产量, 过量的硫对大蒜的生长发育和产量有一定的抑制作用。表5表明, 施硫处理的大蒜瓣数显著高于不施硫处理。当硫浓度为 $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, 蒜头横径及单个蒜头的质量最大。不施硫处理的大蒜二次生长指数显著高于施硫处理。

表5 硫对蒜头瓣数、横径、二次生长指数及鲜质量的影响
Table 5 Effects of sulfur on number of clove, transverse diameter, branching index and weight of single bulb

$\text{Na}_2\text{SO}_4/$ ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)	蒜头瓣数 Number of clove	蒜头横径/ cm Transverse diameter	二次生长指数/% Branching index	单个蒜头鲜质量/g Weight of single bulb
0	11.67cC	6.45bB	4.71aA	75.26bB
0.75	13.75bB	7.08aAB	3.51abAB	87.98abAB
1.50	15.33aA	7.18aAB	2.84bB	101.74aAB
2.25	15.25aAB	7.29aA	3.30bAB	113.72aA
3.00	14.67bB	7.02aA	2.89bB	108.17bB
3.75	14.33bB	6.63bB	3.31bAB	99.64bB

注: 表中同列数据后不同小写字母表示差异显著 ($P=0.05$), 不同大写字母表示差异极显著 ($P=0.01$)。

Note: Different small and capital letters mean significant at 5% and 1% levels, respectively.

3 讨论

硫作为植物生命活动必需的元素之一,在植物生长发育过程中发挥着重要的作用。硫素营养在植物光合作用中的作用主要表现在以下几方面:以硫脂方式组成叶绿体基粒片层;硫氧化蛋白半胱氨酸-SH在光合作用中传递电子;形成铁氧还蛋白的铁硫中心,参与暗反应 CO_2 的还原过程(Harwood, 1980)。Gilbert等(1997)指出叶片中的有机硫主要集中在叶肉细胞的叶绿体蛋白上,所以硫的供应水平对叶绿体的形成和功能的发挥有重要影响。杨凤娟等(2004)、闫冰洁(2006)在土壤上的试验指出,硫肥可显著提高大蒜叶片叶绿素含量,增强光合作用,这与本水培试验结果一致。本研究表明叶绿素含量和光合速率在 $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫浓度下达到最高,较高硫处理降低大蒜的净光合速率。硫提高作物叶绿素含量和促进光合速率在大豆(Sexton et al., 1997; 刘丽君, 2005)、玉米(谢瑞芝等, 2003)、小麦(王东等, 2003; Jarvan & Kuuskla, 2005)等作物中均有报道。光合性能的提高,更有利于光合产物的积累,为产量提高打下基础。杨凤娟等(2004)在土壤上的研究得出,净光合速率越高,胞间 CO_2 浓度越低,与本文结果不同。本研究显示在一定硫浓度范围内,随硫浓度升高大蒜叶片净光合速率和胞间 CO_2 浓度趋势成正相关(李金凤等, 2004),其可能的原因是气孔限制的影响(朱英华等, 2008)。本试验中气孔导度也较常规栽培表现较高,这主要是由于棚温相对于外界较高。

已有研究表明施硫可显著改善作物的品质和增加产量(李娟, 2005; 闫冰洁, 2006; 李俊玲和刘厚诚, 2007),这与本研究结果一致。本研究结果还表明,硫对鳞茎维生素C含量影响不显著,这可能是由于维生素C水平主要受植物品种、生长环境等条件的影响;鳞茎可溶性蛋白质含量在硫浓度 $3.75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时最高,蒜薹可溶性蛋白质含量以硫浓度 $1.50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时最高,其机理尚需要进一步研究。杨凤娟等(2004)等指出在土壤硫含量为 $8.41 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,鳞茎大蒜素、可溶性糖和维生素C及蒜薹中大蒜素、可溶性糖和可溶性蛋白质含量较高,土壤硫含量 $9.48 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 最有利于蒜薹维生素C和游离氨基酸及鳞茎游离氨基酸和可溶性蛋白质含量的提高。同时,本研究也证实,适当增加营养液硫浓度,能够增大大蒜鳞茎瓣数,横径、降低二次生长指数。

