

# 硫对大葱生长及氮硫同化关键酶活性的影响

孔灵君, 徐坤\*, 张永征, 何平

(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:** 为探讨硫对大葱 (*Allium fistulosum* L. var. *giganteum* Makino) 生长及氮硫吸收同化的影响, 采用盆栽沙培方法, 研究了 0.01、2.01、4.01 和 6.01 mmol · L<sup>-1</sup> 不同供硫水平下 ‘天光’ 大葱的生长量、植株氮硫含量及氮硫同化关键酶活性的变化。结果表明, 适当提高供硫水平, 可显著促进大葱生长, 提高植株氮、硫含量及产量和品质, 硫水平过高, 则大葱产量降低, 品质下降。大葱叶片硫酸化酶 (ATPS) 活性随硫水平的升高而降低, 而乙酰丝氨酸水解酶 (OASS)、硝酸还原酶 (NR)、谷氨酰胺合成酶 (GS) 活性在不同生长期的表现不尽相同, 大葱生长前期, 较高硫水平提高了 NR 活性, 但对 GS 和 OASS 活性无显著影响; 大葱生长中后期, 适量提高供硫水平显著增强了 OASS、GS 活性, 但降低了 NR 活性, 表明供硫水平可显著影响大葱对氮硫的同化利用。综合分析表明, 大葱营养液硫水平以 2.01 mmol · L<sup>-1</sup> 较佳, 其产量较对照 0.01 mmol · L<sup>-1</sup> 增加 19.13%, 且综合品质显著改善。

**关键词:** 大葱; 硫; 产量; 品质; 氮硫同化

**中图分类号:** S 633.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0513-353X (2013) 12-2505-08

## Effects of Sulfur on Growth and Key Enzyme Activities Involved in Nitrogen and Sulfur Assimilation in Chinese Spring Onion

KONG Ling-jun, XU Kun\*, ZHANG Yong-zheng, and HE Ping

(State Key Laboratory of Crop Biology/Ministry of Agriculture Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops in Huang-Huai Region/College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018, China)

**Abstract:** In order to investigate the effects of sulfur on the growth, the nitrogen and sulfur assimilation of Chinese spring onion, the plant growth, nitrogen and sulfur content and activity of key enzyme (NR, GS, ATPS, OASS) for assimilation of nitrogen and sulfur in the different S levels were studied with potted sandy culture. The results showed that the growth, the N and S content, the yield and quality were improved by appropriately increasing the content of sulfur, while the yield and quality were reduced when the content of S level was over 4.01 mmol · L<sup>-1</sup>. The activity of ATP sulfurylase (ATPS) of leaves reduced with the S level increasing, while the activities of O-acetylserine thiollyase (OASS), nitrate reductase (NR) and glutamine synthetase (GS) responded differently at each growth stage. In the initial stage, the activity of NR was improved on the higher S level which had no significant effect on the activities of GS and OASS. In the later stage, the activities of OASS and GS were enhanced on the

收稿日期: 2013-07-18; 修回日期: 2013-09-16

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系专项资金项目 (SDAIT-02-022-05); 国家公益性行业 (农业) 科研专项 (200903018)

\* 通信作者 Author for correspondence (E-mail: xukun@sdau.edu.cn)

appropriate S level, and the activity of NR was reduced. Comprehensive analysis of results showed that, the nutrient solution containing  $2.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  was the optimal to improving the yield and quality of Chinese spring onion, and the yield was 19.1% higher than the control ( $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ).

**Key words:** Chinese spring onion; sulfur; yield; quality; nitrogen and sulfur assimilation

大葱 (*Allium fistulosum* L. var. *giganteum* Makino) 具有独特的风味和保健价值, 其主要功能成分物质为有机硫化物 (Kodera et al., 2002)。前人的研究表明, 增施硫素不仅可显著提高大葱 (刘松忠 等, 2009)、洋葱 (Randle & Bussard, 1993)、大蒜 (王昌全 等, 2004; 杨凤娟 等, 2004; 刘中良 等, 2010) 等葱属植物有机硫化物含量, 还可促进植株生长, 改善综合品质, 但硫肥对叶芥菜的生长和产量无显著影响 (李娟 等, 2005)。周杰等 (2012) 的研究表明, 适量供硫可提高小麦植株氮、硫含量, 增强叶片光合作用, 但供硫水平过高, 则会抑制氮、硫的吸收和积累; 合理施硫不仅促进了小麦干物质积累, 还可显著影响叶片硝酸还原酶 (NR)、乙酰丝氨酸水解酶 (OASS)、谷氨酰胺合成酶 (GS) 及谷氨酸—丙酮酸转氨酶 (GPT) 等氮硫同化关键酶活性, 但硫对小麦叶片相关酶活性的影响在不同氮水平下表现并不一致 (朱云集 等, 2007)。硫对烟草叶片 NR 及 OASS 活性的影响也不相同 (Smith, 1980; 朱英华 等, 2008)。表明植物的硫与氮代谢存在密切关系 (Koprivova et al., 2000; Hesse et al., 2004)。本试验中研究了硫对大葱生长及氮、硫同化关键酶活性的影响, 以期揭示硫影响大葱产量品质的生理机制, 旨在为大葱生产中合理施用硫肥提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试材培养

