

# 不同浓度硒对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下番茄幼苗生长及几项生理指标的影响

张健伟<sup>1</sup>, 王松<sup>2</sup>, 周艳<sup>2</sup>, 刘慧英<sup>1,2</sup>

(1. 石河子大学 农学院, 新疆 石河子 832000; 2. 新疆生产建设兵团特色果蔬栽培生理与种质资源利用重点实验室, 新疆 石河子 832003)

**摘要:**以“中蔬4号”番茄为试材,采用营养液栽培法,研究了不同浓度外源硒(Se)对  $75 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1} \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗生长、根系活力、叶绿素含量、丙二醛(MDA)以及超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性的影响。结果表明:施用  $0.010 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的外源硒通过提高  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄叶片根系活力、光合色素含量和活性氧清除能力、降低膜脂过氧化,保护膜结构的完整性,从而有效缓解了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫对番茄幼苗生长的抑制和伤害; $0.200 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  的高浓度硒处理显著降低了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄叶片根系活力、光合色素含量,从而加剧了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫对番茄幼苗生长的抑制,而过高的外源硒浓度 ( $0.500 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ ) 则直接导致了番茄幼苗植株的死亡。

**关键词:**硒;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫; 番茄; 抗氧化酶

**中图分类号:**S 641.204<sup>+</sup>.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)15-0016-05

近年来,我国蔬菜设施栽培发展迅速,栽培面积不断扩大,已成为农民增收的主要途径之一<sup>[1]</sup>。然而,由

**第一作者简介:**张健伟(1990-),男,硕士研究生,研究方向为蔬菜学。E-mail:741104602@qq.com.

**责任作者:**刘慧英(1970-),女,博士,教授,现主要从事蔬菜生理生化和设施园艺等研究工作。E-mail:hyliuok@aliyun.com.

**基金项目:**国家自然科学基金资助项目(31160391,31360478);国家星火重点资助项目(2015GA891008);兵团国际合作资助项目(2014BC002)。

**收稿日期:**2016-04-18

于设施栽培条件下的土壤缺少雨水淋洗、蒸发量大,加之设施生产长期处于高集约化、高复种指数、高肥料施用量的生产状态下,导致盐分聚集引起设施内土壤次生盐渍化<sup>[2]</sup>。设施土壤次生盐渍化已成为当前设施栽培的主要限制性因素和设施生产可持续发展的严重障碍。研究表明,设施土壤中主要阳离子是  $\text{Ca}^{2+}$ , 约占土壤盐分阳离子总量的 60% 以上,阴离子以  $\text{NO}_3^-$  为主,约占阴离子总量的 67%~76%。因此,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  大量积累是引起土壤次生盐渍化的主要原因之一<sup>[3-4]</sup>。

硒(Se)是人与动物必需的营养元素。目前虽然没

**Abstract:** Using *P. domestica* L. ‘France’ grafted with apricot root stock, peach root stock, plum tree root stock as experimental material, to screen out the fine root stock varieties for *P. domestica* L. ‘France’, and its influence on fruit setting characters and fruit quality of *P. domestica* L. ‘France’ were explored, to provide a theoretical basis for Prunes grafting cultivation and production. The results showed that, it had some differences at phenology and growth characteristics of different root stocks of ‘France’. Date of early fruit and date of full fruit of peach root stock were earlier than the other two root stocks, date of defoliation of it was later than others. Tree height, trunk diameter, shoot length were higher than others. Different root stocks had a certain impact on yield and fruit quality of ‘France’. Yield of per tree of peach root stock higher than others, as 15.01 kg. On the external quality of the fruit, greater impact on different root stocks on fruit size of ‘France’, but had little effect on other features. There were some difference between fruit firmness, soluble sugar, vitamin C, anthocyanin, sugar acid ratio etc.. Other indicators were basically the same, the difference was not significant. The comprehensive score of different root stock was between -1.613 and 1.947, the comprehensive score of peach root stock was higher than other pears. By comprehensive comparison, *P. domestica* L. ‘France’ grafted with peach root stock had good growth and fruit quality, which was suitable for promotion.

