

# 无机硫对韭菜生长及硝酸盐累积的影响

李晓峰<sup>1</sup>, 谢鑫<sup>1</sup>, 付雪清<sup>1</sup>, 王俊玲<sup>2</sup>, 高志奎<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 园艺学院, 河北 保定 071001; 2. 河北农业大学 生命学院, 河北 保定 071001)

**摘要:**针对韭菜生产中硝酸盐累积问题,研究了不同处理时期土壤施用和叶面喷施不同种类、浓度的无机硫对韭菜生长及硝酸盐累积的影响。结果表明:无机硫能促进韭菜的生长、促进硝酸盐的还原同化、降低韭菜叶片硝酸盐的累积;收割后 0 d 和收割后 10 d 土壤施用 12 g/m<sup>2</sup> 的 NaHSO<sub>3</sub>、收割后 10 d 叶面喷施 10 mmol/L 的 NaHSO<sub>3</sub> 可显著降低韭菜叶片硝酸盐含量 6.68%、24.27%、25.54%;同时,无机硫能在一定程度上提高韭菜叶片硝酸还原酶(NR)活性,分别比对照提高了 11.86%、27.43%、37.03%;并且,韭菜的株高、鲜重、叶绿素含量也均有增加。

**关键词:**韭菜;无机硫;硝酸盐累积;硝酸还原酶活性

**中图分类号:**S 633.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2013)12-0004-04

蔬菜尤其是叶菜类蔬菜,喜硝态氮,极易富集硝酸盐(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)<sup>[1]</sup>。一般认为,硝态氮的吸收大于还原是蔬菜产生硝酸盐累积的根本原因。蔬菜中富集的过量 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 成为危害人体健康的潜在因素已为人所共识<sup>[2]</sup>。为了限制硝态氮的吸收,基于土壤溶液中硝态氮过多会被吸收而直接导致硝酸盐累积加重的缘故,目前国内外的一些研究与生产中,以氮素营养调控最为直接,表现在控制氮素的施用量(特别是硝态氮)、氮磷钾的合理配比施肥、氮肥种类及形态配比以及采用氮肥调节剂(硝化抑制剂)等方法来降低蔬菜体内硝酸盐的累积<sup>[3-5]</sup>。

现代植物生理生化研究表明,氮和硫 2 种元素在生理代谢-特别是蛋白质合成方面表现出高度的协同关系<sup>[6]</sup>。氮、硫中的某一种元素缺乏就抑制另一条代谢途径。Hawkesford 等<sup>[7]</sup>研究表明,不充足的硫供应导致暂时的和稳固的硝酸盐积累或特殊的氨基酸库的混乱。一些研究利用土壤施用硫肥(硫酸钾、硫磺等)的手段,在一定程度上调节了植株氮硫代谢过程中的关键酶活性<sup>[8]</sup>,同时促进了植株的 C-N 运转,降低了硝酸盐的累积。但关于硫肥的不同种类和施用方式对硝酸盐累积的影响鲜见报道。

该试验针对韭菜生产中硝酸盐累积问题,基于 N-S 代谢的偶联与相关平衡关系,采用不同种类、不同浓度的无机硫,结合土壤施用和叶面喷施 2 种处理方式,测试分析了韭菜叶片硝酸盐含量、硝酸还原酶活性、株高、鲜重、叶绿素含量的变化,以期筛选出降低韭菜硝酸盐累积效果显著的无机硫种类及浓度范围,为绿色蔬菜的栽培提供理论指导,以促进中国无公害蔬菜生产及产业发展。