在 2011 年预备试验基础上, 于 2012 年在山东农业大学园艺试验站进行试验。供试大葱品种为‘天光’, 于 2012 年 3 月 25 日播种育苗, 6 月 25 日苗高 30 cm 左右时栽植于高 28 cm、直径 25 cm 的陶盆内, 栽植时先在盆内填装经酸洗、水洗处理的珍珠岩约达 1/2 盆高, 后呈同心圆状每盆栽植葱苗 10 株, 置防雨棚内浇灌营养液培养, 至 11 月 20 日收获。大葱生长过程中, 根据假茎生长情况分次向盆内添加经酸洗、水洗处理的珍珠岩至满盆后, 待假茎长至高出珍珠岩 10 cm 以上时, 每株大葱假茎再加套 15 cm 长的黑色塑料管。

### 1.2 试验设计

以华南农业大学研制的适于大葱生长的叶菜 A 配方 (刘士哲, 2001) 为试验基本配方, 以纯净水配制营养液, 通过添加  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  调整配方硫素 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) 水平, 设 0.01 (对照)、2.01、4.01、6.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  4 个处理, 以 40 盆为 1 个区组, 重复 3 次, 随机区组排列。

培养期间每隔 1 ~ 2 d 浇 1 次营养液, 每 10 d 左右用纯净水洗盐 1 次, 防止盐分积累, 直至收获。

### 1.3 测试指标与测定方法

于大葱缓苗越冬期 (7 月 22 日)、叶丛速生期 (9 月 12 日) 及假茎充实期 (10 月 25 日) 每小区随机取 5 株, 分别测定株高、假茎长、假茎粗以及根、假茎、叶片鲜质量, 以 5 株平均值为该小区实测值; 同时分别测定不同时期大葱叶片氮硫同化关键酶活性、各器官氮硫元素含量。

硝酸还原酶 (NR) 活性采用活体法测定 (李合生 等, 2000), 谷氨酰胺合成酶 (GS) 参照赵世杰等 (1998) 的方法测定, 硫酸化酶 (ATPS) 活性参照 Lappartient 和 Touraine (1996) 的方法测定, 乙酰丝氨酸水解酶 (OASS) 活性参照 Kuske 等 (1996) 的方法测定。全氮采用凯氏定氮法测定 ( $\text{H}_2\text{SO}_4 - \text{H}_2\text{O}_2$  联合消煮), 全硫采用  $\text{BaSO}_4$  比浊法测定 ( $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$  消煮) (曹恒生 等, 1983)。

大葱收获时 (11 月 20 日), 按小区实有株数称鲜质量, 计算单株产量, 并测定大葱假茎品质。维生素 C 以滴定法测定 (李合生 等, 2000), 硝酸盐以水杨酸法测定 (赵世杰 等, 1998), 可溶性蛋白以考马斯亮蓝法测定 (赵世杰 等, 1998), 丙酮酸以 2,4 - 二硝基苯肼显色法测定 (文树基, 1994), 可溶性糖以蒽酮法测定 (赵世杰 等, 1998), 游离氨基酸以茚三酮溶液显色法测定 (李合生 等, 2000)。大葱综合品质以隶属函数值  $X(\mu)$  表示:  $X(\mu) = (X - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min})$ ,  $X$  为该指标某处理测定值,  $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$  分别为该指标所有处理的最大值和最小值。

试验数据用 Excel 和 DPS 软件进行处理和统计分析, 用 Duncan's 新复极差法进行差异显著性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 硫对大葱生长的影响

