植物营养与肥料学报 2013,19(5):1264-1271
Journal of Plant Nutrition and Fertilizer doi: 10.11674/zwyf.2013.0528

# 硫磺与水杨酸配施对韭菜硝酸盐累积及氮代谢的影响

李晓峰[1], 王俊玲[2], 李林妍[1], 谢 鑫[1], 高志奎[1*]
(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:** 以3年生韭菜为试验材料,研究了不同浓度的硫磺(S,土施)和3 mmol/L水杨酸(SA,叶面喷施)配施对韭菜硝酸盐含量、氮代谢关键酶活性和叶绿素荧光参数的影响。结果表明,韭菜鲜重、硝酸盐含量、硝酸还原酶活性(NRA)、PSII最大光化学量子产量(Fv/Fm)、电子传递速率(ETR)和可溶性蛋白含量均与硫磺和水杨酸的配施浓度有密切关系,与对照相比,7.2 kg/hm$^2$ 的硫和3 mmol/L的水杨酸配施处理韭菜叶片的硝酸盐含量明显降低,降幅为16.6%;鲜重、NRA、Fv/Fm、ETR和可溶性蛋白含量分别提高了10.7%、12.3%、10.1%、21.2%和4.2%;谷氨酸丙酮酸转氨酶(GOT)和谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GPT)活性却随着硫浓度的增加呈现出逐渐增加的趋势,当硫浓度为54 kg/hm$^2$时,GOT和GPT的活性达到最高,分别比对照增加了13.6%和9.4%。由此可以看出,适宜浓度的硫磺和水杨酸配施可促进韭菜叶片氮代谢中硝酸盐的还原与同化,同时调动转氨作用的积极协同配合,促进了硝态氮转化为游离氨基酸和可溶性蛋白,这可能是硫磺和水杨酸配施降低韭菜硝酸盐累积的一个重要原因。

**关键词:** 韭菜; 硫磺; 水杨酸; 硝酸盐累积; 氮代谢
**中图分类号:** S633.3.061; S143.7$^+$1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-505X(2013)05-1264-08

# Effects of sulfur and salicylic acid on nitrate accumulation and nitrogen metabolism in leaves of Chinese chive

LI Xiao-feng[1], WANG Jun-ling[2], LI Lin-yan[1], XIE Xin[1], GAO Zhi-kui[1*]
(*1 College of Horticulture, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China;*
*2 College of Life Sciences, Agricultural University of Hebei, Baoding, Hebei 071001, China*)

**Abstract:** Effects of sulfur (S) and exogenous salicylic acid (SA) on accumulation of nitrate, the key enzyme activities of nitrogen metabolism and chlorophyll fluorescence of Chinese chive were studied to understand the effects of S and SA on nitrate accumulation and nitrogen metabolism. The results indicate that there are significant concentration effects on the fresh weight, nitrate content, the activity of nitrate reductase (NRA), the maximal photochemical efficiency ($F_v/F_m$), the apparent electron transport rate (ETR) and soluble protein content in Chinese chive. Compared with the control, the nitrate content with 7.2 kg/ha S and 3 mmol/L SA treatment is reduced by 16.6%, while the fresh weight of Chinese chive, NRA, Fv/Fm, ETR and soluble protein content are increased by 10.7%, 12.3%, 10.1%, 21.2% and 4.2%, respectively. The activities of glutamic-oxaloacetic-transaminase (GOT) and the glutamate-pyruvate-transaminase (GPT) are increased gradually with the increase of S concentration. The GOTA and GPTA are highest under S 54 kg/ha and are increased by 13.6% and 9.4% respectively compared with the control. In conclusion, S and SA obviously improve nitrate reduction and assimilation, which, meanwhile, bring transaminations into play vigorously, and promote turning $NO_3^-$ into free amino acid and dissolvable protein. Improvement of nitrate reduction and assimilation might be a key reason for

**收稿日期:** 2012-10-12 **接受日期:** 2013-05-06
**基金项目:** 河北省科技支撑计划项目(10220711,10220701D)资助。
**作者简介:** 李晓峰(1976—),男,河北内邱人,讲师,博士研究生,主要从事蔬菜栽培生理和育种研究。E-mail: lixiaofeng@hebau.edu.cn
王俊玲(1978—),女,河北衡水人,讲师,博士研究生,主要从事蔬菜栽培生理研究。wangjunling@hebacu.edu.cn,共同第一作者。
* 通信作者 Tel: 0312-7528312, E-mail: gaozhikui2001@163.com

reducing nitrate accumulation into the vacuole of Chinese chive.