**Keywords:** *P. domestica* L. ‘France’; root stock; growth; fruit quality

有充分证据证明硒是植物生长发育必需的微量营养元素<sup>[5-7]</sup>。但作为一种有益元素,在低浓度范围内硒能改善水稻、小白菜、大豆、小麦、大蒜等作物生长和提高生物学产量,并在一定程度上满足了人体健康对硒的需求<sup>[8-10]</sup>。近年来硒在植物抗逆上的作用日益受到关注和重视。许多研究者认为施硒是一条既克服胁迫障碍又提高产品硒含量的有效途径之一<sup>[11]</sup>。但到目前为止,硒能否缓解  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫危害目前尚不清楚。

番茄 (*Lycopersicon esculentum* Mill) 是目前设施生产的主栽作物之一。因此,该研究采用营养液培的方法,研究添加不同浓度外源 Se 对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗生长及生理指标的影响,旨在初步探讨硒对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫危害的调控效应,为减轻番茄盐伤害的外源硒调控应用提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以番茄品种“中蔬四号”为试材。种子催芽后播种于草炭:蛭石=2:1(V/V)的基质中。待2叶1心,挑选形态长势整齐一致的番茄幼苗移入带泡沫盖板的12 L水桶中,装入10 L用去离子水配制的 Hoagland 营养液(pH 6.2)。待幼苗长至4叶1心时进行不同处理,其中  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (75 mmol·L<sup>-1</sup>)和 Se 供体  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  于处理时直接加入营养液中。试验期间营养液全天通气。

### 1.2 试验方法

试验在石河子大学农学院试验站进行。试验设置7个处理, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ :加75 mmol·L<sup>-1</sup>  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  (以下处理与此相同)和不加  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ;  $\text{CSe}_{0.005}$ :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.005 mmol·L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ;  $\text{CSe}_{0.010}$ :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.010 mmol·L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ;  $\text{CSe}_{0.050}$ :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.050 mmol·L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ;  $\text{CSe}_{0.100}$ :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.100 mmol·L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ;  $\text{CSe}_{0.200}$ :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  + 0.200 mmol·L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ;  $\text{CSe}_{0.500}$ :  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  +

0.500 mmol·L<sup>-1</sup>  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ,以不加  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  和不加  $\text{Na}_2\text{SeO}_3$  为对照(CK);试验采取随机区组设计,重复3次。处理后第9天取样测定相关指标。

### 1.3 项目测定

1.3.1 形态指标测定 于处理第9天,用直尺测量幼苗株高,游标卡尺测量茎粗;分别取幼苗地上部和地下部,用清水冲洗表面杂物,再用去离子水冲洗干净,擦干水分后分别称鲜样质量,然后105℃杀青30 min,80℃烘至恒重后称干样质量。

1.3.2 生理指标测定 叶绿素含量测定采用丙酮提取法<sup>[12]</sup>;根系活力测定采用 TTC 法<sup>[13]</sup>;丙二醛(MDA)含量测定采用硫代巴比妥酸(TBA)染色法<sup>[14]</sup>。SOD 活性测定参照 RAO 等<sup>[15]</sup>的方法;POD 和 CAT 活性测定参照 ZHANG<sup>[16]</sup>的方法。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 Excel 和 SPSS 软件进行分析,差异显著性用 Duncan 检验法进行多重比较( $P<0.05$ ),用 Origin Pro 7.5 进行数据绘图。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浓度 Se 对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下番茄幼苗生长的影响

由表1可知,与对照相比, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫处理的番茄幼苗株高、茎粗、地上部和地下部的鲜样质量和干样质量均显著降低;在5个施加不同浓度外源 Se 的处理中, $\text{CSe}_{0.005}$  和  $\text{CSe}_{0.010}$  2个处理能显著缓解  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  对番茄幼苗生长的抑制作用,且以  $\text{CSe}_{0.010}$  处理的效果最好,表现为显著提高了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗的株高、地上和地下部鲜样质量。而  $\text{CSe}_{0.050}$  和  $\text{CSe}_{0.100}$  2个处理除显著提高了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗的株高外,对其它生长指标无显著影响。 $\text{CSe}_{0.200}$  处理则显著降低了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗的地下部鲜样质量,对其它指标无显著影响。而  $\text{CSe}_{0.500}$  处理直接导致番茄植株死亡。