表 1 表明, 大葱缓苗越冬期 (07 - 22), 植株生长缓慢, 不同硫水平处理间无显著差异, 至叶丛速生期 (09 - 12), 2.01、4.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的大葱生长量无显著差异, 但二者显著高于 0.01 及 6.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 至假茎充实期 (10 - 25), 则以 2.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  表现较好, 4.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  次之, 0.01、6.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较差, 2.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理大葱株高、假茎粗及根、假茎、叶鲜质量较 0.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理分别增加了 11.19%、10.44%、37.63%、24.73%、25.77%; 4.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  大葱生长量亦显著高于 0.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 但 6.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理的株高、叶片鲜质量虽较 0.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理显著增加, 但其假茎直径、假茎鲜质量与根鲜质量则与 0.01  $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  无显著差异。

表 1 硫对大葱植株生长的影响

Table 1 Effect of sulfur on the plant growth of the Chinese spring onion

生育期(M - D) Growth stage	S/ ( $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	株高/cm Plant height	假茎直径/mm Cauloid diameter	叶片鲜质量/g Leaf fresh mass	假茎鲜质量/g Cauloid fresh mass	根系鲜质量/g Root fresh mass
07 - 22	0.01	52.95 ± 2.36 a	7.65 ± 0.37 a	9.58 ± 1.01 a	6.06 ± 1.22 a	1.09 ± 0.10 a
	2.01	53.14 ± 1.00 a	7.76 ± 0.17 a	10.79 ± 0.31 a	6.05 ± 0.52 a	1.21 ± 0.01 a
	4.01	54.56 ± 1.99 a	7.74 ± 0.30 a	10.31 ± 0.36 a	6.07 ± 0.24 a	1.27 ± 0.06 a
	6.01	51.12 ± 0.96 a	7.65 ± 0.45 a	9.94 ± 0.21 a	6.07 ± 0.24 a	1.22 ± 0.10 a
09 - 12	0.01	67.10 ± 1.35 c	10.73 ± 0.52 b	37.86 ± 1.90 b	30.08 ± 1.81 b	3.03 ± 0.31 b
	2.01	71.06 ± 2.27 ab	12.02 ± 0.44 a	52.31 ± 3.18 a	37.82 ± 0.62 a	4.56 ± 0.33 a
	4.01	73.59 ± 2.87 a	11.59 ± 0.45 ab	51.81 ± 3.24 a	36.50 ± 2.39 a	4.78 ± 0.43 a
	6.01	68.20 ± 2.34 b	10.92 ± 0.64 ab	39.12 ± 0.74 b	30.87 ± 1.64 b	3.35 ± 1.03 b
10 - 25	0.01	79.69 ± 2.43 c	15.71 ± 0.18 b	59.18 ± 2.10 c	70.68 ± 3.30 c	10.13 ± 0.88 b
	2.01	88.61 ± 2.51 a	17.35 ± 0.07 a	81.45 ± 2.28 a	88.16 ± 3.34 a	12.74 ± 0.31 a
	4.01	89.10 ± 2.36 a	16.40 ± 0.48 b	76.62 ± 1.31 b	79.33 ± 2.25 b	12.06 ± 0.52 a
	6.01	83.85 ± 1.76 b	15.84 ± 0.66 b	71.48 ± 3.07 b	71.94 ± 0.96 c	9.92 ± 0.74 b

注: 表中数值后小写字母表示处理间差异达 0.05 显著水平 (Duncan's 新复极差法), 下同。

Note: Values in the table followed by different small letters is significant at 0.05 level (Duncan's test). The same below.

## 2.2 硫对大葱叶片氮、硫同化关键酶活性的影响

图 1 显示, 大葱叶片 NR 和 GS 活性在处理间存在显著差异, 且不同生长期的表现不同。缓苗越夏期 (07-22)  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 NR 活性仅  $5.04 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ , 显著低于施硫其它处理; 叶丛速生期 (09-12) NR 活性则以  $2.01$ 、 $4.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较高,  $0.01$ 、 $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较低; 而假茎充实期 (10-25) 大葱叶片 NR 活性以  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较高, 达  $33.67 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ,  $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较低, 仅  $17.03 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  FW,  $2.01$ 、 $4.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  处理居中, 且二者无显著差异 (图 1, A)。表明在大葱生长前中期, 施硫能提高大葱叶片 NR 活性, 增强植株对氮素吸收同化能力。

硫对 GS 活性的影响较 NR 小, 缓苗越夏期 (07-22) 大葱叶片 GS 活性较低, 处理间无显著差异; 至叶丛速生期 (09-12) GS 活性显著增强, 且以施硫处理高于  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 而  $2.01$ 、 $4.01$  和  $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  无显著差异; 假茎充实期 (10-25) GS 活性略有降低, 但仍以  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较低 (图 1, B)。表明在大葱生长中后期, 施硫显著提高了大葱叶片 GS 活性, 促进了吸收氮素的同化利用, 有利于蛋白质合成。

