

复硝酚钠对韭菜生长及硝酸盐还原同化效应研究

李红利¹, 王俊玲², 薛占军¹, 朱恩昌³, 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 生命科学学院, 河北保定 071001; 3 定州市农产品质量监督检验中心, 河北保定 071001)

摘 要: 于收割后第 12 天对日光温室韭菜分别叶面喷施 0.15、0.25、0.50 mL · L⁻¹ 复硝酚钠(CSN), 并测定分析 CSN 处理不同时间韭菜生物量、叶片 NO₃⁻ 累积、氮代谢关键酶以及相关代谢产物含量的变化, 探讨 CSN 对韭菜硝酸盐累积污染的减控效应及其相关生理机制。结果显示: (1) 韭菜硝酸盐含量在叶面喷施 CSN 后呈先降低(3~6 d)后增加(6~9 d)的趋势, 并以 0.15 mL · L⁻¹ CSN 处理至第 6 天的韭菜硝酸盐含量最低, 比对照降低了 29.6%。(2) 不同浓度 CSN 处理可显著提高韭菜叶片氮代谢关键酶的活性, 其中 0.15 mL · L⁻¹ CSN 处理后第 6 天叶片硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)、谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GOT)和谷氨酸丙酮酸转氨酶(GPT)活性分别较对照增加了 34.4%、61.3%、208.8%、7.4%。(3) 各浓度 CSN 处理可明显促进韭菜生长, 提高韭菜营养品质, 0.15 mL · L⁻¹ CSN 处理后第 6 天叶片干、鲜重分别较对照增加 10.7%、10.8%, 叶片游离氨基酸含量、可溶性蛋白质含量、Vc 含量分别较对照提高 23.1%、23.3%、0.5%。研究表明, 在韭菜氮代谢的还原同化途径中, CSN 处理不仅能够显著提高氮还原动力泵(NR)和氮同化初级动力泵(GS)活性, 而且能够同时调动氮同化次级动力泵(GOT 和 GPT)的转氨作用积极协同配合, 还可能调动碳同化产物的积极协同配合(即可溶性糖含量降低), 来促进硝态氮转化为游离氨基酸和可溶性蛋白以及次生代谢物质 Vc 的合成, 减少了硝酸盐进入液泡贮积。

关键词: 复硝酚钠; 韭菜; 硝酸盐还原同化; 营养品质

中图分类号: Q945.78

文献标志码: A

Effects of Compound Sodium Nitrophenolate on Growth and Nitrate Reduction and Assimilation in the Leaves of Chinese Chive

LI Hongli¹, WANG Junling², XUE Zhanjun¹, ZHU Enchang³, GAO Zhikui^{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; 3 Agricultural Products Quality Supervision and Inspection Center in Dingzhou, Baoding, Hebei 071001, China)

Abstract: In a greenhouse experiment, different doses (0.15, 0.25, 0.50 mL · L⁻¹) of compound sodium nitrophenolate (CSN) were used to spray the Chinese chives cultivar ‘Dajingou’ on the 12th day of post-harvest. The effects of CSN on yield, nitrate metabolism and quality was investigated after different treatment days (0, 3, 6, 9, 12 d). The results showed that: (1) The time dynamic patterns of nitrate concentrations had simple valley values, which appeared on 6 d, and the reduction by 29.6% occurred for 0.15 mL · L⁻¹ CSN in comparison with control. (2) This significant decrease was accompanied with elevated activity of nitrate reductase(NR), glutamine synthetase(GS), glutamate pyruvate transaminase(GOT) and glutamate oxaloacetate transaminase(GPT) by 34.4%, 61.3%, 208.8% and 7.4%, respectively. (3) The increase in yield by

收稿日期: 2014-01-18; 修改稿收到日期: 2014-03-18

基金项目: 河北省科技支撑计划项目(11220701D); 河北省自然科学基金(C2013204076)

作者简介: 李红利(1992—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事蔬菜质量安全与营养研究。E-mail: 583513032@qq.com

* 通信作者: 高志奎, 教授, 博士生导师, 主要从事蔬菜光合生理研究。E-mail: gaozhikui2005@163.com

10.7% for dry matter and 10.8% for fresh matter accompanied with an increase in free amino acid by 23.1%, soluble protein by 23.3%, and Vc by 0.5% in CSN treatment compared to control. According to the results obtained, CSN obviously enhanced the activities of NR (which was named as ‘driving-pump of nitrate reduction’) and GS (which was called ‘first-driving-pump of nitrogen assimilation’), and might also promoted contribution of free amino acid, dissolvable protein and Vc by transamination action of GOT and GPT (which were called ‘second-driving-pump of nitrogen assimilation’) to reduce nitrate accumulation in vacuole of Chinese chives cells.