表1 不同浓度 Se 对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗生长的影响

Table 1 Effect of exogenous selenium on growth of tomato seedlings under  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  stress

处理 Treatment	株高 Plant height/cm	茎粗 Stem diameter/cm	鲜样质量 Fresh weight/g		干样质量 Dry weight/g	
			地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root
CK	43.57±1.34a	0.60±0.03a	21.10±0.98a	2.44±0.23a	1.57±0.37a	0.23±0.07a
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	18.60±0.86d	0.40±0.01cd	7.00±0.94cd	1.38±0.01c	0.71±0.87bc	0.14±0.01b
$\text{CSe}_{0.005}$	24.77±0.59c	0.45±0.02bc	9.08±0.51c	1.86±0.07b	0.79±0.27bc	0.18±0.04ab
$\text{CSe}_{0.010}$	31.77±1.18b	0.50±0.02bc	12.20±1.00b	2.09±0.31b	1.01±0.13b	0.21±0.01ab
$\text{CSe}_{0.050}$	25.90±2.73c	0.41±0.05cd	6.36±1.03cd	1.47±0.14c	0.83±0.17bc	0.20±0.04ab
$\text{CSe}_{0.100}$	25.43±1.94c	0.44±0.03c	6.32±0.87cd	1.19±0.16c	0.79±0.13bc	0.17±0.04ab
$\text{CSe}_{0.200}$	16.63±0.89d	0.39±0.03d	4.10±0.52d	0.63±0.21d	0.49±0.02c	0.14±0.06b
$\text{CSe}_{0.500}$	—	—	—	—	—	—

注:不同小写字母表示处理间在5%水平的差异显著性。下同

Note: Different lowercase letters indicate significant difference at 5% level. The same below.

## 2.2 不同浓度 Se 对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下番茄幼苗根系活力的影响

根系活力能反映根系吸收水肥的能力,其强度高可在一定程度上反映植株的生长能力。由图 1 可以看出,与对照相比, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄植株根系活力显著降低;在 5 个不同浓度施硒处理中, $\text{CSe}_{0.005}$ 、 $\text{CSe}_{0.010}$ 、 $\text{CSe}_{0.050}$  3 个处理均显著提高了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄植株根系活力,分别提高了 42.0%、50.5%、39.0%,且 3 个处理间无显著差异。 $\text{CSe}_{0.100}$  处理对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄植株根系活力无显著影响,而  $\text{CSe}_{0.200}$  则显著降低了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄植株根系活力。

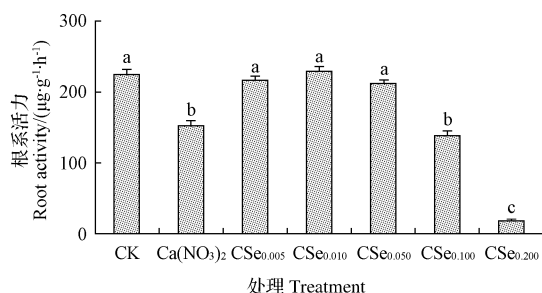


图 1 不同浓度 Se 对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗根系活力的影响

Fig. 1 Effect of exogenous Se on the root activity of tomato seedlings under  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  stress

## 2.3 不同浓度 Se 对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下番茄幼苗叶绿素含量的影响

由表 2 可知, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量均较 CK 显著下降; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下施加 5 个不同浓度外源硒的番茄叶片叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量均表现出随处理浓度的提高而呈现先逐渐升高后下降的趋势,其中以  $\text{CSe}_{0.010}$  处理下的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量最高,且显著高于其它 4 个处理。而  $\text{CSe}_{0.050}$  处理显著提高了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄叶片的叶绿素 a 和叶绿素总量。 $\text{CSe}_{0.005}$  和  $\text{CSe}_{0.100}$  2 个处理对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄叶片的叶绿素 a、叶绿素 b 及叶绿素总量均无显著影响,而  $\text{CSe}_{0.200}$  处理则显著降低了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄叶片的

表 2 不同浓度 Se 对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗叶绿素含量的影响

Table 2 Effect of exogenous Se on chlorophyll contents of tomato seedlings under  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  stress