**Key words:** Chinese chive; sulfur; salicylic acid; nitrate accumulation; nitrogen metabolism

叶类蔬菜喜硝态氮,极易引起硝酸盐积累,不仅影响蔬菜的营养品质[1],还严重影响到人类的健康[2]。基于"吸收大于还原"是导致硝酸盐累积的观点[3],以往的大量研究普遍采用减控氮素供给的配方施肥等措施来降低硝酸盐累积并取得了显著成效[4-6],本实验室的研究从促进 $NO_3^-$ 还原调控的角度入手,探索出积极有效地降低 $NO_3^-$ 累积的措施[7-9],水杨酸(salicylic acid,SA)效果尤为突出,可在降低 $NO_3^-$ 含量的同时将液泡中累积的无效氮转化合成氨基酸、蛋白质等被植物体所利用。

现代植物生理生化研究表明,氮和硫两元素在生理代谢,特别是蛋白质合成方面表现出高度的协同关系[10]。硫的缺乏可使硝酸盐的吸收和从根系到叶片的运输受到明显的抑制,并且,随着硫元素的持续匮乏,蛋白合成也将受到明显的抑制[11]。Hawkesfordt 等[12]认为不充足的硫供应导致暂时和稳固的硝酸盐积累或特殊的氨基酸库混乱。一些研究利用土壤施用硫肥(硫酸钾、硫磺、亚硫酸氢钠等)的手段,在一定程度上降低了硝酸盐的累积。霍捷等[13]研究发现小白菜叶面喷施 $NaHSO_3$,不仅能够在一定程度上提高硝酸还原酶活性(NRA),拉动氮素的还原同化,而且能够通过提高 PSⅡ电子传递能力和羧化反应速率,促进光合碳同化效率,可在碳骨架和能量供应上拉动氮代谢的还原同化。张瑞杰等[14]的研究结果表明,施用硫磺能显著降低土壤的 pH 值,从而有效地减少了土壤氮的氨挥发损失,可以明显增加土壤含氮量和韭菜产量,同时能有效抑制 $NH_4^+$ 向 $NO_3^-$ 的转化,降低叶片的硝酸盐累积。叶面喷施水杨酸与土施硫肥配施能否降低硝酸盐含量有待进一步研究。

本试验以韭菜为材料,在前期获得叶面喷施 3 mmol/L 水杨酸可降低韭菜硝酸盐累积的基础上,以硫直接调控氮代谢或通过调控硫代谢或碳代谢间接调控氮代谢为切入点,采用硫磺(根施)与水杨酸(叶面喷施)配施处理,分析韭菜叶片硝酸盐含量,氮代谢相关酶活性以及叶绿素荧光参数的变化,探讨硫磺与水杨酸配施降低韭菜硝酸盐累积的调控机制,为挖掘积极有效型的蔬菜硝酸盐污染调控措施及氮素高效利用提供理论依据,同时,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。

# 1　材料与方法

## 1.1　试验设计

试验于 2011 年 8 月在河北省清苑县谢庄日光温室进行,试材为 3 年生韭菜"新世纪雪韭",农艺管理按常规进行。试验地土壤为潮褐土,质地粉砂壤,基本理化性状为:有机质 17.4 g/kg、全氮 1.01 g/kg、全磷 0.96 g/kg、缓效钾 446 mg/kg、水解氮 74.1 mg/kg、速效磷 9.7 mg/kg、硝态氮 9.5 mg/kg、速效钾 80.2 mg/kg、有效硫 11.8 mg/kg、pH 7.9、容重 1.29 g/cm$^3$。

2011 年 8 月 10 日,在前茬韭菜收割后第 10 d 进行处理,将硫磺(S)和尿素混匀后沟施,施普通尿素 240 kg/ha(含 N 46%),设 5 个 S 水平:0、7.2、18.0、36.0、54.0 kg/hm$^2$,硫磺为分析纯;同时用 3 mmol/L 水杨酸对韭菜进行叶面喷雾处理(SA),每个处理重复 3 次,以不喷水杨酸为对照(CK),小区面积 2.0 m$^2$。

## 1.2　测定项目与方法

于处理后第 9d 上午 9 点在每小区选取 30 株生长一致的韭菜,然后将样品立即放入冰盒中进行室内试验。取韭菜相同部位的叶片(从叶柄处向上数第二片叶),洗净、吸干水分、剪碎混匀后为试验样品。参照植物生理学实验指导采用丙酮-乙醇混合液法测定叶绿素含量[15]

硝酸盐含量的测定[15]:称取 2 g 韭菜,放入 20 mL 刻度试管中,加入 10 mL 蒸馏水,用玻璃泡封口,置于沸水浴中提取 30 min。冷却后过滤并用蒸馏水定容至 25 mL,吸取提取液 0.1 mL,加 5% 水杨酸—硫酸溶液 0.4 mL,混匀后置室温下 20 min,加 9.5 mL 8% NaOH 后摇匀,冷却至室温后,在 410 m 波长处比色。

可溶性蛋白含量的测定[15]:称取叶片 0.5 g,剪碎于冷冻过的研钵中,加 3 mL 50 mmol/L Tris-HCl,研磨,将匀浆倒入离心管中,再用 5 mL 50 mmol/L Tris-HCl 将匀浆洗入离心管,然后在 10000 r/min、4℃条件下离心 20 min,取 0.1 mL 上清液试管中,再加 Tris 缓冲液 0.9 mL,空白对照管加 Tris 缓冲液 1 mL,然后再加入考马斯亮蓝染色液 5 mL,摇匀,在 595 nm 波长处比色。