Key words: CSN; Chinese chive; nitrate reduction and assimilation; nutritional quality

蔬菜产品中富集的过量硝酸盐成为危害人体健康的潜在因素,已受到社会各界的广泛关注。蔬菜产品尤其是叶菜类蔬菜产品极易富集硝酸盐。一般认为,造成农产品中硝酸盐累积的根本原因是吸收量大于还原量^[1]。迄今国内外相关研究中,以减控 NO_3^- 吸收为切入点,主要采用减控氮素供给量的措施,包括限制氮素供给量、平衡氮素形态配比和肥料种类配比的配方施肥^[2]以及降低氮肥硝化速率的土壤硝化抑制剂^[3]等技术,已取得显著成效。近年来,本实验室以促进 NO_3^- 还原同化为切入点,基于碳氮代谢、氮硫代谢、碳氮硫代谢之间的偶联平衡关系,进行了积极有效的 NO_3^- 累积减控措施探索也取得了显著成效^[4-6]。对韭菜和小白菜补充外源碳源(丙三醇、二氧化碳气肥)^[4]、硫素(硫磺、 NaHSO_3)^[5]以及外源水杨酸^[6]等处理,均能显著起到降低 NO_3^- 累积的作用。

复硝酚钠(CSN)为广谱型植物生长调节剂,又名爱多收、丰产素等,具有促进细胞原生质流动、提高细胞活力、促进花芽分化^[7]、加速植株生长发育^[8]、促根壮苗、保花坐果保果、提高产量^[9]、增强抗逆能力^[10]等作用。刘彩迎^[8]研究表明,幼苗期喷施不同浓度 CSN 可提高菊花品种“姹紫嫣红”的株高、株径、叶片数和叶片面积。高立强等^[9]发现 CSN 处理使芹菜株高、产量及蛋白质含量均有所增强。包山青等^[10]试验表明,CSN 能够增强水稻的抗病抗逆能力,促进作物根系生长、植株健壮及提早成熟,达到增产增收的目的。胡兆平等^[11]研究也表明,0.02%的 CSN 处理能够明显提高茄子的株高、叶片数量、叶绿素含量和根长。然而,CSN 对硝酸盐还原同化的调控效应研究尚鲜见报道。

本研究以氮代谢途径的氮素还原同化活性调控为切入点,通过叶面喷施不同浓度的 CSN,测定韭菜叶片 NO_3^- 累积、氮代谢关键酶以及氮代谢产物含量的变化,分析 CSN 对韭菜产品硝酸盐累积污染的减控效应及营养品质改善效应,并探索其相关机制,为制定积极有效型的降低蔬菜 NO_3^- 累积措施

和提高氮素利用效率提供理论依据,并且进一步充实农产品安全生产技术。

1 材料和方法

1.1 材料与处理

试材为多年生‘大金钩韭菜’,试验于 2013 年 9 月在河北保定市南市区焦庄乡聂庄日光温室进行,土壤肥水均匀,试验田管理水平高,植株长势良好。试验土质为潮褐土,基本理化性状为容重 $1.26 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ 、有机质 $10.8 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全氮 $1.0 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全磷 $0.91 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、碱解氮 $75.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效钾 $173.9 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、速效磷 $22.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、pH 7.8。

试验于 2013 年 9 月 8 日上午,在聂庄日光温室对收割后 12 d、长势一致的韭菜叶片分别喷施 $0.15 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}(\text{T}_1)$ 、 $0.25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}(\text{T}_2)$ 、 $0.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}(\text{T}_3)$ 的 1.8% 复硝酚钠(CSN)水剂,水剂总量为 500 mL,以喷施清水为对照(CK),小区面积 3.0 m^2 ,重复 3 次。处理后第 0、3、6、9 天取样测定韭菜叶片的硝酸盐含量并对其它相关指标进行测定。