图 1, C 还表明, 不同生长期大葱叶片 ATPS 活性变化较小, 但均以  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  显著高于施硫处理, 而  $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  除叶丛速生期 (09-12) ATPS 活性较低外, 其它生长期均与  $2.01$ 、 $4.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  无显著差异, 表明大葱在低硫胁迫下植株 ATPS 活性会显著提高, 促进对吸收硫素的利用。

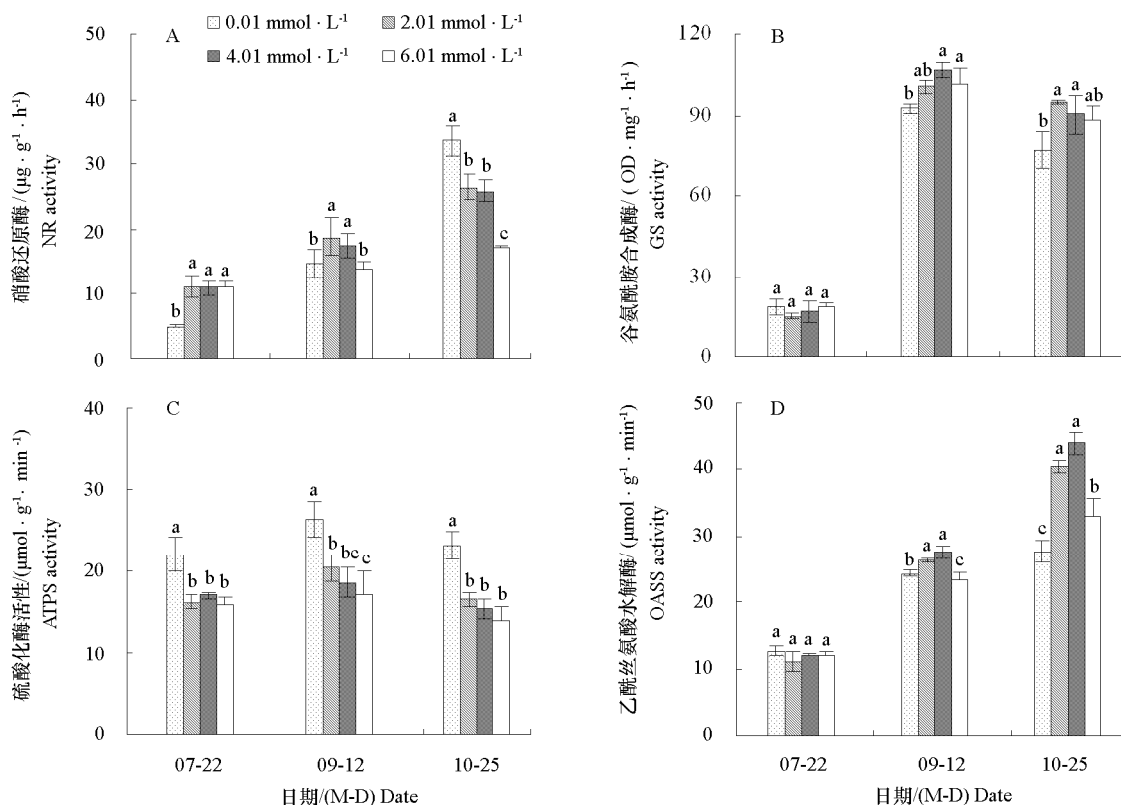


图 1 硫对大葱叶片氮硫同化关键酶活性的影响

Fig. 1 Effect of sulfur on key enzyme activities involved in N, S assimilation in leaves of the Chinese spring onion

大葱叶片 OASS 活性在缓苗越夏期 (07-22) 处理间无显著差异, 随生长的进行, 各处理大葱叶片 OASS 活性均逐渐升高, 叶丛速生期 (09-12) 除  $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的 OASS 活性低于  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  外,  $2.01$ 、 $4.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  均显著高于  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 至假茎充实期 (10-25) 仍以  $2.01$ 、 $4.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较高,  $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  次之, 分别较  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  提高 58.75%、46.31% 和 18.87% (图 1, D)。表明施硫提高了大葱生长中后期植株叶片的 OASS 活性, 促进了植株对硫的同化, 利于含硫有机物的合成。

### 2.3 硫对大葱植株氮硫元素含量的影响

图 2, A 显示, 适当增加供硫水平可显著提高植株氮含量, 而硫水平升至  $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时, 虽缓苗越夏期 (07-22) 较  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  高 7.76%, 但叶丛速生期 (09-12) 及假茎充实期 (10-25) 较  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  分别低 6.45% 和 9.27%。