**第一作者简介:**李晓峰(1976-),男,河北内邱人,博士,讲师,现主要从事蔬菜生理和育种等研究工作。

**责任作者:**高志奎(1963-),男,河北唐山人,博士,教授,博士生导师,现主要从事蔬菜光合生理等研究工作。

**基金项目:**河北省自然科学基金资助项目(C2009000625);河北省科技支撑计划资助项目(10220711)。

**收稿日期:**2013-03-19

**Abstract:** Using cucumber 'Jinyan-2' as the material, the effects of different concentrations of salicylic acid on the growth of cucumber seedling under 4°C cold stress were studied by hydroponic culture. The results showed that under cold stress, the contents of chlorophyll and soluble proteins were significantly decreased than those of control. The contents of proline, soluble sugar, MDA and the activities of SOD and POD were significantly increased ( $P < 0.01$ ). Exogenous SA application on the root significantly increased the contents of chlorophyll, soluble proteins, soluble sugar and proline, while the activities of SOD and POD were significantly increased, the membrane lipid peroxidation products MDA content decreased significantly ( $P < 0.01$ ). Therefore, the application of SA could improve the contents of cucumber seedling soluble protein, soluble sugar and Pro and the activities of SOD and POD to maintain the stability of cell membrane, decrease membrane lipid peroxidation damage degree, so as to alleviate the low temperature stress on seedling growth inhibition, and the alleviated effect was the best under the condition of 1.5 mmol/L exogenous SA.

**Key words:** salicylic acid; low temperature stress; cucumber seedling; physiological index

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料为多年生日光温室韭菜“新世纪雪韭”,按常规方法进行农艺管理。

### 1.2 试验方法

试验在河北省保定市河北农业大学标本园进行。采用随机区组设计,在韭菜收割后不同时期土壤施用和叶面喷施不同种类、不同浓度的无机硫(各处理硫含量为准),共设 36 个处理,每处理 3 次重复(表 1),各处理肥水管理相同。收割后第 30 天取样测定。

### 1.3 项目测定

叶片  $\text{NO}_3^-$  含量及硝酸还原酶 NR 活性的测定参照李合生<sup>[9]</sup>的方法;叶绿素含量采用 SPAD-502 叶绿素计进行测定,所有测定 3 次重复。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 进行整理、分析和作图,

表 1

试验处理

Table 1

Experiment treatments

处理	收割后 0 d 土壤施用			收割后 10 d 土壤施用			收割后 10 d 叶面喷		
Treatments	Soil applying after 0 day harvest/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$			Soil applying after 10 days harvest/ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$			Leaf spraying after 10 days harvest/ $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$		
CK	不施硫(a)			不施硫(b)			清水(c)		
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	4(a1)	8(a2)	12(a3)	4(b1)	8(b2)	12(b3)	5(c1)	10(c2)	15(c3)
$\text{NaHSO}_3$	4(a4)	8(a5)	12(a6)	4(b4)	8(b5)	12(b6)	5(c4)	10(c5)	15(c6)
$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	4(a7)	8(a8)	12(a9)	4(b7)	8(b8)	12(b9)	5(c7)	10(c8)	15(c9)
硫磺	4(a10)	8(a11)	12(a12)	4(b10)	8(b11)	12(b12)	—	—	—

表 2

无机硫对韭菜株高和鲜重的影响

Table 2

Effects of inorganic sulfur on plant height and fresh weight of Chinese chive

处理	株高	鲜重(10 株)	处理	株高	鲜重(10 株)	处理	株高	鲜重(10 株)
Treatments	Plant height/cm	Fresh weight(10 plants)/g	Treatments	Plant height/cm	Fresh weight(10 plants)/g	Treatments	Plant height/cm	Fresh weight(10 plants)/g
a	46.52e	13.99a	b	46.75e	14.08b	c	46.80e	14.11b
a1	47.26d	14.16a	b1	47.38d	14.22ab	c1	47.63d	14.31ab
a2	47.90bc	14.26a	b2	48.12bc	14.32ab	c2	48.47bc	14.42ab
a3	48.46ab	14.53a	b3	48.56ab	14.61ab	c3	49.00ab	14.69ab
a4	47.67cd	14.19a	b4	47.83cd	14.25ab	c4	48.27c	14.56ab
a5	47.98bc	14.40a	b5	48.21bc	14.45ab	c5	49.46a	14.82a
a6	48.75a	14.64a	b6	48.91a	14.70a	c6	48.52bc	14.58ab
a7	47.75cd	14.37a	b7	47.91c	14.43ab	c7	48.56bc	14.53ab
a8	48.61a	14.59a	b8	48.89a	14.66a	c8	49.30a	14.79a
a9	47.91bc	14.44a	b9	48.60ab	14.49ab	c9	48.42bc	14.55ab
a10	48.63a	14.59a	b10	48.79a	14.68a			
a11	47.97bc	14.36a	b11	48.16ab	14.43ab			
a12	47.72cd	14.19a	b12	47.74cd	14.27ab			