酶活性的测定:NRA 的测定参照植物生理学实

验指导的方法进行[15]，NR 以 1h 内还原 $NO_3^-$ 生成 $NO_2^-$ 的 μg 数表示酶活性，谷氨酸丙酮酸转氨酶(GOT)和谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GPT)活性采用吴良欢等[16]的测定方法。以上酶的提取和测定均在 0～4℃条件下完成。

采用德国 WALZ 公司生产的调制式荧光成像系统(MINI－IMAGING－PAM)进行叶绿素荧光参数测定[17]。韭菜叶片暗适应 20 min 后，在测量光[强度为 0.5 μmol/($m^2$·s)，脉冲频率为 1 Hz]下诱导产生初始荧光(Fo)，随后用饱和脉冲光[强度为 2500 μmol/($m^2$·s)，脉冲光时间为 0.8 s]激发产生最大荧光(Fm)。当荧光从最大值降到接近 Fo 水平时，用光化光[强度为 156 μmol/($m^2$·s)]诱导荧光动力学，并每隔 20 s 打开饱和脉冲进行荧光参数 Fm' 和 F 测定。在每个材料测定光诱导动力学曲线后，从动力学曲线中导出所需要参数数据，进行统计分析。

### 1.3 数据处理

以上所有测定指标重复 3 次，采用 Microsoft Excel 2003 软件对数据进行处理及制图，用 SPSS 13.0 for Windows 软件检验差异显著性，LSD 法进行分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 硫磺(S)和水杨酸(SA)配施对韭菜叶片生长的影响

从表 1 可以看出，随着硫(S)浓度的增加，对照(CK)和 S 配施处理的韭菜植株地上部鲜重和叶面积均表现出先上升后下降的变化趋势。当土壤施硫为 S 7.2 kg/$hm^2$ 时，CK 和 SA 配施处理韭菜鲜重均为最高，并且此时 SA 配施处理与 CK 相比鲜重增加了 10.7%，增加效果最为明显，可见适宜浓度的 S 与 SA 配施可以促进韭菜生长，提高产量。

CK 和 S 配施处理的韭菜叶片叶绿素含量均随着硫浓度的增加呈现出先增加后降低的趋势，当 S 浓度为 7.2 kg/$hm^2$ 时，叶绿素含量达到最大，不施 S 时，叶绿素含量均为最小值(表 1)。说明 S 与 SA 配施和单独施 S 处理均对韭菜叶片叶绿素含量有调节作用，增强了韭菜的叶绿素的合成。不同浓度的 S (0、7.2、18.0、36.0、54.0 kg/$hm^2$)与 3 mmol/L 的 SA 配施，韭菜叶片的叶绿素总含量分别比对照(单施硫处理，CK)提高了 2.36%、3.19%、2.01%、4.93% 和 3.78%。

**表 1 硫磺和水杨酸配施对韭菜生长和叶绿素含量的影响**

**Table 1 Effects of S and SA on the growth and chlorophyll content of Chinese chive**

| 硫水平 S rate (kg/ha) | SA | | | CK | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 鲜重 Fresh weight (g/plants) | 最大叶面积 Leaf area ($cm^2$) | 叶绿素含量 Chl. content (mg/kg) | 鲜重 Fresh weight (g/plants) | 最大叶面积 Max. leaf area ($cm^2$) | 叶绿素含量 Chl. content (mg/kg) |
| 0 | 1.68 d | 5.83 c | 1.43 c | 1.64 c | 5.73 b | 1.40 d |
| 7.2 | 2.01 a | 7.89 a | 1.68 a | 1.81 a | 7.57 a | 1.63 a |
| 18.0 | 1.94 b | 7.34 a | 1.53 b | 1.75 b | 7.23 a | 1.50 b |
| 36.0 | 1.81 c | 6.72 b | 1.51 b | 1.74 b | 6.65 b | 1.44 c |
| 54.0 | 1.73 c | 5.84 c | 1.48 bc | 1.70 b | 5.76 c | 1.43 c |

注(Note)：SA—叶面喷施 3 mmol/L 水杨酸 Spraying within 3 mmol/L salicylic acid；CK—Spraying water. 数据后不同字母表示 5% 水平差异显著 Values followed by different letters within columns represent significant at 5% level.