全生育期内, 施硫处理的植株硫含量均显著高于  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 且随生长的进行,  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  大葱植株硫含量显著降低, 而  $2.01$ 、 $4.01$  和  $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  则基本稳定, 且未表现出显著差异, 如缓苗越夏期 (07-22) 分别较  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  增加 38.64%、45.45% 和 43.18%, 至假茎充实期 (10-25), 则分别增加 384.62%、400.00% 和 376.92% (图 2, B)。

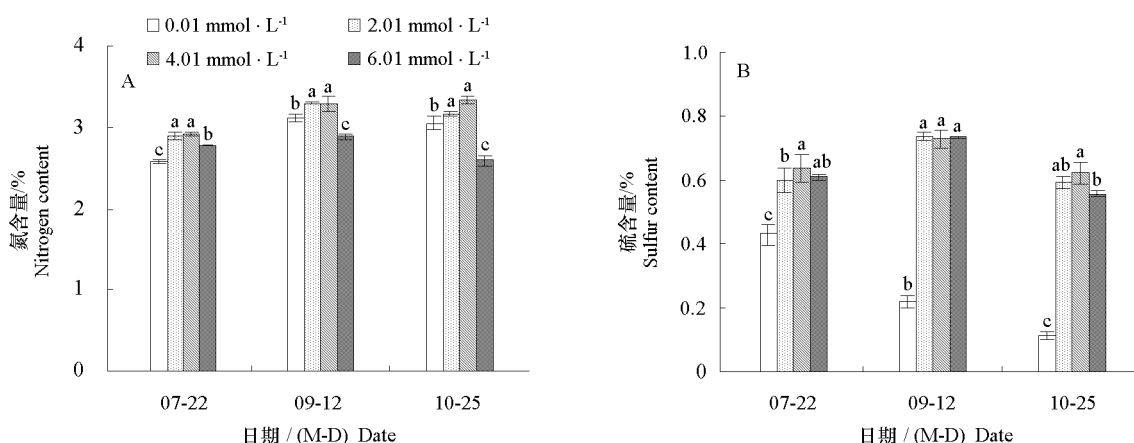


图 2 硫对大葱植株氮硫含量及吸收量的影响

Fig. 2 Effect of sulfur on N, S content and absorption in plant of the Chinese spring onion

### 2.4 硫对大葱产量品质的影响

从表 2 可以看出, 硫对大葱品质有显著影响, 但对各品质指标的作用方向存在差异, 其中丙酮酸、可溶性糖、可溶性蛋白含量随硫水平升高而升高, 表明硫能提高大葱风味和营养品质; 硝酸盐含量随硫水平升高而降低, 表明硫能提高大葱安全品质; 而硫水平对维生素 C 含量无显著影响, 并会降低游离氨基酸含量。

大葱品质指标隶属函数总值以  $2.01$ 、 $4.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较高,  $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  次之,  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较低 (表 2), 表明适量提高供硫水平, 可显著改善大葱综合品质。

大葱产量与综合品质的变化趋势基本一致, 施硫能显著提高大葱产量,  $2.01$ 、 $4.01$ 、 $6.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的大葱产量均显著高于  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ , 增产率分别达 19.13%、12.23% 和 5.18% (表 2)。

表 2 硫对大葱产量和品质的影响

Table 2 Effect of sulfur on yield and quality in the Chinese spring onion

S/ (mmol·L <sup>-1</sup> )	游离氨基酸/ (mg·g <sup>-1</sup> FW) Free amino acid	丙酮酸/ (mg·g <sup>-1</sup> FW) Pyruvate	可溶性蛋白/ (mg·g <sup>-1</sup> FW) Soluble protein	可溶性糖/% Soluble sugar	维生素 C/ (mg·kg <sup>-1</sup> FW) Vitamin C	硝酸盐/ (mg·g <sup>-1</sup> FW) Nitrate	隶属函数 Membership function	产量/ (g·plant <sup>-1</sup> ) Yield
0.01	1.50 ± 0.01 a	0.13 ± 0.03 c	2.81 ± 0.15 c	0.65 ± 0.05 b	149.02 ± 7.06 a	0.23 ± 0.05 a	1.41 ± 0.45 c	139.85 ± 0.87 d
2.01	1.42 ± 0.05 b	0.72 ± 0.02 b	3.85 ± 0.19 a	0.86 ± 0.03 a	118.27 ± 20.14 a	0.11 ± 0.02 b	3.30 ± 0.21 a	166.61 ± 2.89 a
4.01	1.36 ± 0.01c	0.72 ± 0.06 b	3.47 ± 0.11 b	0.87 ± 0.04 a	134.05 ± 15.02 a	0.09 ± 0.02 b	3.17 ± 0.35 a	156.95 ± 1.53 b
6.01	1.30 ± 0.03 d	0.81 ± 0.03 a	3.42 ± 0.12 b	0.85 ± 0.14 a	111.76 ± 17.94 a	0.10 ± 0.01 b	2.48 ± 0.52 b	147.09 ± 2.80 c