注:表中不同小写字母表示 0.05 水平差异显著。

Note: Different small letters mean significant difference at 0.05 level.

### 2.2 无机硫对韭菜叶绿素含量的影响

利用叶绿素仪测定的 SPAD 值可以间接反映叶片的叶绿素含量<sup>[10]</sup>,植物叶片的 SPAD 值与叶绿素含量呈显著的正相关关系<sup>[11]</sup>。由图 1 可知,无机硫可提高韭菜叶片 SPAD 值,3 组不同试验对韭菜叶片叶绿素含量的影响效果表现为:收割后 10 d 叶面喷施>收割后 10 d 土壤施用>收割后 0 d 土壤施用,其中,收割后 10 d 叶

面喷施 10 mmol/L 的  $\text{NaHSO}_3$  比对照提高了 8.55%。

## 2 结果与分析

### 2.1 无机硫对韭菜株高和鲜重的影响

土壤施用和叶面喷施无机硫对韭菜株高和鲜重有明显的促进作用(表 2)。与对照相比,收割后 10 d 土壤施用和叶面喷施无机硫平均分别使韭菜株高增加 2.69%和 3.35%,鲜重增加 3.22%和 3.90%,但增幅因无机硫的种类、浓度、施用方式和处理时间不同而异。收割后 0 和 10 d 施用无机硫对韭菜株高和鲜重的影响规律一致,但同样处理水平下,韭菜株高和鲜重在收割后 10 d 施用无机硫处理比收割后 0 d 增加效果好,并且叶面喷施优于土壤施用。由表 2 还可以看出,对韭菜株高和鲜重影响最为显著的为叶面喷施 10 mmol/L 的  $\text{NaHSO}_3$ 。

面喷施 10 mmol/L 的  $\text{NaHSO}_3$  比对照提高了 8.55%。

### 2.3 无机硫对韭菜硝酸盐含量的影响

图 2 结果表明,施用无机硫处理可降低韭菜叶片硝酸盐的累积,降低的效果与处理时期、施用方式、无机硫种类和浓度有关。与对照相比, $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 、 $\text{NaHSO}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  和硫磺分别使韭菜硝酸盐含量降低了 1.40%~18.94%、3.32%~25.54%、4.51%~23.67%、5.91%~23.67%。同

一硫素水平下对降低韭菜硝酸盐累积的效果最显著的为  $\text{NaHSO}_3$ , 收割后 0、10 d 土壤施用  $12 \text{ g/m}^2$  的  $\text{NaHSO}_3$  和收割后 10 d 叶面喷施  $10 \text{ mmol/L}$  的  $\text{NaHSO}_3$  分别使韭菜硝酸盐含量降低了 6.68%、24.27%、25.54%, 其次是

$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  和硫磺; 而不同浓度的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  之间对韭菜的硝酸盐含量影响差异不显著。可见, 无机硫能有效降低韭菜硝酸盐的累积, 且与施用种类和浓度有关。