处理	叶绿素 a	叶绿素 b	叶绿素总量
Treatment	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll
CK	2.69±0.06a	0.89±0.07a	3.61±0.14a
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1.58±0.06d	0.48±0.02bc	2.08±0.03d
$\text{CSe}_{0.005}$	1.68±0.07d	0.57±0.02bc	2.26±0.10d
$\text{CSe}_{0.010}$	2.24±0.14b	0.83±0.09a	3.09±0.11b
$\text{CSe}_{0.050}$	2.03±0.07c	0.59±0.02b	2.64±0.07c
$\text{CSe}_{0.100}$	1.66±0.07d	0.47±0.07c	2.14±0.05d
$\text{CSe}_{0.200}$	1.12±0.11e	0.46±0.01c	0.04±0.03e

叶绿素 a 及叶绿素总量。

## 2.4 不同浓度 Se 对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下番茄幼苗叶片丙二醛(MDA)含量的影响

丙二醛(MDA)是膜脂质过氧化的产物,可用 MDA 含量反映植物膜脂质过氧化和膜遭受逆境伤害的程度。由图 3 可知,与对照相比, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下的番茄幼苗叶片的 MDA 含量显著提高;施加不同浓度外源硒能够不同程度影响  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗叶片的 MDA 含量,表现出随着施硒浓度的提高,MDA 含量呈现先下降后升高的趋势,其中以  $\text{CSe}_{0.010}$  处理的 MDA 含量最低。 $\text{CSe}_{0.005}$ 、 $\text{CSe}_{0.010}$  和  $\text{CSe}_{0.050}$  3 个处理均显著降低了  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄的 MDA 含量,且  $\text{CSe}_{0.010}$  处理显著低于  $\text{CSe}_{0.010}$  和  $\text{CSe}_{0.050}$  处理的,而  $\text{CSe}_{0.100}$  和  $\text{CSe}_{0.200}$  2 个处理均对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄的 MDA 含量无显著影响。

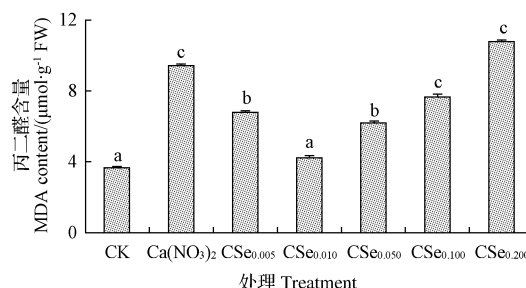


图 2 不同浓度 Se 对  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下番茄幼苗丙二醛含量的影响

Fig. 2 Effect of exogenous Se on the MDA content of tomato seedlings under  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  stress

## 2.5 不同浓度 Se 对 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 胁迫下番茄幼苗抗氧化酶的影响

SOD、POD 和 CAT 是植物细胞内重要的抗氧化保护酶。由图 4 可以看出, $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫下 SOD、POD、CAT 3 种抗氧化酶的活性均较 CK 显著提高,分别较 CK 提高了 44.8%、36.7%、60.3%;与  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理相比, $\text{CSe}_{0.010}$  处理下的番茄叶片 SOD、POD、CAT 活性均达到最大值,其中 POD 活性显著高于其它 4 个施硒处理,SOD 和 CAT 活性显著高于  $\text{CSe}_{0.005}$ 、 $\text{CSe}_{0.100}$ 、 $\text{CSe}_{0.200}$  处理,但与  $\text{CSe}_{0.050}$  处理无显著差异。 $\text{CSe}_{0.200}$  处理下的 SOD、POD、CAT 活性与  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫处理无显著性差异。

## 3 讨论与结论

盐胁迫下,由于植株同化量减少、渗透调节能耗和维持生长能耗增加等原因,会使植株生长受抑制,生物量积累降低<sup>[17]</sup>。该试验亦表明了这一点,75 mmol·L<sup>-1</sup>  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  处理下,番茄幼苗的株高、茎粗、地上部和地下部的鲜样质量和干样质量均较对照显著降低,说明  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫显著抑制了番茄幼苗的生长;而施用浓度为 0.010 mmol·L<sup>-1</sup> 的外源硒可有效缓解  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  胁迫