3 讨论

硫酸化酶（ATPS）和乙酰丝氨酸水解酶（OASS）作为植物硫素同化的关键酶，分别参与硫酸盐的活化和半胱氨酸的合成（Saito，2004）。但 Smith（1980）研究表明，硫对烟草叶片 OASS 活性无显著影响，而朱云集等（2007）研究发现，缺硫环境下小麦叶片 OASS 活性显著提高。本试验结果表明，大葱不同生长期 ATPS 活性变化不大，但其活性随硫水平的升高而降低，这可能与硫素营养状况较差条件下，较高的 ATPS 活性有利于增强对硫素的同化利用有关，尽管如此，缺硫大葱植株硫含量仍随生长的进行显著降低，而较高的供硫水平则显著提高了硫含量。大葱叶片 OASS 活性随生长的进行显著增强，虽然供硫水平对大葱生长缓苗越夏期的 OASS 活性影响不大，但至叶丛速生期后，适量提高硫素水平，增强了大葱 OASS 的活性，缺硫及高硫条件下 OASS 活性均降低。这可能与 OASS 受氮素影响大于硫素（Smith，1980），而大葱在缺硫及高硫条件下氮素含量降低，氮代谢受到抑制，影响了 OASS 催化反应的前体物质乙酰丝氨酸（OAS）的合成有关（Koprivova et al.，2000）。

供硫水平不仅影响植物对硫的吸收利用，还影响植物体内的氮同化（谢瑞芝 等，2002）。杨凤娟等（2004）研究表明，硫可显著提高大蒜叶片硝酸还原酶（NR）活性；朱英华等（2008）的研究也证实，硫对烟草叶片 NR 活性有促进作用，但不同生育期 NR 活性对硫水平的反应存在差异。朱云集等（2007）研究指出，一定氮水平下施硫能提高小麦叶片 NR 活性，但高氮水平下施硫降低了 NR 活性，但显著提高了谷氨酰胺合成酶（GS）活性；而 Saccomani 等（1984）研究认为，硫对玉米叶片 GS 活性无显著影响。由于 NR、GS 均是植物氮同化的关键酶，分别参与硝态氮和氨的同化，其活性不仅与环境营养状况有关，还与作物生育时期及光照、温度、水分等多种环境因素有关（赵春 等，2006），进而造成了不同研究结果的差异。本试验结果表明，适量施硫可提高大葱植株氮含量，且叶片 NR 活性在大葱生长中前期有所增强，而生长后期则 NR 活性较对照降低，这可能与大葱生长后期处于低温弱光条件下，较低硫素营养促进了氮代谢对同化能的竞争有关（关义新 等，2000；朱云集 等，2007）；而施硫能提高大葱 GS 活性，其活性的变化同植株贮藏器官假茎可溶性蛋白含量变化基本一致，表明硫能促进 GS 活性的提高而促进氨的同化（赵春 等，2006）。

朱云集等（2007）研究发现，硫能显著影响小麦叶片 NR、OASS、GS、GPT 等氮硫同化关键酶活性，促进植株干物质积累，提高小麦产量；杨凤娟等（2004）研究表明，硫能提高大蒜叶片 NR 活性，显著影响品质的形成，提高产品器官大蒜素、可溶性糖、可溶性蛋白含量；Timothy 等（2005）研究表明，供硫水平显著影响洋葱氮、硫的吸收，提高洋葱鳞茎产量和风味物质含量；刘松忠等（2009）研究同样发现，硫能提高植株氮硫含量及氮硫吸收量，促进大葱风味物质有机硫化物的形成和积累。可见，植株氮硫代谢状况同植株生长及产量品质的形成密切相关。本试验结果表明，硫虽然对大葱生长初期的促长作用不显著，但随着生长的进行，其促进效果逐渐增强，产量和综合品质显著提高，

这与硫除能维持自身元素代谢外, 还能提高植株 GS 活性、提高氮素营养水平不无关系。而硫水平过高时, 则其效应下降, 可能与高硫水平下, 植株叶片 NR、GS、OASS 活性降低, 导致植株对氮、硫的吸收利用下降有关。