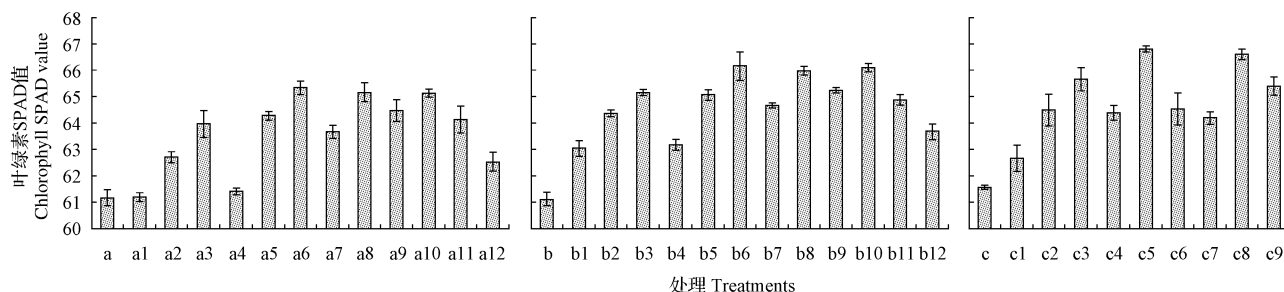


图 1 无机硫对韭菜叶绿素含量的影响

Fig. 1 Effects of inorganic sulfur on the chlorophyll content of Chinese chive

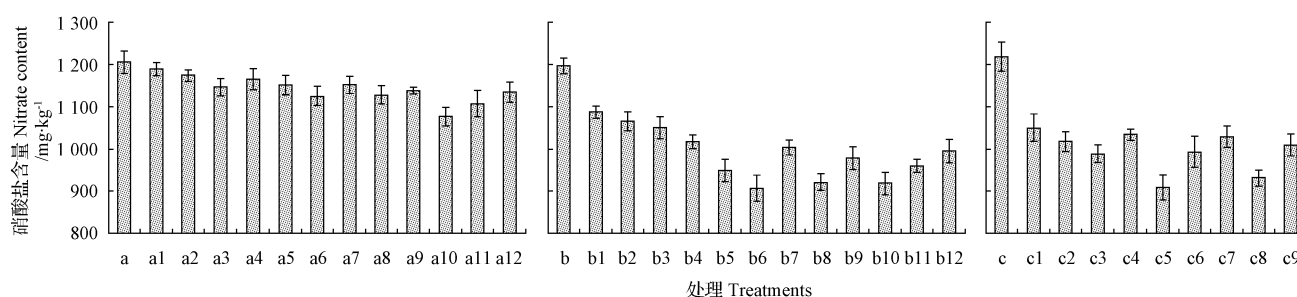


图 2 土壤施用及叶面喷施不同种类无机硫对韭菜叶片硝酸盐含量的影响

Fig. 2 Effects of diverse inorganic sulfur on nitrate content in leaves of Chinese chive

#### 2.4 无机硫对韭菜 NR 活性的影响

图 3 表明, 无机硫能在一定程度上提高韭菜的 NR 活性, 同时表现出一定的浓度效应。各处理的 NR 活性与相应的硝酸盐含量呈显著的负相关。试验中无机硫对 NR 活性的影响规律一致, 4 种无机硫中, 对韭菜叶片 NR 活性提高的幅度最大的是  $\text{NaHSO}_3$ , 收割后 0、10 d 土壤施用  $12 \text{ g/m}^2$  的  $\text{NaHSO}_3$  和收割后 10 d 叶面喷施  $10 \text{ mmol/L}$  的  $\text{NaHSO}_3$  分别使 NR 活性对照提高了 11.86%、27.43%、37.03%, 这对降低韭菜硝酸盐累积发挥着积极的作用。

#### 3 结论与讨论

硫是叶绿素、辅酶等合成的重要介质, 它能提高叶绿素体内铁的活性, 增加叶绿素含量, 另外, 硫参与构成光合作用过程的硫氧还蛋白、铁硫蛋白( $\text{FeS}$ )、Rieske 氏铁硫蛋白和铁氧还蛋白( $\text{Fd}$ )等, 参与光合电子的传递, 促进形成暗反应的同化力 ATP 和 NADPH。该研究结果得出了硫可以提高韭菜叶片叶绿素含量的结论, 叶绿素含量的增加可提高叶绿素对光能的吸收、传递以及在 PSII、PSI 之间的分配和转换合成 ATP 与 NADPH 的量, 提高光合效率<sup>[12]</sup>。光合作用的改善为氮代谢(如亚硝酸