1.2 测定指标与方法

1.2.1 硝酸盐含量 参照李合生^[12]的方法测定。

1.2.2 关键酶活性 硝酸还原酶(NR)活性参照李合生的方法进行^[12],谷氨酰胺合成酶(GS)活性参照陈煜等^[13]的方法测定,谷氨酸草酰乙酸转氨酶(GOT)和谷氨酸丙酮酸转氨酶(GPT)活性采用光度比色法测定^[14]。

1.2.3 营养品质 游离氨基酸含量采用水合茚三酮法测定,可溶性蛋白含量采用考马斯亮蓝 G-250 法测定,可溶性糖含量采用硫酸-蒽酮法测定,Vc 含量采用 2,6-二氯酚靛酚钠法测定^[15]。

1.2.4 地上部生物量 各处理随机选取 10 株韭菜叶片,测量鲜重,之后在 105°C 下杀青 30 min,再转移到 60°C 下烘干至恒重,测其干重,均取平均值。

1.3 数据处理

以上所有测定结果均重复 3 次,所得的数据采用 Excel 2003 进行整理、分析和作图,采用 DPS 数

据分析软件对数据进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 复硝酚钠对韭菜地上生物量的影响

叶面喷施不同浓度的 CSN 后 3~9 d, 韭菜单株地上部干、鲜重均显著高于对照, 且 T_2 处理优于 T_1 、 T_3 处理(图 1)。其中, 在 CSN 处理后 3~9 d 内, T_2 处理韭菜鲜重均为当天最高, 且分别比对照增加了 41.2%、15.9%、14.0%; 而 T_2 处理的干重在处理后第 9 天达到最高, 比对照提高了 42.8%。即各浓度 CSN 喷施处理均能提高韭菜地上部生物量, 并以 0.25 mL · L⁻¹ 复硝酚钠处理效果最好。

2.2 复硝酚钠对韭菜叶片硝酸盐含量的影响

叶面喷施不同浓度的 CSN 后 3~9 d, 对照韭菜叶片硝酸盐含量呈现缓慢升高的趋势, 而 CSN 处理的韭菜叶片硝酸盐含量则表现出先降低(0~6 d)后增加(6~9 d)的趋势(图 2), 且在处理后 3~6 d 均比对照显著降低。其中, T_1 处理韭菜叶片硝酸盐含量在第 6 天降低最明显, 比对照显著降低了 29.6%, 至第 9 天回升并略高于对照; 而 T_2 和 T_3 的硝酸盐含量在处理后 3~6 d 的降低效果较大, 分别比对照显著降低了 15.0%~20.1% 和 17.0%~18.7%, 至第 9 天回升至接近对照水平。综上结果表明, CSN 降低韭菜叶片硝酸盐含量的显效时间为处理后 0~6 d, 且浓度为 0.15 mL · L⁻¹ 降低效果最为显著。

2.3 复硝酚钠对韭菜叶片氮代谢关键酶活性的影响

叶面喷施不同浓度的 CSN 后 0~6 d, 韭菜叶片氮代谢关键酶活性均显著高于对照(CK), 但各酶的变化趋势略有不同(图 3)。其中, 不同浓度 CSN 处

理后第 6 天, 硝酸还原酶活性 NRA 的增加趋势为 $T_2 > T_3 > T_1 > CK$, 分别比对照增加了 64.2%、54.9%、34.4%(图 3, A); 而韭菜叶片 GS 活性呈现 $T_1 > T_2 > T_3 > CK$ 的趋势, 它们分别比对照提高了 61.3%、24.2%、19.2%(图 3, B); 韭菜叶片 GOT 活性和 GPT 活性变化趋势相似, 均以 T_2 处理最高, 其次是 T_1 、 T_3 (图 3, C 和图 3, D)。