### 2.2 硫磺(S)和水杨酸(SA)配施对韭菜硝酸盐含量和硝酸还原酶活性(NRA)的影响

由图 1 可知，对照和 SA 配施处理韭菜叶片的硝酸盐含量均随着硫浓度的增加呈现出先降低后增加的变化趋势，当土壤施硫为 S 7.2 kg/$hm^2$ 时韭菜硝酸盐含量最低；并且 S 和 SA 配施降低韭菜硝酸盐的效果优于 S 单独施用。NRA 是氮素同化的关键酶，单施硫(CK)处理和 SA 配施处理韭菜叶片的 NRA 随施硫量的增加表现出与硝酸盐含量相反的变化趋势(图 1)，即先升高后降低，当土壤施硫为 S 7.2 kg/$hm^2$ 时，NRA 最高，说明适宜浓度的硫可以提高 NRA，但当硫浓度过高时会抑制 NRA。

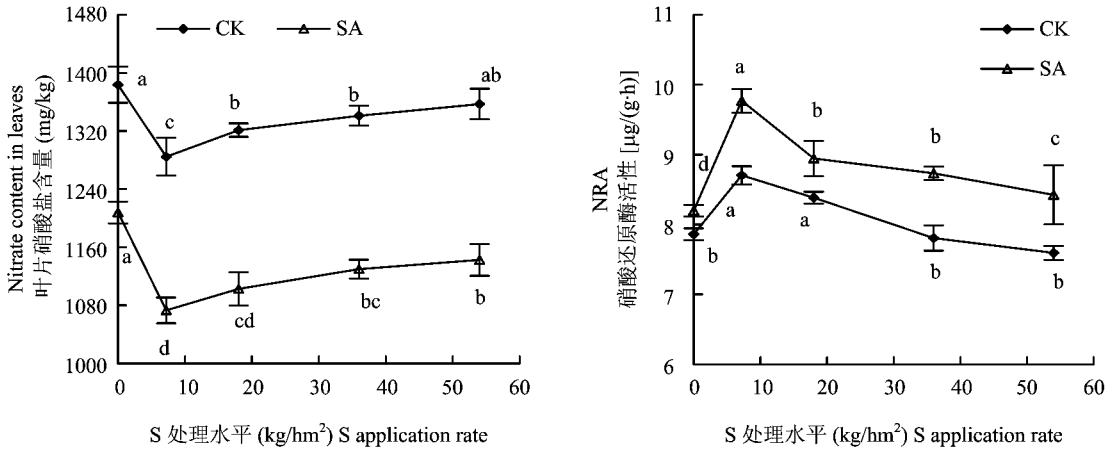


**图 1　硫磺和水杨酸配施对韭菜硝酸盐含量和硝酸还原酶(NR)活性的影响**

**Fig. 1　Effects of S and SA on nitrate content and activity of NR of Chinese chive leaves**

[注(Note):SA—叶面喷施 3 mmol/L 水杨酸 Spraying 3 mmol/L salicylic acid; CK—Spraying water. 图中不同字母表示在 5% 水平差异显著 Different letters represent significant difference at 5% level.]

## 2.3　硫磺(S)和水杨酸(SA)配施对韭菜谷氨酸丙酮酸转氨酶(GOT)和谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GPT)活性的影响

GOT 和 GPT 为氮代谢中 2 个重要的转氨酶。SA 配施和对照处理后的第 9 天,随着硫浓度的增加,GOT 和 GPT 活性均表现出逐渐增加的趋势(图 2)。另外,从图中还可以看出,在相同硫水平下,SA 配施处理的韭菜叶片 GOT 和 GPT 活性均高于对照,并且随着硫浓度的增加而逐渐增加,硫浓度为 54.0 kg/hm² 时 GOT 和 GPT 活性升至最高,比 CK 分别增加了 13.6% 和 9.4%。

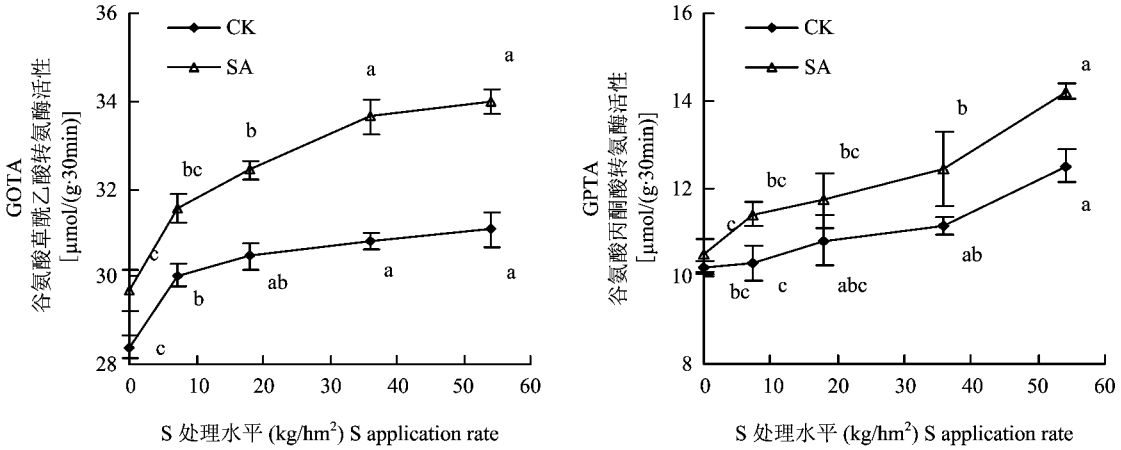


**图 2　硫磺和水杨酸配施对韭菜谷氨酸丙酮酸转氨酶(GOT)和谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GPT)活性的影响**

**Fig. 2　Effects of S and SA on activity of GOT and GPT of Chinese chive leaves**

[注(Note):SA—叶面喷施 3 mmol/L 水杨酸 Spraying within 3 mmol/L salicylic acid; CK—Spraying water. 图中不同字母表示 5% 水平差异显著 Different letters represent significant difference at 5% level.]