结合硫对大蒜光合特性、品质效应和鳞茎鲜重的分析结果发现,在大蒜的无土优质栽培生产中,应当加强硫在大蒜生产中的应用。在本试验条件下,以营养液硫浓度为 $2.25 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的效应为最好。

References

- Alexander D, Pavlista. 2005. Early-season applications of sulfur fertilizers increase potato yield and reduce tuber defects. *Am Potato J*, 97: 59 - 66.
- Beaton J D, D'Aquin G E. 2004. Sulphur fertilization: New opportunities and challenges. *Sulphuric Acid Industry*, (6): 6 - 12. (in Chinese)
- Beaton J D, D'Aquin G E. 2004. 硫肥: 新的机遇和挑战. *硫酸工业*, (6): 6 - 12.
- Chi Feng-qin, Wei Dan. 2003. Study on the sulfur status in cultivated soils of Heilongjiang Province. *Chinese Journal of Soil Science*, 34(3): 209 - 211. (in Chinese)
- 迟凤琴, 魏丹. 2003. 黑龙江省主要耕地土壤硫素现状研究. *土壤通报*, 34(3): 209 - 211.
- Gilbert S M, Clarkson D T, Cambridge M. 1997. SO_4^{2-} deprivation has an early effect on the content of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/Oxy-genase and photosynthesis in young leaves of wheat. *Plant Physiol*, 15: 1231 - 1239.
- Hoagland D R. 1950. The water culture method for growing plants without soil. *Calif Agr Exp Stat Circ*, 347: 1 - 32.
- Harwood J L. 1980. The biochemistry. Pergamon of plant. UAS: Academic Press: 4: 301 - 320.
- Jarvan M, Kuuskla M. 2005. Effect of leaf-applied sulphur on yield structure elements and yield of winter wheat (*Triticum aestivum*). *Transaction of the Estonian Agricultural University Agronomy*, 200: 63 - 65.
- Jiang Wei-jie, Liu Wei. 2001. Development of soilless culture in mainland China. *Transactions of the CSAE*, 17(1): 10 - 15. (in Chinese)
- 蒋卫杰, 刘伟. 2001. 中国大陆无土栽培发展概况. *农业工程学报*, 17(1): 10 - 15.