上述结果表明, 在 CSN 降低韭菜硝酸盐的显效时间内, CSN 均可增强韭菜叶片氮代谢关键酶活性, 在 GS 活性上以 0.15 mL · L⁻¹ 处理效果最高, 在 NR 活性上以 0.15 mL · L⁻¹ (处理后第 3 天) 和 0.25 mL · L⁻¹ (处理后第 6 天) 处理效果较高, 在 GOT 和 GPT 活性上均以 0.25 mL · L⁻¹ 处理效果最高; 韭菜叶片的 GOT 活性对 CSN 反映最敏感, 变化幅度较大, 而 GPT 活性敏感性较弱, 变化幅度较小。

2.4 复硝酚钠对韭菜叶片营养品质的影响

由图 4 可知, 叶面喷施不同浓度的 CSN 后 3~

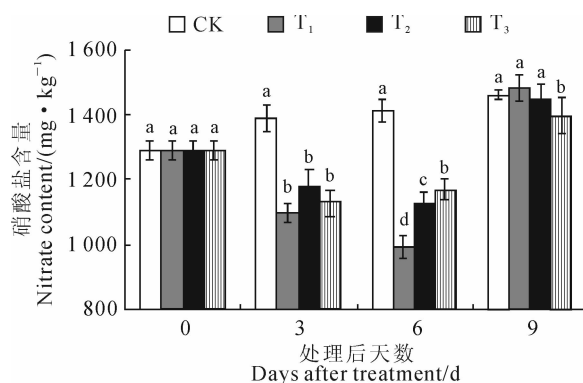


图 2 喷施复硝酚钠韭菜叶片硝酸盐含量的变化
Fig. 2 The nitrate content in leaves of Chinese chive plant sprayed with CSN

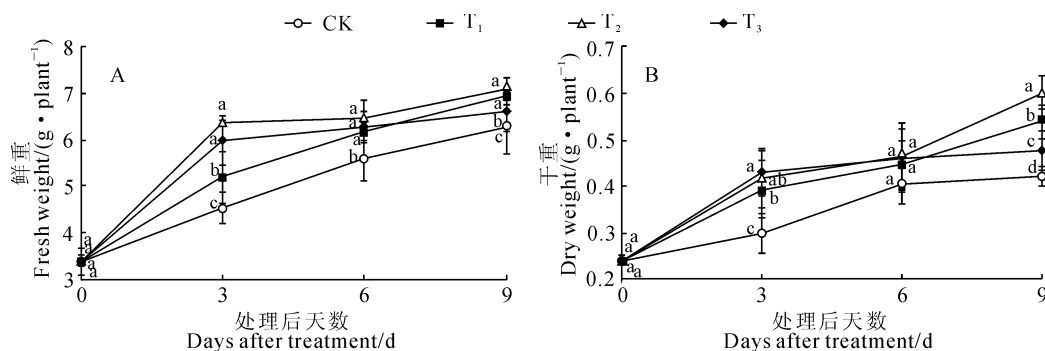


图 1 喷施复硝酚钠韭菜地上部单株鲜重和干重的变化

CK、 T_1 、 T_2 、 T_3 分别为叶面喷施清水及 0.15、0.25、0.5 mL · L⁻¹ 复硝酚钠处理; 下同

Fig. 1 The fresh weight and dry weight of Chinese chive plant aboveground sprayed with CSN

CK, T_1 , T_2 , T_3 are the treatments spraying with water and 0.15, 0.25, 0.5 mL · L⁻¹ 1.8%

CSN on the leaves, respectively; The same as below

9 d,韭菜叶片游离氨基酸含量呈现 T_2 处理优于 T_1 、 T_3 处理,且均显著高于对照(CK)49.2%、32.3%和44.9%(图 4,A);而可溶性蛋白质含量在处理第 3

天和第 6 天时,却以 T_1 处理最高,到第 9 天时, T_2 处理达到最高,且分别比对照增加了55.8%、23.3%、20.2%(图 4,B);而 T_2 处理的 Vc 含量在叶面喷施不