## 2.4　硫磺(S)和水杨酸(SA)配施对韭菜叶片 PSⅡ原初光化学效率和电子传递速率的影响

从图 3 可以看出,随着硫浓度的升高,CK 和 SA 配施处理的韭菜叶片 Fv/Fm 呈现出先增加后降低的趋势,但 CK 处理的变化幅度较小。另外,与 CK 相比,SA 配施处理提高了韭菜叶片的 Fv/Fm,当硫的浓度为 7.2 kg/hm² 时 Fv/Fm 的增加效果最为明显。反映出 SA 配施处理能保证韭菜叶片具有较高的能量转化效率,为叶片的生长发育提供了更多的化学能,进而促进叶片内部的物质代谢。

图3结果还表明,SA配施处理显著提高了韭菜叶片的ETR,不同浓度的S(0、7.2、18.0、36.0、54.0 kg/hm²)与3 mmol/L的SA配施,其ETR分别比CK提高了23.3%、21.20%、27.11%、19.38%和14.16%。并且,随着硫浓度的增加,SA配施和CK处理的韭菜叶片的ETR均随着硫浓度的增加呈现先上升后下降的趋势。

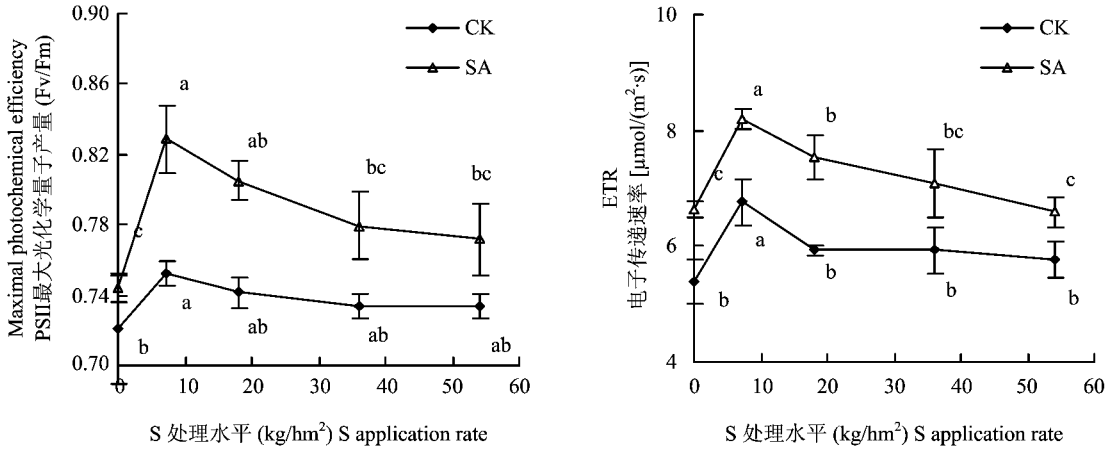


**图3 硫磺和水杨酸配施对韭菜叶片Fv/Fm和ETR的影响**

**Fig.3 Effects of S and SA on Fv/Fm and ETR of Chinese chive leaves**

[注(Note):SA—叶面喷施3 mmol/L水杨酸 Spraying within 3 mmol/L salicylic acid; CK—Spraying water. 图中不同字母表示5%水平差异显著 Different letters within columns represent significant difference at 5% level.]

## 2.5 硫磺(S)和水杨酸(SA)配施对韭菜可溶性蛋白含量和干物质积累的影响

图4显示,韭菜叶片的可溶性蛋白含量随硫浓度的增加而增加,S浓度为7.2、18.0、36.0、54.0 kg/hm² 的处理比0 kg/hm² 分别提高了13.9%,9.9%,6.6%和5.2%,反映出施硫可提高代谢所需的酶,从而促进了韭菜叶片的物质代谢。另外,SA配施处理也提高了不同硫水平下韭菜叶片的可溶性蛋白含量,除S浓度为0 kg/hm² 和7.2 kg/hm² 两处理外,可溶性蛋白增加的效果显著。