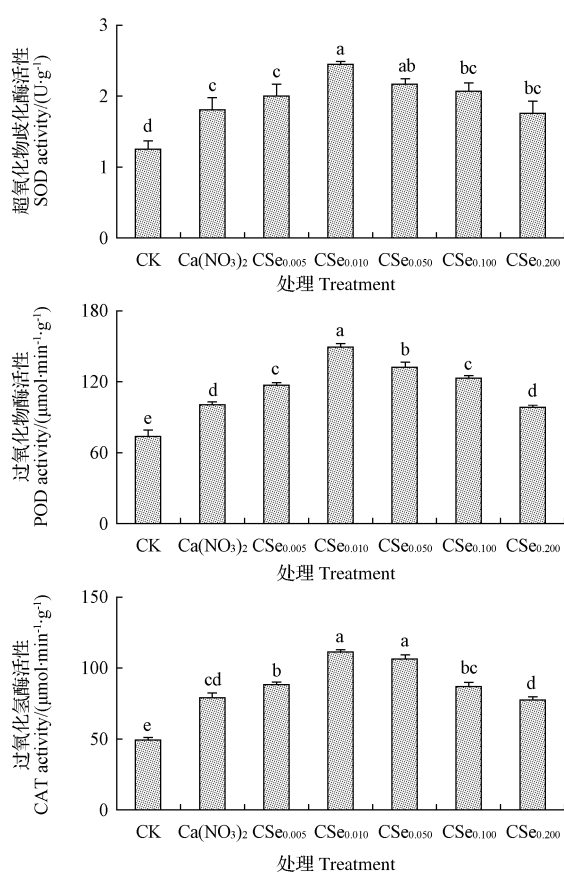


图3 不同浓度Se对Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下番茄幼苗抗氧化酶的影响

Fig. 3 Effect of exogenous Se on the antioxidant enzymes activities of tomato seedlings under Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> stress

对番茄幼苗生长的抑制作用并提高盐适应性,表现为株高、地下和地上部鲜样质量以及根系活力显著增加。这与付爱飞<sup>[18]</sup>研究得出的NaCl胁迫下适宜的外源硒浓度能够显著促进植株生长的结论相一致。而0.200 mmol·L<sup>-1</sup>的外源硒则进一步抑制了Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下番茄幼苗的生长和干物质积累。过高的外源硒浓度(0.500 mmol·L<sup>-1</sup>)直接导致了番茄幼苗植株的死亡。

光合色素是参与原初光化学反应过程中光能吸收、传递和转化的重要色素,其含量在一定程度上反映植物同化物质的能力<sup>[19]</sup>。目前有关盐胁迫下高等植物光合色素的变化存在不一致的报道,一些研究表明,盐胁迫导致盐敏感型植物叶绿素含量降低,而对于盐生植物,其在高盐和高光复合胁迫下,其叶绿素含量并无显著性差异<sup>[20]</sup>。该试验中,Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下叶绿素a、叶绿素b以及叶绿素总含量均显著性下降,叶绿素a和叶绿素b含量的降低必然造成叶绿体对光能的吸收和传递能力的降低。而施用0.010、0.050 mmol·L<sup>-1</sup>外源硒显著提高了Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下的番茄叶片叶绿素含量,其中尤以0.010 mmol·L<sup>-1</sup>外源硒处理效果最佳。叶绿素含量

增加原因可能是有效的通过抗氧化酶清除了活性氧<sup>[21]</sup>。

刘志媛等<sup>[22]</sup>研究发现,Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>对植株的胁迫作用主要是通过渗透胁迫起作用。渗透胁迫会引起植株体内活性氧水平提高,膜脂发生过氧化和脱酯化作用,膜结构和完整性被破坏,膜脂过氧化最终产物MDA含量增加,从而导致植株代谢紊乱<sup>[23]</sup>。该试验中,在Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下MDA含量显著增加,说明此时植物体内活性氧产生和清除系统间的平衡遭到破坏,细胞质膜在活性氧的攻击下发生了过氧化,植株细胞膜已经受到伤害。然而,添加0.005、0.010、0.050 mmol·L<sup>-1</sup>的外源硒均能够显著降低Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下番茄叶片的MDA含量,且以0.010 mmol·L<sup>-1</sup>的外源硒处理效果最好,说明一定浓度范围的硒可有效缓解了Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫导致的膜质过氧化程度,维持细胞的正常结构,从而减轻Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫造成的伤害。而0.100、0.200 mmol·L<sup>-1</sup>的外源硒对Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下番茄叶片的MDA含量无显著影响,说明0.100、0.200 mmol·L<sup>-1</sup>的外源硒不能缓解Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫对番茄叶片造成的膜质过氧化作用。