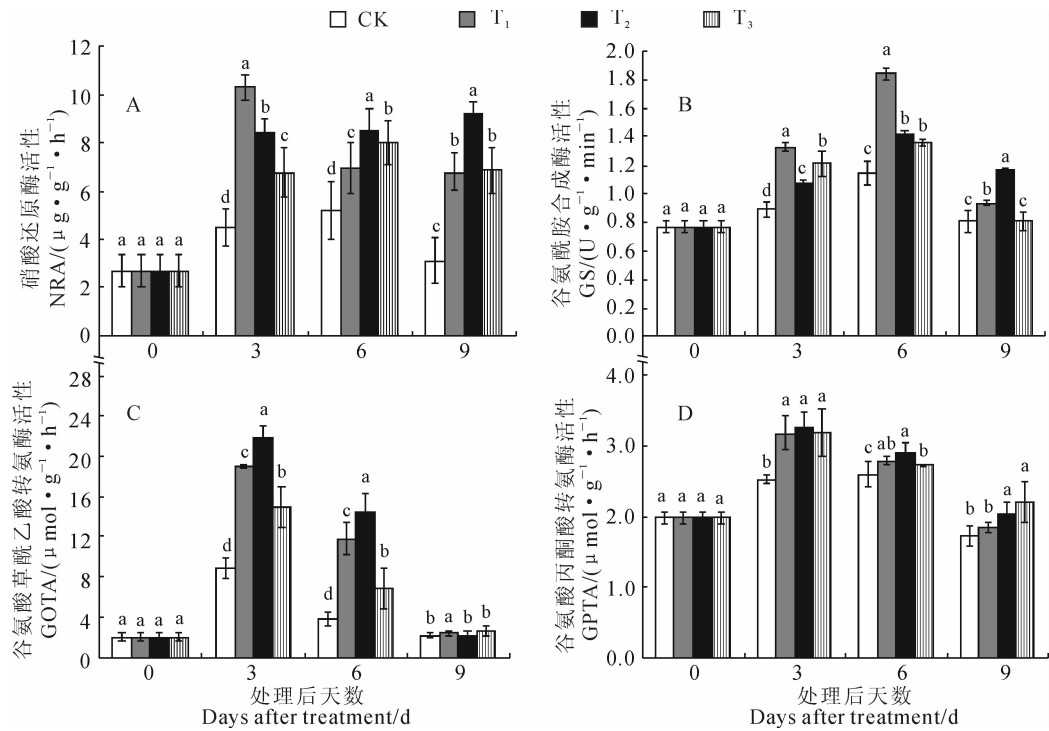


图 3 喷施复硝酚钠韭菜叶片 NRA(A)、GS(B)、GOT(C)、GPT(D)活性的变化

Fig. 3 The NRA(A),GS(B),GOT(C),GPT(D) activities in leaves of Chinese chive plant sprayed with CSN