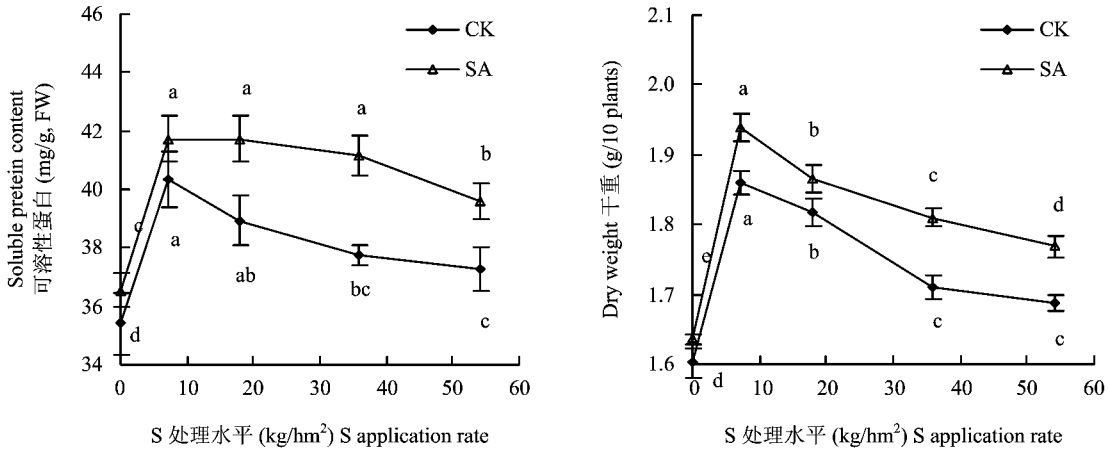


**图4 硫磺和水杨酸配施对韭菜叶片可溶性蛋白含量和干物质积累的影响**

**Fig.4 Effects of S and SA on the soluble protein content and dry weight of Chinese chive leaves**

[注(Note):SA—叶面喷施3 mmol/L水杨酸 Spraying 3 mmol/L salicylic acid; CK—Spraying water. 图中不同字母表示5%水平差异显著 Different letters represent significant difference at 5% level.]

植物的干重在一定程度上可以反映植物在一段时间内的干物质积累量。本试验中,不同硫水平下的韭菜幼苗干重随着硫浓度的增加也表现出逐渐呈增加的趋势(图4),其中,在S浓度为7.2和18.0

kg/hm$^2$ 时增加效果最为明显，分别比 0 kg/hm$^2$ 提高了 16.04% 和 13.44%。另外，与 CK 相比，水杨酸配施处理也提高了韭菜叶片的干物质积累量，但增加效果无明显的规律性。

## 3 讨论与结论

前人研究表明，植物体的氮素同化和硫素同化过程彼此依赖，相互协调[10]，氮硫配合施用可显著增加植株干物质产量，氮、硫含量和吸收量[18]，但植株内氮、硫含量及其比值受基因型和氮、硫供给水平的影响[19]。周杰等[18]认为氮素和硫素在适量范围内，二者存在互促效应，供应水平过高，则相互抑制，不利于小麦对氮、硫的吸收和利用。朱云集[20]的研究认为，在较高施氮量条件下适当施硫有利于小麦籽粒产量的提高，而在低氮条件下施氮施硫会导致减产。本试验结果表明，在 240 kg/hm$^2$ 尿素水平下，施硫均可降低韭菜硝酸盐含量，提高韭菜的可溶性蛋白含量和干物重，且当硫浓度为 7.2 kg/hm$^2$ 时的效果最为明显，说明适宜的氮、硫供应可能促进了韭菜体内的氮、硫代谢平衡，推动了氮素的还原同化及蛋白质的合成。

在氮代谢（$NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow NH_4^+ \rightarrow$谷氨酰胺→谷氨酸→氨基酸→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[21]。一些研究利用土壤施用硫肥（硫酸钾、硫磺等）的手段，在一定程度上调节植株氮、硫代谢过程中的关键酶活性[22]，同时促进植株的碳－氮（C－N）运转，提高植株对氮的吸收利用。本试验中，硫磺（S）与水杨酸（SA）配施和硫单施处理韭菜叶片硝酸还原酶活性（NRA）均随着硫浓度的增加呈现出先上升后下降的趋势，说明适宜浓度的硫有促进韭菜叶片硝酸还原酶的生成和激活作用，而硫浓度过高反而会降低 NRA，可能是由于硫浓度过高会导致氮、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的顺利进行[22]。SA 在植物信号传导和抗逆反应中起着关键作用[23]，在一定浓度范围内还可以调节根系离子的吸收和转运，诱导 NR 活性[9]，对氮素的吸收和还原起到积极的推动作用，本试验中 S 和 SA 配施韭菜叶片 NR 活性均比硫单独施用高，在提高氮还原动力泵 NR 活性上表现出较高的协同效应，反映了 SA 对推动氮素的还原，减少韭菜的 $NO_3^-$ 累积发挥了重要作用。NR 活性的提高可能是由于 SA 和 S 的直接作用，也可能是因为两者配施影响植物激素［细胞分裂素（CTK）和生长素（IAA）］代谢而产生的间接作用，还可能是发生在 NR mRNA 转录水平上[24]。

尽管在整个氮代谢途径中硝酸还原酶（NR）为限速关键酶，但是还需要铵同化、呼吸作用和光合作用［提供的还原能力（NADH/NADPH/Fd）、ATP 和 C－骨架］、以及转氨作用（继谷氨酸转氨作用后形成其它氮转运氨基酸状况）的协同配合[9]。