本试验条件下, 营养液硫水平以  $2.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  较为适宜, 大葱产量较对照  $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  增加 19.13%, 综合品质也显著提高。

## References

- Cao Heng-sheng, Tang Rong-hua, Zhu Quan-di. 1983. Analysis methods of soil and agricultural chemistry. Beijing: Science Press. (in Chinese)  
曹恒生, 唐荣华, 朱泉娣. 1983. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社.
- Guan Yi-xin, Lin Bao, Ling Bi-ying. 2000. The interactive effects of growth light condition and nitrogen supply on maize (*Zea mays* L.) seedling photosynthetic traits and metabolism of carbon and nitrogen. *Acta Agron Sin*, 26 (6): 806 – 812. (in Chinese)  
关义新, 林葆, 凌碧莹. 2000. 光、氮及其互作对玉米幼苗叶片光合和碳、氮代谢的影响. *作物学报*, 26 (6): 806 – 812.
- Hesse H, Nikiforova V, Gakière B, Hoefgen R. 2004. Molecular analysis and control of cysteine biosynthesis: Integration of nitrogen and sulphur metabolism. *J Exp Bot*, 55 (401): 1283 – 1292.
- Kodera Y, Suzuki A, Imada O, Kasuga S, Sumioka I, Kanezawa A, Taru N, Fujikawa M, Nagae S, Masamoto K, Maeshige K, Ono K. 2002. Physical, chemical, and biological properties of S-allylcysteine, an amino acid derived from garlic. *J Agric Food Chem*, 50: 622 – 632.
- Koprivova A, Suter M, Opden C R, Brunold C, Kopriva S. 2000. Regulation of sulfate assimilation by nitrogen in *Arabidopsis*. *Plant Physiol*, 122: 737 – 746.
- Kuske C R, Hill K K, Guzman E, Jackson P J. 1996. Subcellular location of O-acetylserine sulphydrylase isoenzymes in cell cultures and plant tissues of *Datura innoxia* Mill. *Plant Physiol*, 112: 659 – 667.
- Lappartient A G, Touraine B. 1996. Demand-driven control of root ATP-sulfurase activity and  $\text{SO}_4^{2-}$  uptake in intact Canola. *Plant Physiol*, 111: 147 – 157.
- Li He-sheng, Sun Qun, Zhao Shi-jie, Zhang Wen-hua. 2000. The experiment principle and technology of plant physiology. Beijing: Higher Education Press. (in Chinese)  
李合生, 孙群, 赵世杰, 章文华. 2000. 植物生理生化实验原理和技术. 北京: 高等教育出版社.
- Li Juan, Zhu Zhu-jun, Qian Qiong-qiu. 2005. Effects of nitrogen and sulphur application on the growth and nutritional quality of leaf mustard. *Acta Horticulturae Sinica*, 32 (6): 1045 – 1050. (in Chinese)  
李娟, 朱祝军, 钱琼秋. 2005. 氮肥和硫肥对叶芥菜生长及营养品质的影响. *园艺学报*, 32 (6): 1045 – 1050.
- Liu Shi-zhe. 2001. Modern practical soilless cultivation technique. Beijing: China Agricultural University Press. (in Chinese)  
刘士哲. 2001. 现代实用无土栽培技术. 北京: 中国农业大学出版社.
- Liu Song-zhong, He Hong-ju, Feng Gu, Chen Qing. 2009. Effect of N and S supply on the growth and organo-sulfur compounds of Zhangqiu spring onion. *Plant Nutr Fert Sci*, 15 (4): 884 – 889. (in Chinese)  
刘松忠, 何洪巨, 冯固, 陈清. 2009. 氮、硫供应对章丘大葱生长和含硫有机物含量的影响. *植物营养与肥料学报*, 15 (4): 884 – 889.
- Liu Zhong-liang, Liu Shi-qi, Zhang Zi-kun, Yang Ru, Chen Kun. 2010. Effects of sulphur content in nutrient solution on photosynthetic characteristics and quality of garlic. *Acta Horticulturae Sinica*, 37 (4): 581 – 588. (in Chinese)  
刘中良, 刘世琦, 张自坤, 杨茹, 陈坤. 2010. 硫对设施水培大蒜光合特性和鳞茎品质的影响. *园艺学报*, 37 (4): 581 – 588.
- Randle W M, Bussard M L. 1993. Pungency and sugars of short-day onions as affected by sulfur nutrition. *J Amer Soc Hort Sci*, 118 (6): 766 – 770.
- Saccomani M, Cacco G, Ferrari G. 1984. Effect of nitrogen and/or sulfur deprivation on the uptake and assimilation steps of nitrate and sulfate in maize seedlings. *Plant Nutrition*, 7 (7): 1043 – 1057.
- Saito K. 2004. Sulfur assimilatory metabolism the long and smelling road. *Plant Physiol*, 136: 2443 – 2450.
- Smith I K. 1980. Regulation of sulfate assimilation in tobacco cells. *Plant Physiol*, 66: 877 – 883.
- Timothy W C, Dean A, David E. 2005. Nitrogen and sulfur influence nutrient usage and accumulation in onion. *Plant Nutrition*, 27 (9): 1667 – 1686.
- Wang Chang-quan, Li Bing, Li Huan-xiu. 2004. The effect of selenium-sulphur cooperated spraying on the nutrition quality of garlic (*Allium sativum*