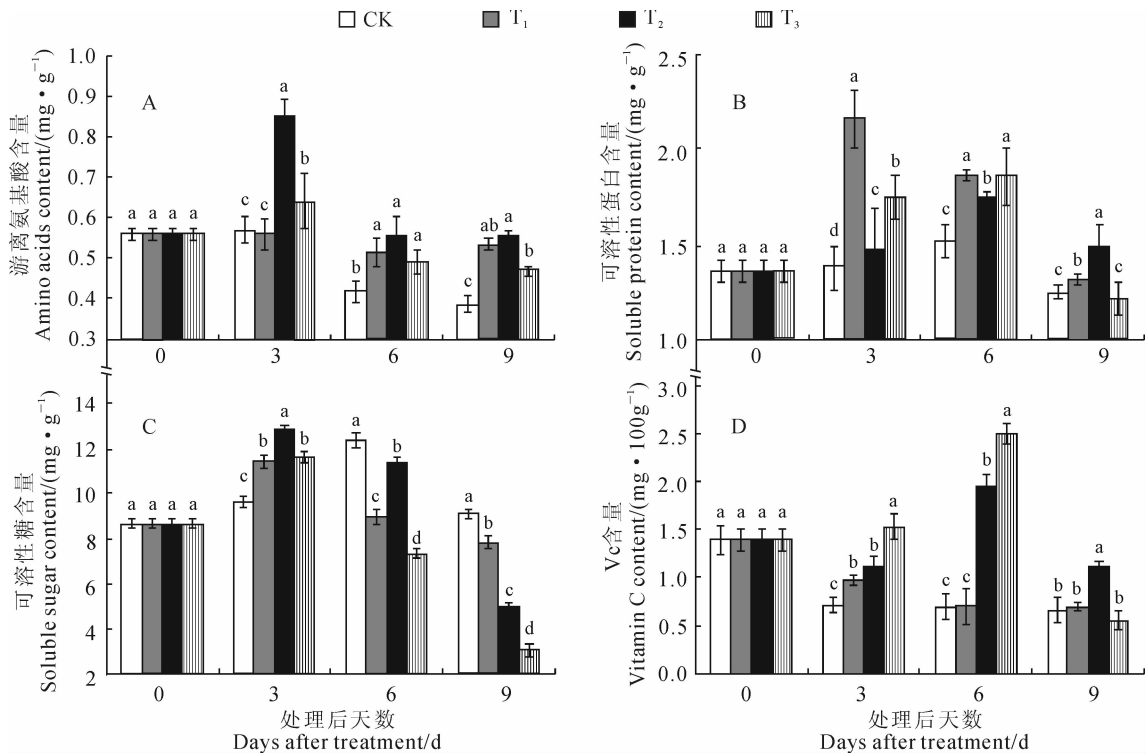


图 4 喷施复硝酚钠韭菜叶片营养品质的变化

Fig. 4 The nutritional quality of leaves of Chinese chive plant sprayed with CSN

同浓度的 CSN 后 3~9 d, 分别比对照显著增加了 55.5%、180.0%、69.5% (图 4, D); 但 CSN 处理后第 6 天, 韭菜叶片可溶性糖含量均低于对照, 降低幅度分别为 27.3%、7.7%、40.4% (图 4, C)。以上结果说明, 在 CSN 降低韭菜硝酸盐的显效时间内, 除可溶性糖外 CSN 均能不同程度的提高韭菜叶片营养品质, 在游离氨基酸含量上以 $0.25 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理效果最好, 可溶性蛋白质含量以 $0.15 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理最高, 而 $0.5 \text{ mL} \cdot \text{L}^{-1}$ 处理下韭菜 Vc 含量最高。

3 讨 论

复硝酚钠(CSN)是由 5-硝基愈创木酚钠、邻硝基苯酚钠和对硝基苯酚钠按 1:2:3 比例混合而成的复合物。一些研究表明, CSN 可以促进植物细胞原生质流动、提高细胞活力、加速植株生长发育、促进花芽分化和提早花期等^[16-17], 并参与叶绿素、蛋白质的合成, 防止植物早衰, 能有效地提高农产品品质^[18-21]。研究还表明, 复硝酚钠能够增加植株的株高^[7, 16], 促进同化物运输^[22], 增加籽粒产量及刺激植物代谢^[23]。本试验结果显示, 在 CSN 处理后第 6 天, 韭菜叶片的鲜重、干重及其游离氨基酸、可溶性蛋白质、Vc 含量均显著增加, 即 CSN 能够显著促进韭菜生长, 并提高其营养品质。

在氮代谢途径中, 从 $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+ \rightarrow$ 谷氨酰胺 $\rightarrow$ 谷氨酸 $\rightarrow$ 氨基酸 $\rightarrow$ 蛋白质为连续过程^[24]。本实验室以往的研究表明, 为了降低 NO_3^- 的累积, 需要整个过程的协同配合, 既需要前端 ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NH}_4^+$) 有较强地还原活性, 又需要中段 ($\text{NH}_4^+ \rightarrow$ 谷氨酰胺 $\rightarrow$ 谷氨酸) 有较强地初级同化活

性, 还需要末端(谷氨酸 $\rightarrow$ 氨基酸 $\rightarrow$ 蛋白质)也有较强地次级同化活性^[4-6]。

硝酸还原酶(NR)作为硝态氮还原的限速关键酶, 调控着整个氮素还原同化进程^[25]。同时, NR 又是一个调节酶, 其活性既受底物(细胞质内硝酸盐)浓度诱导^[26], 又与产物浓度相关联, 即与中段的初级同化活性和末端的次级同化活性相关联。曹岩坡等^[6]观察到叶面喷施外源水杨酸显著提高了韭菜叶片中氮还原动力泵(NR)活性以及氮同化动力泵(谷氨酰胺合成酶, GS)活性, 同时调动光合作用和转氨作用(谷氨酸草酰乙酸转氨酶 GOT 活性和谷氨酸丙酮酸转氨酶 GPT 活性)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, 减少了硝酸盐进入液泡贮积。霍捷等^[5]对小白菜叶面喷施 NaHSO_3 也观察到了类似效应。同样地, 本试验亦表明 CSN 处理后韭菜叶片 NR、GS、GOT 和 GPT 活性均显著增加, 从而促进了硝态氮转化为游离氨基酸和可溶性蛋白质, 这样降低了叶片中硝酸盐累积, 提高了韭菜产品品质, 重要的是提高了氮素的利用率。