植物细胞为避免 $NH_4^+$ 的毒害作用，会迅速将由 $NH_4^+$ 通过谷氨酰胺合成酶/谷氨酸合成酶（GS/GOGAT）循环转移到谷氨酸，然后在 GOT 和 GPT 等转氨酶的催化作用下转化为其他氨基酸。朱云集等[22]研究结果表明，在适量供氮条件下，施硫不会引起硫同化酶活性的升高，但可调节氮同化酶的活性，维持小麦植株体内氮素和硫素同化在适度水平，以满足其生理代谢的需求。本研究中，随着硫浓度的增加，GPT 和 GOT 活性均呈现逐渐增加的趋势，GOT 和 GPT 活性的提高对保证氮的同化有积极的作用。尤其是在高硫浓度和 NRA 较低的情况下，S 和 SA 配施处理促进了氮同化和转氨作用的协同进行，从而拉动了氮素的还原，减少了韭菜的硝酸盐累积。

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，硫构成参与光合作用过程的硫氧还蛋白、铁硫蛋白（FeS）、Rieske 氏铁硫蛋白和铁氧还蛋白（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[25]。本研究获得 S 和 SA 配施可提高韭菜叶片叶绿素含量的结果，并且还可促进 PSⅡ的光能吸收与传递更多的能量，为氮代谢（如亚硝酸盐还原和氨同化）和硫代谢（如硫酸盐还原）等提供充裕的能量，提高光合效率。光合作用的改善对提高生物累积量、可溶性糖、C－骨架和韭菜产量奠定了基础。另外，S 和 SA 配施后韭菜叶片生长量增大，对硝态氮产生了稀释效应，使单位重量蔬菜的 $NO_3^-$ 含量下降，从而降低了硝酸盐的累积。

**参 考 文 献：**

[1] 李会合，王正银，李宝珍. 蔬菜营养与硝酸盐的关系[J]. 应用生态学报，2004，15(9)：1667-1672.
Li H H, Wang Z Y, Li B Z. Relationship between vegetable nutrition and nitrate content[J]. Chin. J. Appl. Ecol., 2004, 15(9): 1667-1672.

[2] 都韶婷，章永松，林咸永，等. 蔬菜积累的硝酸盐及其对人体健康的影响[J]. 中国农业科学，2007，40(9)：2007-2014.
Du S T, Zhang Y S, Lin X Y *et al*. Accumulation of nitrate in

vegetables and its possible implications to human health[J]. Sci. Agric. Sin., 2007, 40(9): 2007-2014.

[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.
Wang Z Y, Li H H, Li B Z *et al*. Influence of nitrogen rates, soil fertility and harvest time on nitrate in Chinese cabbage[J]. Sci. Agric. Sin., 2003, 36(9): 1057-1064.

[4] 许超，吴良欢，张立民，等. 含硝化抑制剂DMPP氮肥对小白菜硝酸盐累积和营养品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2005，11(1): 137-139.
Xu C, Wu L H, Zhang L M *et al*. Effect of nitrogen fertilizer with nitrification inhibitor DMPP on nitrate accumulation and nutritional quality of *Brassica campestris* L. ssp. *chinensis*[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(1): 137-139.

[5] 全智，秦红灵，李明德，等. 氮肥优化减施对土壤氮磷累积及蔬菜产量品质的影响[J]. 水土保持学报，2011，25(3): 103-112.
Quan Z, Qin H L, Li M D *et al*. Soil nitrogen and phosphorus accumulation, vegetable yield and quality influenced by reduction and optimization of nitrogen fertilizer application[J]. J. Soil Water Conserv., 2011, 25(3): 103-112.

[6] Gune A, Post W N K, Kirkby E A, Aktas M. 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]. J. Plant Nutr., 1994, 17(11): 1929-1938.

[7] 徐广辉，高志奎，李祥莉，等. 叶面喷施丙三醇对韭菜硝酸盐含量的影响[J]. 河北农业大学学报，2007，31(1): 13-16.
Xu G H, Gao Z K, Li X L *et al*. Effect of spraying leaves with propanetriol on nitrate content in Chinese chive[J]. J. Agric. Univ. Hebei, 2007, 31(1): 13-16.

[8] 李林妍，王俊玲，王梅，高志奎. 遮光下外源水杨酸对韭菜硝酸盐还原同化效应的研究[J]. 中国农业科学，2012，45(20): 4216-4223.
Li L Y, Wang J L, Wang M, Gao Z K. Effects of exogenous salicylic acid on nitrate reduction and assimilation in Chinese chive under weak light[J]. Sci. Agric. Sin., 2012, 45(20): 4216-4223.

[9] 曹岩坡，高志奎，何俊萍，等. 外源水杨酸对韭菜硝酸盐累积及还原同化的影响[J]. 园艺学报，2009，36(3): 415-420.
Cao Y P, Gao Z K, He J P *et al*. Effects of exogenous salicylic acid on nitrate accumulation and reduction and assimilation in the leaves of Chinese chive[J]. Acta Hortic. Sin., 2009, 36(3): 415-420.