- L.) . *Acta Horticulturae Sinica*, 31 (4): 461 - 466. (in Chinese)
- 王昌全, 李 冰, 李焕秀. 2004. 硒硫配合喷施对大蒜营养品质的影响. *园艺学报*, 31 (4): 461 - 466.
- Wen Shu-ji. 1994. *Guide of biochemistry experiment*. Xian: Shaanxi Science and Technology Press. (in Chinese)
- 文树基. 1994. 基础生物化学实验指导. 西安: 陕西科学技术出版社.
- Xie Rui-zhi, Dong Shu-ting, Hu Chang-hao. 2002. The progress of studies on sulfur nutrition of plant. *Chin Agric Sci Bull*, 18 (2): 65 - 69. (in Chinese)
- 谢瑞芝, 董树亭, 胡昌浩. 2002. 植物硫素营养研究进展. *中国农学通报*, 18 (2): 65 - 69.
- 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 Chun, Jiao Nian-yuan, Ning Tang-yuan, Wang Hao, Lou Jin-hua, Hou Xiang-shan, Li Zeng-jia. 2006. Enzyme activities in nitrogen metabolism of winter wheat and its grain quality under different environmental conditions. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17 (10): 1866 - 1870. (in Chinese)
- 赵 春, 焦念元, 宁堂原, 王 浩, 娄金华, 侯相山, 李增嘉. 2006. 不同环境条件下小麦氮代谢关键酶活性及籽粒品质. *应用生态学报*, 17 (10): 1866 - 1870.
- Zhao Shi-jie, Liu Hua-shan, Dong Xin-chun. 1998. *Techniques of plant physiological experiment*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 赵世杰, 刘华山, 董新纯. 1998. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业科技出版社.
- Zhou Jie, Wang Dong, Man Jian-guo, Gu Shu-bo, Chen Mao-xue, Yu Zhen-wen. 2012. Effects of interaction of nitrogen and sulfur on seedling growth, uptake and utilization of nitrogen and sulfur of winter wheat under high nitrogen conditions. *Plant Nutr Fert Sci*, 18 (1): 42 - 51. (in Chinese)
- 周 杰, 王 东, 满建国, 谷淑波, 陈茂学, 于振文. 2012. 高氮条件下硫氮互作对冬小麦幼苗生长及氮、硫吸收利用的影响. *植物营养与肥料学报*, 18 (1): 42 - 51.
- Zhu Ying-hua, Tu Nai-mei, Xiao Han-qian, Wang Hui, Deng Li-chao. 2008. Effect of sulfur on the growth and physiological and biochemical indice of flue-cured tobacco. *Journal of China Tobacco*, 14 (4): 28 - 32. (in Chinese)
- 朱英华, 屠乃美, 肖汉乾, 王 辉, 邓力超. 2008. 硫对烤烟生长发育及生理生化指标的影响. *中国烟草学报*, 14 (4): 28 - 32.
- Zhu Yun-ji, Li Guo-qiang, Guo Tian-cai, Wang Chen-yang, Dai Ting-bo, Cao Wei-xing. 2007. Effect of sulfur on key enzyme activities involved in nitrogen and sulphur assimilation in flag leaves and grain yield under different nitrogen levels in winter wheat (*Triticum aestivum* L.) . *Acta Agron Sin*, 33 (7): 1116 - 1121. (in Chinese)
- 朱云集, 李国强, 郭天财, 王晨阳, 戴廷波, 曹卫星. 2007. 硫对不同氮水平下小麦旗叶氮硫同化关键酶活性及产量的影响. *作物学报*, 33 (7): 1116 - 1121.