另外, 整个氮代谢途径的氮素还原同化过程还需要碳同化产物(α -酮戊二酸等系列底物)的协同配合^[4, 27]。曹岩坡等^[6]观察到韭菜叶面喷施外源水杨酸, 能显著降低叶片中硝酸盐累积, 同时能显著提高韭菜叶片的可溶性糖含量。吴建辉等^[28]研究表明复硝酚钠也能提高番茄果实的总糖含量。本试验观察到 CSN 处理后韭菜叶片可溶性糖含量减少, 而干物质累积增加。这些研究结果可能与碳同化产物的合成、转化、利用有关, 还有待于深入研究。

参考文献:

- [1] LIU J P(刘继培), ZHAO T K(赵同科), AN ZH ZH(安志装), *et al.* The mechanisms of the nitrate accumulation, factors and control measures of the vegetables[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2008, **24**(3): 95—107(in Chinese).
- [2] WANG ZH Y(王正银), LI H H(李会合), LI B ZH(李宝珍), *et al.* Influence of nitrogen rates, soil fertility and harvest time on nitrate in Chinese cabbage[J]. *Scientia Agricultura Sinica* (中国农业科学), 2003, **36**(9): 1 057—1 064(in Chinese).
- [3] HUANG D F(黄东风), LI W H(李卫华), QIU X X(邱孝煊). Effects of nitrate inhibitors on yield, nitrate content and nutrition accumulation of Chinese cabbage[J]. *Jiangsu Journal Agricultural Sciences* (江苏农业学报), 2009, **25**(4): 871—875(in Chinese).
- [4] XU G H(徐广辉), GAO ZH K(高志奎), LI X L(李祥莉), *et al.* Effects of spraying leaves with propanetriol on nitrate content in Chinese chive[J]. *Journal of Hebei Agri. Uni.* (河北农业大学学报), 2007, **31**(1): 13—16(in Chinese).
- [5] HUO J(霍捷), WANG J L(王俊玲), XUE ZH J(薛占军), *et al.* Effects of sodium bisulfite on nitrate reduction and photosynthetic capacity in the leaves of non-heading Chinese cabbage[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2012, **39**(4): 719—726(in Chinese).
- [6] CAO Y P(曹岩坡), GAO ZH K(高志奎), HE J P(何俊萍), *et al.* Effects of exogenous salicylic acid on nitrate accumulation and reduction and assimilation in the leaves of Chinese chive[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2009, **36**(3): 415—420(in Chinese).
- [7] KRZYSZTOF G, MIECZYSLAW G. Effect of Asahi SL on China aster aleksandra, seed yield, germination and some metabolic events[J].