- LI Jin-feng, Zhang Yu-long, Wang Jing-kuan. 2004. Study on the effect of sulfur on the growth and physiology of soybean. *Chinese Journal of Soil Science*, 35(5): 612 - 616. (in Chinese)
- 李金凤, 张玉龙, 汪景宽. 2004. 硫对大豆生长发育及生理效应影响的研究. *土壤通报*, 35(5): 612 - 616.
- Li Juan. 2005. Physiological mechanisms of nutritional quality and antioxidant activity influenced by nitrogen, sulphur and selenium application [Ph. D. Dissertation]. Hangzhou: Zhejiang University. (in Chinese)
- 李娟. 2005. 氮硫硒影响叶用芥菜品质及抗氧化能力的生理机制研究[博士学位论文]. 杭州: 浙江大学.
- Li Juan, Lin Qiong. 2006. Effect of different levels of sulfur on rice growth and nutrients absorption. *Chinese Agricultural Science*, 22(11): 214 - 217. (in Chinese)
- 李娟, 林琼. 2006. 不同供硫水平对水稻生长和养分吸收的影响. *中国农业科学*, 22(11): 214 - 217.
- Li Jun-ling, Liu Hou-cheng. 2007. Effects of nitrogen on growth and qualities of bunching onion. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University: Natural Science Edition*, 28(3): 150 - 153. (in Chinese)
- 李俊玲, 刘厚诚. 2007. 硫素对红葱生长发育及品质的影响. *内蒙古农业大学学报: 自然科学版*, 28(3): 150 - 153.
- Liu Cun-hui, Dong Shu-ting. 2004. Effects of sulfur application amount on yield and physiological characteristics in high yield summer maize. *Journal of Maize Sciences*, 12: 95 - 97, 100. (in Chinese)
- 刘存辉, 董树亭. 2004. 硫素水平对夏玉米产量及生理特性影响的研究. *玉米科学*, 12: 95 - 97, 100.
- Liu Li-jun. 2005. Effect of sulfur on yields and quality of soybean [*Glycine max* (L.) Merrill] [Ph. D. Dissertation]. Harbin: Northeast Agricultural University. (in Chinese)
- 刘丽君. 2005. 硫素营养对大豆产量质量影响的研究[博士学位论文]. 哈尔滨: 东北农业大学.
- Liu Lu-lu, Liu Zheng-hui. 2009. Effects of sulfur on rice quality of japonica rice under solution culture conditions. *Scientia Agricultura Sinica*, 42(6): 1924 - 1932. (in Chinese)
- 刘璐璐, 刘正辉. 2009. 水培条件下硫素营养对粳稻米质的影响. *中国农业科学*, 42(6): 1924 - 1932.
- Peng Jia-gui, Zhang Ming-qing, Lin Qiong. 2005. Study on soil sulphur pool, form and absorption character in arable land of Fujian. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 20 (3): 163 - 167. (in Chinese)
- 彭嘉桂, 章明清, 林琼. 2005. 福建耕地土壤硫库、形态及吸附特性研究. *福建农业学报*, 20(3): 163 - 167.
- Qu Shu-cun, Zhou Pu-hua. 1998. The extraction of diallyl thiosulfonate and the analyses of chemical composition of garlic oil and the residue. *Journal of Hunan Agricultural University*, 24(3): 235 - 237. (in Chinese)
- 屈殊存, 周朴华. 1998. 大蒜油提取及大蒜油与大蒜渣的化学成分分析. *湖南农业大学学报*, 24(3): 235 - 237.
- Sexton P J, Naeve S L, Paek N C. 1997. Sulfur availability, rubisco content and photosynthetic rate of soybean. *Crop Science*, 37(6): 1801 - 1806.
- Shen Xue-shan, Zhu Yun-ji. 2007. Effects of sulphur application on characteristics of grain filling and grain yield of winter wheat cultivar 'Yumai 50'. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 27(6): 1265 - 1269. (in Chinese)
- 沈学善, 朱云集. 2007. 施硫对豫麦 50 籽粒灌浆特性及产量的影响. *西北植物学报*, 27(6): 1265 - 1269.
- Sun Ke-gang, Wang Ji-yin, Yang Zhi-juan. 2004. Current situation of sulfur in soil, yield-increasing of crop response to S fertilizer and sulfur balance in soil of Henan Province. *Phosphate & Compound Fertilizer*, 19(4): 70 - 72. (in Chinese)
- 孙克刚, 王继印, 杨稚娟. 2004. 河南省耕地土壤硫素现状、硫肥增产效应及土壤硫素平衡概况. *磷肥与复肥*, 19(4): 70 - 72.
- Wang Dong, Yu Zhen-wen, Wang Xu-dong. 2003. Effect of sulfur fertilizer on sulfur absorption and distribution and yield of winter wheat. *Acta Agronomica Sinica*, 29(5): 791 - 793. (in Chinese)
- 王东, 于振文, 王旭东. 2003. 硫肥对冬小麦硫素吸收分配和产量的影响. *作物学报*, 29(5): 791 - 793.
- Wang Xue-kui. 2006. Principium and technology of physiological and biochemical experiment of plant. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)
- 王学奎. 2006. 植物生理生化实验原理与技术. 北京: 高等教育出版社.
- Xie Rui-zhi, Dong Shu-ting, Hu Chang-hao, Wang Kong-jun. 2003. Influence of nitrogen and sulfur interaction on grain quality of maize. *Scientia Agricultura Sinica*, 36(3): 263 - 268. (in Chinese)
- 谢瑞芝, 董树亭, 胡昌浩, 王空军. 2003. 氮硫互作对玉米籽粒营养品质的影响. *中国农业科学*, 36(3): 263 - 268.
- Xie Ying-xin, Zhu Yun-ji. 2009. Effects of sulphurous fertilization on photosynthetic and physiological characteristics and yields of winter wheat.