正常情况下,植物体内的活性氧产生与消除处于动态平衡,当受到胁迫时,活性氧的代谢平衡被破坏<sup>[24]</sup>。SOD已经被确认为O<sub>2</sub><sup>-</sup>的净化剂,通过消除O<sub>2</sub><sup>-</sup>以及降低O<sub>2</sub><sup>-</sup>所产生的其它活性氧的伤害,对细胞起保护作用;POD则可清除线粒体或胞浆中产生的低浓度的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>;CAT主要分布于过氧化酶体中,可以将高浓度的H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>清除。该试验中,Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下番茄叶片MDA含量及SOD、POD、CAT活性显著提高,说明植株体内的活性氧代谢平衡被打破,为了清除过量的ROS,植物产生一系列的防御反应,因而表现出番茄幼苗叶片SOD、POD、CAT等清除O<sub>2</sub><sup>-</sup>和分解H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>的酶活性较对照明显增加,这可能是番茄幼苗对逆境的一种适应性反应;施用外源硒的5个处理中,除0.200 mmol·L<sup>-1</sup>外源硒Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下番茄叶片SOD、POD、CAT活性无显著影响外,其它硒浓度处理均不同程度提高了抗氧化酶活性,其中尤以0.010 mmol·L<sup>-1</sup>的外源硒使Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下叶片的SOD、POD、CAT活性进一步显著增加,说明其显著提高了幼苗叶片清除自由基防御系统的防御能力。

综上所述,5个不同施硒处理的番茄幼苗的生长指标、根系活力、叶绿素含量和抗氧化酶SOD、POD、CAT活性表现出随着施硒浓度水平的提高而呈现出先升高后降低的趋势,而MDA含量表现出先降低后升高的趋势;不同处理中,0.010 mmol·L<sup>-1</sup>施硒浓度通过提高Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下番茄叶片根系活力、光合色素含量和活性氧清除能力、降低膜质过氧化程度,从而有效缓解了Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫对番茄幼苗生长的抑制和伤害。

0.200 mmol · L<sup>-1</sup>的高浓度硒处理则显著降低了 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫下番茄叶片根系活力、光合色素含量,从而加剧了 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>胁迫对番茄幼苗生长的抑制,而过高的外源硒浓度(0.500 mmol · L<sup>-1</sup>)则直接导致了番茄幼苗植株的死亡。