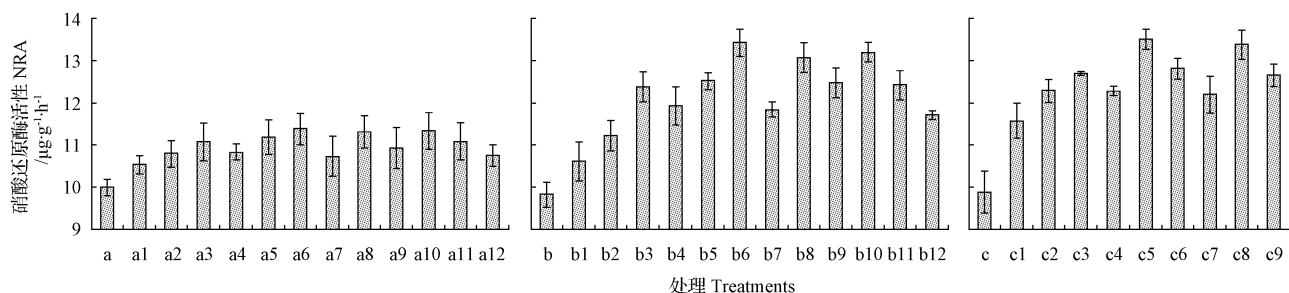


图 3 无机硫对韭菜 NR 活性的影响

Fig. 3 Effects of inorganic sulfur on the NRA of Chinese chive

盐还原和氨同化)和硫代谢(如硫酸盐还原)等提供充裕的能量<sup>[13]</sup>,同时对提高生物累积量、可溶性糖、C-骨架和韭菜产量奠定了基础。另外,施用无机硫后韭菜叶片生长量增大,对硝态氮产生了稀释效应,使单位重量蔬菜  $\text{NO}_3^-$  的含量下降,从而降低了硝酸盐的累积。

在氮代谢  $\text{NO}_3^- \rightarrow$  蛋白质的整个途径中,NR 作为重要的调节酶和限速关键酶,由它来调控整个氮素还原同化进程,其活性高,植物对硝酸盐的还原转化能力就强,反之则弱<sup>[14]</sup>。该试验结果表明无机硫可提高 NR 活性,但增加效果与硫浓度有关,适宜的硫浓度可促进韭菜叶片硝酸还原酶的生成,而硫浓度过高或过低会导致氮硫同化竞争活化能量,表现出对硝酸还原酶的抑制,从而影响植物氮代谢顺利进行<sup>[8]</sup>。

该研究发现,不同处理对降低韭菜硝酸盐累积的效果不同,对于土壤施用无机硫而言, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  是中间浓度较好, $\text{Na}_2\text{SO}_4$  和  $\text{NaHSO}_3$  是高浓度的较好,而硫磺则是低浓度的效果最好;对于叶面喷施无机硫来说, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  和  $\text{NaHSO}_3$  是中间浓度的较好,而  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  则是高浓度的较佳;这种明显的差异性可能是由不同无机硫所含硫原子的价态不同而产生的,具体原因有待进一步研究。另外,叶面喷施的效果优于土壤施用,可能是因为土壤施用导致韭菜叶片吸收同化硫的途径延长所致。该试验还发现,收割后 10 d 土壤施用无机硫比收割后 0 d 土壤施用无机硫对降低韭菜硝酸盐累积的影响显著,这可能是由于随着处理时间的延长,硫的供给有限,韭菜已大量消耗,致使韭菜体内不能维持正常的 N/S;另外,该试验中土壤施用和叶面喷施高浓度的  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  均对降低韭菜硝酸盐累积有较好的效果,但继续提高其浓度能否取得更好的效果还不明确,有待进一步研究。