- Plant Nutrition and Fertilizer Science, 15(2): 403 - 409. (in Chinese)
- 谢迎新, 朱云集. 2009. 施用硫肥对冬小麦光合生理特性及产量的影响. 植物营养与肥料学报, 15(2): 403 - 409.
- Yang Bing-jie. 2006. The Effects of sulphur to quantity and quality of garlic[Ph. M. Dissertation]. Tai'an: Shandong Agricultural University. (in Chinese)
- 闫冰洁. 2006. 硫对大蒜产量和品质影响[硕士论文]. 泰安: 山东农业大学.
- Yang Feng-juan, Liu Shi-qi, Wang Xiu-feng. 2004. Effects of sulfur on physiological and biochemical indices and nutrition quality of garlic. Chinese Journal of Applied Ecology, 15(11): 2095 - 2098. (in Chinese)
- 杨凤娟, 刘世琦, 王秀峰. 2004. 硫对大蒜生理生化指标及营养品质的影响. 应用生态学报, 15(11): 2095 - 2098.
- Zhao Shi-jie, Shi Zuo-an, Dong Xin-chun. 2002. Guidance of plant physiology experiments. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press.(in Chinese)
- 赵世杰, 史国安, 董新纯. 2002. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- Zhu Ying-hua, Tu Nai-mei, Xiao Han-qian. 2008. Effects of sulfur nutrition on photosynthesis and chlorophyll fluorescence of tobacco leaves. Acta Ecologica Sinica, 28(3): 1000 - 1005. (in Chinese)
- 朱英华, 屠乃美, 肖汉乾. 2008. 硫对烟草叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响. 生态学报, 28(3): 1000 - 1005.

征 订

《中国蔬菜栽培学》(第2版) 出版发行

《中国蔬菜栽培学》(第二版)于2009年10月由中国农业出版社出版发行。全书约250万字,分总论、各论、保护地蔬菜栽培、采后处理及贮藏保鲜共4篇。总论篇概要地论述了中国蔬菜栽培的历史、产业现状,中国蔬菜的起源、来源和种类,蔬菜作物生长发育和器官形成与产品质量的关系,蔬菜生产分区、栽培制度和技术原理,蔬菜栽培的生理生态基础以及环境污染与蔬菜的关系等;各论篇较详细地介绍了根菜类、薯芋类、葱蒜类、白菜类、芥菜类、甘蓝类、叶菜类、瓜类、茄果类、豆类、水生类、多年生类、芽苗菜以及食用菌类蔬菜的优良品种、栽培技术、病虫害综合防治、采收等方面的技术经验和研究成果;保护地蔬菜栽培篇论述了中国蔬菜保护地的类型、构造和应用,主要栽培设施的设计、施工,保护地环境及调节,保护地蔬菜栽培技术;采后处理及贮藏保鲜篇重点介绍了蔬菜采后处理技术及贮藏原理和方法等。与原著(1987年版)相比较,具有如下特点:

1. 重点增加了自20世纪80年代后期以来,中国在蔬菜栽培理论、无公害蔬菜栽培技术、推广应用的新品种、病虫害综合防治以及在蔬菜产品质量、产品采后处理及贮藏保鲜原理和技术等方面取得的新成果、新进展;概述了改革开放以来中国蔬菜产、销通过商品基地建设、流通体系建设等在解决蔬菜周年生产和供应方面所取得的成绩。
2. 对蔬菜栽培历史,蔬菜的起源、来源,分类,蔬菜学名,病虫害学名等进行了复核,校勘。
3. 尽可能地反映不同学术思想和观点;尽量反映不同生态区,包括台湾地区在内的栽培技术特点。
4. 删去了“蔬菜的加工”和“野生蔬菜”两章,以使本书的内容更加切题。另在附录中增加了“主要野生蔬菜简表”、“主要野生食用菌简表”和“主要香辛料蔬菜简表”3个附表。

本书由中国农业科学院蔬菜花卉研究所主编,组织全国有较高学术水平和实际工作经验的专家、学者和技术人员130余人分别撰写,反映了21世纪初中国蔬菜栽培科学研究和蔬菜生产技术的水平,内容较全面、系统,科学性、学术性强,亦有较强的实用性,并插有近500张彩图,可供相关科研人员、农业院校师生、专业技术人员或管理人员等参考。定价330元(含邮费)。

购书者请通过邮局汇款至北京中关村南大街12号中国农科院蔬菜花卉所《园艺学报》编辑部,邮编100081。