[10] Wirtz M, Droux M, Hell R. O-acetylserine(thiol) lyase: an enigmatic enzyme of plant cysteine biosynthesis revisited in *Arabidopsis thaliana*[J]. J. Exp. Bot., 2004, 55: 1785-1798.

[11] Karmoker J L, Clarkson D T, Saker L R *et al*. Sulphate deprivation depresses the transport of nitrogen to the xylem and the hydraulic conductivity of barley (*Hordeum vulgare* L.) roots[J]. Planta, 1991, 185: 269-278.

[12] Zhao F J, Hawkesford M J, McGrath S P. Sulfur assimilation and effects on yield and quality of wheat[J]. J. Cereal Sci., 1999, 30: 1-17.

[13] 霍捷，王俊玲，高志奎，等. 亚硫酸氢钠对白菜叶片硝酸盐还原及光合能力的影响[J]. 园艺学报，2012，39(4): 719-726.
Huo J, Wang J L, Gao Z K *et al*. Effects of sodium bisulfite on nitrate reduction and photosynthetic capacity in the leaves of non-heading Chinese cabbage[J]. Acta Hortic. Sin., 2012, 39(4): 719-726.

[14] 张瑞杰，林国林，胡正义，等. 滇池北岸韭黄生产基地韭黄和韭菜产品硝酸盐含量及其积累规律[J]. 园艺学报，2008 35(8): 1155-1160.
Zhang R J, Lin G L, Hu Z Y *et al*. The nitrate content and accumulation character of the yellow Chinese chive and Chinese chive from the north bank of Dianchi lake[J]. Acta Hortic. Sin., 2008, 35(8): 1155-1160.

[15] 赵世杰，史国安，董新纯. 植物生理学实验指导(第1版)[M]. 北京：中国农业科学技术出版社，2002.
Zhao S J, Shi G A, Dong X C. Plant physiology experimentguide (1st Edn.)[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2002.

[16] 吴良欢，蒋式洪，陶勤楠. 植物转氨酶(GOT和GPT)活度比色测定方法及其应用[J]. 土壤通报，1998，29(3): 136-138.
Wu L H, Jiang S H, Tao Q N. Plant transaminase (GPT and GOT) activity colorimetric determination method and its application[J]. Chin. J. Soil Sci., 1998, 29(3): 136-138.

[17] 王俊玲，高志奎，霍捷. 不同光强下外源水杨酸对韭菜硝酸盐累积及PSⅡ活性的影响[J]. 华北农学报，2011，1: 47-50.
Wang J L, Gao Z K, Huo J. Effects of exogenous salicylic acid on nitrate accumulation and PSII activity under different light intensity in the leaves of Chinese chive[J]. Acta Agric. Boreali-Sin., 2011, 26(1): 47-50.

[18] 周杰，王东，满建国，等. 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[J]. 植物营养与肥料学报，2012，18(1): 42-51.
Zhou J, Wang D, Man J G *et al*. Effects of interaction of nitrogen and sulfur on seedling growth, uptake and utilization of nitrogen and sulfur of winter wheat under high nitrogen conditions[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2012, 18(1): 42-51.

[19] Hesse H, Nikiforova A, Cakiere B *et al*. Molecular analysis and control of cysteine bio-synthesis: integration of nitrogen and sulphur metabolism[J]. J. Exp. Bot., 2004, 55: 1283-1292.

[20] 朱云集，沈学善，李国强，等. 硫氮配施对弱筋小麦品种豫麦50子粒产量和淀粉性状的影响[J]. 麦类作物学报，2007，27(2): 271-275.
Zhu Y J, Shen X S, Li G Q *et al*. Effect of the combined application of sulfur and nitrogen fertilizers on yield and starch quality traits of soft-gluten wheat cultivar Yumai 50[J]. J. Trit. Crops, 2007, 27(2): 271-275.

[21] Mackown C T, Jakson W A, Volk R J. Partioning of previously accumulated nitrate to translocation, reduction and efflux in corn roots[J]. Planta, 1983, 157(1): 8-14.

[22] 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.
Zhu Y J, Li G Q, Guo T C *et al*. Effects 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.)[J]. Acta Agron. Sin., 2007, 33(7): 1116-1121.

[23] 孟雪娇,邸昆,丁国华. 水杨酸在植物体内的生理作用研究进展[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 207-214.
Meng X J, Di K, Ding G H. Progress of study on the physiological role of salicylic acid in plant[J]. Chin. Agric. Sci. Bull., 2010, 26(15): 207-214.

[24] 郝敬虹,易旸,尚庆茂,等. 水杨酸处理对干旱胁迫下黄瓜幼苗氮素同化及其关键酶活性的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(1): 81-90.
Hao J H, Yi Y, Shang Q M *et al*. Effect of exogenous salicylic acid on nitrogen assimilation of cucumber seedling under drought stress[J]. Acta Hortic. Sin., 2012, 39(1): 81-90.

[25] Buchanan B B, Gruissem W, Jones R L. Biochemistry & molecular biology of plants[M]. Rockville: American Society of Plant Physiologists, 2000. 636-687.