- Acta Physiologiae Plantarum*, 2002, **24**(4): 379—383.
- [8] 刘彩迎. 复硝酚钠和外源 NO 对菊花成花与品质的调控效应研究[D]. 河南新乡: 河南师范大学, 2011.
- [9] GAO L Q(高立强), LI W H(李文华), YANG J R(杨家荣), *et al.* Regulation effects of plant growth regulator on celery growth[J]. *Scientia Agricultura Shaanxi* (陕西农业科学), 2004, **5**: 25—26, 42(in Chinese).
- [10] BAO SH Q(包山青), ZHANG Y J(张英杰). Regulation effects of sodium nitrophenolate 98% on rice growth[J]. *Plant Protection* (植物保护), 2007, **8**: 54(in Chinese).
- [11] HU ZH P(胡兆平), LI W(李 伟), CHEN J Q(陈建秋) *et al.* Effects of sodium nitrophenolate, DA-6 and NAA on the eggplant yield and quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin* (中国农学通报), 2013, **29**(25): 168—172(in Chinese).
- [12] 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.
- [13] CHEN Y(陈 煜), ZHU B G(朱保葛), ZHANG J(张 敬), *et al.* Effects of different nitrogens on activities of nitrate reductase, glutamine synthetase and seed protein contents in soybean cultivars[J]. *Soybean Science* (大豆科学), 2004, **23**(2): 143—146(in Chinese).
- [14] WU L H(吴良欢), JIANG S H(蒋式洪), TAO Q N(陶勤楠). Effects and methods of the activity colorimetric determination of plant transaminase(GOT and GPT)[J]. *Chinese Journal of Soil Science* (土壤通报), 1998, **29**(3): 136—138(in Chinese).
- [15] 西北农业大学植物生理生化教研组. 植物生理学实验指导[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1986: 35—105.
- [16] BADAWY A A, ABDALLA N M, RIZK G A, *et al.* Influences of atonik and atonik-G treatments on growth and volatile oil content of *Chamomilla suaveolens*[C]. Proceedings, Eleventh Annual Meeting, Plant Growth Regulator Society of America, Boston, Massachusetts, 1984: 220—223.
- [17] WANG J P(王俊平). Effects of sodium nitrophenolate on vegetables seedling in greenhouse[J]. *Plant Medical Journal* (植物医院), 2006, **9**: 45(in Chinese).
- [18] PENG B(彭 波), JU D(鞠 东). Effects of sodium nitrophenolate on growth and development in potato[J]. *Contemporary Eco-Agriculture* (当代生态农业), 2009, (Z1): 112—113(in Chinese).
- [19] WU J L(吴建良), DONG T H(董涛海), QIN J W(秦建伟). Effects of sodium nitrophenolate 1.8% as on seedlings quality of rice[J]. *Modern Agricultural Science and Technology* (现代农业科技), 2010, (21): 55—56(in Chinese).
- [20] YU C L(于彩莲), LIU B(刘 波), YAN H(燕 红), *et al.* Effects of sodium nitrophenolate and its composition on germination of soybean seed[J]. *Soybean Science* (大豆科学), 2010, **29**(3): 440—443(in Chinese).
- [21] DUAN Q(段 强), WANG CH(王 冲), SUN Y(孙 艳), *et al.* Regulation effects of sodium nitrophenolate 1.8% as on cotton growth[J]. *Agrochemicals Research & Application* (农药研究与应用), 2011, **15**(2): 26—28(in Chinese).
- [22] KUDREV T G. Some aspects of translocation and accumulation of assimilates in wheat grain in relation to water stress and treatment of the stalk with growth regulators. Symposium on the mechanism of fruiting, translocation and accumulation of nutrients in plant organism[J]. *Warszawa-Skierniewice*, 1969, 1—4: 14—19.
- [23] ZRALY B. Smart Farming. National conference on engineering smart farming for the next millennium. Faculty of engineering[J]. *University Putra Malaysia*, 1999, 14—16.
- [24] BOB B B, WILHELM G, RUSSELL L. Jones. Biochemistry & Molecular Biology of Plants[M]. American Society of Plant Physiologists, 2000: 636—687.
- [25] MACKOWN C T, JAKSON W A, VOLK R G. Partitioning of previously accumulated nitrate to translocation, reduction, and efflux in corn roots[J]. *Plant*, 1983, **157**: 824.
- [26] LU F G(卢凤刚), CHEN G L(陈贵林), LÜ G Y(吕桂云). Effects of different nitrogen concentrations on yield and quality of Chinese chive[J]. *Acta Horticulturae Sinica* (园艺学报), 2005, **32**(1): 131—133(in Chinese).
- [27] LIU H ZH(刘洪展), ZHENG F R(郑风荣), ZHAO SH J(赵世杰). Effects of exogenous nitrogen nutrition of roots on photosynthetic characteristics of leaves in wheat under heat stress[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas* (干旱地区农业研究), 2006, **4**(2): 52—56(in Chinese).
- [28] WU J H(吴建辉), CHEN Q X(陈清香), WANG Z Q(王泽清). Regulation effects of sodium nitrophenolate on tomato growth[J]. *Scientia Agricultura Zhejiang* (浙江农业科学), 2010, (2): 258—259(in Chinese).