## 参考文献

- [1] 高秀瑞,陈凤敏,刁春英,等.不同形态氮素替代硝态氮对蔬菜硝酸盐含量变化的影响[J].华北农学报,2008,3(6):208-211.
- [2] 陈贵林,高秀瑞.氨基酸和尿素替代硝态氮对水培不结球白菜和生菜硝酸盐含量的影响[J].中国农业科学,2002,35(2):187-191.
- [3] 王正银,李会合,李宝珍,等.氮肥、土壤肥力和采收期对小白菜体内硝酸盐含量的影响[J].中国农业科学,2003,36(9):1057-1064.
- [4] Gune A,Post Wietse N K,Ernest A. Influence of Partial replacement of nitrate by amino acid nitrogen or urea in the nutrient medium on nitrate accumulation in NFT grown winter lettuce[J]. Journal of Plant Nutrition, 1994,17(11):1929-1938.
- [5] Pace G M. Nitrate reduction in response to  $\text{CO}_2$ -limited photosynthesis. Relationship to carbohydrate supply and nitrate reductase activity in maize seedlings[J]. Plant Physiology, 1990,92:286-292.
- [6] Wirtz M,Droux M,Hell R. O-acetylserine(thiol) lyase: an enigmatic enzyme of plant cysteine biosynthesis revisited in *Arabidopsis thaliana* [J]. Journal of Experimental Botany, 2004,55:1785-1798.
- [7] Hawkesford M J,Zhao F J. Sulfur Assimilation and effects on yield and quality of wheat[J]. Journal of Cereal Science, 1999,30:1-17.
- [8] 朱云集,李国强,郭天财,等.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[J].作物学报,2007,33(7):1116-1121.
- [9] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000:123-137.
- [10] 李志宏,刘宏斌,张福锁.应用叶绿素仪诊断冬小麦氮营养状况的研究[J].植物营养与肥料学报,2003,9(4):401-405.
- [11] 苏云松,郭华春,陈伊里.马铃薯叶片 SPAD 值与叶绿素含量及产量的相关性研究[J].西南农业学报,2007,20(4):690-693.
- [12] 朱英华,屠乃美,肖汉乾,等.硫对烟草叶片光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J].生态学报,2008,28(3):1000-1004.
- [13] 李府,王振林,李文阳,等.施硫对小麦子粒形成过程中蛋白质与硫基、二硫键的含量及加工品质的影响[J].植物营养与肥料学报,2011,17(2):291-300.
- [14] Mackown C T,Jakson W A,Volk R G. Partitioning of previously accumulated nitrate to translocation, reduction and efflux in corn roots[J]. Planta, 1983,157:824.

## Effects of Inorganic Sulfur on Growth and Nitrate Accumulation of Chinese Chive

LI Xiao-feng<sup>1</sup>, XIE Xin<sup>1</sup>, FU Xue-qing<sup>1</sup>, WANG Jun-ling<sup>2</sup>, GAO Zhi-kui<sup>1</sup>

(1. College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001; 2. College of Life Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001)

**Abstract:** In view of nitrate accumulation in Chinese chive production, the effects of soil and foliar spraying different kinds of inorganic sulfur with different treatment periods and concentrations on growth and nitrate accumulation of Chinese chive were studied. The results showed that the effects of inorganic sulfur on growth and nitrate accumulation of Chinese chive were remarkable, the nitrate contents of Chinese chives were significantly decreased 6.68%, 24.27%, 25.54% with soil application 12 g/m<sup>2</sup> of  $\text{NaHSO}_3$  after harvesting 0 days and 10 days, foliar spraying 10 mmol/L  $\text{NaHSO}_3$  after harvesting 10 days; meanwhile, the activities of nitrate reductase (NR) were increased 11.86%, 27.43%, 37.03%; and all of the heights, fresh weights and the chlorophyll contents were higher than the control. Therefore, activity of NR was significantly increased by inorganic sulfur, while the nitrate reduction assimilation was promoted, nitrate accumulating into the vacuole of Chinese chives was reduced, the chlorophyll content of the blade of Chinese chive and the growth were improved.

**Key words:** Chinese chive; inorganic sulfur; nitrate accumulation; the activity of nitrate reductase