### 参考文献

- [1] 余海英,李廷轩,周健民. 设施土壤次生盐渍化及其对土壤性质的影响[J]. 土壤,2005(6):581-586.
- [2] 殷永娟,刘鸿雁. 设施栽培下土壤中硝化、反硝化作用的研究[J]. 生态学报,1996(3):246-250.
- [3] 常婷婷,张洁,吴鹏飞,等. 设施土壤次生盐渍化防治措施的研究进展[J]. 江苏农业科学,2011(4):449-452.
- [4] YUAN L Y, SHU S, SUN J, et al. Effects of 24-epibrassinolide on the photosynthetic characteristics, antioxidant system, and chloroplast ultrastructure in *Cucumis sativus* L. under Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> stress[J]. Photosynthesis Research, 2012, 112: 205-214.
- [5] HAWRYLAK-NOWAK B. Beneficial effects of exogenous selenium in cucumber seedlings subjected to salt stress[J]. Biological Trace Element Research, 2009, 132: 259-269.
- [6] RAYMAN M P. The importance of selenium to human health[J]. The Lancet, 2000, 356: 233-241.
- [7] TERRY N, ZAYED A M, de SOUZA M P, et al. Selenium in higher plants[J]. Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 2000, 51: 401-432.
- [8] DJANAGUIRAMAN M, DURGA D D, SHANKER A K, et al. Selenium an antioxidative protectant in soybean during senescence[J]. Plant and Soil, 2005, 272: 778-86.
- [9] 彭玲,贾芬,田小平,等. 硒对油菜根尖镉胁迫的缓解作用[J]. 环境科学学报,2015(8):2597-2604.
- [10] TURAKAINEN M, HARTIKAINEN H, SEPPÄNEN M M. Effects of selenium treatments on potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and concentrations of soluble sugars and starch[J]. J Agric Food Chem, 2004, 52: 5378-5382.
- [11] KONG L, WANG M, BI D. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress[J]. Plant Growth Reg, 2005, 45: 155-163.
- [12] 常福辰,陆长梅,沙莎. 植物生物学实验[M]. 南京:南京师范大学出版社,2007:126-127.
- [13] 张志良. 植物生理学实验指导[M]. 3版. 北京:高等教育出版社,2006.
- [14] 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,2000:134-137, 258-263.
- [15] RAO K V M, SRESTY T V S. Antioxidant parameters in the seedlings of pigeon pea (*Cajanus cajan* L. Mill spagh) in response to Zn and Ni stresses[J]. Plant Sci, 2000, 157: 113-128.
- [16] ZHANG X Z. The measurement and mechanism of lipid peroxidation and SOD, POD and CAT activities in biological system[M]//ZHANG X Z (Ed.). Research methodology of crop physiology. Beijing: Agriculture Press, 1992: 208-211.
- [17] 罗庆云,於丙军,刘友良. 大豆苗期耐盐性鉴定指标的检验[J]. 大豆科学,2001(3):177-182.
- [18] 付爱飞. 硒提高番茄耐盐性的生理机制研究[D]. 石河子:石河子大学,2008.
- [19] 史庆华,朱祝军, KHALIDA Al-AGHABARY, 等. 等渗 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 NaCl 胁迫对番茄光合作用的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2004,10(2): 188-191.
- [20] 束胜,郭世荣,孙锦,等. 盐胁迫下植物光合作用的研究进展[J]. 中国蔬菜,2012(18):53-61.
- [21] 刘燕,蒋光霞. 硒对铅胁迫下油菜酶活性及叶绿素含量的影响[J]. 安徽农业科学,2008,36(18):7554-7555, 7849.
- [22] 刘志媛,朱祝军,钱亚榕,等. 等渗 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 和 NaCl 对番茄幼苗生长的影响[J]. 园艺学报,2001,28(1):31-35.
- [23] PARIDA A K, DAS A B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2005, 60(3): 324-349.
- [24] 杜长霞,邵俏赛,樊怀福,等. 外源 NO 对 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 胁迫下黄瓜幼苗生长和抗氧化系统的影响[J]. 核农学报,2013(6):854-860.

## Effect of Different Selenium Concentration on Growth and Several Physiological Indexes of Tomato Seedlings Under Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> Stress

ZHANG Jianwei<sup>1</sup>, WANG Song<sup>2</sup>, ZHOU Yan<sup>2</sup>, LIU Huiying<sup>1,2</sup>

(1. College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832000; 2. Key Laboratory of Special Fruits and Vegetables Cultivation Physiology and Germplasm Resources Utilization of Xinjiang Production and Construction Crops, Shihezi, Xinjiang 832003)

**Abstract:** Tomato variety of 'Zhongshu No. 4' was used as test material, a hydroponic experiment was conducted to investigate the effects of exogenous selenium (Se) on the plant growth, root activity, as well as chlorophyll content, malonaldehyde (MDA) and SOD, POD, CAT activity in leaves of tomato seedlings under Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> stress. The results showed that, the application of 0.010 mmol · L<sup>-1</sup> exogenous Se significantly alleviated Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>-induced growth inhibition by increasing root activity, photosynthetic pigment content and the defense ability of antioxidant enzymes system to decrease membrane lipid peroxidation and protect the integrity of membrane structure in tomato seedlings under Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> stress. The application of 0.200 mmol · L<sup>-1</sup> exogenous Se significantly lowers root activity and pigment content under Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> stress and thus intensified the inhabitation of Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> stress to tomato seedlings. But the application of 0.500 mmol · L<sup>-1</sup> exogenous Se might directly lead to the death of tomato seedlings.

**Keywords:** selenium; Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> stress; tomato; antioxidant enzymes